

N° d'ordre : 3573

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de Recherche : Géophysique, Patrimoine Naturel et Géochimie (IS, Rabat)

Structure de Recherche : Laboratoire de Géobiodiversité et de Patrimoine Naturel

Discipline : Biologie

Spécialité : Hydrobiologie, Ecologie et Environnement

Présentée et soutenue le 24/12/2021 par :

Mariam ZERROUK

**Evolution des communautés benthiques d'un cours d'eau Méditerranéen,
le Haut Sebou (Moyen Atlas-Maroc) entre 1981 et 2017 : effet des
changements globaux**

JURY

Mohamed FEKHAOU	PES, Institut Scientifique Université Mohammed V, Rabat	Président/ Rapporteur
Abdelaziz BENHOUSA	PES, Faculté des Sciences Université Mohammed V, Rabat	Rapporteur/Examineur
Rajae GUEMMOUH	PES, Faculté des Sciences Dhar El Mehraz Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès	Rapporteur/Examineur
Nard BENNAS	PES, Faculté des Sciences Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan	Examinatrice
Majida EL ALAMI EL MOUTAOUAKIL	PES, Faculté des Sciences Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan	Examinatrice
Abdeljebbar QNINBA	PES, Institut Scientifique Université Mohammed V, Rabat	Examineur
Mohamed DAKKI	PES retraité, Institut Scientifique Université Mohammed V, Rabat	Invité
Mohamed Aziz EL AGBANI	PES, Institut Scientifique Université Mohammed V, Rabat	Co-encadrant
Oumnia HIMMI	PES, Institut Scientifique Université Mohammed V, Rabat	Directrice de Thèse

Année Universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

Les travaux présentés dans cette thèse sont le fruit d'un long parcours, pas toujours facile, mais qui n'aura enrichi à plusieurs titres. Une thèse étant loin d'être un travail solitaire, mes premiers mots sont pour remercier toutes les personnes et toutes les instances qui, de près, ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet.

*Les remerciements suivants reviennent, bien justement et en premier lieu, à ma directrice de thèse, Madame **Oumnia HIMMI**, professeur à l'Institut Scientifique-Rabat. Professeur, merci de m'avoir accordé votre confiance, de m'avoir transmis votre passion de la recherche et votre rigueur, de m'avoir fait partager votre science, votre expérience et de m'avoir guidée au bout de cette thèse. Je n'oublierai jamais l'accueil chaleureux que vous m'avez réservé au sein de votre équipe, mais aussi votre disponibilité et votre soutien moral et matériel aussi bien au terrain qu'au laboratoire. Vos conseils et vos encouragements m'ont été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Je suis fière que vous soyez ma directrice de thèse. Merci infiniment !*

*Je dois une vive reconnaissance à Monsieur **Mohamed DAKKI**, professeur retraité de l'enseignement supérieur à l'Institut Scientifique de Rabat et mon encadrant de thèse, pour l'intérêt incessant qu'il a porté au suivi de ce travail, en dépit de ses occupations. Il a toujours su m'encourager, ses conseils et ses critiques m'ont été toujours constructifs. Votre modestie, votre rigueur scientifique, votre grande pédagogie grâce à laquelle vous transmettez vos connaissances et vos qualités de chercheur font de vous un des professeurs les plus appréciés, votre compréhension et le niveau d'exigence élevé que vous avez eu envers mon travail a été un moteur dans mes avancées et demeurera une référence. Je vous remercie de m'avoir encadrée durant ces années de recherche, de m'avoir confiée votre collection faunistique et de m'avoir accordée l'accès à toute la documentation nécessaire. Permettez-moi Monsieur de vous témoigner ma reconnaissance la plus sincère et tout mon respect.*

*Je suis particulièrement reconnaissante à Monsieur le professeur **Mohamed FEKHAOU** directeur de l'Institut Scientifique Université Mohammed V-Rabat pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse et ce, malgré ses nombreuses autres obligations, qu'il soit assuré de mon respectueux dévouement et ma haute considération.*

*Je suis particulièrement reconnaissant à Monsieur **Mohamed Aziz EL AGBANI**, professeur de l'enseignement supérieur à l'Institut Scientifique de Rabat, d'avoir co-encadré et suivi avec un grand intérêt les démarches effectuées afin de mener à terme ce travail et d'avoir contribué à améliorer sa qualité en me donnant de précieuses remarques et conseils. A travers ce mémoire, Je vous exprime Monsieur ma très haute considération et ma profonde gratitude*

Je tiens également à présenter mes vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce manuscrit. Leurs critiques et leurs remarques éclairées vont, sans aucun doute, largement contribuer à améliorer ma thèse.

*Mes remerciements vont tout particulièrement à Monsieur **Abdeljebbar QNINBA**, professeur à l'Institut Scientifique pour ses encouragements, ses nombreux conseils, ses qualités humaines et pour l'intérêt qu'il a montré pour ce travail en acceptant de l'examiner et de siéger à mon jury, qu'il trouve ici ma profonde reconnaissance.*

*Je remercie très chaleureusement Monsieur **Abdelaziz BENHOUSA**, professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, mon encadrant du Master qui a bien voulu me faire profiter de sa grande expérience en jugeant ce travail. Qu'il me soit permis de lui exprimer toute ma reconnaissance pour avoir accepté de siéger à ce jury de thèse comme rapporteur.*

*Malgré ses nombreuses occupations, Madame **Rajae GUEMMOUH**, professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz a bien voulu se déplacer depuis la ville de Fès pour siéger à ce jury. Elle a également accepté d'être rapporteur de cette thèse. Merci d'avoir consacré du temps à examiner mon travail. Merci pour votre bienveillance et pour l'accueil chaleureux que vous m'avez montré au sien de votre laboratoire. Qu'elle me soit permise de lui exprimer toute ma reconnaissance.*

*Pour la même occasion, il m'est particulièrement agréable d'adresser mes remerciements les plus vifs à Madame **Nard BENNAS**, professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des sciences de Tétouan, qui a bien voulu me faire profiter de sa grande expérience en jugeant ce travail et acceptant de siéger dans ce jury de thèse comme examinatrice. Merci honorable professeur de bien vouloir m'accueillir au sein de votre laboratoire et d'avoir contribuer aux identifications taxonomiques avec la plus grande modestie et la plus grande gentillesse qui soit.*

*Tous mes respects et ma gratitude vont à Madame **Majida El ALAMI El MOUTAOUAKIL**, professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des sciences de Tétouan. Je ne pourrais jamais oublier votre aide précieuse, votre disponibilité, votre générosité, votre gentillesse lors de mon stage. A travers ce mémoire, Je vous exprime madame ma très haute considération et ma profonde gratitude en acceptant de juger ce travail et en être l'examinatrice.*

*J'adresse toute ma gratitude à Monsieur **Mohamed EL GHAMIZI**, professeur de l'enseignement supérieur de l'Université Qadi Ayyad pour l'identification de la faune malacologique et qui a eu l'amabilité de m'accepter au sein de son laboratoire, lors de mon stage au Muséum de l'Histoire Naturelle de Marrakech. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.*

*Mes sincères remerciements conjugués à un grand respect aux professeurs **Fatima FADIL**, professeur à la faculté des Sciences et Technologie de Fès pour l'identification des Crustacés Amphipodes, Madame **Kaoutar KETTANI** professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des sciences de Tétouan pour l'identification des Diptères et Monsieur **Mohamed EL HAISSOUFI** pour l'identification des Odonates.*

*Je tiens également à remercier les docteurs **kamilia HAJJI** pour l'identification des Trichoptères, **Ouassima L'MOHDI** pour l'identification des Hémiptères aquatique et **Oussama KHADRI** pour l'identification des Ephéméroptères.*

*Mes remerciements s'adressent également à Madame **Altaf ALAOUI** et Monsieur **Bouabid BADAOU** professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, pour leur contribution à la réalisation des analyses statistiques via le logiciel Studio-R.*

*Mes remerciements les plus sincères vont à Monsieur **Abdelkader CHAHLAOUI** professeur et responsable du laboratoire de l'Environnement et Santé à la Faculté des Sciences*

de Meknès, qui a bien voulu m'accepter au sein du laboratoire et m'a fourni toutes l'aide nécessaire afin que les identifications effectuées se déroulent dans des conditions optimales. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Les mots les plus simples étant les plus forts, j'adresse toute mon affection, mon amour sans limite et ma gratitude éternelle à mes chers parents de m'avoir inculqué les bonnes valeurs, la volonté, le respect et le dévouement. Mes parents vous m'avez soutenu, vous m'avez aimé, je ne fais que suivre votre exemple. Très humblement, je voudrais vous dire merci pour votre soutien pendant mes périodes de doutes et pour vos encouragements incessants.

Chère sœur, chers amis et chers collègues, vous êtes les amies fidèles et les confidents, votre amour m'a aidée à bien surmonter les épreuves difficiles. Aujourd'hui je sais que la vie sans vous n'aurait pas eu le même goût. Je tiens à vous remercier pour votre soutien et vos encouragements tout au long de ma thèse.

Je ne saurais dresser la liste complète de tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cette thèse, mais à tous je dis merci !!!

RESUME

Les effets des changements globaux (changement climatique, pollution, impacts humains...) sur la biodiversité à l'échelle du globe sont maintenant sans équivoque. Parmi les écosystèmes affectés, les cours d'eau sont particulièrement vulnérables aux fluctuations du climat. Un nombre croissant d'études long-terme témoigne ainsi du réchauffement significatif (i.e. échauffements plus précoces, plus longs et maxima plus élevés) et de la saisonnalité exacerbée des régimes hydrauliques (i.e. crues et étiages plus fréquents) de nombreuses rivières dans le monde, tendance qui s'est accentuée au cours des dernières décennies. Les modifications de structure et de composition des communautés aquatiques constituent alors un signal intégrateur des réponses écologiques à ces changements environnementaux.

Le fonctionnement et la durabilité des écosystèmes lotiques dépendent en grande partie de leurs régimes thermique et hydrologique. En région méditerranéenne, ces facteurs sont très sensibles au climat et à l'anthropisation qui ont subi de profonds changements au cours des dernières décennies. Ayant constaté l'assèchement de nombreux cours d'eau permanents au Maroc, nous avons lancé en 2015-2017 une nouvelle étude dans le but d'analyser et d'évaluer les changements abiotiques et biotique dans le Haut Sebou (Moyen Atlas, Maroc), depuis une ancienne étude réalisée en 1981-1985 (Dakki 1987). En effet, au cours des dernières décennies, ce fleuve a été exposé à de multiples perturbations, dues à la fois à des sécheresses récurrentes et à des pressions humaines. Pour décrire et évaluer ces changements, nous avons utilisé 16 variables abiotiques qui ont été mesurées dans 11 écosystèmes le long du cours central de la rivière. La comparaison a été principalement réalisée à l'aide de l'analyse factorielle des correspondances multiples (MFCA), à travers une matrice ternaire " variables $\times$ stations $\times$ temps ", regroupant les anciennes et les nouvelles données dans la même structure mésologique. L'analyse a révélé l'ordre classique amont-aval des écosystèmes étudiés, où la plupart de ces écosystèmes ont enregistré une migration vers l'aval depuis leur position de 1981.

Les communautés d'invertébrés des eaux courantes sont connues pour être très sensibles aux perturbations environnementales et présentent donc un grand intérêt pour la bioévaluation. L'objectif de cette étude est de révéler aussi les tendances évolutives de ces communautés à travers la description et l'interprétation des changements subis par ces populations benthiques dans le fleuve étudié entre deux périodes (1981-1985 et 2015-2017). Ces changements sont principalement attestés par une forte diminution de la richesse spécifique, indiquant la disparition de plusieurs espèces rhéophiles et/ou sensibles à la pollution, notamment chez les Trichoptères et Plécoptères, et la régression de certains taxons face à la prolifération de formes thermophiles et/ou tolérantes à la pollution. La fusion des données des deux périodes, via une matrice ternaire 'espèces $\times$ stations $\times$ périodes' traitée par l'Analyse des Correspondances, a révélé l'ordination classique amont-aval des eaux étudiées, où la majorité des espèces enregistrent une migration vers l'aval par le temps. Dans cette perspective évolutive, cette étude fait intervenir des facteurs hydrologiques et thermiques, qui montrent principalement une réduction du débit et une légère augmentation de la température et de la minéralisation de l'eau, tant en été qu'en hiver. On suppose que les prélèvements d'eau, notamment pour l'irrigation, ainsi que les sécheresses climatiques dans la région, sont responsables de ces changements biotiques et abiotiques.

La projection des abondances maximales des espèces maintenues entre ces deux périodes d'études sur la structure mésologique combinée obtenue par l'AFCM, a permis de renseigner sur l'évolution de leur exigences écologiques où la majorité de ces espèces sont thermophiles inféodées aux cours moyens et inférieurs ; et a mis en évidence la remontée en altitude de certaines espèces en réponse aux réchauffements climatiques et l'abondances des espèces lénotophiles suite au ralentissement du courant et à la créations des nouveaux biotopes.

Mots clés : Haut Sebou, régimes thermiques et hydrologiques, variables abiotiques, communautés benthiques, richesse spécifique, écologie, sécheresses récurrentes, anthropisation.

ABSTRACT

The effects of global changes (climate change, pollution, human impacts, etc.) on biodiversity on a global scale are now unequivocal. Among the ecosystems affected, rivers are particularly vulnerable to climate fluctuations. A growing number of long-term studies show significant warming (i.e. earlier and longer warm-ups and higher maxima) and exacerbated seasonality of hydraulic regimes (i.e. more frequent floods and low flows) in many rivers around the world, a trend that has become more pronounced over the last three decades. Changes in the structure and composition of aquatic communities then constitute an integrating signal of ecological responses to these environmental changes.

The functioning and sustainability of lotic ecosystems depend to a large extent on their thermal and hydrological regimes. In the Mediterranean region, these factors are very sensitive to climate and anthropization, which have undergone deep changes over the last decades. Having noted the drying up of many permanent streams in Morocco, we launched in 2015-2017 a new study with the aim of analyzing and evaluating abiotic and biotic changes in the Upper Sebou (Middle Atlas, Morocco), since a former study carried out in 1981-1985 (Dakki 1987). Indeed, over the last decades, this river has been exposed to multiple disturbances, due to both recurrent droughts and human pressures. To describe and assess these changes, we used 16 abiotic variables that were measured in 11 ecosystems along the central course of the river. The comparison was mainly carried out using the multiple factorial correspondence analysis (MFCA), through a ternary matrix "variables $\times$ stations $\times$ time", gathering old and new data in the same mesological structure. The analysis revealed the classical upstream-downstream ordering of the studied ecosystems, where most of the ecosystems recorded a downstream migration from their 1981 position.

The invertebrate communities of running waters are known to be highly sensitive to environmental disturbances and have, therefore, high interest in bio assessment. The objective of this study is also to reveal the evolutionary trends of these communities through the description and interpretation of the changes undergone by these benthic populations in the river studied between two periods (1981-1985 and 2015-2017). These changes are mainly attested by a strong decrease in specific richness, indicating the disappearance of several rheophilic and/or pollution-sensitive species, especially among Plecoptera, and the regression of some taxa against the proliferation of thermophilic and/or pollution-tolerant forms. The data melting of both periods, via a ternary matrix 'species $\times$ stations $\times$ periods' treated by the Correspondence Analysis, revealed the classical upstream downstream ordination of the studied waters, where the majority of the species register a downstream migration by the time. In this evolutionary perspective, the study involves hydrological and thermal factors, which show mainly a reduction in flow and a slight increase in temperature and water mineralization, both in summer and winter. It is assumed that water withdrawals, especially for irrigation, together with climatic droughts in the region, are responsible for these biotic and abiotic changes.

The projection of the maximum abundances of the species maintained between these two study periods on the combined mesological structure obtained by the FCA, made it possible to provide information on the evolution of their ecological requirements where the majority of these species are thermophilic and inferior to the middle and lower rivers ; and highlighted the rise in altitude of certain species in response to climatic warming and the abundance of the lenitophilic species following the slowing down of the current and the creation of the new biotopes.

Keywords: Upper Sebou, thermal and hydrological regimes, abiotic variables, benthic communities, species richness, ecology, recurrent droughts, anthropization.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	II
RESUME	V
TABLE DES MATIERES.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	XI
LISTE DES TABLEAUX	XIV
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR L’AIR DE L’ETUDE	7
I. Présentation du Moyen Atlas septentrional	7
1. Le Causse Moyen Atlasique	7
2. Le Moyen Atlas plissé	8
II. Climat général du Moyen Atlas	8
III. Le bassin versant du Sebou.....	9
1. Présentation du bassin versant Haut Sebou	9
2. Cadre géologique du Haut Sebou	10
2.1. Contexte morphostructural	10
2.2. Aperçu Litho-Stratigraphique	10
2.3. Substratum et perméabilité des formations géologiques	13
3. Le réseau hydrographique	13
3.1. Le cours principal (Guigou-Sebou)	14
3.2. Densité de drainage.....	15
4. Contexte climatique du Haut Sebou	15
4.1. Pluviométrie.....	15
4.2. Température.....	16
4.3. Etages bioclimatiques	16
4.4. Sécheresse hydrologique du Moyen Atlas au cours des 30 dernières années.....	17
5. Contexte humain et anthropisation dans le Haut Sebou	19
5.1. Aperçu historique	20
5.2. Evolution de la population générale	20
6. Occupation des sols	21
7. Impact anthropique	24
7.1. Système d’irrigation	24
7.2. Elevage	25
8. Conclusion	26
CHAPITRE II : MILIEU D’ETUDE, MATERIEL ET METHODES.....	28
I. Milieu d’étude.....	28
1. Approche générale	28
2. Choix des stations.....	28
3. Description des stations d’échantillonnage	29
3.1. Oued Guigou.....	29
3.2. Oued Sebou.....	37
II. Matériels et méthodes	40
1. Qualité physico-chimique et mésologique des cours d’eau étudiés	40
1.1. Périodicité des prélèvements	40
1.2. Conception expérimentale	40
1.3. Données mésologiques	41
1.4. Prélèvement de l’eau et l’analyse de différents paramètres.....	42

2. Matériel biologique.....	43
2.1. Techniques de prélèvement	44
2.2. Conservation dans l'alcool	45
2.3. Tri et identification	45
3. Analyses statistiques.....	46
3.1. Test de Wilcoxon.....	46
3.2. Analyses multivariées.....	46
3.2.1. Analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM)	46
3.2.2. Analyse factorielle des correspondances (AFC).....	47
3.3. Traitement des données faunistiques	47
3.3.1. Analyse globale du peuplement.....	47
3.3.2. Détermination de l'indice EPT	50
3.3.3. Indices de diversité	51
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION : ETUDE MESOLOGIQUE.....	55
I. Résultats.....	55
1. Variabilités spatio-temporelles des paramètres mésologiques structurant la typologie du Haut Sebou.....	55
1.1. Paramètres Morpho-dynamiques	55
1.1.1. Altitude et Pente	55
1.1.2. Largeur moyenne, Profondeur et Section mouillée	56
1.1.3. Temporalité et perturbations du Débit.....	57
1.1.4. Vitesse moyenne du courant.....	59
1.2. Substrats.....	60
1.2.1. Substrat minéral.....	60
1.2.2. Substrat végétal.....	60
1.3. Paramètres thermiques.....	61
1.4. Paramètres physico-chimiques	64
1.4.1. Conductivité électrique à 20°C.....	65
2. Autres paramètres caractérisant la nature des eaux du Haut Sebou mesurés en 2015-17	67
2.1. pH	67
2.2. Total des substances dissoutes (SDT).....	68
2.3. Salinité.....	68
2.4. Résistivité électrique.....	68
2.5. Matière en suspension (MES).....	69
2.6. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	69
2.7. Demande chimique en oxygène (DCO).....	70
2.8. Nitrates (NO ₃ ⁻)	70
3. Aperçu des modifications apportées aux descripteurs	71
3.1. Test de Wilcoxon.....	71
3.2. Evolution du contexte environnemental	71
4. Etude typologique du Haut Sebou entre 1981-85 et 2015 -17.....	73
4.1. Changements de structures mésologiques du cours central du haut Sebou	73
4.2. Structure mésologique du cours central en 1981-85.....	73
4.3. Structure mésologique du cours central en 2015-17.....	75
4.4. Structure combinant les données anciennes et nouvelles	78
II. Discussion.....	85
CHAPITRE IV : ANALYSE GLOBALE ET STRUCTURE DU PEUPLEMEMNT DU HAUT SEBOU.....	89
I. Introduction	89
II. Résultat	89
1. Inventaire commenté de la faune benthique globale recensée en 2015-2017.....	89

1.1. EPHEMEROPTERES	90
1.2. PLECOPTERES	96
1.3. TRICHOPTERES	96
1.4. ODONATES	99
1.5. COLEOPTERES	100
1.6. HEMIPTERES	109
1.7. CRUSTACES	112
1.8. MOLLUSQUES	114
2. Analyse Biogéographique	120
3. Composition globale de la faune recensée du secteur Haut Sebou	123
4. Richesse taxonomique du peuplement benthique du Haut Sebou	124
5. Analyse qualitative et quantitative du peuplement benthique du Haut Sebou	125
5.1. Ephéméroptères	125
5.2. Plécoptères	127
5.3. Trichoptères	127
5.4. Odonates	128
5.5. Coléoptères	129
5.6. Hémiptères	131
5.7. Crustacés	132
5.8. Mollusques	133
5.8.1. Gastéropodes	133
5.8.2. Bivalves	135
5.9. Autres Ordres	136
5.9.1. Diptères	136
5.9.2. Planaires	138
5.9.3. Oligochètes	138
5.9.4. Achètes	138
III. Analyse comparative de la diversité des Ephéméroptères, Trichoptères, Plécoptères et Coléoptères Elmidae du Haut Sebou entre deux périodes d'étude (1981-85) et (2015-17)	141
1. Variation spatio-temporelle de la diversité du Haut Sebou entre 1981 et 2017	141
1.1. Abondance des espèces	141
1.2. Fréquence des espèces	143
2. Indice EPT	144
3. Indices de diversité	146
3.1. Variation spatio-temporelle de la diversité	147
3.1.1. Indice de Shannon-Weaver (H')	147
3.1.2. Indice d'Equitabilité de Pielou (E')	148
3.1.3. Indice de Simpson (D')	149
4. Discussion	149
CHAPITRE V : ETUDE BIOTYPOLOGIQUE DES COURS D'EAU DU HAUT SEBOU	152
I. Introduction	152
II. Résultats	153
1. Evolution du peuplement benthique du Haut Sebou sur un profil temporel de plus de 35 ans : effet des changements globaux	153
2. Réponses structurelles des peuplements benthiques aux changements long-terme des conditions abiotiques du Haut Sebou	153
2.1. Pertes en diversité taxonomique	154
2.2. Espèces disparues/ apparues dans le Haut Sebou	155
2.3. Perte en habitats aquatiques, influence sur les peuplements	157

3. Etude biotypologique des cours d'eau du Haut Sebou	158
3.1. Structure biotypologique du Haut Sebou étudiée en 1981-85	159
3.2. Caractéristiques des assemblages originaux (1981-1985)	161
3.3. Structure biotypologique du Haut Sebou en 2015-17	165
3.4. Caractéristiques des assemblages modifiés (2015-2017)	167
3.5. Biotypologie combinée du Haut Sebou	171
3.6. Changements de peuplements révélés par la structure biotypologique	172
III. Discussion	173
CHAPITRE VI : AUTOECOLOGIE ET ECOLOGIE COMPAREE DU PEUPLEMENT DU HAUT SEBOU	178
I. Introduction	178
II. Analyse graphique de l'évolution de la répartition des espèces	179
1. Trichoptères	179
1.1. Famille des Rhyacophilidae	179
1.2. Famille des Glossosomatidae	179
1.3. Famille des Hydropsychidae	180
1.4. Famille des Limnephilidae	182
2. Ephéméroptères	182
2.1. Famille des Baetidae	182
2.2. Famille des Oligoneuriidae	185
2.3. Famille des Heptageniidae	186
2.4. Famille des Caenidae	187
2.5. Famille des Leptophlebiidae	188
2.6. Famille des Polymitarcyidae	188
3. Coléoptères	191
3.1. Famille des Elmidae	191
4. Plécoptères	192
4.1. Famille des Nemouridae	192
III. Discussion	193
CONCLUSION GENERALE	197
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	202
ANNEXES	227

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Coupe géologique du Moyen Atlas septentrional (source : Atlas du bassin du Sebou, 1970).	7
Figure 2. Apport des eaux superficielles par bassin versant au Maroc (source, Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement-Département de l'Eau).	9
Figure 3. Carte structurale du bassin versant Haut Sebou. Source (Nejjari 2002) d'après Terminer & Duber 1933, Dresch et al. 1952, Mouhdi 1952, Colo 1961, Martin 1981.	11
Figure 4. Carte du réseau hydrographique du Haut Sebou.	15
Figure 5. CUSUM des modules annuels à la station d'Azzaba 1957/58-2009/2010 (Source, Qadem 2015).	18
Figure 6. Evolution de la population du Haut Sebou (RGPH : 1969, 1971, 1982, 1994, 2004 et 2014).	21
Figure 7. Répartition du territoire Haut Sebou entre différents usages.	22
Figure 8. Répartition des différentes variables d'occupation du sol.	22
Figure 9. Carte d'occupation des sols du Haut Sebou. (Source, Qadem 2015).	23
Figure 10. Groupements végétaux dans le bassin du Haut Sebou. (Source, Qadem 2015).	24
Figure 11. Localisation géographique des stations d'échantillonnage du Haut Sebou.	29
Figure 12. Photos de l'oued Guigou au niveau de la source Aghbalou Aberchane (Cliché A. Qninba juillet 2016).	31
Figure 13. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station Foug Khnag (Cliché M. Zerrouk avril 2016).	31
Figure 14. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station sous le pont de Timahdite (Cliché O. Himmi avril 2016).	32
Figure 15. Photos de l'oued Guigou au niveau de la source Tit Zill (Cliché O. Himmi décembre 2015).	33
Figure 16. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station sous le pont d'Ait Hamza (Cliché A. Qninba juillet 2016).	34
Figure 17. Photos de l'oued Guigou au niveau de la source Skhounate (Cliché A. Qninba juillet 2016).	35
Figure 18. Photos de l'oued Guigou à l'amont de sa confluence avec oued El Atchane (Cliché A. Qninba juillet 2016).	35
Figure 19. Photos de la source Ain Tadoute (Cliché A. Qninba juillet 2016).	36
Figure 20. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station sous le pont de Skoura (Cliché A. Qninba juillet 2016).	37
Figure 21. Photos de l'oued Sebou au niveau de la station sous le pont d'Azzaba (Cliché O. Himmi juillet 2016).	38
Figure 22. Photos de l'oued Sebou au niveau de la station Masdoura (Cliché O. Himmi juillet 2016).	39
Figure 23. Photos de l'oued Sebou à l'amont de sa confluence avec oued Lihoudi (Cliché O. Himmi juillet 2016).	40
Figure 24. Variations spatiale des variables altitude (à gauche) et pente (à droite) des stations étudiées dans le Haut Sebou.	57
Figure 25. Variations spatiales des variables largeur moyenne et section mouillée entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.	58
Figure 26. Variations spatiales des variables débit et vitesse moyenne entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.	59
Figure 27. Variations spatiales de la composante substrat minéral entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.	61
Figure 28. Variations spatiales de la composante végétale entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.	62
Figure 29. Variations spatiales de la composante thermique entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.	63
Figure 30. Variations spatiales des variables l'oxygène dissous et la conductivité électrique entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.	66
Figure 31. Variations spatiales des variables salinité, SDT, pH et résistivité électrique dans les stations d'étude du Haut Sebou.	69

Figure 32. Variations spatiales des variables MES, DBO ₅ , DCO et NO ₃ ⁻ dans les stations du Haut Sebou.	71
Figure 33. Structure mésologique des eaux lotiques du Haut Sebou étudiées en 1981-85. Répartitions des nuages-stations sur le plan F1-F2 de l'AFCM.	75
Figure 34. Interprétation de la structure mésologique 1981-1985 du haut Sebou : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.	76
Figure 35. Structure mésologique des eaux lotiques du Haut Sebou étudiées en 2015-17. Répartitions nuages-stations sur le plan F1-F2 de l'AFCM.	78
Figure 36. Interprétation de la structure mésologique 2015-2017 du haut Sebou : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.	79
Figure 37. Plan factoriel F1-F2 de l'AFCM de l'analyse combinée des conditions mésologiques 1981-85 et 2015-17.	82
Figure 38. Interprétation de la structure mésologique du cours central du Haut Sebou dans le plan F1-F2 d'une AFCM combinant les données des deux périodes 1981-1985 et 2015-2017 : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.	83
Figure 39. Composition chorologique globale de la faune benthique du Haut Sebou.	121
Figure 40. Composition de différents corotypes de la faune du Haut Sebou. A) corotype Méditerranéen. B) corotype large distribution. C) corotype Paléarctique.	122
Figure 41. Nombre de taxons recensés dans le Haut Sebou par groupe zoologique.	123
Figure 42. Représentation de la faune globale recensée du Haut Sebou.	124
Figure 43. Distribution spatiale de la richesse taxonomique de la faune benthique Haut Sebou.	125
Figure 44. Abondance des Ephéméroptères récoltés dans les stations étudiées.	126
Figure 45. Distribution spatiale des Ephéméroptères récoltés dans les stations étudiées.	126
Figure 46. Abondance des Trichoptères récoltés dans les stations étudiées.	128
Figure 47. Distribution spatiale des Trichoptères récoltés dans les stations étudiées.	128
Figure 48. Abondance des Odonates récoltés dans les stations étudiées.	129
Figure 49. Distribution spatiale des Odonates récoltés dans les stations étudiées.	129
Figure 50. Abondance des Coléoptères récoltés dans les stations étudiées.	130
Figure 51. Distribution spatiale des Coléoptères récoltés dans les stations étudiées.	131
Figure 52. Abondance des Hémiptères récoltés dans les stations étudiées.	132
Figure 53. Distribution spatiale des Hémiptères récoltés dans les stations étudiées.	132
Figure 54. Abondance des Crustacés récoltés dans les stations étudiées.	133
Figure 55. Distribution spatiale des Crustacés dans les stations étudiées.	133
Figure 56. Abondance des Gastéropodes récoltés dans les stations étudiées.	134
Figure 57. Distribution spatiale des Gastéropodes récoltés dans les stations étudiées.	135
Figure 58. Abondance des Bivalves récoltés dans les stations étudiées.	135
Figure 59. Distribution spatiale des Bivalves dans les stations étudiées.	136
Figure 60. Distribution spatiale des Diptères récoltés dans les stations étudiées.	137
Figure 61. Variation spatio-temporelle de l'indice de Shannon (H') au niveau des stations d'étude durant les périodes 1981-85 et 2015-17.	148
Figure 62. Variation spatio-temporelle de l'indice de Piélou (E') au niveau des stations d'étude durant les périodes 1981-85 et 2015-17.	148
Figure 63. Variation spatio-temporelle de l'indice de Simpson (D') au niveau des stations d'étude durant les périodes 1981-85 et 2015-17.	149
Figure 64. Représentativité de la faune benthique du Haut Sebou pour les deux périodes d'étude (1981-85 et 2015-17).	154
Figure 65. Richesse spécifique au niveau des stations étudiées pour les deux périodes (1981-85) et (2015-17).	155

Figure 66. Richesse spécifique et taux de perte en Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères et Coléoptères Elmidae dans les stations d'étude entre (1981-85) et (2015-17).....	156
Figure 67. Typologie des peuplements du Haut Sebou en 1981-85 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC.....	161
Figure 68. Typologie des peuplements du Haut Sebou en 1981-85 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC (Les sources AA, TZ et AT projetées en éléments supplémentaires).....	163
Figure 69. Interprétation de la structure biotypologique 1981-85 : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.....	164
Figure 70. Typologie des peuplements du Haut Sebou en 2015-17 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC.....	167
Figure 71. Interprétation de la structure biotypologique 2015-17 : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.....	169
Figure 72. Typologie des peuplements du Haut Sebou combinant les données de 1981-85 et 2015-17 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC.	171
Figure 73. Typologie des peuplements du Haut Sebou combinant les données de 1981-85 et 2015-17 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuage-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC (Les sources AA, TZ et AT projetées en éléments supplémentaire.	172
Figure 74. Interprétation de la structure biotypologique combinée : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.....	174
Figure 75. Evolution de la répartition des abondances des espèces Trichoptères sur le plan F1-F2 de la mésologie combinée du Haut Sebou entre 1981-85 et 2015-17.....	181
Figure 76. Evolution de la répartition des abondances des espèces d'Ephéméroptères sur le plan F1-F2 de la mésologie combinée du Haut Sebou 1981-85 et 2015-17.....	189
Figure 77. Evolution de la répartition des abondances des espèces de Coléoptères et Plécoptères sur le plan F1-F2 de la mésologie combinée du Haut Sebou entre 1981-85 et 2015-17.....	192

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Découpage de la chronique des débits (1957/58-2009/2010) du Haut Sebou à la station d'Azzaba en périodes homogènes (Qadem 2015).....	18
Tableau 2. Description des stations étudiées du Haut Sebou. OCS : oued cours supérieur, OCM : oued cours moyen, OCI : oued cours inférieur.....	30
Tableau 3. Estimation de la vitesse du courant selon l'échelle de Berg.	41
Tableau 4. Définition des différentes modalités des descripteurs abiotiques des stations étudiées.	47
Tableau 5. Seuils pour la détermination des bioclassifications à l'aide des critères EPT	50
Tableau 6. Valeurs des paramètres mesurés sur les différentes stations étudiées du Haut Sebou.	56
Tableau 7. Mesures des paramètres caractérisant la nature des eaux et la pollution des stations étudiées dans le Haut Sebou en 2015-17.....	67
Tableau 8. Résultats du test non paramétrique de Wilcoxon appliqué aux variables environnementales mesurées en 1981-85 et 2015-17 (***) p-value<0.05 ; * p-value>0.05).	72
Tableau 9. Matrice des données utilisées dans la typologie mésologique en 1981-85.	74
Tableau 10. Matrice des données utilisées dans l'analyse mésologique 2015-17.	75
Tableau 11. Matrice des données utilisées dans l'analyse mésologique combinée entre 1981-85 et 2015-17.	81
Tableau 12. Nombre de Familles et d'espèces de la faune recensée dans les stations Haut Sebou.....	123
Tableau 13. Distribution spatiale des Diptères récoltés dans les stations étudiées.	137
Tableau 14. Distribution spatiale des Planaires, Oligochètes et Achètes dans les stations étudiées.	139
Tableau 15. Le pourcentage que présente la diversité spécifique des espèces de Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Coléoptères, Odonates et Hémiptères dans le Haut Sebou, par rapport à celle du Maroc.....	139
Tableau 16. Effectifs, abondance relative AR% et fréquence F% des espèces recensées en 1981-85 et en 2015-17 dans le Haut Sebou.....	142
Tableau 17. Classement des espèces en fonction de leur fréquence entre les deux périodes d'étude 1981-85 et 2015-17.	144
Tableau 18. Estimation de l'indice EPT des différentes stations prospectées au cours des deux périodes d'étude.	145
Tableau 19. Valeurs des indices de diversité calculées pour les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.	146
Tableau 20. Valeurs des indices de diversité calculés pour chaque station du Haut Sebou étudiée en 1981-85 et 2015-17.	147
Tableau 21. Estimation des pertes en diversité des peuplements benthiques du Haut Sebou entre 1981-85 et 2015-17.	154
Tableau 22. Matrice des données pour l'établissement d'une biotypologie globale du Haut Sebou 1981-85 (chaque espèce est représentée dans chaque station par sa densité maximale rapportée à 6 prélèvements de 250 cm ² , soit à une surface de 0,15 m ²).....	160
Tableau 23. Matrice des données pour l'établissement d'une biotypologie globale du Haut Sebou 2015-17 (chaque espèce est représentée dans chaque station par sa densité maximale rapportée à 6 prélèvements de 250 cm ² , soit à une surface de 0,15 m ²).....	166
Tableau 24. Limites des classes d'abondance utilisées dans l'analyse de la structure spatiale.	179

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les écosystèmes naturels et particulièrement ceux des eaux continentales ont des fonctions multiples et offrent à la société humaine un large éventail de bienfaits tels que, l'alimentation, l'eau potable et l'eau pour l'irrigation, l'énergie, et de nombreux autres bénéfices. Ce sont des complexes d'écosystèmes productifs de grandes valeurs écologiques, particulièrement les eaux de surfaces qui interviennent dans l'alimentation des nappes phréatiques et participent à l'épuration des eaux, la régulation des débits, l'absorption des crues et au maintien de l'équilibre hydro sédimentaire des réseaux hydrographiques (Dakki 1997). Ces écosystèmes constituent, aussi, des réservoirs précieux de diversité biologique d'une valeur inestimable qui est malheureusement négligée par les décideurs, les gestionnaires et la population au détriment de leurs valeurs socio-économiques. Cette diversité biologique est soumise à de véritables menaces environnementales à une échelle globale (Revenga & Kura 2003, Lévêque et al. 2005, Dudgeon et al. 2006).

Actuellement, il est largement admis que les changements environnementaux ou globaux, dont le réchauffement climatique, l'altération de la composition chimique de l'eau, l'anthropisation, la pollution naturelle ou artificielle..., affectent les processus fondamentaux du fonctionnement des écosystèmes (Duarte et al. 2006) et contribuent à la modification du modèle spatial et temporel de la structure des communautés benthiques (Scrimgeour et al. 1994). Les régimes thermiques et hydrologiques des rivières sont fortement influencés par les variations climatiques et donc potentiellement par le réchauffement climatique (Whitehead et al. 2009). A l'échelle du globe, les modèles hydroclimatiques de réchauffement prévoient une augmentation généralisée des températures de l'air et de l'eau et une variabilité croissante du débit des rivières, avec une réduction du débit en été et un risque accru de sécheresse (Webb 1996, Arnell 1999). Les données disponibles montrent déjà que les tendances au réchauffement sont observables dans les rivières sur une large zone géographique (Daufresne et al. 2004), avec des tendances particulièrement prononcées depuis 1976 (IPCC 2007).

Ces changements thermiques et hydrologiques des eaux courantes ont des conséquences écologiques profondes. La température de l'eau joue un rôle fondamental pour la survie, la croissance, le métabolisme, la phénologie et le comportement des organismes ainsi que dans les interactions biotiques (Durance & Ormerod 2010, Walther 2010, Wilby et al. 2010). La température affecte également la production primaire et la décomposition des litières, modifiant ainsi le budget et les flux énergétiques des rivières sur tout le continuum fluvial (Lecerf et al. 2007, Barlocher et al. 2008). Les variations de débit ont également des effets écologiques fondamentaux en régulant directement la diversité et l'abondance des assemblages biotiques et les conditions de l'habitat pour les organismes (Lake 2000, Brown et al. 2007, Dewson et al. 2007).

Ces changements sont amplifiés par les perturbations anthropiques ; une multitude de pressions s'exerce sur ces milieux et accentue encore leur sensibilité : perturbations physiques et modifications des régimes hydrologiques (assèchement des zones humides par pompage et irrigation pour l'agriculture, captages d'eau potable, barrages et digues pour la régulation des débits, production d'électricité, récréation, connexions et transferts d'eau entre bassins), surexploitation des ressources vivantes (pêche et aquaculture), pollutions multiples (rejets chimiques urbains et industriels sans traitement, pesticides) et eutrophisation. De plus, au-delà du simple cumul des effets individuels, l'ensemble de ces facteurs de perturbation peut

interagir de manière synergique et exacerber les impacts écologiques sur la biodiversité aquatique (Meyer et al. 1999, Allan et al. 2005, Dudgeon et al. 2006, Heino et al. 2009).

Les effets de ces changements globaux sur les écosystèmes lotiques peuvent être révélés à l'aide de descripteurs mésologiques (i.e. paramètres physico-chimiques) ou biologiques (i.e. taxons indicateurs, richesse taxonomique, abondance...). En effet, sur des périodes plus ou moins longues, les organismes sont considérés comme « des boîtes noires » ou une mémoire des états passés et présents du milieu. En revanche, les données chimiques varient rapidement au cours du temps et les résultats des analyses chimiques ne témoignent que de la composition de l'eau au moment de l'échantillonnage (Resh et al. 1996).

Les macroinvertébrés benthiques constituent les organismes les plus performants et les plus utilisés pour réaliser un écodiagnostic des milieux aquatiques (Cairns & Pratt 1993, Cranston et al. 1996, Resh et al. 1996). C'est un groupe taxonomique très hétérogène regroupant plusieurs phylums. Cette grande diversité de formes confère à ce groupe une grande diversité de réponses potentielles aux perturbations, ce qui fait de ce groupe un bon candidat pour la bioévaluation (Rosenberg & Resh 1993). Les changements de structure et de composition au sein des communautés sont considérés comme un signal intégrateur de l'ensemble des réponses écologiques possibles aux changements globaux et surtout climatiques qui agissent à différents niveaux d'organisation biologique. Depuis des perturbations physiologiques d'individus jusqu'à des modifications d'une communauté et de son fonctionnement, et ce par des extinctions locales ou/et des extensions de certaines espèces (Parmesan & Yohe 2003, Root et al. 2003).

Face au stress induit par ces perturbations et ce réchauffement, les individus ou les communautés peuvent soit s'acclimater aux nouvelles conditions, dans la limite de leurs tolérances physiologiques qui est fonction de leur plasticité phénotypique. En s'adaptant localement aux nouvelles conditions du milieu qui constitue un moyen de lutte actif contre le stress. Des études récentes ont ainsi mis en évidence des modifications génétiques héréditaires en réponse au changement climatique chez des populations animales telles que des Mammifères, des Oiseaux et des Insectes (Umina et al. 2005). Soit la fuir, qui constitue une autre alternative face à une agression, et plus particulièrement face aux perturbations environnementales, c'est le fait de quitter l'environnement responsable du stress pour un milieu plus « accueillant ». Ce phénomène se traduit localement par une extension géographique de l'aire de distribution des espèces dans les régions où les conditions sont devenues plus favorables aux populations et, au contraire, par une contraction dans les zones où les conditions sont devenues défavorables (Walther et al. 2002). De nombreuses études révèlent ainsi un patron global d'évolution des aires de répartition vers les pôles ou vers des altitudes plus élevées pour une large variété de taxons et de zones géographiques (Walther et al. 2002, Parmesan & Yohe 2003, Root et al. 2003, Hickling et al. 2006). C'est le cas notamment d'un certain nombre d'espèces d'Insectes, en particulier les papillons et les libellules (Hill et al. 2002, Wilson et al. 2005, Hickling et al. 2006).

Ainsi, un nombre croissant d'études récentes ont porté sur les conséquences des changements globaux et particulièrement ceux climatiques sur différents organismes d'eau douce, notamment le plancton (Elliott et al. 2006), les invertébrés (Hering et al. 2009) et les poissons (Buisson et al. 2008). L'un des principaux problèmes qui émerge de ce sujet de recherche est le besoin critique de longues séries chronologiques pour détecter les impacts écologiques des phénomènes opérant à grande échelle spatiale et sur de longues périodes (Durance & Ormerod 2009). Cependant, ces ensembles de données écologiques sont encore rares et peu documentés, malgré leur utilité précieuse pour évaluer les tendances écologiques,

en particulier lors de l'analyse d'assemblages de macroinvertébrés benthiques (Jackson & Fureder 2006). Par exemple, plusieurs travaux ont mis en évidence une corrélation claire entre les variations abiotiques induites par le changement climatique (p. ex., réchauffement, réduction des rejets, événements extrêmes) et les changements temporels dans les communautés d'invertébrés. De façon constante, ils ont montré des changements des espèces spécialisées et stenoeciques (c.-à-d. avec des fourchettes de tolérance étroites aux facteurs environnementaux) vers les espèces généralistes et euryoeciques (c.-à-d. avec des fourchettes de tolérance larges), en particulier en établissant un lien entre ces changements biologiques et les variations des conditions de l'habitat thermique et hydrologique (Daufresne et al. 2004, Haidekker & Hering 2008).

En effet, de nos jours, le suivi des écosystèmes est défini comme étant la surveillance d'un écosystème en utilisant la réponse des organismes vivants pour déterminer si cet environnement est favorable à leur survie (Cairns & Pratt 1993). Les programmes de biosurveillance sont donc généralement utilisés pour mesurer la réponse et le rétablissement des communautés aquatiques à la suite de perturbations anthropiques (Beak et al. 1973), protéger la biodiversité et améliorer la compréhension des relations entre les composantes physiques, chimiques et biologiques d'un écosystème (Hershey & Lamberti 2001). Durant ces dernières décennies, les outils d'évaluation ont connu un grand essor et sont basés essentiellement sur les préférences écologiques des organismes bioindicateurs d'eau douce (Graf et al. 2008). En termes de gestion préventive, la prise en compte des tendances passées est fondamentale et susceptible de documenter les trajectoires futures. Disposer d'un référentiel à long terme permet d'avoir des références pour anticiper l'avenir.

Les milieux d'eaux continentales marocains, n'échappent pas à ces changements globaux et particulièrement à l'influence humaine. Depuis de nombreux siècles, les populations du Maroc ont vécu en parfaite symbiose avec le milieu hydrique. Sachant tirer profit des années humides et s'accommodent durant les années de sécheresse en atténuant les impacts, grâce à un sens averti de l'économie dans l'utilisation de l'eau (Bouaicha & Benabdelfadel 2010). Toutefois, les conditions socio-économiques de l'utilisation de l'eau ont changé depuis les années 80. Ils ont subi et subissent encore une dégradation sévère, liée à une croissance démographique accélérée et à un développement urbanistique, industriel et agricole qui a engendré une forte demande humaine en eau et une augmentation démesurée du volume des déchets urbains (Nechad 2016, Zuedzang et al. 2021). Les impacts humains seraient responsables de la dégradation de plus de 50% des écosystèmes d'eau continentales marocains (Dakki 1997), qui souffrent en plus du stress hydrique causé par une sécheresse prolongée et récurrente que connaît dernièrement le pays avec une fréquence accrue lors des dernières décennies.

Une lecture complète de la littérature scientifique a révélé qu'aucun travail n'a été entrepris sur la surveillance hydroécologique des écosystèmes fluviaux à l'exception d'une étude intitulée « Évolution des communautés benthiques dans les sources du Moyen Atlas (Maroc) et leur relation avec le changement climatique » élaborée par Nechad et al. (2018). Pourtant, on constate partout des changements dans les populations de poissons et de macroinvertébrés en relation avec les effets du changement climatique et des activités anthropiques (Fayolle-Sanna et al. 2012, Khalanski et al. 2008). Dans cette étude, nous nous sommes penchés spécifiquement sur la question des effets à long terme relatifs aux changements globaux sur les communautés de macroinvertébrés benthiques, dans une grande rivière méditerranéenne à multiples contraintes. Le bassin versant Haut Sebou-Moyen Atlas était un cours d'eau candidat idéal pour analyser et comparer la dynamique de la faune benthique.

Notre objectif est de mettre en exergue, les éventuelles évolutions structurelles des peuplements du Haut Sebou et d'améliorer la compréhension des modifications long-terme, notamment par l'identification des taxons menacés et/ou disparus, l'observation des arrivées d'espèces, potentiellement invasives et l'analyse des variations des profils écologiques. De même, de déterminer les tendances environnementales responsables des changements écologiques observés et d'évaluer l'importance relative des changements globaux naturels et anthropiques, en ciblant plus particulièrement les paramètres mésologiques qui ont une plus grande contribution à ces changements. Il s'agit d'une étude comparative des variables environnementales et de la faune benthique recueillie vers les années 1981-1985, dans 11 stations réparties tout au long des oueds Guigou et Sebou et celles étudiées et récoltée dans les mêmes sites, plus de trente-quatre ans après (2015-2017).

Les résultats de cette étude devraient être une base de données intéressante, pour l'établissement d'un premier inventaire exhaustif et actualisé de la macrofaune benthique du bassin versant Haut Sebou. Ces données recueillies seraient aussi, un outil intéressant pour faire surgir certaines causes pouvant porter préjudice au patrimoine faunistique fluvial du Maroc. De telles réflexions pourront aider à la prise de décision ou le renforcement des mesures de conservation de ces écosystèmes dotés d'une valeur écologique, historique et humaine, aussi ancienne que l'histoire du Maroc.

Afin de présenter les éléments qui répondent à ces différents objectifs, le manuscrit se structure en 6 chapitres :

* Le premier chapitre est consacré à une analyse, en grande partie bibliographique, de l'environnement général de la région d'étude Haut Sebou-Moyen Atlas ; puis, à une exposition détaillée des caractéristiques général du bassin : géographique, géologique, hydrologique, démographique, climatique et l'anthropisation du milieu comme cadre particulier d'étude en se basant sur les différents travaux de recherche académiques effectués dans la région, notamment en hydrologie et en géologie. Nous présentons aussi l'importance historique et surtout la contribution de cette zone d'étude dans le dynamisme de la vie socio-économiques des populations riveraines.

* Le second chapitre présente les critères de choix et description des stations d'étude, la méthodologie adoptée pour le prélèvement des eaux et de la faune, les analyses physico-chimiques de l'eau et l'identification de la faune benthique. Ainsi que, l'exploitation statistique des données, en plus, le recours aux différents indices de biodiversité pour le traitement et la comparaison de la diversité du secteur étudié au cours du temps.

* Le troisième chapitre s'intéresse à l'évolution long-terme du contexte environnemental du Haut Sebou, par le biais de la caractérisation de la qualité physico-chimique détaillée des eaux. Ainsi que, l'élaboration des structures mésologiques des deux périodes d'études (1981-1985) et (2015-2017) et une typologie combinée via l'Analyse factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) avec une discussion des perturbations relevées.

* Le quatrième chapitre traite en détail la diversité biologique des Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères Elmidae et d'autres groupes benthiques, particulièrement de point de vue richesse, abondance et répartition spatiale. Nous terminons ce chapitre par une étude comparative de leur diversité taxonomique et leur variation spatiale avec celles étudiées en 1981-1985 par le biais des indices de diversité.

* Le cinquième chapitre vise à évaluer les réponses structurelles long-terme des communautés d'Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères Elmidae aux changements abiotiques constatés, à travers une étude biotypologique de ces peuplements recueillis en 1981-85 et ceux recueillis 34 ans plus tard à l'aide de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC). Ce chapitre examine aussi la relation entre cette faune et son milieu en identifiant l'impact des changements globaux (réchauffement climatique, anthropisation, pollution...) sur la répartition récente de nos communautés et l'évolution de leur structure spécifique. Il se termine par une discussion de nos résultats.

* Le sixième chapitre définit l'évolution des exigences écologiques des espèces rencontrées au cours des deux périodes d'étude. Nous étudions la distribution et le comportement de chaque espèce dans les différentes stations et ce, en projetant les densités spécifiques transformés en classe logarithmique sur la structure mésologique combinée. Ceci va nous aider à mettre en relief l'évolution de son degré de préférence vis-à-vis des biotopes qu'elle côtoie, puisque l'analyse biotypologique regroupe parfois des espèces à écologie différente ou des peuplements aux compositions faunistiques bien éloignées.

Enfin, le manuscrit se termine par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats issus des chapitres précédents, suivie par les perspectives de recherche qui en émergent, et une liste puissante de références bibliographiques bien fournie.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR L'AIR DE L'ETUDE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'AIR DE L'ETUDE

I. Présentation du Moyen Atlas septentrional

Le Moyen-Atlas, d'orientation Nord-Est, Sud-Ouest constitue l'élément central de l'ensemble montagneux marocain. Il occupe une position intermédiaire entre deux chaînes montagneuses, le Rif et le Haut Atlas, et constitue de ce fait un isthme qui sépare le Maroc occidental des hauts plateaux arides du Maroc oriental (Choubert & Marcais 1956, Michard 1976).

Il est limité au Nord par le couloir sud-rifain qui le sépare de la chaîne du Rif, au Sud par le Haut-Atlas et la Haute Moulouya, à l'Est par la vallée de la moyenne Moulouya et à l'Ouest par le Plateau central. La structure géologique du Moyen Atlas permet de le morceler dans ses grandes lignes en deux grandes parties (Fig. 1) :

- Le Causse moyen-atlasique ou Moyen Atlas tabulaire à l'Ouest.
- Le Moyen Atlas proprement dit ou Moyen Atlas Plissé à l'Est.

Ces deux parties sont séparées par une ligne structurale majeure appelé l'accident nord Moyen Atlasique (Colo 1961, Fedan 1988, Charrière 1990) composé de failles, de flexures et de chevauchements.

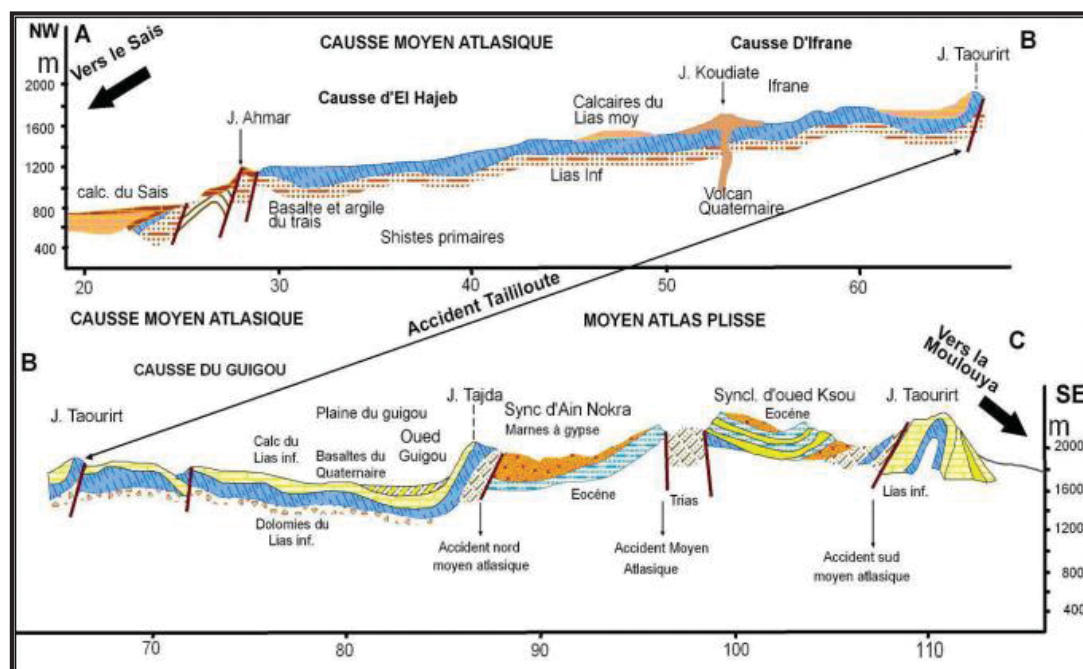


Figure 1. Coupe géologique du Moyen Atlas septentrional (source : Atlas du bassin du Sebou, 1970).

1. Le Causse Moyen Atlasique

Situé en rive gauche de l'oued Guigou-Sebou, le Causse moyen atlasique est constitué de roches dolomitiques et calcaires du Lias voilées, par endroits, par des épanchements volcaniques récents (Lepoutre et al. 1966). Il se caractérise par une structure tabulaire, plus faillée que plissée et par un relief monotone. Il s'agit de vastes plateaux karstiques diversement étagés, qui surplombent la plaine environnante du Sais à des altitudes dépassant 1000 mètres. Il montre également des failles transversales NW-SE qui ont joué aussi un rôle primordial dans l'évolution tectono-sédimentaire depuis le Trias jusqu'au Quaternaire (Hinaje

1991). Le Causse moyen atlasique offre des paysages classiques de hauts plateaux calcaires (Colo 1961, Lecompte 1986). Il est formé de trois plateaux : le plateau d'El Hajeb, le plateau d'Ifrane et le plateau de Guigou. Ce dernier abrite une nappe fluviolacustre et volcanique offrant d'énormes quantités d'eau. Il constitue la source principale de réserve en eau de la région.

Le contact entre le Causse et le Moyen Atlas plissé n'est pas partout très net. Il est très spectaculaire dans la partie centrale de la chaîne (région de Timahdite) où le Causse est dominé par un alignement de plis, tandis qu'au nord et au sud les contrastes s'estompent très rapidement (Lepoutre et al. 1966).

2. Le Moyen Atlas plissé

Il est situé en rive droite de l'oued Guigou-Sebou à l'Est de l'accident tectonique dénommé accident nord moyen atlasique. Il se caractérise par une lithologie très variée où prédominent les calcaires et les marnes où s'érigent les plus hauts sommets moyen-atlasiques, avec un point culminant 3490 m (Jbel Bou-Nasser). Ce grand massif montagneux est allongé dans le sens NE-SW, limité à l'Ouest par les massifs paléozoïques du Tazzeka et de Bsabis dans la partie septentrionale et par l'accident nord moyen atlasique qui le sépare des causses du moyen atlas tabulaire. Ce compartiment est organisé en rides anticlinales aigües séparées par de larges dépressions synclinales dont les terrains remontent au Lias et au Dogger. Ces rides sont généralement affectées par des séries de failles qui se manifestent localement par des chevauchements vers le NW et parfois vers le SE (Fedan 1988, Sabaoui 1998). De point de vue tectonique, ces rides correspondent à des rampes sur failles chevauchantes, présentant des anticlinaux et des synclinaux de rampes, avec des paliers épousant les strates argileuses triasiques (Hinaje 1991).

II. Climat général du Moyen Atlas

Le climat du Moyen Atlas septentrional est de type méditerranéen de montagne, caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été sec et chaud (Emberger 1955). Sous l'influence de l'Océan Atlantique, origine des principales perturbations atmosphériques, le climat de cette chaîne est marqué par une dissymétrie entre la façade atlantique (très arrosée) et la façade orientale (aride). Mais, vu son contexte globalement karstique, les écoulements de surface sont rares et souvent liés à des émergences hydro-karstiques (Akdim & Sary 2001). Les vallées orientales sont beaucoup plus sèches.

Le Moyen Atlas connaît des hivers rigoureux, avec un enneigement tenace au-dessus de 2000 à 2500 mètres (novembre-avril). La température est principalement influencée par l'altitude. Elle est plus basse par rapport aux plaines et aux plateaux avoisinants (plaine de Saïs et plateau de Moulouya) ayant des températures moyennes annuelles plus élevées : 17,8 °C à Fès et Meknès (altitude de 400 à 530 m) et 17,3 °C à Khénifra (750 m d'altitude). En général, la température est caractérisée non seulement par sa variabilité d'un point à l'autre, mais aussi par de grands écarts entre les températures maximales et minimales journalières, mensuelles ou annuelles (Baali 1998). La température moyenne annuelle sur l'ensemble des Causses est de 12 °C (Baali 1998).

Une tendance générale à l'assèchement du Moyen Atlas et ses grandes disparités hydriques internes ont été confirmées par les résultats d'études hydro-climatiques récentes (Akdim & Sary 2001, Nejari 2002, Obda 2004, AHBS-EC 2007). Les hydro-systèmes notamment karstiques, comme celui d'Ain Sebou-Timedrine, Ouamender sont importants dans ce domaine, vu leurs rôles hydrologiques régulateurs de l'écoulement sur les plans spatial et temporel.

III. Le bassin versant du Sebou

1. Présentation du bassin versant Haut Sebou

Le bassin du Sebou, s'étend sur une superficie d'environ 40 000 Km² (ses apports en eau s'élèvent à plus de 5 Milliards de m³/an). Il représente 6% de l'aire du territoire national et qui comprend globalement 30% des ressources en eau de surface du Maroc (Fig. 2) et 20 % des ressources en eaux souterraines. Il est drainé par l'oued Sebou qui prend naissance dans le Moyen-Atlas et parcourt environ 500 Km avant de rejoindre l'Océan Atlantique près de Kénitra (ABHS 2011).

Ce bassin est attribué au Moyen Atlas, souvent qualifié de « château d'eau » du Maroc du fait de ses précipitations importantes et de son nombre important de sources. Ainsi, le Moyen Atlas, par ses étendues de formations karstiques et ses précipitations régulières, permet la constitution d'un important réservoir souterrain et joue un rôle de rétention d'eau.

Le cycle hydrologique et les ressources en eau de ce bassin sont marqués par des apports en eau, connus par leur irrégularité dans le temps et dans l'espace. En effet, de point de vue morphométrique, le bassin versant du Sebou, forme une cuvette entre le Rif au Nord, le Moyen Atlas, la Meseta au Sud, le couloir Fès-Taza à l'Est et l'Océan Atlantique à l'Ouest. Il est caractérisé par des reliefs qui diffèrent du nord au sud. Ce contraste morphologique influence fortement la répartition des pluies et le régime d'écoulement des oueds. Ainsi, le Rif, au nord, avec ses versants abrupts et son important réseau hydrographique, fournit les plus grands volumes d'eau de type torrentiel.

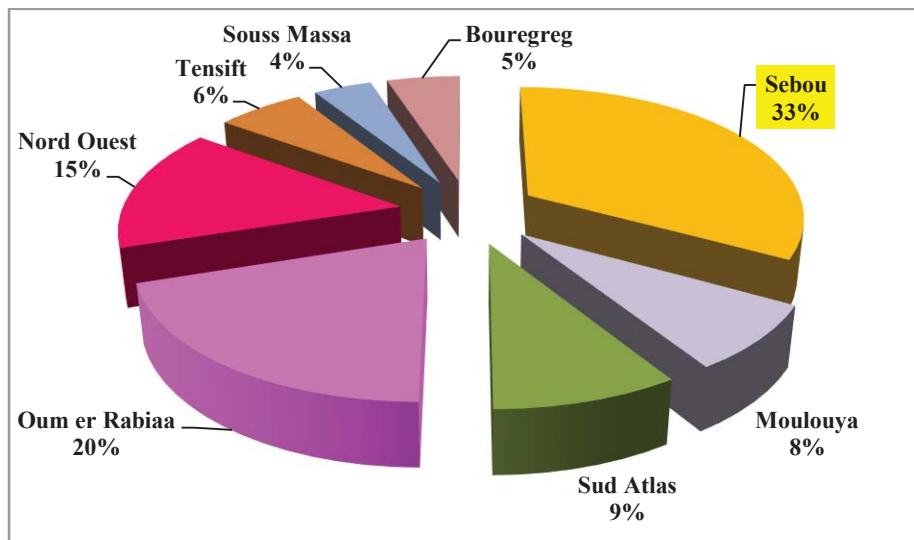


Figure 2. Apport des eaux superficielles par bassin versant au Maroc (source, Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement-Département de l'Eau).

A partir de 1980, à l'instar du Maroc, le bassin a connu un long épisode de sécheresse au cours duquel les écarts entre besoins et ressources en eau ont été très importants (ABHS 2007). Ainsi, de nombreux points de prises d'eau ont été installés le long des cours d'eau. Ce qui a contribué à une surexploitation des eaux de surface lors des années de sécheresse et à la construction des grands barrages aussi bien sur le Sebou que ses affluents.

En outre, le bassin du Sebou abrite une population humaine de l'ordre de 6,2 millions d'habitant. Il est l'un des plus riches bassins en eau et constitue l'une des régions les plus loties en terres irriguées et en

industries. En effet, il dispose d'une économie agricole et industrielle qui contribue de façon importante à l'économie nationale (ABHS 2011). Cependant, l'irrégularité des précipitations constitue un facteur limitant tout développement socio-économique de ce bassin. Le potentiel de terres cultivées s'élève à 1750000 ha. Les superficies irrigables sont estimées à 375000 ha, dont 269000 sont actuellement irriguées (ABHS 2011, Sanchez Navaro et al. 2017).

Le bassin amont, dont il est question dans ce travail, draine en année moyenne, à la station hydrométrique d'Azzaba, environ 10% des écoulements du Maroc sur une superficie de 4 677 Km². Il se situe entre 33° et 34° de latitude nord et entre 4° et 5° de longitude ouest au contact du Moyen Atlas tabulaire et du Moyen Atlas plissé. Sa position exposée au flux humide d'ouest dominant en fait donc un « château d'eau » à l'échelle du nord de l'Afrique. Il revêt donc un intérêt tout particulier pour le Maroc.

2. Cadre géologique du Haut Sebou

2.1. Contexte morphostructural

L'analyse de la structure géologique est fondamentale pour la compréhension du compartimentage des ensembles de reliefs (causses, jbel et cuvettes). Elle est également importante pour expliquer le comportement du substratum dans ses relations avec les écoulements de surface et souterraine. Nous rappelons le contexte géologique du bassin du Haut Sebou sur la base de nombreux travaux et notamment ceux de Terminer (1936), Colo (1961), Michard (1976), Martin (1981), Fedan (1988), les données de l'atlas du bassin du Sebou (1970), Sabaoui (1998), Nejari (2002), Obda (2004), Qadem (2015).

Le Haut Bassin du Sebou s'inscrit dans le Moyen Atlas marocain au contact du causse moyen atlasique au Nord et du Moyen Atlas plissé au Sud (Figs. 2 et 3).

D'une manière générale, les formations qui constituent le substratum du bassin du Sebou appartiennent à une puissante formation carbonatée du Secondaire et du Tertiaire. Très schématiquement l'oued Sebou s'inscrit dans trois contextes morphostructuraux (Fig. 3). Dans sa partie amont, il s'inscrit dans les déformations synclinales constituant soit la bordure occidentale du Moyen Atlas plissé, soit au cœur du Moyen Atlas plissé. Dans cette partie, le Sebou n'a pas d'affluent majeur. Il est alimenté successivement par la nappe contenue dans les épanchements basaltiques fracturés et celle d'une puissante formation perméable composée de calcaires, de dolomies et de conglomérats. Plus à l'aval le Sebou s'est s'incisé dans les causses moyen atlasiques ; dans cette partie le Sebou reçoit les écoulements de deux affluents majeurs, l'oued Al Mahçar et l'oued Zloul qui s'écoulent tous les deux dans une cuvette synclinale du Moyen Atlas plissé. Tout en l'aval, il bénéficie également d'une forte alimentation par des sources karstiques situées en rive droite.

2.2. Aperçu Litho-Stratigraphique

▪ Les Schistes du primaire

Un vaste bombement anticlinal orienté Nord-Sud fait apparaître le socle au niveau de la boutonnière de Bsabis qui sépare les Causse de Sefrou et d'El Menzel en aval du bassin. Localement, le socle affleure en amont du bassin de l'oued Boufoul. Ses affleurements, comme ceux du Trias, sont liés aux accidents tectoniques et à leur exploitation par l'érosion (reculée d'escarpement de faille). Lithologiquement très homogènes, ils sont essentiellement **schisteux** et couvrent moins de 2% de la superficie totale.

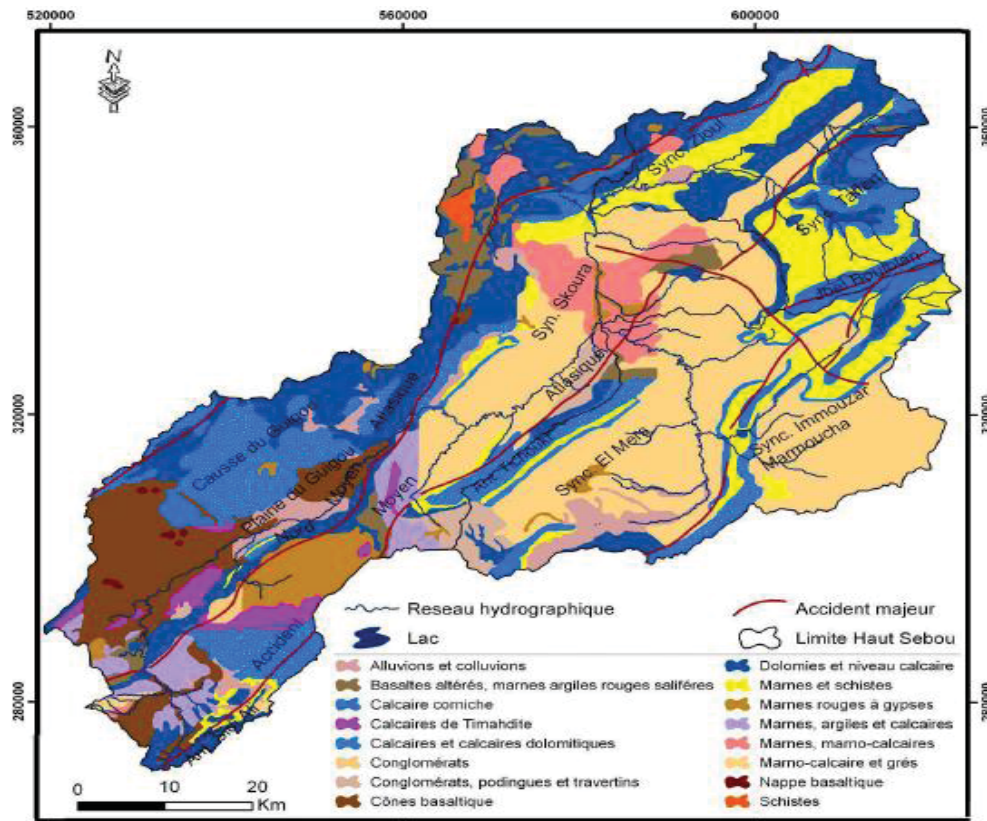


Figure 3. Carte structurale du bassin versant Haut Sebou. Source (Nejjari 2002) d'après Terminer & Duber 1933, Dresch et al. 1952, Mouhdi 1952, Colo 1961, Martin 1981.

▪ Le Trias (Argiles rouges et basaltes)

Constitué par une série de marnes et d'argiles salifères, parfois gypsifères au sein de laquelle s'intercalent des coulées de basaltes doléritiques. Les premières séries reposent en discordance majeure sur les terrains paléozoïques sous-jacents et sont facilement repérables par la couleur rouge des argilites et celle brunâtres des basaltes doléritiques très altérés, et aussi par le profil adouci et concave des versants (Martin 1981).

Ces formations affleurent à la base des grands accidents tectoniques du Moyen Atlas, sous forme de lames furtives au cœur des anticlinaux ou sur les flancs des jbel (Jbel Hayane, El Haj, El Adrej). Elles sont limitées en surface et ne sont concentrées qu'à l'Est du synclinal d'Ain Nokra en amont du bassin et aux abords de la dépression de Tazouta en aval (Nicod 1993).

▪ Le Lias (Calcaires et Dolomies)

Les formations liasiques carbonatées couvrent la majeure partie de la rive gauche de l'oued Guigou, avec l'existence des épanchements basaltiques du Quaternaire.

Le Lias inférieur et moyen se caractérisent par toute une série de bancs dolomitiques et calcaro-dolomitiques, à la stratification bien visible, d'où l'appellation de « dolomie litée », et profite d'ondulations anticlinales ou de failles pour affleurer le long des charnières dans le Moyen Atlas plissé (Jbels Habdou, Tichoukt, Serghina, Bou Iblane) (Martin 1981). Ces ensembles dolomitiques stratifiés s'enrichissent progressivement en lentilles calcaires et passent parfois à des couches calcaires continues (Charrière 1990). L'épaisseur de la série sous la vallée de l'oued Guigou est de l'ordre de 200 à 250 m,

tandis que le maximum peut atteindre 600 m à la retombée vers le Nord dans le synclinal de Tatassite. Ces formations carbonatées perméables constituent un réservoir hydrologique d'ampleur (alimentation des sources), non seulement dans le Haut Sebou, mais également dans tout le Moyen Atlas (Michard 1976, El Khalki 1991).

Avec le Lias supérieur, les marnes prennent plus d'ampleur (100 m environ), sans pour autant dépasser en surface les affleurements sous-jacents. Elles sont dominées par des calcaires noduleux latéralement encadrés par des marnes et des calcaires marneux aux sommets appelés «Barre Aalénienne m» qui caractérisent les zones de subsidences. Dans le bassin de Zloul, cette série est considérée comme une série de référence dite « marnes de Taffert ».

▪ **Le Crétacé (Marnes et calcaires)**

Les dépôts Crétacé sont témoins d'une transgression marine dans la région Sud-Ouest du Moyen Atlas (Fedan 1989). Dans le Haut Sebou, l'extension du Crétacé est limitée aux aires déprimées du Sud-Ouest jusqu'au Nord de Boulemane avec de multiples variations d'épaisseur et de faciès (Nejjari 2002). Dans le Moyen Atlas Tabulaire, ils ne se sont accumulés que dans le grand synclinal de Bekrite-Timahdite. Ces dépôts sont constitués soit de calcaires gréseux et de marnes ou de bancs calcaires et de marnes gypseuses dont l'épaisseur varie entre 100 et 150 m (bassin d'Ain Nokra et de Tighboula). Ils représentent des formations semi-perméables d'une puissance de 110 m, également présent à l'amont du bassin du Guigou (Bakrit, Bou Anguer, et Timahdit) (Fedan 1989, Charroud 1990).

▪ **Les dépôts évaporitiques et détritiques du Tertiaire**

L'**Eocène** est représenté par des marnes gypseuses et des calcaires roses appelés communément calcaire de Timahdit, de faciès et d'épaisseur variables (115 m à Ain Nokra, 10 m à Bou Anguar). L'**Oligocène** est représenté par un complexe Conglomératique d'origine diverse (argilite rouge, grès, calcaires et dolomies) qui témoigne de l'installation d'un système fluvial.

Au cours du **Néogène**, la partie Sud-Ouest du bassin du Haut Sebou a connu des activités magmatiques et néotectoniques, et elle est considérée comme sismiquement active (Martin 1981, Charroud 1990).

Le **Miocène** est connu par des conglomérats surmonté par des bancs molassiques et des marnes sableuses ou gypseuses. Ces formations sont localisées sur la rive droite de l'oued Sebou où elles dominent la dépression de l'oued Zloul. Au cours de Pliocène d'autres formations affleurent, d'origine mixte (basalte, dolomie, calcaire, marne), elles sont appelées « Poudingues de Sekoura » qui sont de 50 à 80 m d'épaisseur.

▪ **Les formations du Quaternaire (Basaltes, alluvions et les travertins ou tufs)**

Au cours du quaternaire, des phénomènes volcaniques sont venus modifier le paysage du Causse. Des cônes volcaniques, des cratères et d'énormes **épanchements basaltiques** recouvrent le plateau d'Azrou en particulier. L'épaisseur des coulées basaltiques est variable en fonction de l'éloignement aux cônes volcaniques ; on relève respectivement 150, 30, 15 m à proximité de Jbel Hebri, de Timahdit et de Tit Zill et quelques mètres vers l'aval non loin d'Ait Khabach.

Selon Nejjari (2002), les **alluvions**, correspondent à des épandages argilo-limoneux. Elles se sont accumulées au fond des cuvettes fermées (Tazouta, Tijma...) ou dans les vallées (Guigou, Mdez...). Alors

que **les Travertins** se présentent sous forme de dalles perchées et isolées qui coiffent quelques collines ou en multiples accumulations étagées et emboîtées. Ils sont des indicateurs des phases de karstification active (Vaudour 1984).

Cette présentation stratigraphique, non exhaustive, révèle de notables nuances de faciès et des variations rapides d'épaisseur liées à des phases orogéniques d'intensité différente, séparées par des périodes d'accalmie plus ou moins longues :

-En rive gauche, la prédominance des calcaires et des dolomies est bien visible. Ils sont captifs où les basaltes du quaternaire de la plaine du Guigou forment l'ossature d'étroites rides anticlinales.

-En rive droite, dans les larges dépressions, les formations marno-calcaires traduisent les contrastes lithologiques du Dogger. Elles fournissent, aux oueds, des seuils de résistance non régularisés, et laissent entendre un déséquilibre des ressources en eau lié à des aquifères plus ou moins étendus et mal connus.

2.3. Substratum et perméabilité des formations géologiques

Le compartiment hydrologique des différentes formations dans le bassin versant Haut Sebou, découle de leur structure géologique, de leur affleurement et de leur relation avec le réseau hydrographique. Une perméabilité importante entraîne une sécheresse lithologique de surface (vallées sèches), mais témoigne de l'incidence d'une nappe souterraine qui peut participer au ralentissement de la sécheresse hydrologique, lorsque les conditions climatiques sont favorables. La méthodologie de l'Atlas de perméabilité proposé par l'agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM 1989) propose néanmoins une classification de la perméabilité des terrains à partir d'une classification synthétique et simplifiée des roches : en terrains perméables de fissures ou de porosités, semi perméables, imperméables et en formations superficielles.

L'application de cette méthode sur le Haut Sebou par Nejari (2002) a permis de conclure qu'au niveau hydrogéologique, les ensembles perméables correspondent à l'ensemble tabulaire de la rive gauche de l'oued Guigou-Sebou ; représenté par les dolomies et les calcaires du Lias inférieur et moyen peu plissé et fissurés et les formations basaltiques du Quaternaire. Les ensembles semi-perméables renferment les formations marno-calcaires du Crétacé et les grands synclinaux du Bathonien. Les ensembles imperméables englobent les formations de Trias (marne et argile) et les Schistes Paléozoïques. Et enfin, les formations superficielle qui sont essentiellement des alluvions de fond de vallée, des colluvions sur les versants et des cônes de déjections (graviers et galets) en bas des pentes.

3. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique dans le bassin du Haut Sebou (Fig. 4) a la particularité de couler de cuvette en cuvette, franchissant, par des cluses (Foums), les barres montagneuses (Jbels) du Moyen Atlas plissé. Son débit dépend essentiellement des affluents de rive droite (oueds Al Mahçar et Zloul) et des sources (Ain Aberchane, Sebou...). Alors que les quelques affluents de rive gauche participent pour moins de 5% dans son alimentation (la source de Tit Zill en fournit l'essentiel). Ainsi, la discontinuité spatiale est de règle et ce réseau hydrographique résulte d'une juxtaposition de tronçons avec des toponymes successifs utilisés de l'amont vers l'aval pour désigner le même cours d'eau (Sary & Akdim 2000).

3.1. Le cours principal (Guigou-Sebou)

A l'extrême amont, Martin (1981) considère oued Guigou comme le Haut Sebou « sa source se situe à Aghbalou-Larbi au fond de la plaine de Selrherte au Nord-Est du synclinal de Bou-Angar, à 2030 m d'altitude ». En fait, cette branche n'est autre que le premier affluent de rive droite, appelé oued Larbi. Le Guigou quand à lui, prend sa source plus en amont dans la plaine d'engorgement de Tannzoult près du lac d'Aguelman Sidi Ali. De direction Sud-Nord, il est souvent temporaire dans cette zone et il lui faut d'abondantes chutes de pluie pour qu'il puisse évacuer les eaux jusqu'à une perte dans les basaltes.

Le Haut Sebou change de nom de l'amont vers l'aval (Sary & Akdim 2000, Nejari 2002, Qadem 2015) (Fig. 4) :

- L'oud Guigou :

L'oud Guigou prend sa naissance dans le Moyen Atlas plissé, près du col du Zad (Tizi n'tabourit). Il traverse d'abord la zone plissée jusqu'à Timahdite, où il reçoit l'oud Larbi comme affluent de rive droite. Le long de son parcours, il est alimenté par deux sources ayant un important débit, apparaissant près des failles qui jalonnent oued Guigou. La source d'Aberchane est drainée par l'oud Guigou en amont dans la plaine de Timahdite, et la source de Tit Zill est drainée par oued Guigou aval, en amont de la plaine d'Almis Guigou (Ben Tayeb & Leclerc 1977, Devos & Nejari 1998). Toutefois, les eaux générées par la source d'Aberchane disparaissent après un court parcours. Ce qui fait que l'écoulement ne commence qu'à proximité de Tit Zill. Dans cette région, cette dernière est responsable d'un débit important, qui, après un court parcours, en aval, diminue voir tarit. L'oud Guigou disparaît, alors, au niveau d'Ait Hamza, par suite des dérivations des eaux pour l'utilisation en irrigation.

- L'oued Mdez :

De la confluence avec l'oued Al Mahçar jusqu'à la confluence avec l'oued Zloul, le Guigou devient l'oued Mdez. Dans ce tronçon il conflue avec son premier grand affluent de rive droite, oued Al Mahçar, qui draine un bassin de 1300 Km². Après l'apport de petits affluents (Béni Alaham, Bechna), à 17 Km vers l'aval, il reçoit l'oued Zloul qui est considéré comme un affluent important, il draine un bassin de 750 Km² (Nejjari 2002).

- L'oued Sebou :

De la confluence avec l'oued Zloul jusqu'à la station d'Azzaba il devient l'oued Sebou. Après la confluence avec la source vaclusienne d'Ain Sebou, à deux Kilomètres en aval il est alimenté par deux autres sources (Ain Timedrine et Ain Ouamander). Contrairement aux autres tronçons, l'oued Sebou n'a aucun affluent important jusqu'à l'exutoire du bassin à Azzaba pour une surface de 4677 Km².

Le réseau hydrographique du Haut Sebou traduit clairement les contrastes de milieux, pour lesquels on note une opposition entre les deux rives, ainsi, qu'entre l'amont et l'aval. Comme cela a été déjà signalé, le réseau répond mal à l'appellation traditionnelle du Moyen Atlas «Château d'eau ». La nature karstique de la région favorise les pertes d'écoulement qui soutiennent les nappes souterraines et alimentent des sources souvent captées pour l'irrigation.

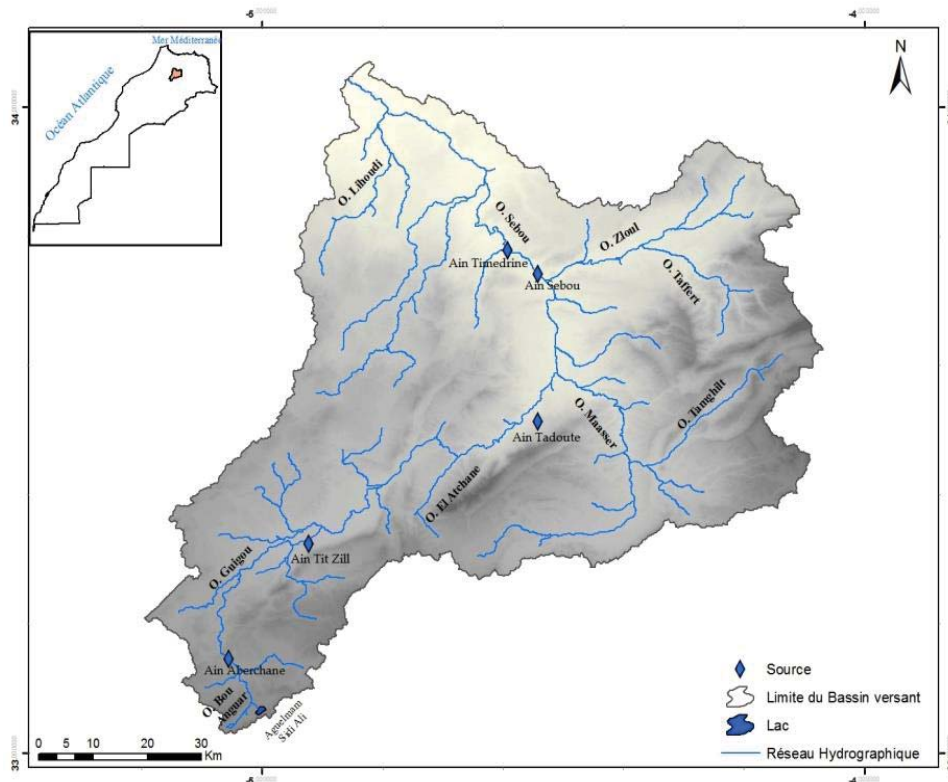


Figure 4. Carte du réseau hydrographique du Haut Sebou.

3.2. Densité de drainage

Le régime d'écoulement d'oued Guigou dans la zone d'étude résulte de la superposition de deux écoulements distincts. D'une part, le ruissellement de surface dans la majeure partie de la superficie du bassin versant dans la région d'étude, et d'autre part le débit des deux sources Aberchane et Tit-Zill (Nejjari 2002).

Dans le Haut Sebou, la densité de drainage (réseau permanents et temporaires) est de l'ordre de 2 Km/Km² (Qadem 2015). Elle apparaît néanmoins très inégale, d'une part entre l'amont et l'aval (peu d'affluents dans la zone plissée à l'amont), et d'autre part entre les deux rives de l'oued (aucun affluent sur le Causse).

4. Contexte climatique du Haut Sebou

Le bassin versant du Haut Sebou s'inscrit dans un contexte climatique méditerranéen de montagne à hiver froid. Il se trouve dans une zone de transition climatique (Akdim et al. 2011). A l'ouest du bassin le climat est plutôt humide avec d'importantes précipitations, les hauts reliefs peuvent recevoir des précipitations supérieures à 1000 mm et les cuvettes comme la plaine de Guigou sont considérées sous influence semi-aride avec des précipitations avoisinant les 500 à 600 mm. Ces nuances climatiques au sein du bassin découlent de différentes morphologies du relief ainsi que du phénomène de continentalisation (Qadem 2015).

4.1. Pluviométrie

Le bassin du Haut Sebou occupe une des régions les plus arrosées du Moyen Atlas. Plus de 70% de sa superficie se trouve au-dessus de 1000 m d'altitude et peut recevoir des précipitations à la fois sous forme de neige et de pluie (Dakki 1987). Les pluies moyennes annuelles sont globalement comprises entre

300 mm et 700 mm selon des données provenant de l'Agence Hydraulique du Bassin du Sebou (ABHS). Cette faible pluviométrie d'ensemble recèle de forts contrastes locaux liés aux effets combinés d'un relief d'orientation Sud-Ouest/ Nord-Est et d'une composition de larges cuvettes et de crêtes successives.

Généralement, le bassin du Haut Sebou se trouve dans une zone de transition d'un point de vue climatique. A l'ouest du bassin le climat est plutôt humide avec d'importantes précipitations sur le Causse Moyen-Atlasique (Ifrane, Azrou). Les hauts reliefs peuvent recevoir une lame précipitée supérieur à 1000 mm. Les cuvettes, comme la plaine de Guigou ou encore le bassin d'Al Mahçar sont considérées sous influence semi-aride avec des précipitations avoisinants les 500 à 600 mm du fait de la protection des reliefs (Ait Khabbach et Sefrou) avec néanmoins des distinctions à identifier. Ces nuances climatiques au sein du bassin versant découlent des différentes morphologies du relief ainsi que du phénomène de continentalisation (Nejjari 2002, Qadem 2015).

4.2. Température

Dans le Haut Sebou est plus précisément la région de Timahdite-Almis Guigou (Moyen Atlas) la température moyenne annuelle est de 12,6°C (Amrani 2016). L'étude de la variabilité de la température est basée sur l'analyse des séries de la température de quatre stations climatiques (Ait Khabbach, Aguelmam Sidi Ali, Azrou et Ifrane). Ces stations sont caractérisées par l'absence de séries homogènes. En effet, les périodes de fonctionnement des stations pour les températures sont variables pour les quatre stations : station Ait Khabbach (2003-2012), station Aguelmam Sidi Ali (1975-2010), station Azrou (1958-2003) et station Ifrane (1933-1963). La température agit directement avec les autres facteurs météorologiques et géographiques ; tels que les précipitations, l'altitude, la latitude, la longitude, etc....) sur le climat de la région.

Amrani (2016) montre l'influence de l'altitude sur l'évolution spatiale de celle-ci. Des hautes altitudes vers les basses altitudes, une augmentation de la température a été marquée. La variation des températures moyennes mensuelles, dont le mois le plus chaud est le mois d'août pour Ait Khabbach (19,8°C), Aguelmam Sidi Ali (19,7°C) et Ifrane (21,5°C), et juillet pour Azrou (26,2°C). Le mois le plus froid est le mois de janvier pour Ait Khabbach (2,4°C), Aguelmam Sidi Ali (2,5°C), Ifrane (4°C) et Azrou (7,2°C).

4.3. Etages bioclimatiques

La diversité des ambiances bioclimatiques dans le Moyen Atlas a été longuement étudiée. Plusieurs ouvrages ont analysé et présenté plusieurs approches explicatives à l'étagement montagnard de la végétation au Maroc ; et des mosaïques végétales qui échappent à l'organisation des zones climatiques dans le Moyen Atlas (Emberger 1930, Peyre 1979, Lecompte 1986, Michalet 1991, Labhar 1998). La relation climat-végétation est prise en compte pour expliquer la répartition des peuplements et l'établissement d'une typologie riche en nomenclature. Toutefois, il est impossible de trouver des études ou des données quantifiant l'impact de la sécheresse sur la dégradation de la forêt et notamment dans des espaces restreints et défavorisés comme le Haut Sebou.

On peut distinguer quatre étages bioclimatiques, dont deux ont des aires réduites dans le bassin :

Etages bioclimatiques humide et subhumide : occupant des surfaces réduites dans le bassin, l'étage humide correspond aux causses occidentaux (Ifrane, Azrou...) où le paysage est marqué par l'importance de la cédraie et par la densité remarquable des autres forêts, comme la chênaie. Il se situe au-dessus de 1500-1600 m et bénéficie d'une humidité importante, supérieure à 800 mm. Aux altitudes plus

basses (1500-1400 m), ces forêts sont moins denses et moins hautes traduisant l'épanouissement de l'étage subhumide avec des pluies supérieures à 600 mm.

Etage bioclimatique semi-aride supérieur : il englobe, d'une part, toute la partie de Guigou amont jusqu'au causse de Tarhroute, et d'autre part, une grande partie d'Al Mahçar. Il bénéficie d'altitudes élevées dont dépend la rigueur hivernale. Le Guigou amont conserve un niveau pluviométrique d'environ 500 mm, ce qui permet en haute altitude le maintien de l'empreinte bioclimatique subhumide représentée par l'association, sur les versants ensoleillés, du chêne vert et d'une cédraie d'altitude à partir de 2000 m (Pujos 1966).

Etage bioclimatique semi-aride : commence à partir des limites nord-est de la plaine du Guigou (causse de Tarhroute), vers la station d'Azzaba au nord (causse d'El-Menzel) en passant par la cuvette de Skoura. Les précipitations sont d'environ 400 mm et les températures s'accroissent en raison de la diminution des altitudes. Toutefois, la position d'abri, liée à la surrection des massifs de bordure, contribue à l'aridisation des conditions bioclimatiques régionales avec une succession de groupements végétaux qui démontrent une forte résistance aux déficits pluviométriques. Le genévrier de Phénicie occupe des surfaces étendues de la cuvette de Skoura, et la présence de thuya le long de la vallée du Mdez-Sebou et sur les versants de la cuvette, témoignent d'une amélioration des températures hivernales.

Etage bioclimatique aride : représenté au sud par le contact du Haut Sebou et de la Haute Moulouya, qui permet, grâce au haut relief (plus de 2000 m) et à la saignée du Haut Oum-er-Rbiâ, au sud-ouest, de canaliser encore les flux d'ouest. Il en résulte une chênaie dégradée qui s'étend sur les versants orientaux et qui donne une trompeuse impression de verdure.

Le bassin du Haut Sebou appartient majoritairement à l'étage semi-aride, mais il garde des traces d'une transition bioclimatique entre l'humide occidental (cèdre et chêne vert) et l'aride oriental (steppes d'armoïse et de genêt) entachée par un subhumide dégradé d'altitude. Les espèces végétales sont réparties, en réponse à la diversité topo-climatique, avec un recouvrement faible (< 50%) ; et en l'absence d'une stratification nette qui permet de proposer des limites fixes à l'extension de chacun de ce bioclimat «du point de vue strictement bioclimatique, ces montagnes peuvent se rapporter aux variantes froides et très froides des étages semi-aride, subhumide et humide » (Quezel 1976).

4.4. Sécheresse hydrologique du Moyen Atlas au cours des 30 dernières années

Le Maroc se caractérise par une pluviométrie très irrégulière tant dans le temps que dans l'espace. La distribution des précipitations a bien connu un changement depuis les années 80. Ce changement consiste en une évolution vers des conditions plus sèches, avec diminution des précipitations non négligées. Ces changements ont des impacts directs sur les activités agricoles et ont réduit considérablement les ressources en eau mobilisables pour une population sans cesse croissante. Les analyses de la variabilité des précipitations au cours des dernières années montrent une tendance à la sécheresse (Tramblay et al. 2012, El Ajhar et al. 2018), avec une fréquence apparente de périodes sèches dans les régimes hydrologiques des différents bassins versants marocains (Haida et al. 1999, Bouaicha et al. 2010).

Le Moyen Atlas connaît d'importants changements climatiques qu'il soit au niveau des températures, des précipitations ou des événements extrêmes (inondations ou sécheresse). Des études récentes montrent clairement les fortes répercussions du changement climatique sur les ressources en eau dans cette zone d'étude (Devos & Nejari 1998, Devos et al. 2000). Depuis les années 1980, ces ressources

ont connu une régression remarquable, voire l'assèchement de plusieurs sources et lacs, en raison de la diminution des précipitations (El Fellah Idrissi et al. 2017). De même, le développement des activités agricoles et d'arboriculture fruitière dans ce secteur a également contribué à cette régression.

Qadem (2015) montre que le débit annuel du Haut Sebou suit les tendances des séries de précipitations humides et sèches pour la période 1957/58-2009/10. Ces séries pluviométriques sont obtenues par la station d'Azzaba qui contrôle l'ensemble du bassin du Haut Sebou (4677 Km²). Située à l'exutoire du bassin versant entre Timedrine et le barrage Allal El Fassi, elle présente la meilleure des courbes de tarage du bassin (Obda 2004). L'analyse du CUSUM (Cumulative SUM) met en évidence l'hétérogénéité de cette période et distingue 3 séries (Fig. 5) :

Une période à tendance humide (1957/1958-1978/1979) qui a durée 21 ans avec un débit moyen de 22,93 m³/s, suivie par une période à tendance sèche (1979/1980-2007/2008) dont le débit moyen est de 11,26 m³/s. Cette période sèche d'une trentaine d'années s'est arrêtée en 2009/2010 après une séquence marquée par une sécheresse sévère entre 2004/2005 et 2007/2008 (Tab. 1).

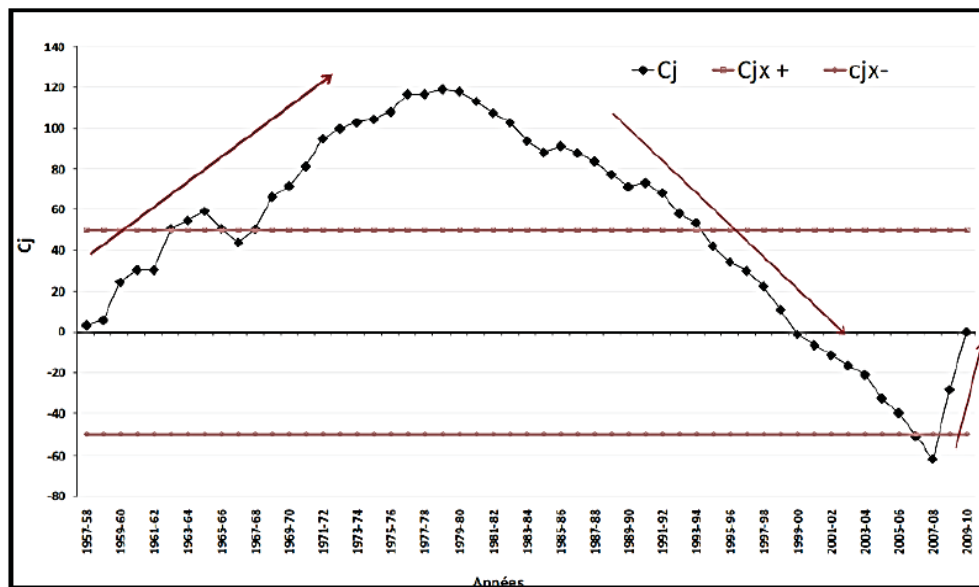


Figure 5. CUSUM des modules annuels à la station d'Azzaba 1957/58-2009/2010 (Source, Qadem 2015).

Tableau 1. Découpage de la chronique des débits (1957/58-2009/2010) du Haut Sebou à la station d'Azzaba en périodes homogènes (Source, Qadem 2015).

Période	Débit Moyen m ³ /s	Ecart-type	Nombres d'années	Diagnostic
1957/1958- 1978-1979	22,93	7,12	21	Humide
1979/1980- 2007/2008	11,26	3,79	28	Sec
2008/2009- 2009/2010	48,54	/	2	Humide

L'analyse des données thermo-pluviométriques des stations météorologiques du causse de Sefrou et de l'Anoccur (Moyen Atlas) étudiées par El Fellah Idrissi et al. (2017) a permis de constater que cette zone a subi des changements climatiques. En effet, la série 1968/69-2014/15 se distingue par la succession de trois périodes : période humide (1968/69-1977/78), période sèche (1978/79-2007/08) et période qui

semble normale (2008/09-2014/15). Au cours de la période sèche, la zone a subi des changements matérialisés par la diminution des précipitations, l'abaissement de la température en hiver et l'augmentation de celle-ci pendant les autres saisons. Cette variation de température atteint 1°C d'écart en moyenne entre les deux périodes humide et sèche. Ces variabilités climatiques ont influencé les ressources en eau de la zone (oued Aggay-Moyen Sebou), lac Afourgagh, lac d'Aguelmam-l'Anoceur et la nappe phréatique) qui connaissent une régression remarquable pendant la période sèche (1978/79-2007/08).

Ainsi, l'étude de la variabilité climatique aux stations de Mechra Bel Ksiri (Bas Sebou) et Azib Es Soltane (Haut Sebou) par Bahin Yoli et al. (2017) ; au cours des 60 dernières années, montre que le bassin versant du Sebou a connu des périodes pluviométriques excédentaires et déficitaires qui ont eu des répercussions importantes sur l'écoulement de surface. L'analyse statistique des séries pluviométriques et de débits montre à Mechra Bel Ksiri une période normale entre 1966 et 1979 ; suivie d'une période extrêmement sèche entre 1980 à 1995, puis un retour à une période normale de 1996 à 2015. La pluviométrie à Azib Es Soltane marque une alternance d'années humides et d'années sèches sur toute la période de 1962 à 2014 avec une période sèche moins importante qu'à Mechra Bel Ksiri qui dure de 1980 à 1990. Les années 1978 et 1972 constituent respectivement des années de ruptures pour les deux stations. Les moyennes des débits à Mechra Bel Ksiri sont de 162 m³/s avant la rupture et 81 m³/s après la rupture correspondant à un déficit de 50%, tandis qu'à Azib Es Soltane elles sont de 80 m³/s avant la rupture et 29 m³/s après la rupture avec un déficit de 63%.

Tous ces résultats significatifs, attestent clairement de forts impacts des changements climatiques sur les ressources hydriques du bassin Sebou-Moyen Atlas. En effet, la succession des années sèches au Maroc, pourraient créer un écart défavorable entre la demande croissante en eau et les ressources en eau disponibles. Ainsi la situation des réserves hydriques devient préoccupante. Des mesures d'adaptation avec les variabilités climatiques, de rationalisation et de gestion durable des ressources en eau, devront être prises pour faire face aux effets des changements climatiques qui pourraient aggraver les impacts négatifs de la pénurie d'eau et de sa disparité spatiotemporelle sur le développement socioéconomique du pays.

Pour conclure, ces résultats comparés à ceux d'autres bassins versants nord africains montrent une concordance avec ceux de la Tunisie (Kinkumbi et al. 2000) et de l'Algérie (Nezzal & Iftini-Belaid 2013). En Afrique de l'Ouest et centrale, la sécheresse se situe en général après 1970 (Paturel et al. 1997, Soro et al. 2011) et elle commence dans les pays du Sahel à la fin des années 1960 et début des années 1970.

5. Contexte humain et anthropisation dans le Haut Sebou

L'étude de l'anthropisation d'un bassin versant a pour objectif de mesurer le poids de l'influence de l'homme sur le milieu hydrique. A travers l'histoire, la relation réciproque entre l'homme et les ressources naturelles d'un milieu est caractérisée par un comportement interactionnel. Cette relation est traduite par les activités exercées par l'homme, entre autres : l'occupation du sol, l'exploitation des forêts, les pratiques agricoles... Il s'agit souvent d'activités qui s'appuyant sur la ressource en eau, en influençant son abondance et sa rareté, et en induisant l'apparition de divers dysfonctionnements environnementaux et de multiples phénomènes extrêmes. De même, les aménagements hydrauliques perturbent largement l'hydrologie des cours d'eau, par leurs effets de laminage qui jouent un rôle évident et déterminant dans la perturbation de la dynamique hydrologique naturel des rivières (Taous 2005).

Le bassin du Haut Sebou est une zone fortement anthropisée et cultivée de la montagne atlasique. Il est soumis localement à une exploitation des eaux de surface et souterraines. Les besoins croissants en eau

de l'agriculture et des villages, surtout en période de basses eaux, provoquent la surexploitation saisonnière des réserves. Situation qui s'aggrave avec la nature karstique de la région et le climat semi-aride.

Avant d'aborder l'impact anthropique sur les eaux de surface, il est d'abord nécessaire de situer l'homme du Haut Sebou dans le contexte démographique général du Maroc ; en mettant l'accent sur l'installation humaine dans l'espace en question et les activités agro-pastorales pratiquées par la population en rapport avec les potentialités du milieu et ce pour apprécier son impact global, et plus particulièrement lors de la longue période de sécheresse récente.

5.1. Aperçu historique

Sur la base d'une étude poussée de la population du Moyen Atlas, Jennan (2004) conclut qu'il est extrêmement difficile de dire de quelle manière s'est constitué le peuplement du Moyen Atlas central. Selon les historiens, les premières vagues d'installation remontent au XI^{ème} siècle, ou avant l'avènement des Almoravides (X^{ème} siècle). Sa situation stratégique, ses richesses et ses ressources naturelles sont des facteurs qui ont attiré les tribus pour s'y installer et pratiquer le nomadisme, la transhumance (la montagne en hiver et la plaine en été) et la vie pastorale sous les tentes.

Ce mode de vie a contribué au maintien de l'équilibre entre les besoins des populations et des troupeaux et les potentialités du milieu, jusqu'au début du XX^{ème} siècle (Devos et al. 2000, Nejari 2002). Avant les grandes mutations socio-économiques qu'a connu la région, l'espace a fonctionné au rythme des saisons, dans un mouvement continu des populations et des troupeaux entre la moyenne montagne et les pâturages peu élevés et utilisables durant la saison froide (Nejari 2002). Les grandes confédérations tribales qui occupent la région étudiée sont : Ait Youssi et les Béni Mguild dans le bassin de Guigou à l'amont de Tit Zill, Ait Serhrouché dans le bassin du Mdez et Al Mahçar et enfin, Bni Ouarain dans le bassin du Zloul. Le caractère rural domine le Haut Sebou, le phénomène urbain se limitant au Dir du Moyen Atlas, comme c'est le cas des villes de Sefrou, Imouzar Kander et Azrou par exemple.

Depuis les années 1960, de nombreux événements ont changé les modes de vie de la population du Haut Sebou qualifiée surtout de rurale, telle que la sécheresse et sa sévérité durant les années 70, 80 et 90, qui ont conduit au tarissement de beaucoup de sources et qui, par conséquent, n'offrent plus de pâturage frais d'altitude pendant l'été. De plus, les changements de statut foncier politique ont modifié le mode de vie de la population (Nejari 2002). De ce fait, la sédentarisation s'est imposée et les espaces irrigués se sont élargis « les espaces pastoraux se vident progressivement au profit des vallées et des plaines riches en eaux et en cultures. Il en est de même pour les douars les plus isolés de la montagne » Tag (1996).

5.2. Evolution de la population générale

Le fractionnement administratif de l'unité territoriale du Haut Sebou dégage un espace écarté entre quatre provinces (Boulemane, Sefrou, Ifrane et Taza), constitué de 17 communes, dont 4 sont des centres urbains et 13 sont des centres ruraux, où les limites communales ne correspondent pas aux limites topographiques des bassins.

D'après les recensements effectués au Maroc, l'évolution de la population du Haut Sebou est marquée par les mêmes tendances que celles de l'ensemble du Maroc, mais cette évolution est plus contrastée entre les différentes communes.

La population totale de la zone d'étude évolue selon un rythme croissant depuis les années 1960, où le nombre d'habitant était de 74185, soit une densité de 15 hab/Km². Il comptait 89990 habitants en 1971 et 97346 habitants en 1982 avec un taux d'accroissement très faible (0,72%). La croissance démographique a augmenté jusqu'à l'atteinte d'une population de 121550 habitants enregistrés en 1994. En 2004, le nombre a dépassé 125240 habitants et atteint 192709 en 2014 (Fig. 6).

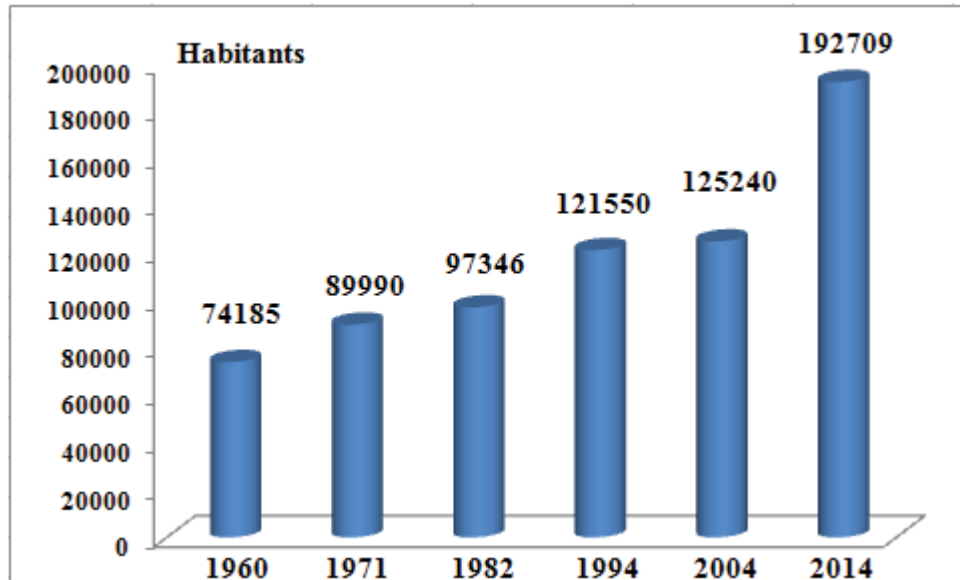


Figure 6. Evolution de la population du Haut Sebou (RGPH : 1969, 1971, 1982, 1994, 2004 et 2014).

Ce fort taux d'accroissement de la population dans le Haut Sebou est surtout marqué dans les centres urbains où la population s'est accrue, par exemple, de 10% durant la période 1982/1994. Cela signifie que l'accroissement naturel des régions rurales a été absorbé par les centres ruraux qui sont par la suite devenus des municipalités ou des centres urbains tels qu'Almis Guigou, Boulemane, Timahdite, Immouzer Marmoucha. A titre de comparaison il n'existait qu'un centre urbain dans le bassin en 1960 Ribat El-Kheir (Qadem 2015). Actuellement, ces centres se sont multipliés et le mode de vie reste souvent rural, où la population s'appuie toujours sur les revenus agropastoraux (Qadem 2015).

En effet une grande hétérogénéité dans le taux d'accroissement entre les communes a été notée, où la concentration de la population se fait surtout sur les sites favorables à la pratique des activités agricoles, soit le long des oueds et des cuvettes et à proximité des sources. Par contre, les zones de montagnes ont une faible densité de population (RGPH : 1982, 1994 et 2004).

6. Occupation des sols

L'occupation du sol est approchée comme moyen qualitatif d'appréciation de la pression anthropique sur le milieu physique et ses composantes, entre autres, l'eau. Comme signalé plus haut, la sédentarisation de la population a été accompagnée par l'extension des terrains défrichés au détriment des forêts et matorrals. La dynamique des défrichements est marquée dans l'espace par une mosaïque de matorrals et de champs de culture sur des versants façonnées en terrasses innervées par des réseaux d'irrigation où, parfois, des travaux d'épierrage sont impressionnants. Le reste, trop éloigné ou trop misérable, est livré aux troupeaux, moutons pour l'essentiel.

En ce qui concerne l'organisation du milieu du Haut Sebou, il est caractérisé par la présence de trois territoires : la forêt (41,7 %) qui occupe la majorité de l'espace du bassin, suivie par les parcours et les

terrains incultes (35,9 %) et enfin les surfaces agricoles utilisées (22,4 %) témoignant du caractère montagnard dominant (Fig. 7).

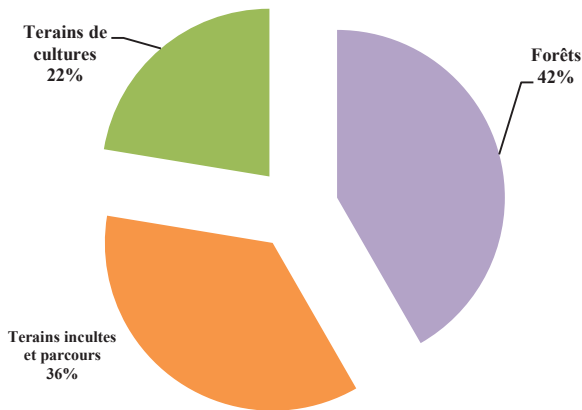


Figure 7. Répartition du territoire Haut Sebou entre différents usages.

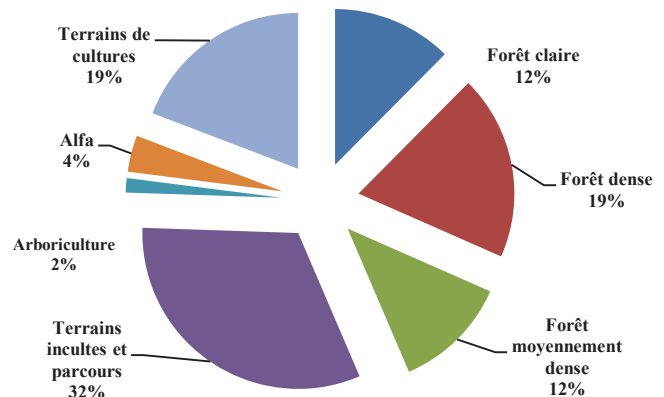


Figure 8. Répartition des différentes variables d'occupation du sol.

(Source : Service d'aménagement des forêts et du bassins-versants Moyen-Atlas, Fès).

■ Terrains de culture

Dans le Haut Sebou (Figs. 7, 8 et 9) les terrains de cultures se répartissent en trois territoires : **cultivé bour** lié à l'agriculture vivrière dépendante de l'emprise des fluctuations climatiques ; **cultivé irrigué** qui ne cesse de croître au détriment de la ressource en eau et qui exprime dans le paysage la réaction de défense à l'égard de la sécheresse, et l'**arboriculture**. Ces surfaces agricoles occupent environ 22 % de la superficie du bassin versant Haut Sebou. Elle est deux fois supérieure à la moyenne de la totalité du Moyen Atlas (Nejjari 2002, Qadem 2015).

Selon Nejjari (2002), les caractéristiques générales de cette répartition permettent de distinguer :

- En amont du bassin, la plaine de Guigou offre la plus grande surface agricole utilisée (23415 ha en bour et 8253 ha en irrigué, soit 23% de la surface totale). La présence de sources importantes (Ain Aberchane pour Timahdite et Ain Tit Zill pour Almis Guigou) améliore les conditions d'une irrigation par une multitude de prise d'eau.

- Au centre du bassin, les communes de Skoura et d'El Mers, qui reflètent plus ou moins la situation climatique sèche du bassin médian et se sont plutôt les surfaces en culture en bour (9047 ha) qui dominent les surfaces en culture irriguée (1462 ha).

- En aval du bassin offre 15% de surface agricole utilisée, l'abondance des eaux qui réduit l'impact de la sécheresse hydrologique, ne profite pas aux surfaces irriguées du secteur. Le bassin du Zloul (commune d'Ighazrane) qui offre des espaces cultivables assez important et des conditions climatiques moins sévères reste parmi les régions les moins mises en valeur.

■ Végétation naturelle

La forêt couvre 42% de la surface du bassin du Haut Sebou (1967 Km²) contre 31% dans l'ensemble du Moyen Atlas et 7% au niveau national (Karmouni 1989). Elle constitue une composante importante de

l'occupation du sol, du fait que le couvert végétal joue un rôle sur le cycle de l'eau, influence le taux d'évaporation, la capacité de rétention du bassin et a des effets sur la régulation de l'écoulement.

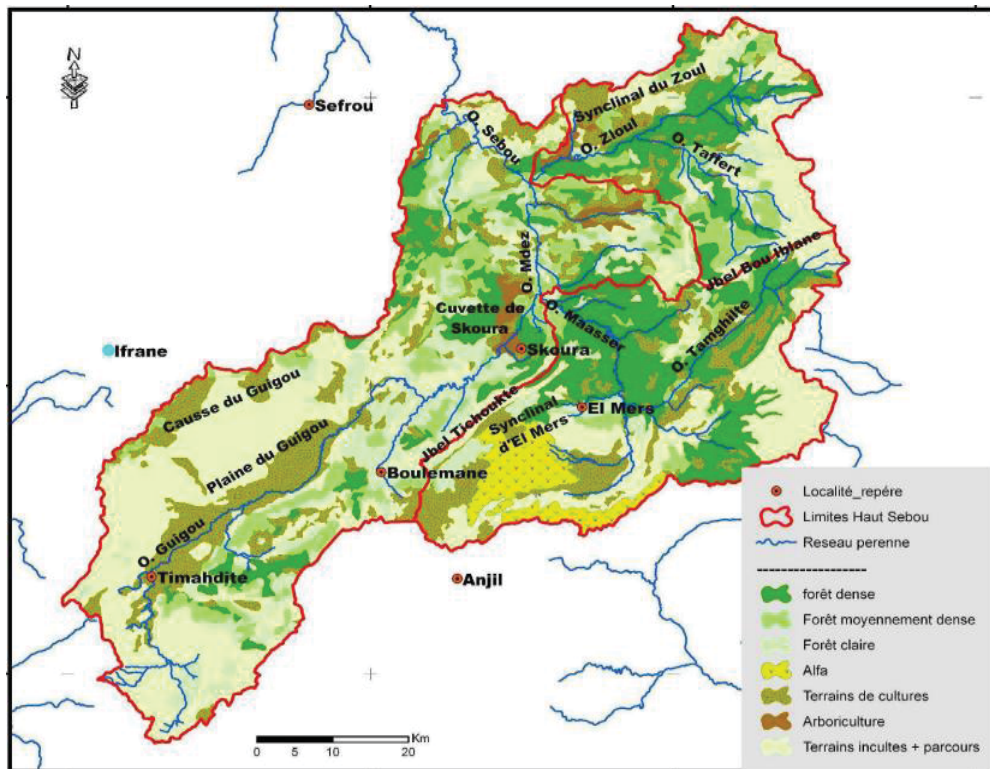


Figure 9. Carte d'occupation des sols du Haut Sebou. (Source, Qadem 2015).

La dominance des forêts dans le Haut Sebou (42%) s'explique par la diversité des paysages bioclimatiques, favorisés par la nature édaphique de la région, la diversité de la lithologie et l'exposition des versants. Ces facteurs cités commandent la densité, le type et la répartition des formations végétales, comme le montre la carte (Fig. 10). A cet égard, en se basant sur les conditions climatiques, les conditions édaphiques et l'action de l'homme, Jennan (2004) a distingué trois ensembles biogéographiques :

- Les forêts denses et matorrals des causses et de la façade occidentale du Moyen Atlas central.
- Les forêts moyennement dense et les steppes ligneuses qui s'étendent sur le Moyen Atlas plissé et ses piémonts moulouyens. Ainsi que sur les cuvettes arides du Nord-Est : cuvette de Skoura, vallée de Guigou-Mdez et Sebou.
- Et enfin les forêts claires et formations dégradées de l'Azarhar où le facteur anthropique semble avoir joué un rôle décisif dans la dégradation du couvert végétal.

■ Parcours et terrains incultes

Les zones montagnardes du Haut Sebou se caractérisent par l'abondance de l'élevage, considéré comme activité axiale et empreinte économique de la région puisqu'il représente la première source de financement pour les ménages, par rapport aux autres activités. Les parcours et les terres incultes représentent 35% de sa surface totale, et ne cessent d'augmenter à cause de l'accentuation de l'exploitation des espaces forestiers, le déficit et l'irrégularité pluviométrique et le surpâturage provoqué par le bétail.

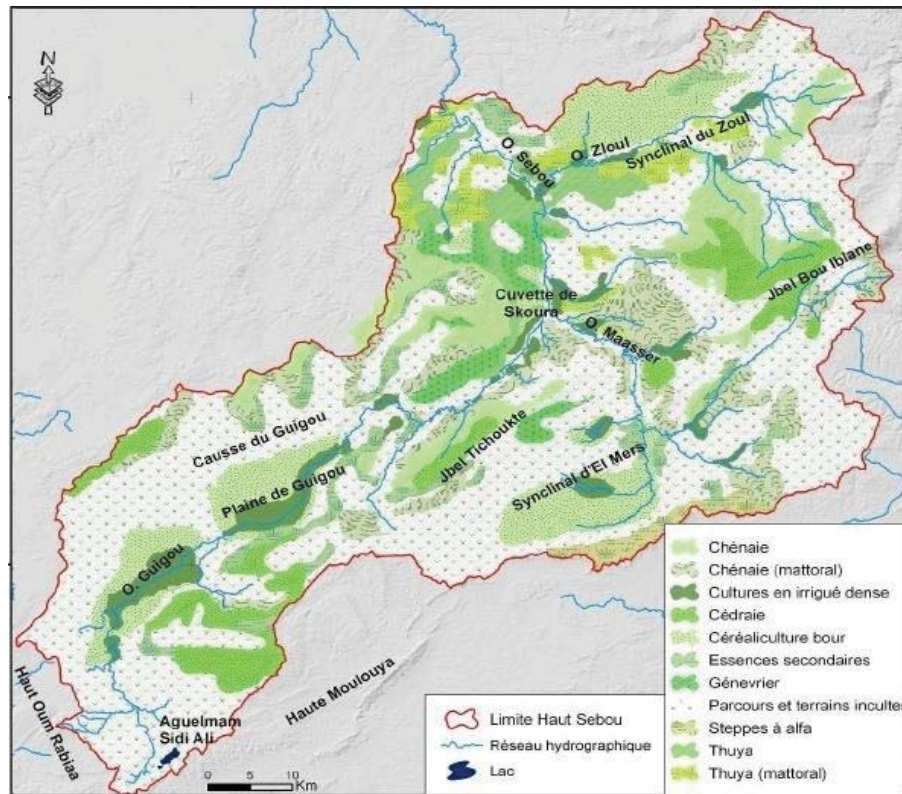


Figure 10. Groupements végétaux dans le bassin du Haut Sebou. (Source, Qadem 2015).

7. Impact anthropique

La sédentarisation en bordure des eaux courantes dans des régions à hiver froid et la mise en culture des pâturages les plus humides renforcent l'impact humain sur la prise d'eau pour l'agriculture et l'abreuvement du bétail. Cet impact s'exerce aussi sur le bois en entraînant l'augmentation de la pression animale dans les forêts (surpâturage). Conjointement, les éleveurs tentent toujours d'améliorer leur niveau de vie et d'augmenter leur cheptel, par des défrichements étendus et hâtifs ; sans tenir compte de la fragilité du milieu montagnard et des conditions climatiques qui deviennent de plus en plus défavorables.

7.1. Système d'irrigation

L'impact de l'irrigation sur les écoulements est plus sensible en période de basses eaux, lorsque l'oued est alimenté par la vidange des nappes (essentiellement par les sources ponctuelles), et peut entraîner l'assèchement de l'oued.

L'irrigation est majoritairement traditionnelle avec des prises directes et gravitaires sur l'oued Guigou ou avec un réseau de séguias plus modernes (canaux) mais moins dense. Au total, 30 prises d'eau ont été recensées sur le périmètre Guigou-Timahdite, qui sont pour la plupart des barrages au fil de l'eau, construits de blocs de basaltes ou d'autres matériaux locaux (Devos et al. 2000, Nejari 2002). Ces barrages archaïques sont souvent détruits par les crues. Ils alimentent les séguias maîtresses, souvent revêtues de béton et de moellons de basaltes, alors que les autres séguias sont de simples fossés en terre. Des répartiteurs permettent de diviser les écoulements d'une séguia entre plusieurs drains qui alimentent les parcelles (Nejjari 2002).

Ces prises d'eau s'organisent en deux grandes unités correspondant aux grandes confédérations de tribus : les Béni Mguild et les Aït Youssi. La première bénéficie des eaux de la source d'Aberchane, tandis que la deuxième bénéficie de celle de Tit Zill (Devos & Nejari 1998).

En revanche, les conditions pluviométriques déficitaires de ces dernières décennies ont engendré une désorganisation indirecte du système d'irrigation. On assiste à une multiplication des pompages en nappe par des puits équipés de motopompe. Ainsi, dans la plaine d'Almis Guigou, selon la D.R.H. Fès, le nombre de puits est passé de 1 en 1950 à 200 puits au début des années 90 et à plus de 400 depuis les années 2000 dans l'ensemble de la plaine de Guigou (Nejjari 2002).

Cette hétérogénéité des prélèvements des eaux de surface et souterraines peut mettre des secteurs en difficulté lorsque le déficit pluviométrique induit une gestion déséquilibrée des potentialités. La connaissance des ressources en eau devient alors une étape nécessaire à tout aménagement futur dans la région.

7.2. Elevage

L'élevage constitue le pivot principal de l'économie montagnarde, puisqu'il représente la première source de financement pour les ménages. En effet, les parcours bénéficient de l'extension des terrains incultes qui représentent plus de 36% des terres au sein du bassin du Haut Sebou. Ces espaces ne cessent d'augmenter du fait de l'exploitation clandestine croissante des espaces forestiers et de la détérioration des pacages (Nejjari 2002). Le déficit et l'irrégularité pluviométrique altèrent considérablement les parcours hors forêts, ce qui contraint le bétail à rester plus longtemps sur place provoquant un surpâturage.

Le passage d'un mode de transhumance à la sédentarisation s'est accompagné d'un ensemble de mutations sociales et économiques. Une partie de la population a fait de l'agriculture une alternative alors que d'autres ont essayé de combiner agriculture et élevage (Tag & Loew 2000).

L'élevage demeure encore régi, dans sa grande majorité, par un mode extensif. Très tributaire des aléas climatiques, il devient de moins en moins mobile et la supplémentation doit être utilisée pour l'alimentation du bétail en hiver (son, paille et orge). Cependant, comme l'élevage reste peu intégré aux systèmes de cultures dans les zones humides, il s'est développé un pâturage libre 'anarchique' dans des espaces à potentiel limité et non mis en défens. Le séjour du bétail tend parfois à s'étaler sur toute l'année provoquant l'appauvrissement du couvert végétal épargné par la sécheresse (Nejjari 2002, Qadem 2015).

Pour conclure, la désagrégation du système pastoral, principale base de l'économie de région a amplement contribué au bouleversement de la structure socio-spatiale et économique du Moyen Atlas.

7.3. Conséquences

Les potentialités en eau du Haut Sebou ne sauraient donc négliger le facteur humain, capable de favoriser ou, au contraire, de desservir les essais de mise en valeur encore insatisfaisants. Alors que ces potentialités restent peu importantes dans l'ensemble du bassin. Le facteur anthropique a mis en évidence la croissance démographique et le processus de l'installation humaine dans ledit bassin. Ce processus est accompagné par des mutations au niveau des activités exercées et les modes d'occupation de l'espace.

Ce territoire a connu une extension des superficies irriguées, une intensification du système de culture et le développement d'une agriculture de marché. L'augmentation des besoins en eau potable et en eau de l'agriculture ne cessent d'augmenter surtout en période de basses eaux. Ainsi, la sécheresse récente

provoque un déséquilibre entre « ressources » et « besoins » qui traduit un contexte écologique relativement fragile et des conditions sociales très difficiles (Nejjari 2002, Qadem 2015).

8. Conclusion

Le bassin du Haut Sebou représente une grande diversité et hétérogénéité entre les sous bassins versants. En effet, les contrastes altitudinaux, géologiques et la diversité au niveau de la lithologie et de la perméabilité influencent les autres paramètres et conditionne le comportement hydrologique. Il s'agit notamment des précipitations, des températures et du couvert végétal. En outre, la diversité topographique commande également l'installation humaine et les activités exercées, où les cuvettes et les plaines sont exploitées par l'agriculture et les montagnes par l'élevage.

De plus, l'hétérogénéité du bassin n'offre pas les mêmes conditions : un amont, caractérisé par une sécheresse lithologique, une forte densité de population et des prélèvements d'eaux intenses. Un aval touché par une saison sèche très longue (> 6 mois) qui réduit la rentabilité des surfaces « bour » mais qui limite aussi l'extension des surfaces irriguées. Puisque les eaux abondantes des sources Ain Sebou, Timedrine..., qui réduisent l'impact de la sécheresse hydrologique, ne profitent presque pas aux habitants du secteur.

Une présentation générale de la répartition spatiale des différentes formations végétales (Figs. 9 et 10) est fondée sur le système d'Emberger (1930) permet par la suite de définir les climats dominants dans le bassin du Haut Sebou. En outre, la crise que subit le patrimoine forestier dans ces régions par l'assaut abusif des populations (surpâturage, coupes...) est exacerbée par les anomalies climatiques (sécheresse persistante), montre à quel point la mise en défens, de ces forêts, devient urgente.

CHAPITRE II
MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET
METHODES

CHAPITRE II : MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

I. Milieu d'étude

1. Approche générale

Le principe adopté pour identifier et caractériser les changements biotique et abiotique opérés dans le Haut Sebou, notamment ceux qui seraient liés aux changements globaux (réchauffement climatique, anthropisation, dégradation d'habitats...) consiste à comparer, d'une part, des structures de peuplements benthiques (répartition, abondance et richesse taxonomique). Et d'autre part, un ensemble d'écosystèmes (assimilés ici aux stations), à l'aide de descripteurs mésologiques susceptibles de révéler ce changement et ce réchauffement. Ces stations et ces peuplements faunistiques ne sont pas comparés séparément les uns des autres, mais réunis dans des structures (typologie et biotypologie combinées) qui les organisent selon leurs similarités. En outre, l'échantillon de stations choisi devrait refléter un large éventail de situations écologiques dans le Haut Sebou.

Cette étude comparative impose donc l'utilisation des mêmes descripteurs et des mêmes méthodes d'échantillonnage et de traitement des données utilisés par Dakki (1986a, 1987). Ceci permet de minimiser l'impact des facteurs non écologiques dans la détermination des différences observées entre les stations. Néanmoins, certaines stations échantillonnées en 1981-85 se sont révélées en 2015-17 inaccessibles (S9) ou aménagées (sources AA et TZ). De ce fait, les points de mesure ont eu un léger changement, qui est à l'origine des variations de dimensions (notamment la largeur, la section mouillée et la profondeur).

2. Choix des stations

Notre objectif est d'abord, la comparaison des caractéristiques mésologiques et faunistiques des cours d'eau prospectés du Haut Sebou entre (1981-1985) et (2015-2017) et aussi l'étude de l'effet de certains facteurs du milieu sur l'évolution, la distribution et l'écologie des peuplements benthiques. Le choix des stations a été guidé par l'idée d'avoir des stations diversifiées dans l'altitude et présentant des caractéristiques différentes en termes d'habitats, substrats, vitesse du courant... Et permettant d'étudier les effets de variations des différentes caractéristiques du milieu et mieux contribuer à la connaissance actuelle de la biodiversité, l'écologie et la répartition de la faune benthique. De même, des contraintes matérielles et logistiques (véhicule, temps de travail, accessibilité des sites) ont également influencé le choix et l'emplacement des stations d'étude.

Onze points d'eau ont été retenus pour cette comparaison (neuf stations sur oued Guigou et deux stations sur oued Sebou), parmi les 37 stations étudiées en 1981-85 (Fig. 11). Huit stations d'entre elles se situent le long du cours central du Sebou, entre les altitudes 216 m et 1910 m, incluant une source (station SS) qui émerge en plein lit de la rivière. Ces points d'eau représentent les grands types d'écosystèmes lotiques mis en évidence dans le Haut Sebou. Les trois autres stations sont des sources permanentes ayant diverses températures (9.7°C à 18.5°C). Jusqu'en 1985, ces écosystèmes étaient relativement proches de leur état naturel, mais en 2015, ils avaient subi, comme le reste du Haut Sebou, des modifications plus ou moins profondes. Une autre station, s'ajoute à ces dernières, située en amont de la confluence de l'oued Sebou avec oued Lihoudi pour l'étude de la diversité biologique et l'enrichissement de notre inventaire faunistique.

Les principaux critères retenus ont été les caractéristiques morphodynamiques des sites (altitude, environnement, largeur, profondeur...), leur éloignement de la source, en avant et/ou amont des foyers de pollution, la diversité écologique et paysagère de la zone d'étude. Le tableau 2 résume quelques caractéristiques générales de nos stations (localisation géographique, habitats types, végétation). Un code est attribué à chaque station et sera utilisé par la suite pour l'exploitation des données récoltées.

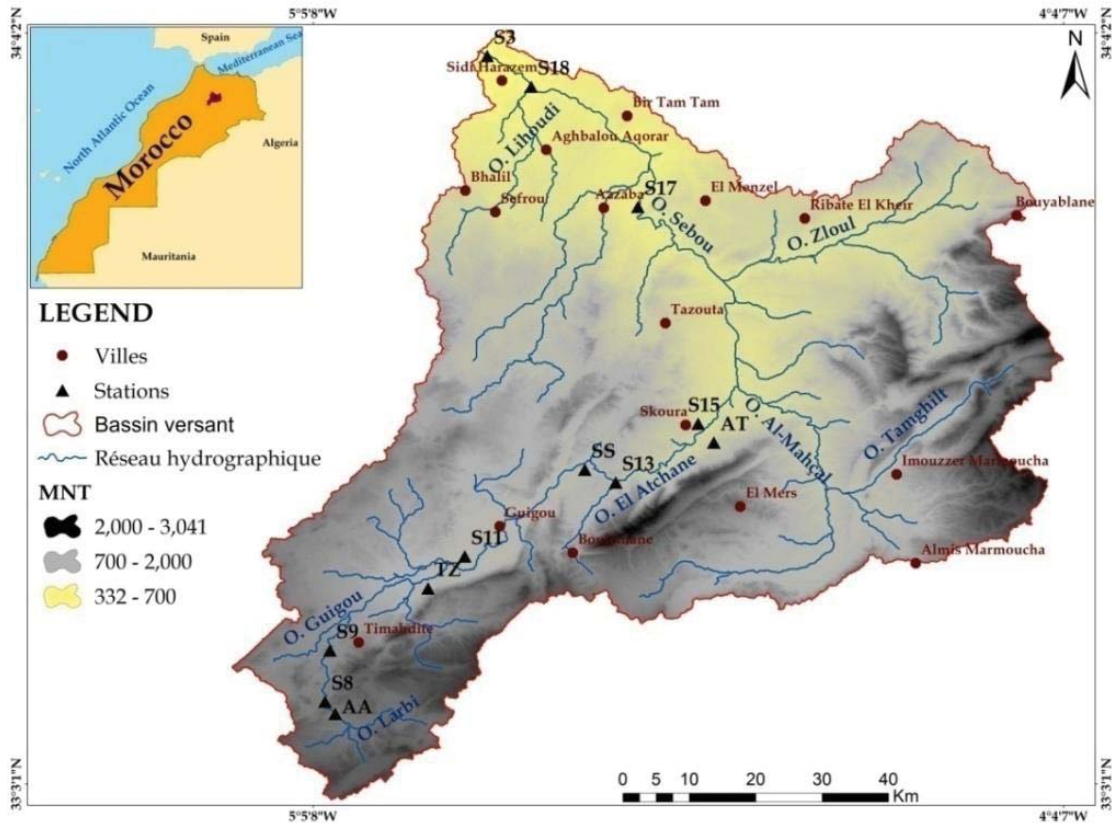


Figure 11. Localisation géographique des stations d'échantillonnage du Haut Sebou.

3. Description des stations d'échantillonnage

3.1. Oued Guigou

L'oued Guigou est l'un des affluents majeurs du bassin Sebou. Il se situe en amont du bassin versant Haut Sebou et prend naissance dans le Moyen-Atlas au col de Zad de sa principale source Aghbalou Aberchane et s'étend sur une longueur de 114,43 Km. Son bassin versant, drainant le causse de Guigou et une grande partie du Moyen Atlas plissé septentrional sur une superficie de 3084 Km² (Devos & Nejari 1998, Abboudi et al. 2014). Il se caractérise par l'importance des précipitations hivernales et printanières engendrant un fort écoulement au printemps dû à la fonte des neiges qui commence dès le début du réchauffement printanier.

Il est alimenté en rive droite par la source Aberchane en amont immédiat du Foutm Khnag (cluse à travers l'accident nord-moyenne-atlasique). A l'aval de Timahdit, il s'écoule dans un petit canyon qui incise les basaltes jusqu'à ce qu'il reçoit les apports des sources Tit Zill et source Skhounate (Dakki 1987, Devos & Nejari 1998).

Tableau 2. Description des stations étudiées du Haut Sebou. OCS : oued cours supérieur, OCM : oued cours moyen, OCI : oued cours inférieur.

Code	Stations	Province	Commune	Habitat type	Végétation
AA	Aghbalou Aberchane	Ifrane	Timahdite	Source	<i>Groenlandia densa</i> très abondante.
S8	O. Guigou à Foug Khnag	Ifrane	Timahdite	OCS	<i>Myriophyllum spicatum</i> et <i>Groenlandia densa</i> abondantes.
S9	O. Guigou à Timahdite	Ifrane	Timahdite	OCS	Galets couverts d'une épaisse couche de Périlithon.
TZ	Ain Tit Zill	Boulemane	Almis Guigou	Source	Mousses et Phanérogames abondants.
S11	O. Guigou au Pont Ait Hamza	Boulemane	Almis Guigou	OCM	Couvert algal important avec peu de Bryophytes.
SS	Source Skhounate	Boulemane	Almis Guigou	Source	<i>Nasturtium sp.</i> et <i>Ranunculus aquatilis</i> abondantes.
S13	O. Guigou à l'amont de la confluence de l'O. El Atchane	Boulemane	Skoura	OCM	Végétation aquatique peu importante avec de rares phanérogames.
AT	Ain Tadoute	Boulemane	Skoura	Source	Végétation variée (<i>Apium nodiflorum</i> , <i>Nasturtium sp.</i> , <i>Salix purpurea</i>) et des algues filamenteuses.
S15	O. Guigou à Skoura	Boulemane	Skoura	OCI	<i>Tamarix sp.</i> et <i>Nerium oleander</i> sur les rives.
S17	O. Sebou à Azzaba	Sefrou	El-Menzel	OCI	Végétation très rare à absente.
S18	O. Sebou à Masdoura	Sefrou	El-Menzel	OCI	Présence de <i>Chamaemelum nobile</i> .
S3	O. Sebou en amont de sa confluence avec O. Lihoudi	Sefrou	El-Menzel	OCI	Abondance de Potamogetons et d'algues filamenteuses.

■ Station AA, source Aghbalou Aberchane

33°08'43" N ; 5°03'19" W ; Z= 1915 m

Située à environ 15 km au sud-ouest de Timahdite et à plus de 800 m en amont de Foug Khnag. Cette résurgence d'environ 5,5 m de largeur, en rive droite en amont du bassin assure la permanence de l'oued Guigou, malgré le captage d'une partie des écoulements pour l'alimentation de Timahdite en aval. Ses eaux jaillissent à la base de formation basaltique ; dans un secteur très fissuré (zone de passage de l'accident nord-moyen-atlasique) à une côte supérieure d'environ 1,5 m par rapport au fond du lit (Fig. 12).

Du fait de son débit moyen important qui est de 0,6 m³/s, elle constitue la source principale du Guigou. Ses écoulements tombent d'abord en pente forte sur les blocs couverts de bryophytes et d'algues, les eaux de la source s'étalent sur une zone plate et vaseuse du lit de l'oued Guigou. La végétation aquatique est formée essentiellement par *Groenlandia densa* et *Ranunculus aquatilis* qui forment des tapis assez denses à la surface des eaux et qui fleurissent d'Avril à Juillet. Les débits en amont de la source ne représentent en étiage que 20% par rapport aux apports de la source (D.R.H. 1975).

De plus, ces eaux sont exploitées par les habitants des douars riverains pour l'abreuvement du bétail mais aussi utilisées comme lavoirs pour le linge, ce qui dégrade, par conséquent, la qualité des eaux et cause une eutrophisation plus ou moins importante qui se manifeste par le développement de mousses et d'algues filamenteuse tapissant le fond du lit de l'oued plus en aval. Cette eutrophisation est fonction du débit de la source et de la charge polluante.



Figure 12. Photos de l'oued Guigou au niveau de la source Aghbalou Aberchane (Cliché A. Qninba juillet 2016).

■ Station S8, O. Guigou à Foug Khnag

33°09'41" N ; 5°04'09" W ; Z=1910 m

Cette station se situe à 1 Km en aval de la source Aghbalou Aberchane. La largeur de son lit varie entre 6 et 8 m, l'eau de cette station s'écoule à une vitesse modérée (26 cm/s) comparée à celle des autres stations étudiées. Deux grandes séguias partent du Guigou en amont de cette station ; lorsqu'elles sont fonctionnelles, la vitesse d'écoulement se réduit davantage et une légère hausse de température estivale peut en résulter. Le substrat dominant est constitué de galets et de cailloux, couvert par des algues et des mousses. Au niveau de cette station, on note une grande prolifération algale traduisant une forte eutrophisation qui s'accroît en été.



Figure 13. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station Foug Khnag (Cliché M. Zerrouk avril 2016).

Cette densité des algues devient moins importante là où l'écoulement de l'eau est très important. Une dense couche de *Potamogeton* envahit les eaux de surface, tandis que la végétation submergée est représentée essentiellement par *Myriophyllum spicatum* et *Groenlandia densa* (Fig. 13).

Cette station est fréquemment occupée par du bétail qui y pâture et s'abreuve et contribue à une forte pollution fécale et organique du cours d'eau, mais aussi à l'érosion des berges et la destruction de la végétation aquatique à cause du piétinement et du broutage. La prise des eaux de cette station se fait en plus des grandes séguías en béton par des point de pompages, elle présente une forte pression anthropique due à deux activités : agricole et pastorale.

■ Station S9, oued Guigou sous le pont de Timahdite

33°19'24" N ; 5°03'44" W ; Z= 1820 m

Cette station se localise juste en amont de la ville de Timahdite. La largeur de son lit varie de 4 à 7 m et la vitesse du courant est assez importante, le substrat est formé de blocs et de roches au milieu du tronçon, et de cailloux et de galets sur les bordures. Ce tronçon connaît une prolifération très importante d'algues vertes filamenteuses et de mousses surtout en saison sèche qui tapissent une grande partie du fond de la station.

Elle est sujette à une multitude d'impacts qui détériorent sa qualité, elle connaît, en effet, une forte activité pastorale où des troupeaux de bétail y pâturent et s'abreuvent. Le piétinement qui en résulte déstabilise ainsi les berges, érode le fond et trouble par conséquent les eaux, ce qui augmente leur turbidité. De plus, les excréments des animaux contribuent avec le lessivage des engrais et des produits phytosanitaires, en période pluvieuse, à une pollution organique des eaux et engendrent ainsi une eutrophisation du cours d'eau avec un développement excessive de mousses et d'algues filamenteuses. L'agriculture couvre une grande superficie de la vallée et les séguías d'irrigation réduisent par endroit le débit d'écoulement. (Fig.14).



Figure 14. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station sous le pont de Timahdite (Cliché O. Himmi avril 2016).

■ Station TZ, source Ain Tit Zill

33°19'24" N ; 4°55'20" W ; Z= 1550 m

Située à 20 km au sud-ouest d'Almis Guigou, à environ 100 m de la rive gauche de l'oued Guigou, dans la partie médiane de la plaine. Elle est composée de deux émergences (amont et aval). C'est une source

dont une partie des eaux est aussitôt détournée pour l'alimentation en eau potable des villages en aval. Elle assure la pérennité de l'oued Guigou dans cette zone.

La première source est aménagée en un grand bassin, la seconde qui est notre station d'étude apparaît au milieu du chenal, à 15 m de sa confluence avec le Guigou et à 2 m au-dessus du fond de celui-ci. Elle forme une aire marécageuse (50 sur 30 m) d'où l'eau s'écoule dans un chenal (6 à 10 m de large et 150 m de long) naturel qui se jette dans le Guigou. Elle débouche directement dans une autre source, le débit important, dont les eaux se déversent à quelque 20 m plus loin, dans le Guigou par l'intermédiaire de deux exutoires où l'écoulement est assez rapide (Fig. 15).

Ses eaux jaillissent à la base de formation basaltique, le débit total des eaux se déversant dans le Guigou serait de 400-700 l/s (0,4 à 0,7 m³/s) (C.E.I.B.M., 2015). La couverture herbacée du substrat est constituée essentiellement de *Ranunculus aquatilis* qui est moins importante, mais les bryophytes abondent à la surface des blocs en courant rapide. Le reste du substrat est constitué essentiellement de galets, de graviers et de sable. La station est couverte à 60% de phanérogames aquatiques.

Les déviations de l'eau sont aussi assurées par les tuyaux qui se prolongent jusqu'au Douar en aval et les champs étendus sur la rive droite du courant. Ceci a pour conséquence directe une mise à sec du courant en aval de la station par endroit surtout en période estivale. Cette source est soumise à plusieurs impacts dérivants des activités agricoles et causant une pollution diffuse par les fertilisants, ainsi que le pâturage.



Figure 15. Photos de l'oued Guigou au niveau de la source Tit Zill (Cliché O. Himmi décembre 2015).

■ Station S11, oued Guigou sous le Pont d'Ait Hamza

33°20'38" N ; 4°53'47" W ; Z=1520 m

Située à une altitude de 1520 m, cette station marque la limite inférieure du secteur le plus incliné du moyen Guigou et qui borde la commune rurale Guigou de la province de Boulemane. La largeur du lit varie entre 6 et 8 m et peut dépasser 30 m en période de crues. La profondeur de l'eau varie entre 12 et 17 cm et le cours d'eau est souvent sujet à de très fortes crues qui perturbent le fond. En dehors de ces crues, l'eau coule avec une vitesse moyenne ; où elle est généralement vive en amont et sous le pont, et elle devient faible en aval. Le substrat est constitué essentiellement de galets, graviers, et sables avec une égale

importance, recouvert superficiellement par un feutrage d'algues filamenteuses et des mousses, ainsi d'un herbier bien développé.

Cette station subit une forte influence anthropozoogène : piétinement et rejet des déchets domestiques, lavage de linge, et une forte activité pastorale due aux troupeaux de bétail qui s'y abreuvent ; entraînant une charge de matière organique s'étalant sur les rives. Elle héberge une population assez importante de grenouilles (Fig. 16).



Figure 16. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station sous le pont d'Aït Hamza (Cliché A. Qninba juillet 2016).

■ Station SS, Source Skhounate

33°28'33" N ; 4°43'01" W ; Z=1425 m

Cette grande source surgit en plein milieu du lit de l'oued Guigou, près de la localité d'Aït el Begal à la limite entre le Moyen Atlas plissé et le Moyen Atlas tabulaire (Giudicelli & Dakki 1984). Le ruisseau issu de cette source de type limnocrène présente d'abord, sur 1 km environ, un lit étroit (3 à 4 m) et une profondeur qui n'excède pas 1 m, peu incliné et ombragé par une dense ripisylve. Ce cours d'eau acquiert ensuite une pente importante avec un lit plus large et peu profond permettant les prélèvements de faune. Le substrat est formé de cailloux et de galets.

Cette station comporte une multitude d'impacts qui contribuent à la détérioration de sa qualité. En effet, cette rivière est très fréquentée par la population avoisinante pour le pompage des eaux soit pour l'utilisation domestique ou pour l'irrigation ; où des champs étendus de culture maraîchère ont été localisés sur la rive droite de la source, en plus de l'abreuvement du bétail et le linge. Comme elle reçoit les rejets lessiviels et les eaux usées du douar qui y sont déversées sans aucun traitement préalable. Les eaux de cette station connaissent une stabilité thermique (température supérieure à 20°C) toute l'année (Fig. 17).

La physiographie de cette station varie selon les saisons, en hiver la section mouillée occupe la totalité du lit alors qu'elle se rétrécit en été. La végétation aquatique est dominée par : *Veronica* sp., *Nasturtium* sp. et *Ranunculus cf. aquatilis*.



Figure 17. Photos de l'oued Guigou au niveau de la source Skhounate (Cliché A. Qninba juillet 2016).

■ **Station S13, oued Guigou à l'amont de sa confluence avec oued El Atchane**

33°27'30" N ; 4°40'31" W ; Z=1300 m

La station se localise sous le pont de la route N° 5105 entre Taferdouste et Skoura à l'Est de Tazdoudène. La largeur du lit est assez modérée (6 m), où l'eau coule avec une vitesse relativement forte sur un fond en escalier avec un substrat minéral grossier et une pente de l'ordre de 16‰. Le régime thermique annuel montre une faible amplitude de l'ordre de 11,8°C.

L'influence thermique de la source Skhounate se ressent au niveau de cette station où les températures extrêmes enregistrées sont de 14°C en hiver et de 25,8°C en été. Cette station représente un secteur très pentu correspondant à la traversée du Moyen Atlas plissé. La végétation aquatique est pratiquement absente mais celle des rives est assez développée, le substrat dominant est de type grossier (blocs et roches) avec un encroûtement calcaire (Fig. 18).



Figure 18. Photos de l'oued Guigou à l'amont de sa confluence avec oued El Atchane (Cliché A. Qninba juillet 2016).

Cette station est souvent sujet à de très fortes crues, ses eaux se chargent ainsi de limon et deviennent très troubles. En dehors des crues, les eaux sont relativement claires. Ce n'est qu'à la fin du printemps et au début de l'été que les eaux baissent et donnent ainsi l'accès à des zones de faible profondeur (6 à 8 cm) caractérisée par une eau calme et favorables au développement de quelque végétation aquatique herbacée.

■ Station AT, source Ain Tadoute

33°30'45" N ; 4°32'32" W ; Z=1340

C'est la plus grande source de la région de Skoura. Elle surgit sur la partie Est du djebel Tichoukt, à 2 km au sud de la commune de Skoura. Elle est formée d'une source principale aménagée en abreuvoir, qui est presque entièrement canalisée pour l'irrigation, et d'une source secondaire restée naturelle. Les prélèvements de la faune ont été réalisés dans cette deuxième source où les eaux empruntent un ruisseau à pente forte à vitesse très importante, qui se réduit progressivement vers l'aval. Le substrat est constitué essentiellement de blocs et de roches au niveau de la source et qui devient plus fins (cailloux et galets) en aval. La végétation aquatique est dominée par des formations à base d'*Apium nodiflorum* (L.) Lag. très denses en plus de *Nasturtium* sp., alors que, *Salix purpurea* abonde sur les rives (Fig. 19).

Ces eaux, sont une source d'approvisionnement en eau potable de la population locale et d'irrigation d'une grande superficie agricole. La présence massive des habitants des agglomérations, le bétail, les pompages, les dérivations de l'eau qui sont aussi assurées par les tuyaux qui se prolongent jusqu'au Douar en aval ; et les mesures de captage qui ont pour conséquence directe une mise à sec du courant en aval par endroit, sont des risques qui menacent la qualité de ses eaux en compromettant ses divers usages et réduisent ainsi les chances d'un avancement socioéconomique de la région. Indépendamment déjà de tout changement climatique.

La source est aussi, la station touristique la plus convoitée par les riverains, ce qui impliquerait une pollution organique qui risque d'être menaçante.



Figure 19. Photos de la source Ain Tadoute (Cliché A. Qninba juillet 2016).

■ Station S15, oued Guigou sous le pont de Skoura

33°32'17" N ; 4°33'49" W ; Z=880 m

Elle est située au niveau du pont de la route Skoura-Tazouta. C'est un cours d'eau assez large (8-12 m) avec un écoulement rapide et une pente moins raide qu'en amont. La vallée est assez ouverte et l'insolation devient plus importante. Le substrat dominant est formé de cailloux et de galets. La végétation aquatique est presque absente, par contre celle de la rive gauche est très dense et caractérisée par un peuplement de *Tamarix* sp. et de *Nerium oleander* qui assure un faible ombrage. Par contre la rive droite est recouverte de quelque végétation herbacée.

En période d'étiage, on assiste à la formation de nombreux bras mort où l'écoulement se réduit à des filets d'eau de 1 m de largeur environ. Le substrat des bras est favorable au développement d'une végétation herbacée immergée et à l'installation d'algues vertes filamenteuses.



Figure 20. Photos de l'oued Guigou au niveau de la station sous le pont de Skoura (Cliché A. Qninba juillet 2016).

Les impacts auxquels est soumis ce cours d'eau sont ceux engendrés par le pâturage et l'agriculture. Les parcelles situées à proximité de l'oued (rive droite), cultivées par des légumes sont irriguées par les eaux pompées de cette station (Fig. 20).

3.2. Oued Sebou

Situé en aval de la confluence oued Mdez-oued Zloul, il ne prend sa forme caractéristique d'important débit régulier qu'après les deux résurgences Ain Sebou et Ain Timedrine. Ces deux sources lui assurent une certaine régularité hydrologique et thermique, coïncidant avec un changement de physionomie générale de la vallée. En effet, à ce niveau, le Sebou coule dans des gorges profondes du causse qui lui assurent une protection contre l'insolation ; le réchauffement de l'eau ne se fera sentir qu'au niveau du Moyen Sebou dans la plaine du Saïss. Il reçoit un affluent pollué par la ville de Sefrou qui est oued Lihoudi.

Ce cours d'eau ne débauche dans le Sebou qu'après un long parcours qui lui permet une certaine auto-épuration et une réduction de débit à cause des irrigations. Cet affluent est considéré sans effet néfaste sur le Sebou (Dakki 1987).

■ Station S17, oued Sebou à Azzaba

33°49'54" N ; 4°38'42" W ; Z=470 m

La station se situe sous le pont de la route Azzaba-El Menzel (en amont de barrage Allal El fassi). La largeur moyenne de son lit varie entre 15 et 20 m et peut dépasser 100 m en période des crues. L'eau est généralement trouble et coule sur un substrat formé essentiellement de blocs et galets en milieu du lit, par contre, les graviers, sables et vases constituent le substrat des secteurs calmes. La vitesse d'écoulement est forte au centre qui se caractérise par une profondeur très importante atteignant 70 cm et s'atténue en quelques zones sur les bords, où se développe peu de végétation aquatique à base de *Nerium oleander* (Fig. 21).



Figure 21. Photos de l'oued Sebou au niveau de la station sous le pont d'Azzaba (Cliché O. Himmi juillet 2016).

Cette station connaît une activité pastorale vigoureuse, qui exerce un fort piétinement des berges, comme elle présente une pollution diffuse découlant des rejets lessiviels, du lessivage des engrais et des produits phytosanitaires des terrains agricoles situés sur sa rive droite mais également des eaux usées des habitations avoisinantes qui y sont déversés sans traitement. Comme elle est fortement fréquentée en période estivale pour la baignade. Tous ces actes déstabilisent les berges, dégradent la qualité des eaux et perturbent ainsi l'équilibre écologique de l'écosystème aquatique.

■ Station S18, oued Sebou à Masdoura

33°59'39" N ; 4°47'22" W ; Z=216 m

La station se localise en amont du pont sur Sebou au niveau de la route nationale Fès-Taza à proximité du douar Masdoura à 15 Km à l'Est de Fès. L'eau de cette station s'écoule à une vitesse assez faible dans les tronçons à pente faible et acquiert une vitesse plus rapide dans les zones pentues. La largeur moyenne du lit est de 20 à 25 mètres. Cependant, celle des bras morts ne dépasse pas 2 mètres, et celle des zones non couvertes peut atteindre 100 mètres de largeur.

Le substrat se compose principalement de galets et de cailloux dans les zones agitées et de vase dans les secteurs calmes. La ripisylve est constituée de *Nerium oleander* qui est l'espèce la plus dominante sur les berges, liée à la végétation avoisinante représentée par *Tamarix africana* (Fig. 22).

Cette station est fortement fréquentée par les habitants du douar Masdoura pour l'abreuvement du bétail mais aussi pour la baignade en période estivale. Toutefois, les impacts dérivant des activités agricoles et des rejets domestiques causent un enrichissement du milieu aquatique en nutriments qui est à l'origine de la prolifération des algues vertes filamenteuses qui tapissent ce substrat. Des points de pompage, pour l'irrigation des champs de culture, le pâturage et l'élevage des troupeaux sont des activités répandues au niveau de cette station. Tous ces facteurs contribuent à la dégradation de la qualité de la rivière et entraînent son eutrophisation. Celle-ci s'assèche par endroit en été, mettant en relief une croûte blanche d'algues sur les bordures.



Figure 22. Photos de l'oued Sebou au niveau de la station Masdoura (Cliché O. Himmi juillet 2016).

■ Station S3, oued Sebou à l'amont de sa confluence avec oued Lihoudi

34° 2' 33" N ; 4° 51' 08" W ; Z=243 m

Cette station se situe sur oued Sebou en amont de sa confluence avec oued Lihoudi à Zawyat sidi Salem sous le pont de l'Autoroute Fès-Taza. Elle est alimentée par Ain El Ouali où l'eau s'écoule à une vitesse faible dans les tronçons à pente faible, elle acquiert une vitesse plus rapide dans les zones pentues. La largeur du lit aquatique fait 20 à 30 mètres et elle peut atteindre 200 mètres en période de crues. La profondeur de l'eau la plus importante se trouve sous le pont, et la végétation aquatique est formée essentiellement des mousses, des algues et de *Potamogeton nodosus*, indicateur d'une eutrophisation intense du milieu qui s'étale sur une surface bien étendue, atteignant environ 100 m². Quant à la végétation riveraine, elle est caractérisée par la forte dominance de Laurier rose (*Nerium oleander*), connectés avec une strate herbacée de *Polygonum* sp., *Persicaria* sp. et *Ochlopoa* sp. (Fig. 23).

De mauvaises odeurs répugnantes se dégagent de l'eau de l'oued surtout en été et qui sont dus à une pollution organique. De même, une épaisse pellicule de matière organique s'étale sur les bordures surtout en période estivale.

Cette rivière présente une multitude d'impacts menaçant la salubrité de ces eaux. Il s'agit des rejets d'eaux lessiviellles et domestiques dérivant des habitations situées en amont du cours d'eau, et les rejets d'eaux usées de la ville de Fès qui y sont déversés sans aucun traitement préalable. Ces rejets engendrent une forte eutrophisation de la rivière avec une croissance algale démesurée. De plus, les eaux de cet affluent

n'échappent pas aux prélèvements d'eau effectués par les habitants du village avoisinante, soit pour l'abreuvement du bétail soit pour l'irrigation ou l'utilisation domestique.



Figure 23. Photos de l'oued Sebou à l'amont de sa confluence avec oued Lihoudi (Cliché O. Himmi juillet 2016).

II. Matériels et méthodes

1. Qualité physico-chimique et mésologique des cours d'eau étudiés

1.1. Périodicité des prélèvements

La périodicité des prélèvements dans cette étude dépendait des contraintes du temps et d'aléas climatiques que connaît la région du Moyen Atlas. Ainsi, nous avons pu réaliser des campagnes de prospection saisonnières qui s'étalaient entre décembre 2015 et avril 2017, d'où un total de 5 campagnes de prélèvements a été effectué. En cas de crue importante, il était préférable de retarder l'échantillonnage de 2 ou 3 semaines de façon à permettre la réinstallation de la faune avant tout prélèvement. Ce cas s'est présenté en octobre 2016 (période des intenses crues qui ont affectés le bassin Haut Sebou).

1.2. Conception expérimentale

Pour évaluer les changements mésologiques dans les écosystèmes du Haut Sebou entre les deux périodes d'étude, nous nous sommes référés aux variables décrites dans la première période d'étude (1981-85) par Dakki (1986a, 1987), parmi lesquelles nous avons sélectionné seize variables qui ont un rôle écologique clé.

Pour certaines variables environnementales (températures, conductivité électrique et oxygène dissous), des mesures ont été effectuées à chaque campagne de terrain, mais pour la plupart des variables, une seule campagne de mesure a été adoptée pour chaque période d'étude, à savoir du 3 au 9 Juin 1985 et du 4 au 19 Juillet 2016. Ces périodes ont été choisies pour éviter à la fois les crues violentes et l'assèchement des stations, et parce qu'elles représentent des conditions optimales pour la diversité biologique (Dakki 1987, El Alami & Dakki 1998). Nous sommes conscients que cette approche "instantanée" (selon Huttunen et al. 2018) peut présenter quelques imprécisions, mais celles-ci sont éclipsées par le large éventail de changements de tous les facteurs.

Au niveau de chaque station et à chaque campagne de prélèvement, des paramètres morphologiques tels que l'altitude, la vitesse du courant, la largeur, la profondeur du lit, la nature du substrat qui compose le fond du cours d'eau... ont été notés sur place. Concernant le couvert végétal (végétation immergée, submergée, flottante, riveraine), nous nous sommes intéressés après les identifications à sa nature et à son pourcentage de recouvrement.

Les analyses des différents paramètres chimiques (conductivité électrique à 20°C, oxygène dissous, SDT, salinité...) ont été faites in situ à l'aide d'un appareil multiparamètres. Pour d'autres, l'eau a été prélevée et analysée au laboratoire. Parallèlement, ces analyses ont été complétées par des observations d'ordre général (nouvelles activités humaines près de nos stations, degré de pollution, la turbidité de l'eau...).

1.3. Données mésologiques

Au niveau de chaque station, quelques paramètres mésologiques permettant de définir les conditions environnementales de la faune ont été relevés ou estimés visuellement : l'altitude, la largeur et la profondeur moyenne du lit, la vitesse du courant, le débit, la granulométrie dominante du substrat...

■ Pente et altitude

La pente est un paramètre écologique important qui dépend de l'altitude et intervient dans le déterminisme de la vitesse d'écoulement, la taille du substrat ainsi que dans la répartition de la faune benthique.

■ Largeur moyenne, profondeur et section mouillée

La profondeur (P) de chaque station a été mesurée grâce à une règle graduée et la largeur (L) du lit est appréciée à l'aide d'un décimètre.

La section mouillée (SM) est calculée d'une manière approximative par la formule suivante :

$$SM = P \cdot L \text{ (Fagrouch et al. 2011).}$$

■ Vitesse du courant

Au niveau de chaque station, des mesures de vitesse sont effectuées en surface (à 5 cm du fond, loin des bordures) au centre de flux à l'aide d'un courantmètre à hélice de type Global Water FP111, FP211, FP311, couplée à une poignée de sonde télescopique se terminant par un petit écran. Les mesures sont faites, dans différentes zones d'écoulement en nombre plus ou moins proportionnel à l'étendue de ces zones. La valeur de vitesse moyenne est enregistrée pour chaque station d'étude.

L'évaluation et la classification de la vitesse du courant sont faites selon l'échelle de Berge (Tab. 3) (Decamps 1971).

Tableau 3. Estimation de la vitesse du courant selon l'échelle de Berg.

Vitesse (cm/s)	< à 10	10 à 25	25 à 50	50 à 100
Classification	Très lente	Lente	Moyenne	Rapide

■ Débit

Les valeurs des débits de nos stations d'étude ont été calculées en appliquant la formule suivante : $D = SM * V$ (Fagrouch et al. 2011).

Où **D** : Débit (m^3/s) ; **SM** : la section mouillée (m^2) et **V** : la vitesse du courant (m/s)

■ Substrat

Il s'agit de tout support naturel immergé susceptible d'héberger la faune benthique. Ce support vital du benthos conditionne, par sa composition, la répartition et l'abondance des espèces. On distingue deux types de substrat : le substrat minéral (les sédiments) et le substrat végétal.

- Le substrat minéral

Il s'agit des sédiments proprement dits qui constituent le lit de l'oued. La texture de ces sédiments joue un rôle très important dans la distribution des macroinvertébrés, elle est déterminée par le diamètre moyen de ses composantes. Deux catégories de substrats ont été retenus : le substrat grossier (galets et blocs) et le substrat fin (graviers, limons, sables).

L'importance des deux catégories de tailles est estimée par le pourcentage de recouvrement de celles-ci dans la station.

- Le substrat végétal

C'est une composante qui est formée de macrophytes (feuilles, tiges, branches, racines, etc.) et de microphytes (algues filamenteuses et micro-organismes).

■ Phanérogames et Bryophyte (végétation submergée)

Indépendamment de la granulométrie, l'importance relative de ces deux composantes au niveau d'une station a été exprimée par le pourcentage de recouvrement des zones mouillées.

■ Périlithon (*sensu* Peryphyton)

On désigne par ce terme les algues ainsi que les micro-organismes recouvrant les sédiments (Dakki 1986a). Il constitue un abri, une source de nourriture pour la faune et sert aussi de matériaux pour la construction de galeries et de coques (étuis) de larves de certains insectes.

Il est difficile de quantifier cette composante avec précision ; on a retenu l'estimation semi-quantitative, adoptée pour ces mêmes milieux par Dakki (1986a), utilisant trois modalités :

- (1) : Périlithon absent ou imperceptible.
- (2) : Périlithon présent sur les éléments du substrat, mais peu abondant.
- (3) : Périlithon très abondant (recouvre plus de 80% de la surface de sédiments).

1.4. Prélèvement de l'eau et l'analyse de différents paramètres

Le prélèvement d'un échantillon de l'eau est une option délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, du fait qu'il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matière en suspension, etc.) (Rodier et al. 2005).

■ Mesures effectuées in situ

Pour caractériser la qualité des eaux de nos stations d'étude et à chaque campagne de prospection, nous avons mesuré in situ, un certain nombre de paramètres physico-chimiques (la conductivité électrique, la température, l'oxygène dissous, la résistivité électrique, SDT, la salinité) à l'aide d'un appareil multiparamètres de marque *HANNA Instruments*, modèle HI9298. Les valeurs de pH ont été mesurées à l'aide d'un pH-mètre de type (Bioblock Scientific pH-mètre 93286). La technique consiste à plonger la sonde de notre analyseur soit directement dans la rivière même ou dans un récipient de grande capacité qui est dûment rempli après son rinçage et à lire directement les valeurs des paramètres précités. Pour chaque mesure le numéro, le nom de la station et la date de prélèvement sont enregistrés.

■ Mesures effectuées au laboratoire

Parallèlement aux mesures effectuées sur le terrain, des échantillons d'eau ont été prélevés afin d'analyser les paramètres (DBO₅, DCO, MES, NO₃⁻) au laboratoire. L'eau est prélevée dans le chenal d'écoulement principal, loin des berges et des obstacles présents dans le lit dans le sens inverse du courant en évitant la mise en suspension des sédiments du fond. Des bouteilles d'une capacité d'un litre sont utilisées, elles sont rincées, au préalable, plusieurs fois avec l'eau de la station, en évitant de perturber la zone d'échantillonnage. De même, l'eau de rinçage a été rejetée loin de la zone d'échantillonnage.

Ensuite, les échantillons sont recueillis en plongeant la bouteille de prélèvement dans l'eau jusqu'à ce qu'elle soit entièrement immergée, selon les procédures normalisées (Rodier et al. 2005). Ensuite, le bouchon est placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.

Ces bouteilles sont dûment étiquetées avec le nom de la station et la date de prélèvement à l'aide de feutre indélébile. Les échantillons sont transportés jusqu'au laboratoire d'Ecotoxicologie de l'Institut Scientifique conservés dans une glacière afin de maintenir une température fraîche et d'éviter la lumière où les analyses sont effectuées à l'aide d'un appareil Secomam pastel UV.

A défaut de moyens matériels pour l'étude de suivi de ces dernières paramètres du milieu, nous n'avons réalisé que deux campagnes de prospection en avril et en juillet 2016.

2. Matériel biologique

Les variations des paramètres physico-chimiques et hydro-morphologiques exercent plus ou moins une pression sur la faune benthique et peuvent être responsables de changement de la structure des communautés faunistiques. Ces modifications peuvent faire diminuer ou augmenter la richesse et l'abondance de la population, selon qu'elles affectent positivement ou négativement différents paramètres de vie de ces organismes au niveau comportemental, morphologique ou physiologique.

Pour mieux connaître cette faune, nous avons tenu à étudier leur écologie, leur répartition spatio-temporelle et à suivre leur interaction avec les fluctuations naturelle et anthropique du milieu. Donc on s'intéresse à l'étude des stades aquatiques qui constituent un moyen plus sûr pour étudier la qualité de l'eau, puisque les adultes peuvent s'envoler loin de leur lieu d'éclosion.

Les récoltes de macroinvertébrés ont été réalisées au cours de cinq campagnes d'échantillonnage s'étalant entre décembre 2015 et avril 2017 à raison d'une campagne par saison. Pour avoir un échantillonnage qui rassemble la plus grande diversité faunistique des habitats et des résultats fiables et comparables avec ceux obtenues au cours de la période 1981-85, nous avons appliqué le même protocole voir le même matériel d'échantillonnage.

2.1. Techniques de prélèvement

Le prélèvement faunistique est une étape cruciale, puisque toutes les étapes qui suivent et qui mènent finalement à une conclusion sur les changements éventuels d'abondance, de diversité, de répartition et le degré de dégradation du milieu, reposent sur la fiabilité et la représentativité des échantillons recueillis. Le but de l'échantillonnage est donc de rassembler la diversité la plus représentative de macroinvertébrés, et ce, pour chaque station examinée (De Pauw & Vanhooren 1983).

Les prélèvements de la faune benthique (larves, nymphes et exuvies nymphales) ont été faits à l'aide de moyen d'échantillonnage quantitatif complété par des prélèvements qualitatifs et semi-quantitatifs.

■ Prélèvements quantitatifs

Au niveau de chaque station et au cours de chaque campagne de prospection, les prélèvements ont été effectués dans des biotopes qui diffèrent essentiellement par la nature de substrat (blocs, cailloux, végétation...) et la vitesse du courant. Les échantillons de la faune ont été collectés à l'aide d'un filet de type Surber dont le vide de maille est de 0,3 mm et de 250 cm² de surface, à raison de six prélèvements par station. Ces prélèvements sont répartis sur les habitats proportionnellement à leur étendue relative dans la station et à des profondeurs inférieures à 40 cm où le plus grand nombre de prélèvement a été effectué dans les biotopes dominants. Cette méthode peut être non exhaustive, dans le sens où des espèces rares pourraient être sous-représentées dans les échantillons quantitatifs ; c'est pourquoi, ces derniers ont été complétés par des relevés qualitatifs, à l'aide d'un filet Troubleau, couvrant tous les types de biotopes, y compris ceux à écoulement lent.

Le filet surber utilisé comporte un cadre métallique carré de 25 cm de côté, placé sur le fond du lit à contre-courant, en délimitant la surface à prospector. Tout support supposé héberger une faune et situé à l'intérieur du cadre est placé dans le filet. Ensuite les pierres et galets de cette surface échantillonnée sont retournés et nettoyés à l'ouverture du filet pour arracher les espèces fixées ainsi que celles agrippées au substrat. Les formes solidement fixées sont détachées à l'aide d'une pince et la faune interstitielle est récupérée par raclage du fond, le courant entraîne ainsi les organismes dans le filet.

■ Prélèvements qualitatifs et semi-quantitatifs

Afin d'établir un inventaire faunistique le plus exhaustif possible et pour permettre une bonne vision des répartitions géographiques et écologiques des espèces, les échantillons quantitatifs ont été complétés par des prélèvements qualitatifs. Ces prélèvements ont été effectués surtout dans des milieux lentières (zones d'eau calme et moins rapide où se dépose les sédiments fins) à l'aide d'un filet Troubleau (filet à manche) à ouverture circulaire de 30 cm de diamètre et 0,1 vide de maille.

Un certain nombre de taxons qui échappent à ce mode d'échantillonnage (les larves et les nymphes surtout fixées sur les galets et cailloux), soit par leur rareté, soit par la difficulté d'accès à leurs habitats, sont directement capturés à l'aide d'une pince.

2.2. Conservation dans l'alcool

Sur le terrain, en fonction du temps disponible et après chaque prélèvement, le contenu du filet est vidé périodiquement dans des bassines blanches préalablement remplies d'eau. On procède à un tri préliminaire où les éléments les plus grossiers (cailloux, graviers, débris végétaux) peuvent être éliminés.

Le matériel récolté, aussi bien par le biais de l'échantillonnage quantitatif que par les prélèvements qualitatifs a été immédiatement mis dans des piluliers ou des bocaux contenant de l'alcool à 90%, qui assure une très bonne conservation des spécimens. En effet, l'utilisation de l'alcool 70% s'est avérée peu satisfaisante, vu que l'eau prise avec le matériel produit une sur-dilution entraînant la décomposition partielle des individus. Ensuite, la date, le numéro et les caractéristiques de la station sont notés sur les piluliers à chaque prélèvement.

2.3. Tri et identification

Au laboratoire cette opération consiste d'abord à extraire la faune (larves, nymphes, et exceptionnellement d'adultes) du substrat contenu dans l'échantillon. Pour certaines espèces qui se reconnaissent facilement un tri préliminaire soit à l'œil nu, soit à la loupe optique est effectué. Pour un travail de détermination plus poussé (rang générique) on a recours à une loupe binoculaire plus puissante avec des grossissements plus forts de type LEICA EZ4 ; et on s'est référé à plusieurs clés et ouvrages de détermination et des clés décrites par Tachet. Pour atteindre le rang spécifique nous avons fait appel à des spécialistes de différents taxons (Insectes, Mollusques, Crustacés...). En cas de nécessité, des dissections des spécimens ont été réalisées, avec un montage des pièces (génitalias, pièces buccales, tergites...) servant à l'identification des différentes espèces entre lame et lamelles pour l'observation au microscope optique.

L'identification du matériel biologique a été faite en collaboration avec des spécialistes, que nous remercions ; pour chaque groupe, il s'agit de :

-Ephéméroptères et Plécoptères : Pr. El Alami Majida et Dr. Khadri Osama (Equipe : Ecologie, Systématique et Conservation de Biodiversité, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc).

-Trichoptères : Dr. Hajji Kamilia (Equipe : Ecologie, Systématique et Conservation de Biodiversité, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc).

-Coléoptères : Pr. Bennas Nard (Equipe : Ecologie, Systématique et Conservation de Biodiversité, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc).

-Odonate : Pr. El Haissoufi Mohamed (Equipe : Ecologie, Systématique et Conservation de Biodiversité, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc).

-Hétéroptères : Dr. Ouassima L'Mohdi (Equipe : Ecologie, Systématique et Conservation de Biodiversité, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc).

-Diptères : Pr. Kettani Kaoutar (Equipe : Ecologie, Systématique et Conservation de Biodiversité, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, Maroc).

-Gastéropodes et Bivalves : Pr. Ghamizi Mohamed, Dr. Boulaassafer Khadija, Dr. Rassam Hanane et Dr. Benaissa Hassan (Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia-Muséum d'Histoire Naturelle de Marrakech).

-Amphipodes : Pr. Fadil Fatima (Faculté des Sciences et Technologie, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès)

-Décapodes : Pr. Guemmouh Rajaa (Laboratoire d'Hydrobiologie et Ecologie générale, Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès).

Ensuite, les différents individus déterminés de chaque espèce sont comptés et placés séparément dans des tubes bouchés au coton et entassés remplis de l'alcool à 70% et munis d'une étiquette intérieure portant différentes informations écrites à l'encre de chine (nom de l'espèce, nombre d'individus, date et station de prélèvement). Ces tubes sont placés (partie antérieure vers le bas) dans des bocaux plus grands et remplis eux-mêmes d'alcool 70%, portant aussi une étiquette extérieure indiquant la nature de son contenu.

Pour le groupe des Diptères, des Oligochètes et des Hirudinés, l'unité taxonomique retenue dans ce travail est la famille ou le genre en raison de difficultés de détermination qu'ils présentaient pour nous.

3. Analyses statistiques

3.1. Test de Wilcoxon

Pour décrire les changements dans les écosystèmes étudiés entre les deux périodes d'étude, nous avons d'abord comparé les moyennes de 16 variables mésologiques mesurées entre ces deux périodes en utilisant un test non paramétrique de Wilcoxon pour deux échantillons appariés. Le traitement a été réalisé sous la version gratuite du logiciel Studio-R, une différence a été considérée comme significative pour une valeur $p\text{-value} < 0,05$. Par la suite, nous avons comparé les "typologies mésologiques" établies pour les écosystèmes sélectionnés pour les deux études.

3.2. Analyses multivariées

3.2.1. Analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM)

L'étude des composantes abiotiques revêt un intérêt important dans la caractérisation du milieu physique, support de la faune aquatique. Pour cela, nous avons choisi l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM), largement utilisée en écologie et dans la description du milieu étudié (Pialot et al. 1984). C'est une méthode qui permet de combiner dans une même analyse à la fois des paramètres quantitatifs et qualitatifs (Lebart et al. 1977, Fenehans & Young 1985) ; et fréquemment utilisée pour classer les oueds marocains (Dakki 1985-1987, Qninba et al. 1988, Tayoub 1989, El Agbani et al. 1992, El Alami 2002...). Elle offre en plus, l'avantage de la représentation et de l'exploitation graphique de la matrice des données.

Ces traitements, effectués par le biais du logiciel Statistica version 10, ont concerné trois matrices 'stations $\times$ paramètres'. La nécessité d'une homogénéité des données nous a poussé à transformer les valeurs de chaque paramètre (ou variable) quantitatif en modalités représentant des états de celui-ci et correspondant généralement à des intervalles de valeurs d'étendues inégales. Ces modalités sont obtenues à l'aide d'une méthode graphique simple où les valeurs les plus proches sont regroupées afin de ne pas créer une grande hétérogénéité dans leurs répartitions et d'éviter de créer une grande différence entre leurs fréquences (Tab. 4). On procède par la suite au remplacement des valeurs brutes par ces modalités dans les tableaux observation-variables.

Dans un premier temps, nous avons établi une typologie indépendante pour chaque période d'étude, via une matrice de '11 stations $\times$ 16 variables', qui ont été comparées par une description visuelle de la distribution des stations dans les plans factoriels fournis par l'AFCM. Les deux matrices sont ensuite

combinées dans une matrice ternaire '11 stations $\times$ 14 paramètres $\times$ 2 périodes' (Dakki 1986b, Doledec & Chessel 1989) où chaque paramètre a deux valeurs. Les résultats sont illustrés sur le premier plan factoriel (F1-F2), qui exprime une grande partie de l'information.

3.2.2. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Cette méthode est couramment utilisée dans les études biologiques, elle s'avère un moyen efficace pour la recherche des structures biocénétiques dans les eaux courantes (Chardy et al. 1976, Dakki 1979, Bournaud et al. 1980, El Agbani 1984, Vincon & Thomas 1987, El Alami 2002, Haouchine 2011). Elle permet un traitement synthétique des données multivariées et a pour but l'analyse des similarités et l'ordination des données initiales.

L'AFC s'applique par excellence aux tableaux à double entrée (n espèces $\times$ p stations) qui utilisent la distance K_{hi}^2 pour comparer les variables ou les individus entre eux. Cette distance est un coefficient de ressemblance asymétrique qui confère une sensibilité plus importante aux espèces de faibles abondances et permet une analyse symétrique sur les lignes et les colonnes du tableau des données.

Les changements subis dans le temps par les assemblages de la faune sont évalués en comparant leur composition en espèces. Cependant, nous avons également cherché à comparer leurs structures, comme établi avec l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Les données sont alors rassemblées dans une matrice 'station $\times$ espèce', où chaque espèce (nous avons limité les analyses aux espèces appartenant aux 4 ordres faunistiques (Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères Elmidae) est représentée dans chaque station par une valeur correspondant à son abondance maximale échantillonnée dans une surface de 0,15 m² (correspondant à 6 prélèvements à l'aide d'un filet Surber d'une surface de 250 cm²), sans tenir compte de la saison où elle a été relevée (Dakki 1987, El Alami 2002, El Hamoumi et al. 2007).

C'est d'après Dakki (1979-1987) que l'utilisation de l'abondance maximale est devenue courante pour l'étude de la typologie puisqu'elle exprime l'optimum écologique de ce taxon dans les différents biotopes qu'il côtoie. Cette méthode permet à la fois de traiter les peuplements dans différents biotopes (temporaires et permanents) et d'atténuer le problème des irrégularités des campagnes d'échantillonnage, ainsi que les méthodes utilisées dans la collecte de la faune. Chaque variable du milieu est transformée en classes (modalités), définies par regroupement des valeurs similaires ou très proches, mais parfois délimitées de façon arbitraire (Tab. 4). L'AFC a été implémentée sous la version gratuite du logiciel Studio-R.

Dans un premier temps, deux matrices binaires de «11 stations $\times$ 54 espèces » et «11 stations $\times$ 33 espèces » correspondant respectivement aux périodes (1981-1985) et (2015-2017) ont été traitées et comparées par une description visuelle des nuages-stations et des nuages-espèces dans le plan F1-F2 fourni par l'AFC. Dans un second temps, les données des deux périodes sont fusionnées dans une matrice ternaire '61 espèces $\times$ 11 stations $\times$ 2 périodes' (où chaque espèce a deux abondances) qui a été réduite à une matrice binaire '61 espèces $\times$ 22 stations-périodes', dont le traitement conduit à une structure spatio-temporelle des communautés (Dakki 1986b, Doledec & Chessel 1989).

3.3. Traitement des données faunistiques

3.3.1. Analyse globale du peuplement

Dans ces analyses, nous avons utilisé des expressions mathématiques qui renseignent et évaluent la structure et la diversité du peuplement. Plusieurs descripteurs classiques sont utilisés à cet effet.

■ La richesse spécifique

La richesse spécifique d'un peuplement correspond au nombre total de taxons composant ce peuplement et qui est effectivement présent sur le site d'étude à un moment donné (Boulinier et al. 1998). Elle est fréquemment utilisée comme une variable reflétant l'état d'un écosystème et intervenant souvent dans les efforts de gestion et de conservation de la biodiversité ; ainsi que, dans l'évaluation de l'impact de la pollution et les activités anthropiques sur la biodiversité (Nicholas et al. 1998).

■ L'abondance absolue et relative

L'abondance absolue représente le nombre d'individus d'une espèce récoltés dans un prélèvement ou d'une population donnée présent par unité de surface ou de volume (Ramade 2003). L'abondance relative, appelée aussi la dominance représente l'abondance d'une espèce par rapport à l'abondance totale des individus de toutes les espèces capturées. Elle est calculée par la formule suivante :

$$P_i = (n_i / N) * 100$$

P_i : Dominance de l'espèce i .

n_i : Nombre d'individus de l'espèce i .

N : Nombre total des individus de toutes les espèces.

■ La fréquence

C'est le nombre total des prélèvements où l'espèce considérée est présente, par rapport au nombre total des prélèvements effectués. La fréquence est exprimée en pourcentage :

$$F \% = (P_i / P) * 100$$

P_i : Nombre des prélèvements où l'espèce « i » existe

P : Nombre total des prélèvements réalisés

En fonction de la valeur de $F \%$ nous qualifions les espèces de la manière suivante (Dajoz 1985) :

- Une espèce est **omniprésente** si F est de 100%.
- Une espèce est **constante** si F est comprise entre 100% – 75%.
- Une espèce est **fréquente** si F est comprise entre 75% – 50%.
- Une espèce est **commune** si F est comprise entre 50% – 25%.
- Une espèce est **accessoire** si F est comprise entre 25% – 5%.
- Une espèce est **rare** si F est strictement inférieur à 5%.

Tableau 4. Définition des différentes modalités des descripteurs abiotiques des stations étudiées.

	Mésologie 1981-1985				Mésologie 2015-2017			Mésologie Combinée			
	Codes	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Paramètres											
Altitude (m)	Alt	Alt < 1000	1000 ≤ Alt < 1600	Alt ≥ 1600	Alt < 900	900 ≤ Alt < 1800	Alt ≥ 1800	-	-	-	-
Pente moyenne (‰)	P	P < 16	16 ≤ P < 40	P ≥ 40	P < 16	16 ≤ P < 40	P ≥ 40	-	-	-	-
Largeur moyenne (m)	L	L < 5	5 ≤ L < 12	L ≥ 12	L < 5	5 ≤ L < 15	L ≥ 15	L < 5	5 ≤ L < 8	8 ≤ L ≤ 15	L > 15
Section mouillée (dm²)	SM	SM < 50	50 ≤ SM < 150	≥ 150	SM < 45	45 ≤ SM < 145	≥ 145	SM < 40	40 ≤ SM < 100	100 ≤ SM < 500	SM ≥ 500
Débit l/s	D	D < 50	50 ≤ D < 1000	D ≥ 1000	D < 240	240 ≤ D < 1000	D ≥ 1000	D < 100	100 ≤ D < 500	500 ≤ D < 1000	D ≥ 1000
Vitesse moyenne (cm/s)	V	V < 50	50 ≤ V ≤ 70	V > 70	V < 40	40 ≤ V ≤ 60	V > 60	V < 30	30 ≤ V < 50	50 ≤ V < 70	V ≥ 70
Température hivernale	TH	TH < 10	10 ≤ TH < 14	TH ≥ 14	TH < 11,5	11,5 ≤ TH < 17,5	TH ≥ 17,5	TH < 10	10 ≤ TH < 15	TH ≥ 15	-
Température estivale	TE	TE < 15	15 ≤ TE < 25	TE ≥ 25	TE < 15	15 ≤ TE < 25	TE ≥ 25	TE < 15	15 ≤ TE < 25	TE ≥ 25	
Moyenne géométrique des maxima thermiques	Mgéó	Mgéó < 10	10 ≤ Mgéó <15	Mgéó ≥ 15	Mgéó < 16	16 ≤ Mgéó <19,5	Mgéó ≥ 19,5	Mgéó <10	10 ≤ Mgéó <15	15 ≤ Mgéó <20	Mgéó ≥ 20
Amplitude thermique	AT	AT < 5	5 ≤ AT < 12	AT ≥ 12	AT < 5	5 ≤ AT < 11	AT ≥ 11	AT < 4	4 ≤ AT < 10	AT ≥ 10	-
Conductivité électrique (µs/cm)	CE	CE < 500	500 ≤ CE < 800	CE ≥ 800	CE < 450	450 ≤ CE < 800	CE ≥ 800	CE < 450	450 ≤ CE < 800	CE ≥ 800	-
Oxygène dissous (mg/l)	OD	OD < 6	6 ≤ OD < 7	OD ≥ 7	OD < 5	OD ≥ 5	-	OD < 5	5 ≤ OD < 7	OD ≥ 7	-
Substrat grossier (%)	Sg	Sg < 60	60 ≤ Sg < 80	Sg ≥ 80	Sg < 60	60 ≤ Sg < 80	Sg ≥ 80	Sg < 60	60 ≤ Sg < 80	Sg ≥ 80	-
Bryophytes (%)	Bry	Bry < 3	3 ≤ Bry < 20	Bry ≥ 20	Bry < 20	20 ≤ Bry < 70	Bry ≥ 70	Bry < 10	10 ≤ Bry < 50	Bry ≥ 50	-
Phanérogames (%)	Pha	Pha < 20	20 ≤ Pha < 50	Pha ≥ 50	Pha < 20	20 ≤ Pha < 50	Pha ≥ 50	Pha < 10	10 ≤ Pha < 30	Pha ≥ 30	-
Périlithon	Pér	1	2	3	1	2	3	1	2	3	-

3.3.2. Détermination de l'indice EPT

L'indice Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT) utilise trois ordres d'insectes aquatiques qui sont facilement triés et identifiés et qui sont couramment utilisés comme indicateurs de la qualité de l'eau. Il affiche la richesse des taxons au sein des groupes d'insectes qui sont considérés comme étant sensibles à la pollution, et par conséquent devraient augmenter avec la qualité de l'eau.

La plupart des études sur les macroinvertébrés benthiques concernant l'évaluation de la qualité de l'eau ont inclus des analyses sur la communauté de ces trois ordres (EPT) (Rosenberg & Resh 1993, Suhaila & Che Salmah 2014). En effet, les EPT sont très sensibles face à toute présence de polluants dans les cours d'eau et sont donc des indicateurs biologiques cruciaux pour déterminer la qualité de l'eau de la rivière. L'indice EPT repose sur l'hypothèse que les cours d'eau de haute qualité ont généralement la plus grande richesse spécifique. Plus la pollution est importante, plus la richesse en espèces attendue est faible, car seules quelques espèces sont tolérantes aux polluants. Dans de nombreux cas, les activités anthropogéniques à proximité de la rivière peuvent avoir un effet sur l'abondance et la diversité des EPT (Wan Mohd Hafezul et al. 2016). Lorsque les actions naturelles ou humaines affectent leur environnement, la population va changer, conduisant à une communauté déséquilibrée. De plus, ces insectes aquatiques réagissent à un large éventail de polluants potentiels et sont sensibles aux conditions à court et à long terme qui affectent la qualité de l'eau.

Parmi les EPT, les Plécoptères sont les plus sensibles aux changements de qualité de l'eau, leur faible motilité et leur forte hétérogénéité suggèrent des réactions inévitables de certains membres à l'égard des changements de la qualité de l'eau (Hellowell 1986). La présence d'espèces EPT indique que les paramètres de l'habitat se situent dans la limite de tolérance des espèces y vivant. Outre les Plécoptères, les larves de Trichoptères et d'Ephéméroptères sont aussi de bons bio-indicateurs de la qualité de l'eau douce et des changements écologiques car la plupart des genres ne peuvent survivre que dans les rivières ou les cours d'eau (Azrina et al. 2006, Suhaila & Che Salmah 2014) et leurs distributions sont fortement dictées par leur tolérance à un ensemble de facteurs environnementaux.

■ Développement de l'indice EPT

L'indice EPT est le nombre total de taxons distincts au sein des groupes, Trichoptère, Ephéméroptère et Plécoptère. Par exemple, si cinq espèces d'Ephéméroptères, cinq Plécoptères et deux Trichoptères se trouvent sur un site, le nombre total de taxons EPT et d'indice serait égal à 12. Dans ce cas, l'indice EPT serait égal 12. L'indice EPT est ensuite comparé aux valeurs sur un tableau de notation EPT (Tab. 5).

L'indice EPT augmente avec l'amélioration de la qualité de l'eau, c'est-à-dire, il devrait y avoir un plus grand nombre de taxons d'insectes EPT dans l'eau plus propre. Les évaluations sont conçues pour tenir compte des différences de tolérance à la pollution des espèces entre les régions. Des bioclassifications à l'aide d'EPT ont été montrées dans le Tableau 5.

Tableau 5. Seuils pour la détermination des bioclassifications à l'aide des critères EPT (NCDEQ 2016).

Bioclassification	Excellent	Bien	Assez bien	Moyen	Pauvre
EPT	>27	21-27	14-20	7-13	0-6

L'indice EPT estime aussi la qualité de l'eau en fonction de l'abondance relative de ces trois principaux ordres d'insectes. EPT peut être exprimé en pourcentage des ordres sensibles (E = Ephéméroptère, P = Plécoptère, T = Trichoptère) par rapport aux taxons trouvés. Un grand pourcentage de taxons EPT indique une qualité d'eau élevée.

3.3.3. Indices de diversité

Un certain nombre d'indices a été utilisé pour mesurer la richesse taxonomique, la diversité, l'équitabilité, et pour comparer la composition globale des différents peuplements ou de l'état d'un même peuplement étudié à des moments différents (Barbault 1992). Il s'agit des indices de Shannon, de Piélou, l'indice de similarité de Jaccard, l'indice de Hill et l'indice de Simpson. Ils ont pour intérêt de rendre compte de l'abondance relative de chaque espèce, de comparer deux peuplements et de comprendre aussi comment ceux-ci évoluent dans l'espace et dans le temps (Dajoz 1985). Ainsi, ces indices sont susceptibles d'être fortement influencés par différentes dimensions de l'échantillon (effort d'échantillonnage, abondance, types d'habitat ...) et par les perturbations naturelles ou anthropiques de l'écosystème.

■ Indice de Shannon-Weaver (H')

L'indice de diversité de Shannon-Weaver est couramment utilisé en écologie pour caractériser la diversité de l'habitat d'une station en se basant sur la diversité taxonomique. Il convient à l'étude comparative des peuplements et permet de quantifier l'hétérogénéité de cette diversité et d'observer son évolution au cours du temps (Blondel 1979, Barbault 1992).

Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$H' = -\sum (n_i / N) * \log_2 (n_i / N)$$

n_i : nombre d'individus d'une espèce (taxon) dans l'échantillon.

N : nombre total d'individus de toutes les espèces (taxons) dans l'échantillon.

Cet indice présente l'avantage de n'être subordonné à aucune hypothèse préalable sur la distribution des espèces et des individus (Chardy & Glemarc 1977), ses valeurs sont exprimées en bits. H' est nul (H' = 0) lorsque tous les individus de l'échantillon appartiennent à une seule espèce, et il est d'autant plus grand lorsque le prélèvement ou l'échantillon est équilibré et diversifié et les individus sont largement répartis entre différentes espèces (Chardy & Glemarc 1977). Autrement dit, pour une même richesse spécifique, H' croît lorsque l'équitabilité augmente.

■ Indice d'Équitabilité de Piélou (E')

Cet indice accompagne souvent l'indice de Shannon. Il est appelé aussi indice d'équi-répartition ou de régularité et il permet de comparer les densités des deux peuplements ayant des richesses spécifiques ou taxonomiques différents.

L'indice d'équitabilité de Piélou est représenté par le rapport de H' sur l'indice maximal théorique dans le peuplement (H max), il est cité par Lardici et al. (1992) et donné par la formule suivante :

$$E' = H' / H_{\max} = H' / \log_2 (S)$$

H' : la diversité spécifique observée (l'indice de Shannon-Weaver).

Hmax : le logarithme du nombre total d'espèce (S) dans l'échantillon.

L'équitabilité E' varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une ou deux espèces. Et elle est de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance.

■ Indice de Simpson (D')

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce. La formule de cet indice est la suivante :

$$D' = \sum n_i (n_i - 1) / N (N - 1)$$

n_i : Nombre des individus de l'espèce i .

N : Nombre totale des individus de l'échantillon.

Cet indice tend vers 0 pour indiquer le maximum de diversité, et vers 1 pour indiquer le minimum de diversité (Schlaepfer & Bütler 2004). Il faut noter que cet indice de diversité donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares. Le fait d'ajouter des espèces un échantillon ne modifie pratiquement pas la valeur de l'indice de diversité.

■ Indice de diversité de Hill

Il s'agit d'une mesure de l'abondance proportionnelle, permettant d'associer les indices de Shannon-Weaver et de Simpson (Eric 2015), cet indice a pour formule :

$$Hill = (1/D')^{1/eH'}$$

$1/D'$: c'est l'inverse de l'indice de Simpson

eH' : c'est l'exponentiel de l'indice de Shannon-Weaver

L'indice de diversité de Hill permet d'obtenir une vue encore plus précise de la diversité observée. $1/D'$ va permettre la mesure du nombre effectif d'individus très abondants, eH' va en revanche permettre de mesurer le nombre d'individus abondants mais surtout des espèces rares. Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1, plus la diversité est faible. C'est l'indice de Hill qui semble le plus pertinent dans la mesure où il intègre les deux autres indices. Toutefois, il peut être utile d'utiliser les trois indices conjointement afin d'en extraire un maximum d'informations, et de mieux comprendre la structure des communautés.

■ Indice de similarité de Jaccard

Cet indice est un test qui permet de quantifier la similarité entre habitats, car il évalue la ressemblance entre deux relevés en faisant le rapport entre les espèces communes aux deux relevés et celles propres à chaque relevé. Il est calculé de la manière suivante :

$$J = c / (a + b - c) * 100$$

a : représente le nombre d'espèce pour l'habitat 1.

b : représente le nombre d'espèce uniques pour l'habitat 2.

c : représente le nombre d'espèces communes entre deux habitats

Si l'indice J augmente, un nombre important d'espèces se rencontre dans les deux habitats évoquant, ainsi, que la biodiversité inter habitat est faible (conditions environnementales similaires entre les habitats).

Dans le cas contraire, si l'indice diminue, on ne rencontrera qu'un faible nombre d'espèces présentes sur les deux habitats. Ainsi, les espèces pour les deux habitats comparés sont totalement différentes indiquant que les différentes conditions de l'habitat déterminent un « turn-over » des espèces importantes (De Bello et al. 2007).

CHAPITRE III
RESULTATS ET DISCUSSION : ETUDE
MESOLOGIQUE

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION : ETUDE MESOLOGIQUE

I. Résultats

L'étude d'un écosystème limnique nécessite plusieurs investigations sur les facteurs abiotiques (physico-chimiques) et biotiques (biologiques). En effet, une composante abiotique ne peut pas à elle seule déterminer la répartition des peuplements benthiques, mais c'est l'association de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques qui agissent en synergie et qui gèrent cette distribution. L'étude de ces composantes mésologiques est envisagée, d'une part, pour la réalisation d'une typologie des cours d'eau prospectés selon leurs affinités mésologiques. Et d'autre part, pour chercher les paramètres ou les composantes du milieu responsables de la répartition spatiale de la faune benthique. Pour cela, il nous a paru intéressant de bien connaître la qualité physico-chimique des eaux du Haut Sebou en mesurant une série des paramètres considérés par les hydrobiologistes comme des facteurs écologiques capables de régir la vie aquatique. Le tableau 6 représente les valeurs des paramètres physico-chimiques recueillies au cours des campagnes de prélèvement réalisées aux deux périodes d'étude (1981-1985) et (2015-2017) sur les onze stations à comparer.

Seize paramètres mésologiques (altitude, pente, largeur moyenne, section mouillée, débit, vitesse moyenne, température hivernale, température estivale, amplitude thermique, moyenne géométrique des maximas thermique, conductivité électrique, oxygène dissous, substrat grossier, bryophytes, phanérogames et périlithon) parmi ceux étudiés par Dakki (1986a-1987) ont été retenus et choisi pour caractériser l'évolution de la nature des eaux et pour expliquer les changements dans les communautés du haut Sebou. Rappelons que pour les deux périodes d'étude, une seule campagne de mesure a été retenue, à savoir du 3 au 9 juin 1985 et du 4 au 19 juillet 2016. Ces dates correspondent à une hydrologie relativement stable, dans le sens où il n'y a pas de crues et d'assèchement des stations, et la diversité faunistique est proche de son optimum.

1. Variabilités spatio-temporelles des paramètres mésologiques structurant la typologie du Haut Sebou

1.1. Paramètres Morpho-dynamiques

1.1.1. Altitude et Pente

L'altitude est un facteur climatique qui détermine les ascendances des masses d'air ou les positions d'abris aux flux dominants. Elle contrôle les gradients thermiques et pluviométriques (Qadem 2015) et donc influence le climat d'une région donnée. Pour notre zone d'étude (Fig. 24), les altitudes sont comprises entre 216 m et 1915 m ; où six stations sont au-dessus de 1400 m et trois stations au-dessous de 400 m. Ainsi dans le choix des stations nous avons accordé une part non négligeable à ce paramètre.

La pente est un facteur écologique important qui conditionne la configuration des filets d'eau et le ruissellement générés par les pluies. Elle détermine la vitesse d'écoulement, la taille des éléments du substrat et par la suite l'érosion (Qadem 2015). Elle intervient également dans la distribution de la faune benthique (Haouchine 2015). Dans le Haut Sebou, les pentes s'accroissent avec le volume et l'altitude de la montagne (Qadem 2015).

Tableau 6. Valeurs des paramètres mesurés sur les différentes stations étudiées du Haut Sebou.

Alt. Altitude ; **P.** Pente ; **L.** Largeur moyenne ; **Pr.** Profondeur ; **SM.** Section Mouillée ; **D.** Débit ; **V.** Vitesse moyenne ; **TH.** Température hivernale ; **TE.** Température estivale ; **AT.** Amplitude thermique ; **M.géo.** Moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes ; **CE.** Conductivité électrique à 20°C ; **OD.** Oxygène dissous ; **Sg.** Substrat grossier ; **Sf.** Substrat fin ; **Bry.** Bryophytes ; **Pha.** Phanérogames et **Pér.** Périlithon.

Période 2015-17

Stations	Alt	P	L	Pr	SM	D	V	TH	TE	M.géo	AT	CE	OD	Sg	Sf	Bry	Pha	Pér
AA	1915	30.0	5.5	9.2	51.0	270	53	10	12.8	11.3	2.8	375	4.9	60	40	70	1	1
S8	1910	2.4	7	13.5	94.5	246	26	10.3	19.5	14.2	9.2	312.5	6.5	70	30	10	20	2
S9	1820	6.7	5.5	11.5	63.25	317	50	7.5	21.3	12.7	14.2	407	5.9	75	25	20	30	2
TZ	1550	20.0	5	17.7	88.5	584.1	66	13.6	18.5	15.9	4.9	762	6.6	80	20	30	60	1
S11	1520	7.6	6.5	15.5	100.8	575	57	11.2	21.8	15.6	10.6	771	4.7	75	25	5	50	3
SS	1425	33.0	5.5	10	66	264	40	20.7	22.8	21.7	2.1	894	4.0	50	50	20	20	3
S13	1300	16.9	6	7.7	45	261	58	14	25.8	19	11.8	896.3	4.4	80	20	0	20	1
AT	1340	125	1.5	2.4	2.5	19	74	17.4	18.6	18	1.2	783	5.4	60	40	40	50	1
S15	880	12.2	8.0	6	50	270	54	15.8	26.3	20.4	10.5	1034.5	5.9	70	30	0	10	2
S17	470	5.7	15	56	840	5880	70	13.7	23.8	18.1	10.1	623	5.9	70	30	0	1	1
S18	216	5.2	20	58	1160	5220	45	15.9	26.3	20.4	10.4	990	5.4	80	20	3	10	2

Période 1981-85

Stations	Alt	P	L	Pr	SM	D	V	TH	TE	M.géo	AT	CE	OD	Sg	Sf	Bry	Pha	Pér
AA	1915	30.0	8.0	7.5	60	432	72	9	10.4	9.7	1.4	360	6.8	90	10	60	5	1
S8	1910	2.4	8.0	15.0	120	192	16	6.9	19	11.5	12.1	236	7.6	60	40	0	20	1
S9	1820	6.7	7.0	13.5	95	560	59	8.6	23	14.1	14.4	365	8.3	70	30	0	20	2
TZ	1550	20.0	6.0	18.3	110	836	76	12.8	14.6	13.7	1.8	600	7.9	70	30	20	50	1
S11	1520	7.6	8.0	17.5	140	952	68	8.8	22.8	14.2	14	660	7.4	70	30	0	30	2
SS	1425	33.0	7.0	10.1	71	285	35	14	21	17.5	7	900	6.4	60	40	10	20	3
S13	1300	16.9	7.0	8.8	62	409	66	12.6	22.6	16.9	10	835	6.9	60	40	3	10	2
AT	1340	125.0	3.5	1.0	3.6	31	86	18.4	18.7	18.5	0.3	560	6.2	80	20	30	50	1
S15	880	12.2	12.0	4.8	58	365	63	12.4	25.6	17.5	13.2	996	5.8	70	30	0	5	3
S17	470	5.7	20.0	55.0	1100	8250	75	13	22.3	17	9.3	528	6.1	70	30	0	1	2
S18	216	5.2	25	64	1600	6720	42	14.5	28	20	13.5	565	5.6	70	30	0	1	1

Dans les secteurs étudiés (Fig. 24), les pentes sont généralement comprises entre 5,2 ‰ à S8 et 125‰ à AT. Les secteurs les plus pentus correspondent aux cours d'eau de montagne où l'altitude dépasse 500 m, notamment à AA (30 ‰) et TZ (20 ‰). Dans les secteurs de plaines de piémonts et les basses altitudes, on assiste à une rupture de pente, à l'élargissement des lits des cours d'eau et le profil s'approche de l'horizontale ; les pentes fluctuent entre 16,9 à S13 ‰ et 5,2 ‰ à S18. Enfin, les secteurs étudiés les plus pentus sont AT (125 ‰) et SS (33 ‰).

1.1.2. Largeur moyenne, Profondeur et Section mouillée

La taille d'un cours d'eau est généralement estimée par son débit, sa profondeur et sa largeur. La majorité de nos stations ont été choisies à des profondeurs inférieures à 50 cm, afin de pouvoir y appliquer la méthode de prélèvement quantitatif des macroinvertébrés à l'aide d'un filet Surber.

Les mesures de la largeur moyenne de nos stations varient entre un minimum de 1,2 m à AT et un maximum de 20 m à la station d'oued Sebou à Masdoura (S18), augmentant de l'amont vers l'aval et plus particulièrement dans les zones de plaines. Les largeurs du lit les plus importantes sont celles des stations de l'oued Sebou (S17 et S18).

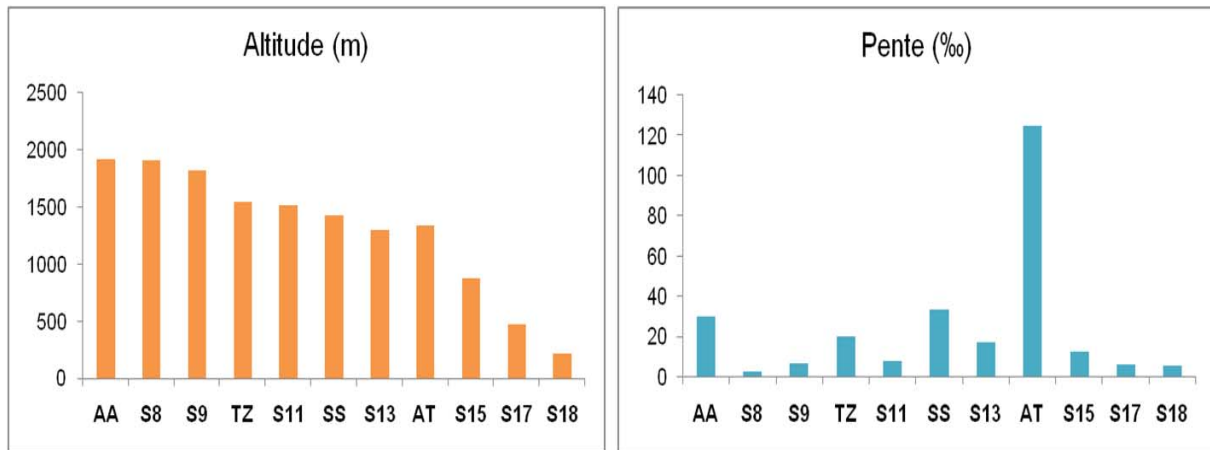


Figure 24. Variations spatiales des variables altitude (à gauche) et pente (à droite) des stations étudiées dans le Haut Sebou.

On note une réduction de la largeur moyenne de nos cours d'eau en comparaison avec celle mesurée par Dakki en 1981-85. Les plus grandes différences absolues de la largeur moyenne (Fig. 25) ont été enregistrées dans les grands cours d'eau de basse altitude (5 m de différence à S17 et S18 et 4 m de différence à S15). Notons que la différence de 2 m enregistrée à AA est sûrement due aux modifications et l'aménagement qu'a connu la station. Pour le reste des stations, des faibles différences de l'ordre de 1 à 1,5 m sont mentionnées et n'ont pas une importante signification écologique.

La section mouillée comme le débit nous informe sur les disponibilités en eau. Les valeurs mesurées dans nos stations d'étude varient entre 2,5 dm² à AT et 1160 dm² à S18. On note que pendant l'étiage, la section mouillée subit une diminution très importante dans certains secteurs de notre réseau, soumis surtout au pompage et la dérivation des eaux pour l'irrigation. Ces valeurs (Fig. 25) sont strictement inférieures à celles enregistrées par Dakki en 1981-85 et qui fluctuent également entre 3,6 dm² à AT et 1600 dm² à S18.

Parallèlement à la largeur moyenne, les plus grandes différences absolues des valeurs de la section mouillée (Fig. 25) entre les deux périodes d'étude ont été enregistrées dans les grands cours d'eau (440 dm² à S18 et 260 dm² à S17). Et les plus faibles différences absolues ont été notées dans les sources (9 dm² à AA, 5 dm² à SS et 1,1 dm² à AT).

1.1.3. Temporalité et perturbations du Débit

Le débit est le volume d'eau en mouvement auquel peut être rattaché une quantité de matière transportée organique ou minéral, inerte ou vivante, endogène ou exogène (Lavandier 1979). Il dépend de l'altitude, de la distance à la source la plus en amont, de la nature des terrains traversés, des précipitations et de la présence des neiges en amont.

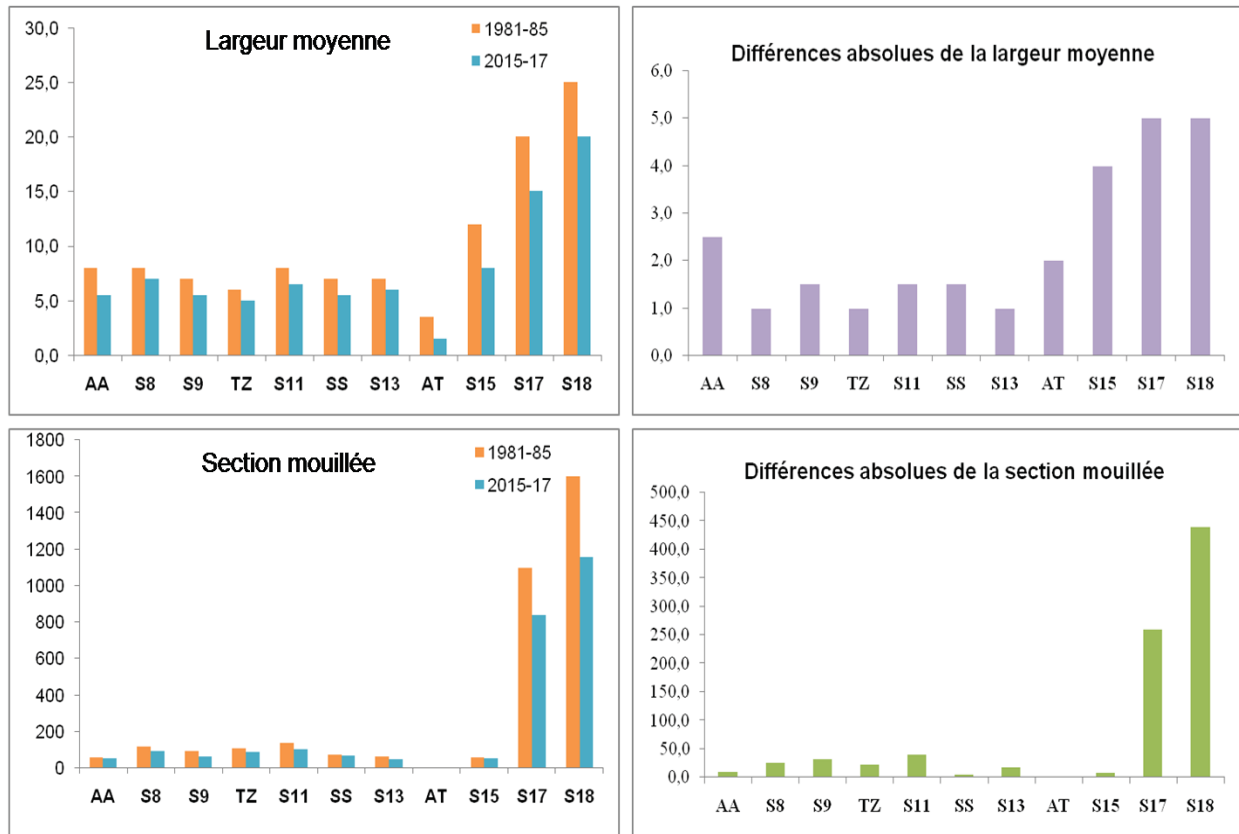


Figure 25. Variations spatiales des variables largeur moyenne et section mouillée entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.

Le régime hydrologique du Haut Sebou est caractérisé d'une part, par de grandes fluctuations du débit et une irrégularité interannuelle (Voir chapitre I). Les crues sont soudaines, violentes et accentués par les précipitations et la fonte des neiges, atténuant ainsi la crue hivernale et l'allongeant vers le printemps par des périodes d'étiages prononcées, d'autre part (Nejjari 2002, Qadem et al. 2018).

Dans le réseau hydrographique du Haut Sebou, la temporarité d'écoulement est liée essentiellement à la nature géologique du terrain traversé généralement schisteux/gréseux, ainsi que les reliefs accidentés favorisant le ruissellement et limitant les réserves d'eau souterraines (Qadem 2015, Qadem et al. 2018). De ce fait, l'écoulement est caractérisé par des débits d'étiages faibles et la mise en eau dépend essentiellement de la pluviométrie.

Cette temporarité est accentuée dans plusieurs cours d'eau par des prélèvements superficiels, destinés essentiellement à des cultures nécessitant une irrigation excessive et les prises d'eau pour couvrir les besoins domestiques des populations locales. De plus, le captage d'une grande partie d'eau des deux sources (AA et TZ) qui assurent la pérennité de l'oued Guigou dans cette zone permet l'alimentation en eau potable des villages en aval. Ainsi, en plus de la nature lithologique des terrains, l'exploitation et l'usage abusif de ces eaux contribuent à l'assèchement total ou partiel de certains biotopes.

Les mesures des débits (Fig. 26) enregistrées dans notre étude fluctuent entre un minimum de 19 l/s à AT et un maximum de 5880 l/s à la station S17. Les valeurs les plus élevées sont celles obtenues dans les deux stations de l'oued Sebou : 5220 l/s à S18 et 5880 l/s à S17. Ces mesures sont généralement inférieures aux valeurs obtenues dans l'étude précédente de Dakki en 1981-85, exception faite uniquement pour la

station S8 où on constate une augmentation de son débit (les valeurs étaient de 192 l/s en 1981-85 et passent à 246 l/s en 2015-17, avec une différence absolue de l'ordre de 54 l/s).

L'analyse de la Figure 26 montre que les plus importantes différences absolues de débit ont été enregistrées respectivement dans les stations S17 de basse altitude (2370 l/s) et S18 (1500 l/s). Suivies par celles enregistrées au niveau des cours d'eau de la plaine 377 l/s à S11, 243 l/s à S9 et 148 l/s à S13. Concernant les sources, les fortes différences absolues ont été obtenues à TZ (252 l/s) et à AA (162 l/s) puisqu'une grande partie de leurs eaux sont destinées à l'alimentation en eau potable de deux villages (Timahdite et Almis Guigou). Les plus faibles différences ont été mentionnées à AT (12 l/s) et à SS (21 l/s) résurgences alimentées par la nappe phréatique.

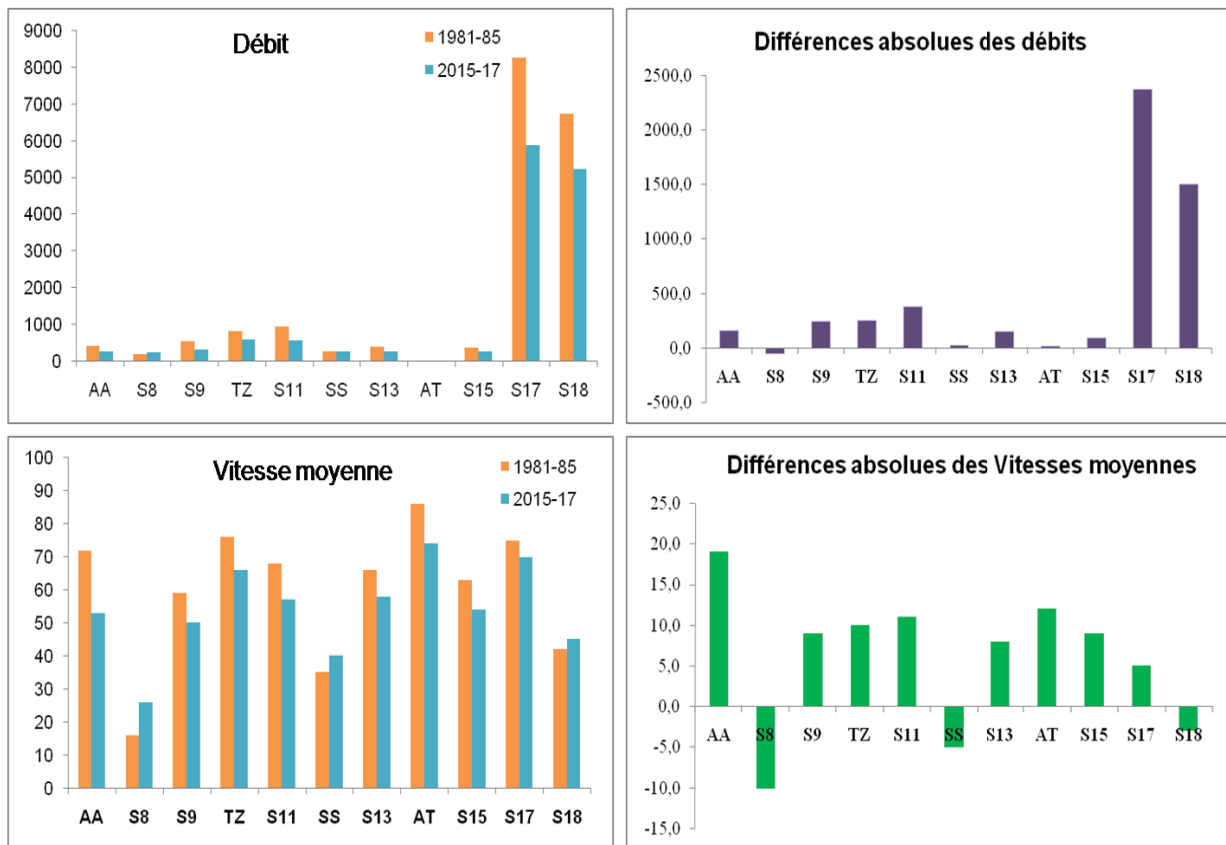


Figure 26. Variations spatiales des variables débit et vitesse moyenne entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.

1.1.4. Vitesse moyenne du courant

La vitesse moyenne du courant est un facteur écologique important agissant sur la composition et la répartition des communautés benthiques. Elle dépend de la pente, du débit, de la largeur du lit aquatique, des fontes de neige et des précipitations qui provoquent de grandes variations.

Dans les secteurs étudiés (Fig. 26), des vitesses moyennes d'écoulement différentes sont repérées. Elles fluctuent entre un minimum de 26 cm/s enregistré à S8 et un maximum de 74 cm/s à AT. Tandis que les autres stations montrent des vitesses moyennes à rapides au dessus de 50 cm/s. Les valeurs de vitesse moyenne enregistrées dans l'étude précédente en 1981-85 montrent que les faciès lénitiques prédominent sur les hautes plaines du bassin du Guigou. Et les vitesses moyennes supérieures à 50 cm/s sont signalées

dans le reste des stations. Les vitesses lentes 16 cm/s, 35 cm/s ont été relevées respectivement dans les stations S8 et SS.

Les valeurs des vitesses moyennes obtenues dans la présente étude paraissent généralement inférieures à celles de l'étude réalisée en 1981-85. A l'exception de trois stations S8 (enregistre une vitesse de 26 cm/s en 2015-17 contre 16 cm/s en 1981-85), SS (enregistre une vitesse de 40 cm/s en 2015-17 contre 35 cm/s en 1981-85) et S18 (enregistre une vitesse de 45 cm/s en 2015-17 contre 42 cm/s en 1981-85). Les valeurs importantes de différence absolue des vitesses moyennes entre ces deux études (1981-2017) (Fig. 26) sont enregistrées essentiellement dans les sources, respectivement à AA avec une différence de 19 cm/s, AT avec une différence de 12 cm/s, TZ avec une différence de 10 cm/s. Suivie par S11 avec une différence de 11 cm/s.

En considération de la sécheresse climatique qu'a connue le Maroc en général et le Moyen Atlas en particulier lors des dernières décennies, les vitesses du courant moyennes à rapides obtenues dans notre étude restent notables malgré la diminution des débits et le rétrécissement de la largeur des sections mouillées.

1.2. Substrats

1.2.1. Substrat minéral

Les cours d'eau étudiés se caractérisent par une grande diversité structurale qui se traduit par la présence d'une grande variété d'habitats (débris végétaux, fond limoneux, roches, végétation aquatique...) et par une grande diversité faunistique.

Le secteur d'étude marque une dominance de substrat grossier, qui couvre plus que 60% de la superficie dans la totalité des stations. Tandis que les dépôts fins (sables et graviers avec des limons localement) prédominent dans quelques stations pendant les basses eaux surtout dans les grands cours d'eau de moyenne et basse altitude (S15 et S18).

C'est au niveau de la source AA qu'on mentionne un changement important du substrat minéral entre les deux périodes d'étude. Le substrat grossier recouvrait 90% de la station en 1981-85 et seulement 60% en 2015-17. Ce changement peut être expliqué par l'aménagement qu'a connu la station et qui a abouti à la destruction de ses habitats naturels (Fig. 27).

1.2.2. Substrat végétal

Les phanérogames couvrent plus que 50 % de superficie totale des deux sources TZ et AT, et ne dépassent pas 30 % de recouvrement dans le reste des stations. Plus que 1/4 des stations prospectées ne comportent guère de bryophytes. Alors que les trois sources AA, TZ et AT présentent un tapis végétal recouvrant entre 30 % et 70 % du lit des oueds (Fig. 28). Les algues filamenteuses et les microorganismes recouvrant le substrat minéral abondent dans les stations de haute et moyenne altitude du Guigou.

Une abondance des bryophytes a été marquée au niveau des sources (AA, TZ, SS et AT) au cours de la période d'étude 2015-17, matérialisée par une augmentation de la superficie de recouvrement de 10%. Ainsi, qu'une abondance de Périlithon a été enregistrée au niveau de S11 en 2015-17, dont le degré de recouvrement des sédiments dépasse 80% (Fig. 28).

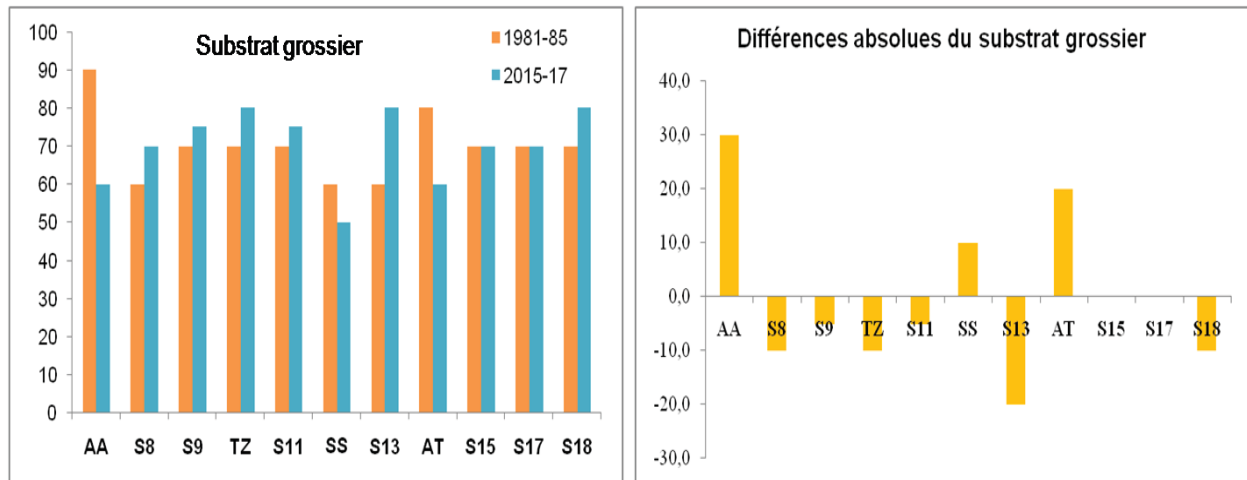


Figure 27. Variations spatiales de la composante substrat minéral entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.

1.3. Paramètres thermiques

La température de l'eau est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques, par son effet sur les propriétés physico-chimiques de l'eau et par son influence sur la répartition des peuplements. Elle détermine la zonation longitudinale des eaux courantes et module le cycle biologique du benthos.

Lors de la présente étude, les températures ont été relevées régulièrement dans toutes les stations étudiées et à chaque campagne de prélèvement. Ces mesures ponctuelles ne peuvent être comparées que dans leur globalité, étant donné qu'elles ont été réalisées à des moments différents de la journée. Ainsi, elles sont suffisamment nombreuses pour comprendre l'évolution spatio-temporelle des températures de l'eau.

La température estivale (généralement juillet et août), la température hivernale (décembre, janvier), l'amplitude thermique entre les températures hivernales et estivales, et la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes relevées ont été toutes retenues pour rendre compte du régime thermique du réseau étudié.

Généralement, les valeurs de température augmentent de l'amont vers l'aval, en prenant en considération l'heure de prise des mesures. Les plus faibles valeurs des maxima hivernaux (Fig. 29) ont été enregistrées au niveau des cours d'eau de haute altitude (7,5°C, 10 °C et 10,3°C respectivement aux stations S9, AA et S8) alimentés par les eaux de fonte des neiges. Tandis que les valeurs élevées ont été relevées en aval, dans les moyennes et basses altitudes de l'oued Guigou (17,4°C à AT et 20,7°C à SS) et au niveau d'oued Sebou (15,9°C et 13,7°C respectivement aux stations S18 et S17) où elles augmentent peu à peu.

Les maxima d'été (Fig. 29) se situent pour les sources entre 12,8°C à AA et 22,8°C à SS, et entre 19,5°C à S8 et 26,3°C à S18 et à S15 pour les cours d'eau. Ces valeurs résultent de la température de l'air, de l'importance de la masse d'eau à réchauffer et surtout de l'insolation. Ainsi que l'absence d'ombrage le long des cours d'eau et les faibles débits d'été sont tous à l'origine de ces fortes températures.

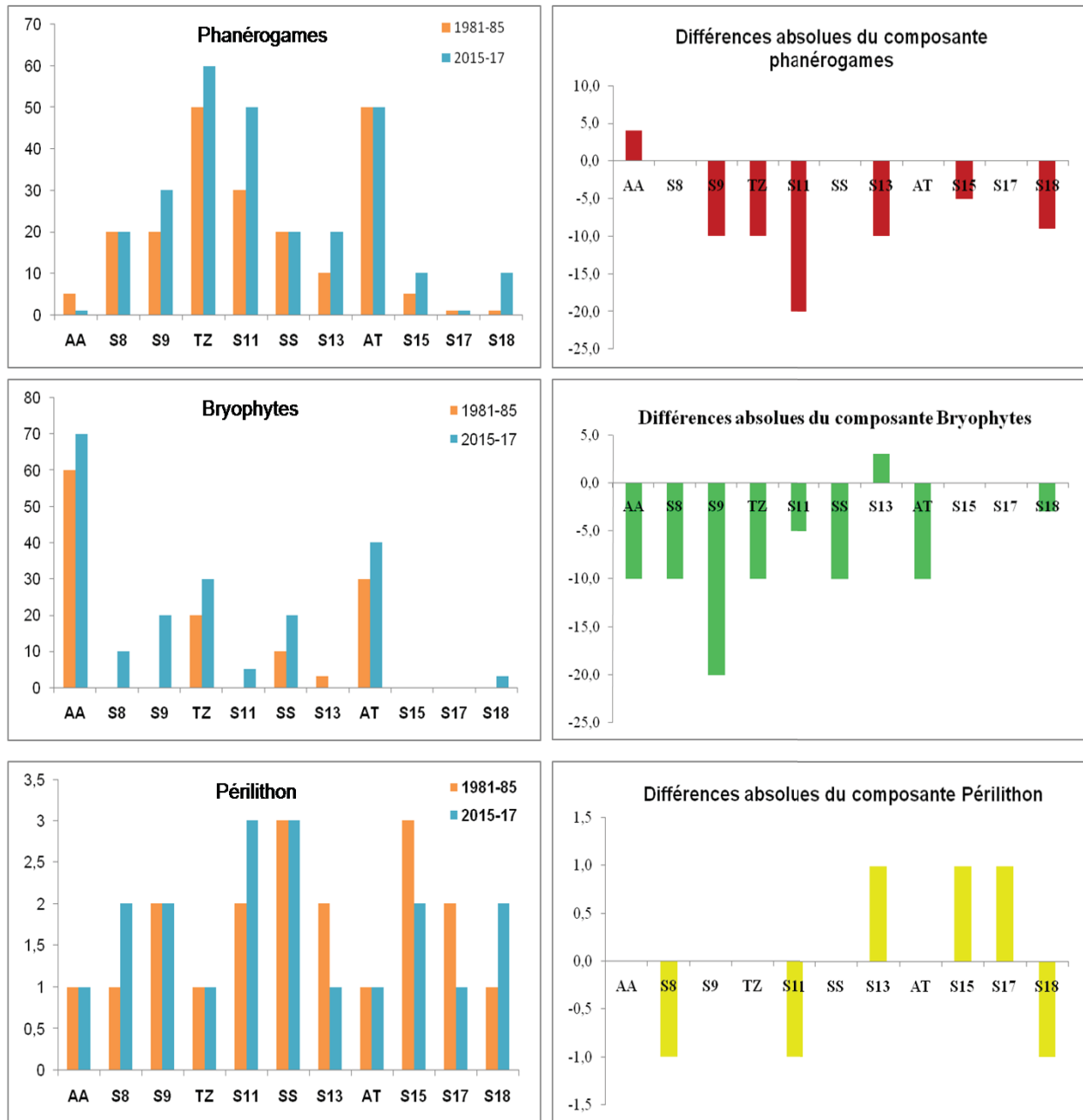


Figure 28. Variations spatiales de la composante végétale entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.

Pour les deux autres composantes thermiques retenues dans notre analyse mésologique (Fig. 29), la moyenne géométrique et l'amplitude thermique exprimée par la différence des maxima extrêmes ; nous notons que les plus faibles valeurs de l'amplitude thermique ont été enregistrées dans les quatre sources. Ces valeurs oscillent entre 1,2°C à AT et 4,9°C à TZ, qualifiées de sténothermes et caractérisées par une stabilité thermique le long de l'année. Les stations des cours supérieurs (entre 1500 m et 1915 m d'altitude), sous l'influence de la neige, se caractérisent par une amplitude thermique assez élevée qui peut atteindre 9,2°C à S8, 10,6°C à S11 et 14,2°C à S9. Ceci est dû au fait que les températures sont élevées par manque d'ombrage et à l'étiage. Enfin, les stations des cours inférieurs (altitude entre 800 m et 200 m) dans les vallées ouvertes, dont les températures estivales et hivernales sont élevées, se caractérisent par des écarts thermiques également élevés (10,4°C à S18 et 10,5°C à S15). Alors que, les plus fortes valeurs de la

moyenne géométriques sont obtenues dans les stations de moyenne et basse altitudes fluctuant entre 18°C à AT et 20,4°C à S18.

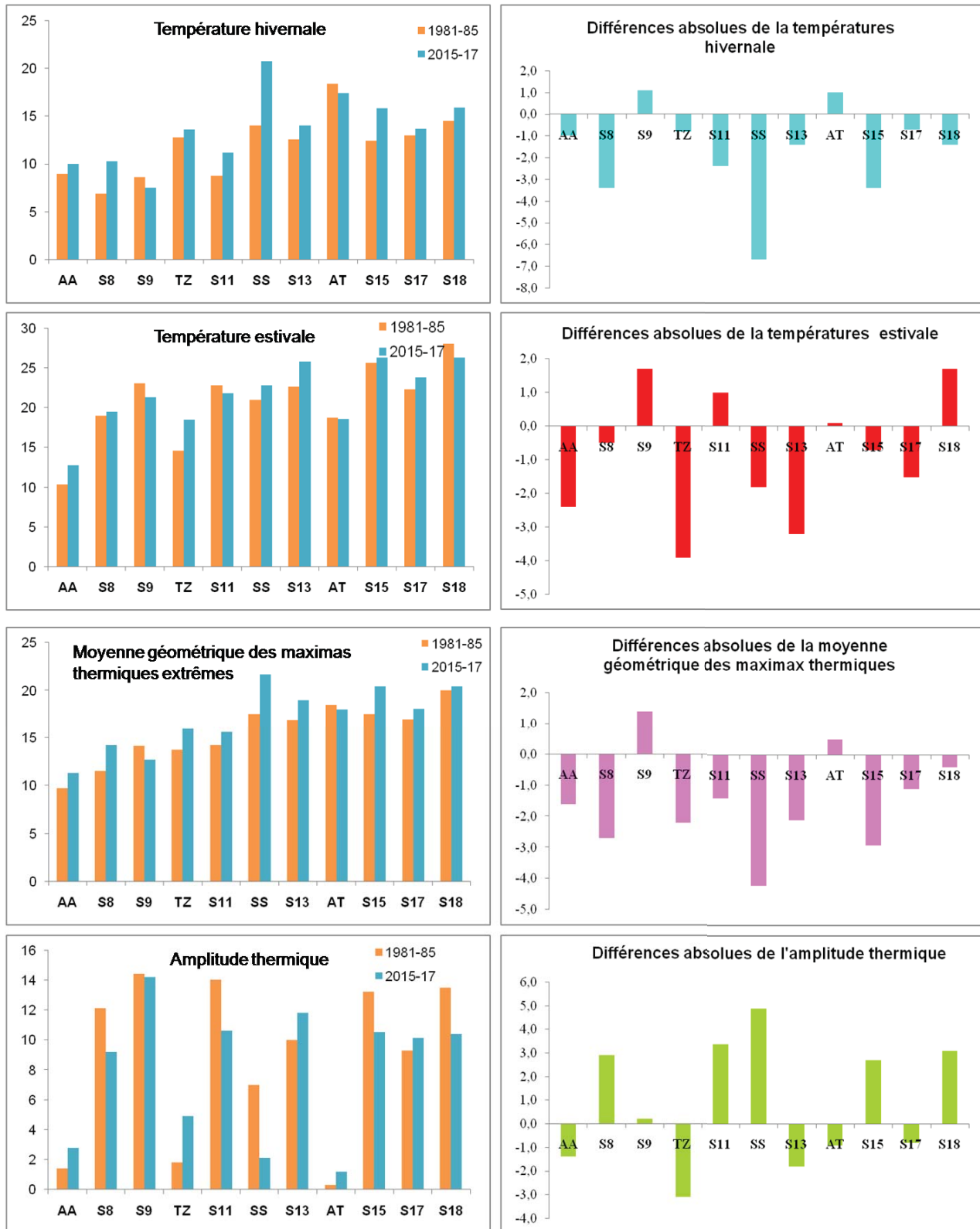


Figure 29. Variations spatiales de la composante thermique entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.

Ces constatations du régime thermique nous permettent de conclure que ces différences de l'amplitude thermique concordent avec la situation géographique des stations (en amont où les températures sont basses et en aval où elles augmentent légèrement), et avec la physionomie du cours d'eau (pente, débit, insolation...).

Dans une optique de comparaison de nos résultats obtenus avec ceux recueillis antérieurement par Dakki en 1981-85. Nous remarquons une augmentation des températures estivales et hivernales des eaux dans presque toutes les stations d'étude (Fig. 29). Exception faite pour la température hivernale dans AT et S9, où on passe respectivement de 8,6 °C et 18,4 °C mentionnées en 1981-85 à 7,5°C et 17,4 °C enregistrées en 2015-17 ; correspondant à des différences absolues de l'ordre de 1,1°C à S9 et 1°C à AT. Une élévation de la température estivale a été enregistrée dans quatre stations S9, AT, S11 et S18 où on passe respectivement de 23°C, 18,7°C, 22,8°C et 28 °C obtenues en 1981-85 à 21,3°C, 18,6°C, 21,8°C et 26,3°C enregistrées en 2015-17, correspondant de même à des différences absolues respectivement de l'ordre 1,7°C, 1°C, 0,1°C, 1,7°C. Ainsi, les valeurs de l'amplitude thermique enregistrent une augmentation entre les deux périodes d'étude dans les trois sources, AA, TZ et AT avec une différence absolue de l'ordre de 1,4°C, 3,1°C, et 0,9°C respective. En plus dans les deux stations S13 et S17 avec une différence absolue de l'ordre de 1,8°C et 0,8°C successive. Tandis que les autres stations ont enregistré une baisse de leurs amplitudes thermiques dont la différence absolue la plus importante est celle obtenue en SS (4,9°C) (Fig. 29).

1.4. Paramètres physico-chimiques

La composition chimique de l'eau est étroitement liée à la nature géologique et pédologique de terrains traversés et à la nature de l'eau qui alimente les oueds (précipitation, neige...) en plus de l'apport de l'activité humaine. Dans la présente étude les composantes chimiques (la conductivité électrique à 20°C, la salinité, la résistivité, l'oxygène dissous, le potentiel d'hydrogène et SDT) ont été retenues pour la caractérisation de la qualité des eaux, vu l'importance de leurs variations le long du réseau. Deux paramètres d'entre eux (Oxygène dissous et conductivité électrique à 20°C) ont été dédiés à l'établissement des typologies mésologiques du Haut Sebou.

1.4.1. L'oxygène dissous

Etant l'un des plus importants indicateurs sur le degré de la pollution des eaux, l'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau et il est exprimé en mg/l ou en pourcentage de saturation (Rodier 2009). Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique. La teneur moyenne dans les eaux de surface non polluée est de 8 mg/l et ne dépasse guère 10 mg/l. Cette teneur dans les eaux dépend principalement de la température, de la vitesse du courant (turbulence) et de la densité des peuplements végétaux.

Les concentrations obtenues montrent que les eaux de l'oud Guigou et l'oued Sebou sont moyennement oxygénées. Ces concentrations varient entre 4 mg/l et 6,6 mg/l, où la plus faible valeur a été enregistrée à SS (4 mg/l) en raison de la température élevée de l'eau. La plus élevée (6,6 mg/l) est celle enregistrée à TZ (Fig. 30).

L'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des concentrations plus élevées en période humide (en décembre 2015 et octobre 2016). Où les valeurs prises sont : 10,07 mg/l à la station S11 ; 11,2 mg/l à TZ et 8,22 mg/l à S18) que celles en période sèche (juillet 2016) à laquelle appartient nos valeurs

(4,7 mg/l à S11, 6,6 mg/l à TZ et 5,4 mg/l à S18). Ceci est dû essentiellement à la diminution de la température de l'eau en hiver. En effet, une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude (Hébert & Légaré 2000). De plus, les fortes vitesses des vents engendrent un brassage continu de la masse d'eau et par la suite un enrichissement de la phase dissoute en oxygène pendant la saison hivernale.

En comparant les valeurs des concentrations de l'oxygène dissous dans nos stations de prélèvement avec celles obtenues par Dakki au cours de la période 1981-85 (Fig. 30), on note une diminution de ces dernières tout au long du secteur étudié hormis la station S15 qui enregistre une faible augmentation sans signification écologique. La figure (Fig. 30) montre que les différences absolues de l'oxygène dissous les plus élevées ont été enregistrées en haute et moyenne altitude, 1,9 mg/l à AA, 2,4 mg/l à S9 et SS, 2,5 mg/l à S13 et 2,7 mg/l à S11. Cette dernière station marque une baisse notable de la concentration de l'oxygène dissous due à l'impact de l'anthropisation galopante qui influence fortement la qualité des eaux de ce site. Ces résultats rejoignent et confirment ceux obtenus par Nechad (2016) dans l'étude des sources du Moyen Atlas. En revanche, les faibles différences absolues ne dépassent guère 0,2 mg/l. Elles ont été enregistrées en basse altitude à S18 et S17.

En général, les valeurs minimales de l'oxygène dissous signalées dans oueds Guigou et Sebou au cours de la période 2015-17 peuvent être expliquées, d'une part par, par la présence d'une pollution anthropique provenant de la charge organique des rejets domestique et agricole des agglomérations parsemés autour des sites étudiés. Et d'autre part, à une pollution naturelle due à l'augmentation de la température durant la saison estivale. Le réchauffement et le faible débit de l'eau, provoquent une diminution de la dissolution de l'oxygène dissous, aggravé par une augmentation de la consommation de l'oxygène par les organismes vivants lors de la décomposition de la matière organique. En effet l'apparition de l'eutrophisation dans quelques stations S8 et S3 le montre clairement.

1.4.1. Conductivité électrique à 20°C

La conductivité électrique à 20°C ou la minéralisation de l'eau constitue un élément important d'appréciation des analyses physico-chimiques de l'eau. Elle est proportionnelle à la quantité des sels ionisables dissous et nous informe sur le degré de minéralisation d'une eau. Ce paramètre est lié aux formations traversées dans le bassin hydrologique (Pescod 1985, Rodier 2009) et permet de mettre en évidence l'existence d'une pollution, ou de zones de mélanges ou d'infiltration (Ghazali & Zaid 2013).

Généralement, la conductivité électrique mesurée en 2015-17 augmente progressivement de l'amont vers l'aval. Les eaux de surface d'oued Guigou sont faiblement minéralisées dans trois stations (AA, S8 et S9) avec des valeurs comprises entre 312 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 407 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 20). Les eaux de ces stations appartiennent à la nappe du Moyen Atlas plissé, caractérisée par l'affleurement des calcaires et des dolomies du Jurassique. Rappelons que la Dolomie est une roche sédimentaire carbonatée composée d'au moins 50% de dolomite, c'est-à-dire d'un carbonate double en Calcium et de Magnésium. De composition chimique $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ et donc une faible teneur en métaux qui sont, pour la plupart de très bons conducteurs d'électricité.

Alors que les eaux des autres stations qui font partie de l'unité hydrogéologique du Causse moyen atlasique, enregistrent des valeurs comprises entre 623 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1034,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 30). Cette forte minéralisation de l'eau est liée essentiellement à la nature calcaire, gypseuse et marneuse des terrains du bassin versant traversés.

Sur oued Guigou, les plus fortes valeurs se rencontrent au niveau de la source chaude Skhounate SS aux eaux très minéralisées (894 $\mu\text{s/cm}$) et du secteur qui lui fait suite (S13 à 896,3 $\mu\text{s/cm}$, AT à 783 $\mu\text{s/cm}$ et S15 à 1034,5 $\mu\text{s/cm}$). Alors que les stations sur oued Sebou enregistrent aussi des valeurs extrêmement élevées (990 $\mu\text{s/cm}$ à S18 et 623 $\mu\text{s/cm}$ à S17) (Fig. 30). Ces stations sont localisées sur une zone assez polluée et très affecté par les activités anthropiques (travaux agricoles et de construction, pompage, pâturage et abreuvoirs pour les bétails). De plus les apports naturels de l'oued, au lessivage des terrains entraînent la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux.

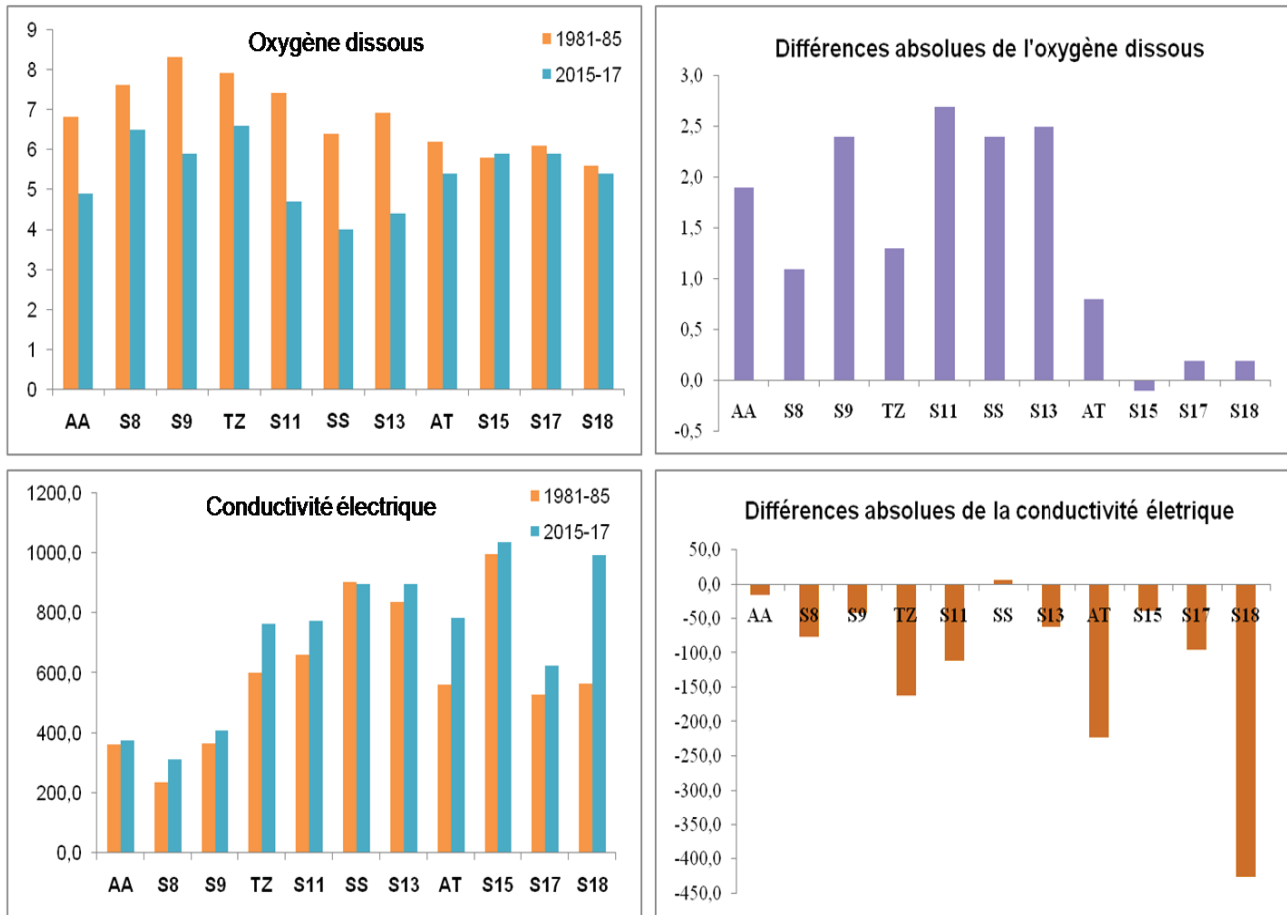


Figure 30. Variations spatiales des variables l'oxygène dissous et la conductivité électrique entre les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.

Par ailleurs, dans la comparaison de nos valeurs de la conductivité électrique avec celles enregistrées en 1981-85 par Dakki, on note une augmentation de ces valeurs sur le long du secteur étudié. Exception faite uniquement pour la source SS qui enregistre une légère diminution. La lecture de la figure 30 montre que les différences absolues de la conductivité dans les trois stations appartenant au Moyen Atlas plissé sont faibles et fluctuent entre 15 $\mu\text{s/cm}$ à AA et 76,5 $\mu\text{s/cm}$ à S8. Tandis que, les plus fortes différences absolues sont celles relevées dans les stations de moyennes et basses altitudes, où elles atteignent jusqu'à 425 $\mu\text{s/cm}$ à S18, 223 $\mu\text{s/cm}$ à AT et 111 $\mu\text{s/cm}$ à S11.

En général, ces valeurs excessives de la conductivité électrique signalées tout au long des stations de prélèvement au cours des deux périodes d'étude peuvent être liées à la nature géologique du sous bassin traversé caractérisé par la présence de marne et de gypse. Ce qui induit une augmentation de la concentration des ions par érosion et lessivage des roches superficielles. En outre, la réduction du débit,

l'augmentation des températures hivernales et estivales induisant l'évaporation des eaux, et l'augmentation de la concentration des ions ont entraîné la forte minéralisation des eaux des stations étudiées.

2. Autres paramètres caractérisant la nature des eaux du Haut Sebou mesurés en 2015-17

D'autres variables chimiques (SDT, pH, salinité et résistivité électrique) ont été mesurées en juillet 2016 pour la caractérisation de la qualité des eaux des stations prospectées. Ces variables ne contribuent pas à l'établissement des typologies mésologiques par manque des mesures en 1981-85.

Quatre autres paramètres DBO_5 , la DCO, la MES et NO_3^- caractérisant la pollution des eaux font l'objet de suivie de deux compagnes de prélèvement successives en avril et juillet 2016 (Tab.7). DBO_5 et DCO permettent d'estimer la quantité de matière organique présente dans l'eau en se basant sur la teneur en oxygène dissous initiale.

Les fortes concentrations de la matière en suspension (MES) et les Nitrates NO_3^- sont à l'origine de la dégradation du milieu aquatique en augmentant la turbidité de l'eau, en perturbant la vie aquatique et aussi en véhiculant de nombreux contaminants vers le réseau hydrographique. L'évaluation de ces variables environnementaux (représentés dans le tableau 6 par leur valeur moyenne) permette la caractérisation et la quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin Haut Sebou.

Tableau 7. Mesures des paramètres caractérisant la nature des eaux et la pollution des stations étudiées dans le Haut Sebou en 2015-17.

Stations	MES	DBO_5	DCO	NO_3^-	pH	Salinité	SDT	Résistivité
AA	96	13,7	33	1,7	7,7	0,17	174	3087
S8	145	15,6	34,5	1,3	7,4	0,18	186,4	2822
S9	87	14	28,6	2,8	7,1	0,31	317,3	1889
TZ	105	14,5	34,5	3,3	7,5	0,42	450,5	1202
S11	86	13,3	31,5	3,6	7,3	0,31	320	1597
SS	83	13,9	28	2,5	7,2	0,45	452,6	1123
S13	90,8	14,2	31,7	1,9	7,6	0,35	378,6	1394
AT	81	12,9	30,5	2,9	7,1	0,28	293,4	1726
S15	160	16	35,5	3,2	7,2	0,5	532,8	962
S17	75	14,6	29,4	5,9	8	0,3	318,3	1613
S18	280	18,4	45,5	6,1	8,0	0,52	555	922

2.1. pH

Le potentiel d'hydrogène mesure la concentration en ions H^+ de l'eau et traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Ces valeurs se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman & Kimstach 1996). Pour les eaux de surface de Guigou, les valeurs relevées sont autour de la neutralité, elles ne montrent pas de variations notables et ont tendance d'être basique avec un minimum de 7,1 enregistré à S9 et un maximum de 8,0 obtenue à S18 (Fig. 31). Cette légère alcalinité est strictement liée à la nature du terrain karstique traversé.

Les valeurs de pH relevées en 1981-85 se situent autour de la neutralité (7,0 et 7,5), elles sont peu variables d'une station à l'autre et partout favorable à une vie aquatique. Cette composante ne sera pas retenue dans la recherche de la structure mésologique et biotypologique du Haut Sebou.

2.2. Total des substances dissoutes (SDT)

SDT représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques (calcium, magnésium, potassium et sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions) ainsi que quelques matières organiques.

Les teneurs en SDT des cours d'eau étudiés (Fig. 31) sont relativement élevées et s'échelonnent entre 174 ppm et 555 ppm proportionnellement à la salinité et à la conductivité électrique. Les valeurs minimales de SDT ont été relevées dans les trois stations du haut Guigou 174 ppm à AA, 186,4 ppm à S8 et 317,3 ppm à S9. Alors que, les valeurs les plus élevées ont été signalées dans les stations de l'unité hydrogéologique du Causse moyen atlasique et surtout dans les stations sur oued Sebou. Ces teneurs varient de 293,4 ppm à AT et 555 ppm à S18. Les eaux de cette unité se caractérisent globalement par une forte minéralisation de l'eau et un terrain très affecté par les activités anthropiques (pâturage, abreuvoirs des bétails, activités agricoles, pompage et lavage....).

2.3. Salinité

La salinité de l'eau indique sa teneur en sel. Ses variations sont proportionnelles à celles de la conductivité électrique, du fait de leurs relations communes liées à la concentration des eaux en sels minéraux. La salinité des eaux douces est inférieure à 0,5 mg/l (Rodier et al. 2005).

Les teneurs de la salinité des eaux de nos stations d'étude (Fig. 31) oscillent entre 0,17 g/l et 0,52 g/l. Les plus faibles valeurs de la salinité sont principalement observées dans les stations du haut Guigou appartenant à la nappe du Moyen Atlas plissé. De nature dolomitique et calcaire et pauvre en sels minéraux, où les valeurs enregistrées sont de 0,17 g/l, 0,18 g/l et 0,31 g/l correspondant respectivement à AA, S8 et S9. Toutefois, les valeurs maximales ont été signalées dans les stations appartenant au Causse Moyen Atlasique de nature gypseuse et marneuse. Les teneurs en sel de ces dernières allant de 0,31 g/l à S11 et 0,52 g/l à S18. Ceci peut être justifié par les mêmes causes de l'augmentation de la conductivité dans ces stations.

2.4. Résistivité électrique

La résistivité électrique est l'inverse de la conductivité électrique à 20°C, elle donne aussi une idée sur la minéralisation globale de l'eau courante. Une eau chargée en matières organiques ionisées, se caractérise par une faible résistivité (conductivité élevée). Les valeurs maximales (Fig. 31) sont enregistrées dans les trois stations du haut Guigou AA (3087 Ohm.cm), S8 (2822 Ohm.cm) et S9 (1889 Ohm.cm). Tandis que les valeurs minimales sont obtenues dans les stations de moyen et bas Guigou et les deux stations de l'oued Sebou (S17 et S18). Les fluctuations varient entre 922 Ohm.cm à S18 et 1726 Ohm.cm à AT. Ces valeurs indiquent en général une minéralisation excessive des eaux de ces stations, qui semble être la conséquence des apports naturels, des oueds alliés au lessivage des terrains, entraînant la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux.

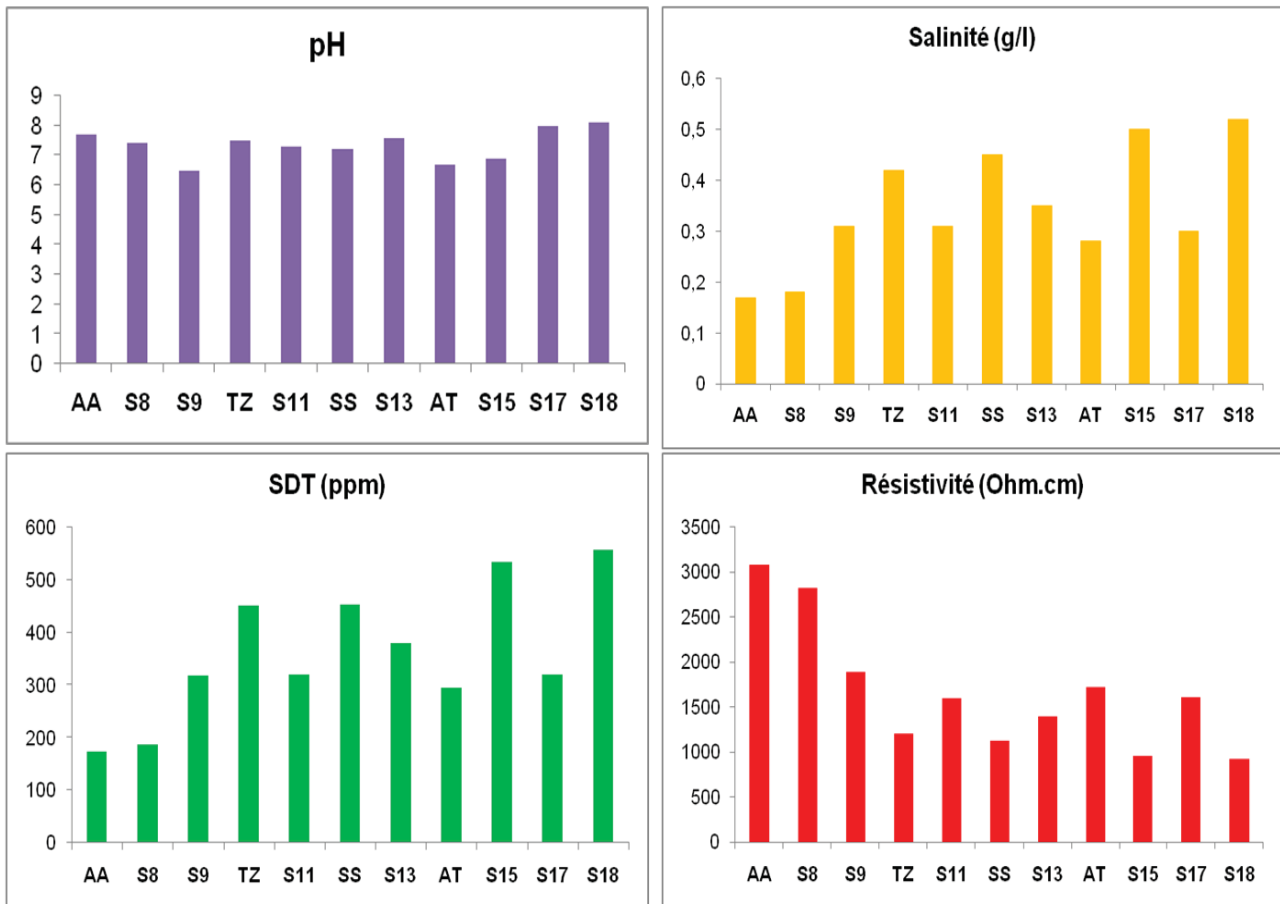


Figure 31. Variations spatiales des variables salinité, SDT, pH et résistivité électrique dans les stations d'étude du Haut Sebou.

2.5. Matière en suspension (MES)

Les matières en suspensions (MES) regroupent toutes les particules insolubles minérales et organiques de faible taille et/ou densité qui se déplacent dans les rivières avec la vitesse de l'écoulement de l'eau et sans contact avec le fond. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux et de la nature des rejets, etc. (Rodier et al. 2005).

En fait, les faibles teneurs de quelques mg/l des MES dans les cours d'eau ne posent pas de problèmes majeurs. Cependant, leur présence en forte quantité est à l'origine de la dégradation du milieu aquatique. Les fortes concentrations empêchent la pénétration de la lumière, en augmentant la turbidité, en réduisant l'oxygène dissous et en limitant alors le développement de la vie aquatique (Rodier 2009). Les MES proviennent en grande partie de l'érosion hydrique du sol (dépendent des facteurs lithologiques) et des rejets des activités anthropiques.

Les concentrations de MES dans notre secteur d'étude (Fig. 32) montrent des valeurs assez élevées variant entre un minimum de 81 mg/l signalé à AT et un maximum de 307,5 mg/l à la station S17.

2.6. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ traduit la qualité d'oxygène moléculaire utilisée par les microorganismes pendant une période d'incubation de 5 jours à 20°C pour décomposer la matière organique dissoute ou en suspension,

contenue dans un litre d'eau. D'après Chapman & Kimstach (1996), la DBO₅ des eaux naturelles est inférieure à 2 mg/l. Les eaux recevant des rejets domestiques présentent des concentrations supérieures à 10 mg/l.

Les eaux étudiées (Fig. 32) ont montré des valeurs relativement élevées en DBO₅ qui fluctuent entre un minimum de 12,9 mg/l enregistré à AT et un maximum de 18,4 mg/l à S18. Ces fortes valeurs seraient liées à une forte oxydation des composés inorganiques oxydables. Aussi, elles peuvent être attribuées à une contamination des eaux de la nappe alluviale par celle du Sebou contenant des eaux résiduelles riches en matière organique.

2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO correspond à la quantité d'oxygène (en milligramme) qui a été consommé par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans un échantillon d'eau de 1 litre. Elle est moins représentative que la DBO₅ de la décomposition des matières organiques qui a lieu dans le milieu naturel mais elle est rapide, et contrairement à cette dernière, possède une bonne reproductibilité.

Les teneurs en DCO dans nos prélèvements (Fig. 32) oscillent entre un minimum de 28 mg/l enregistré dans la station SS et un maximum de 45,5 mg/l à S18. Les valeurs de DCO dépassent 30 mg/l dans la majorité des stations. Des taux aussi élevés surtout dans les stations sur Sebou (29,4 mg/l à S17 et 45,5 mg/l à S18) témoignent d'une pollution organique intense.

2.8. Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. La présence des nitrates dans les eaux superficielles est souvent liée soit à des apports d'origine agricole par lessivage d'engrais à base de nitrates. Soit à la transformation de l'ammonium en nitrates provenant des rejets domestiques, ou des déjections animales véhiculées par les eaux de ruissellement au niveau des stations connaissant une activité pastorale importante (Chapman et al. 1996).

En milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture (Chapman et al. 1996).

Dans notre secteur, les teneurs en nitrates (Fig. 32) sont comprises entre la valeur minimale de 1.3 mg/l enregistrée à S8 et la valeur maximale de 6,1 mg/l au niveau de la station S18. Ce résultat marque un fort impact anthropique subi par ces stations qui se localisent soit très proches des terrains strictement agricoles et reçoivent, par conséquent, d'importants déversements des eaux de lessivage. Soit se trouvent dans des zones de pâturage des ovins et des bovins, et c'est exactement le cas de nos stations.

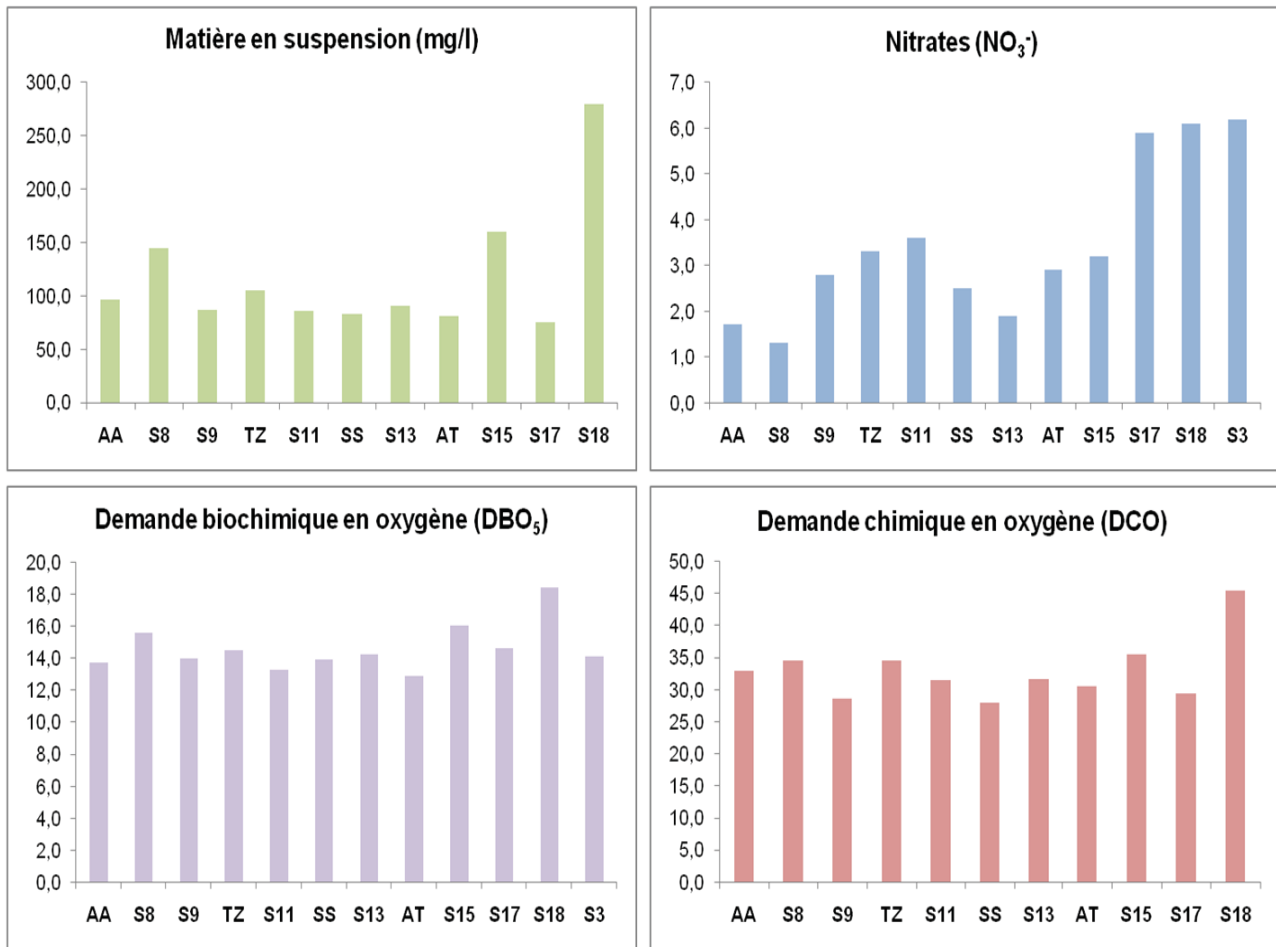


Figure 32. Variations spatiales des variables MES, DBO₅, DCO et NO₃⁻ dans les stations du Haut Sebou.

3. Aperçu des modifications apportées aux descripteurs

3.1. Test de Wilcoxon

Le test de Wilcoxon (test non paramétrique) appliqué aux variables environnementales dans les différentes stations étudiées entre les deux périodes d'étude 1981-85 et 2015-17 montre une différence significative (valeurs p-value < 0.05) des facteurs hydrologiques (largeur moyenne, section humide et débit) ; des paramètres thermiques (température estivale, température hivernale et la moyenne géométrique des maximas thermiques), de la conductivité électrique, de l'oxygène dissous et de la composante végétale bryophyte (Tab. 8). Tandis que les variables vitesse moyenne, amplitude thermique, substrat grossier, et la composante végétale (phanérogames et périlithon) n'enregistrent pas une différence significative (valeurs p-value > 0.05) entre ces deux périodes d'études (Tab. 8).

3.2. Evolution du contexte environnemental

Les paramètres hydrologiques (largeur moyenne, section mouillée, débit, profondeur et vitesse moyenne) sont fortement corrélés entre eux, ainsi, qu'entre les deux périodes études. Les débits (et la vitesse d'écoulement) ont subi, dans l'ensemble des stations, une diminution en proportion variable (7% à 43%). Cette forte réduction des débits est liée à l'influence du réchauffement global, aux prélèvements d'eau pour les activités humaines (irrigation, eau potable et industrie) accentués en période estivale. Ce qui peut encore amplifier le phénomène. Alors que l'augmentation de l'évaporation et/ou de la transpiration dans le bassin du Haut Sebou reste une hypothèse plausible pour expliquer la majorité de ces réductions de débit.

Tableau 8. Résultats du test non paramétrique de Wilcoxon appliqué aux variables environnementales mesurées en 1981-85 et 2015-17 (***) p-value<0.05 ; * p-value>0.05).

Variables	p-value	Signif.
Largeur moyenne	0.003702	***
Section mouillée	0.0009766	***
Débit	0.004883	***
Vitesse moyenne	0.05557	*
Température hivernale	0.0326	***
Température estivale	0.01971	***
Moyenne géométrique des maximas thermiques	0.02073	***
Amplitude thermique	0.4131	*
Conductivité électrique	0.001953	***
Oxygène dissous	0.005056	***
Substrat grossier	0.8571	*
Bryophytes	0.03494	***
Phanérogames	0.05624	*
Périlithon	1	*

La seule hausse enregistrée par ces paramètres concerne la station S8, sur le Guigou en aval de sa source principale (AA) ; vu que le débit de cette source a baissé, cette hausse ne peut s'expliquer que par l'amélioration des apports du Guigou en amont de cette source.

La minéralisation de l'eau (conductivité électrique à 20°C) montre une augmentation graduelle de l'amont vers l'aval, mais aussi entre les deux périodes d'étude. Cette augmentation de l'ordre de 23,6% serait favorisée par la diminution du débit de l'eau, l'augmentation de la température surtout en période estivale et l'abondance des activités des agglomérations parsemées tout au long du bassin Haut Sebou. Les changements les plus remarquables concernent la station sur oued Sebou (S18) et les sources AT et TZ, qui sont de plus en plus soumises à des activités polluantes. La station S18 reçoit les eaux de l'oued Lihoudi, qui véhicule les rejets de la ville de Sefrou. Alors que la source AT est très fréquentée par le bétail et la source TZ, également fréquentée par le bétail, est souvent utilisée pour le lavage (linge, laine, véhicules ...).

La température des eaux a enregistré une hausse à la fois hivernale de l'ordre de 21.7% et estivale de 12%, conséquence normale de la baisse des débits et de la hauteur de la lame d'eau (profondeur), mais c'est au niveau des sources que la hausse de ce paramètre attire l'attention. En effet, les eaux des sources fraîches (AA et TZ) auraient subi une augmentation hivernale d'environ 1°C. Alors que cette hausse fut plus grande en été (2,4°C à AA et 3,9°C à TZ), générant alors des amplitudes thermiques relativement grandes pour des sources émanant de nappes de montagne (2,8°C et 4,9°C respectivement). Dans la source SS, plus chaude que les deux précédentes (20,7°C à 22,8°C), cette hausse est plus faible (1.8°C en été). La forte hausse hivernale qui y a été relevée (6,7°C) est liée au fait qu'elle émerge en plein lit du Guigou ; lequel draine en hiver des eaux plus fraîches qui se mélangent aux eaux de la source et abaissent leur température. Durant la période 2015-17, ce cours d'eau était à sec au moment où la température maximale y a été mesurée. Dans la source AT, l'eau montre une légère baisse de température (1,0°C), qui reste inexplicable.

La hausse de température des eaux de sources pousse à supposer un réchauffement de leurs nappes, phénomène qui serait lié pour les nappes fraîches à leur proximité de la surface du sol et au recul sévère de l'enneigement dans le bassin versant, tant en durée qu'en quantité. Pour la source SS, son échauffement suppose que sa recharge hivernale ne se fait guère, vu que cet oued subit souvent des assèchements prolongés, en plus de la quasi-absence de la neige.

L'oxygène dissous montre en 2015-17 des valeurs plus ou moins basses, comparées à celles mesurées pendant les années 1981-85, avec une réduction moyenne de 21,8%. Ceci est une conséquence logique de la baisse des vitesses d'écoulement et du réchauffement des eaux.

Les bryophytes caractérisent les sources, bien qu'elles soient apparues dans des stations du cours central du Guigou, alors que la proportion du substrat grossier et le couvert végétal (phanérogames et périlithon) varient de façon irrégulière.

4. Etude typologique du Haut Sebou entre 1981-85 et 2015 -17

Le précédent exposé analytique des composantes mésologiques des stations étudiées donne une première idée des caractéristiques des eaux courantes du Haut Sebou. Nous essayerons dans ce paragraphe d'en établir une typologie globale, basée sur un grand nombre de paramètres (16 variables mésologiques), en utilisant l'AFCM (Analyse Factorielle des Correspondances Multiples) ; méthode relativement objective de mesure des similarités abiotiques. Depuis son application avec succès par Dakki (1979, 1986a, 1987) dans sa recherche d'une structure mésologique du Haut Sebou, l'AFCM a connu un vaste champ d'application dans plusieurs travaux menés au Maroc (Qninba et al. 1988, El Alami 1989, Tayoub 1989, Benhoussa et al. 1993...)

Les objectifs visés dans la recherche de la structure mésologique sont, entre autres, de la comparer avec celle réalisée en 1981-85. Aussi, de l'utiliser comme support synthétique pour la visualisation de l'évolution de la répartition écologique des espèces dans l'ensemble des stations prospectées entre les deux périodes d'échantillonnage et l'étude de leur écologie comparé.

4.1. Changements de structures mésologiques du cours central du haut Sebou

Dans cette première étape, la comparaison a porté sur les structures mésologiques du cours central établies à l'aide de l'AFCM, séparément pour les données des deux périodes 1981-85 et 2015-17 (Tab. 6). La transformation des valeurs de 16 paramètres en modalités a été également effectuée en utilisant une échelle spécifique à chaque jeu de données (Tab. 9). Dans les deux cas, le premier plan factoriel (F1-F2) issu d'une AFCM cumule plus de 60% de l'inertie totale de l'analyse, permettant ainsi de limiter l'analyse de la structure typologique à ce plan.

4.2. Structure mésologique du cours central en 1981-85

Le traitement de la matrice binaire '11 stations x 16 variables' (Tab. 9) par l'AFCM montre, que les deux premiers axes factoriels F1 et F2 détiennent l'essentiel de l'information puisqu'ils présentent 68,0 % de l'inertie totale. La structure mésologique obtenue dans le plan factoriel F1-F2 (Fig. 33), montre que l'axe F1 sépare les trois sources des autres cours d'eau. Résultat normal puisqu'elles se distinguent par leurs températures estivales basses, des amplitudes thermiques annuelles très faibles et un substrat riche en bryophytes. L'axe F2 tend à matérialiser un gradient, montrant la succession naturelle amont-aval des stations.

L'examen de la projection des modalités des variables du milieu sur le plan F1-F2 (Fig. 34) permet d'expliquer la signification de chaque axe dans la répartition du nuage des stations et la relation entre la structure typologique et les variables du milieu. L'axe F1 (41,2% de l'inertie totale) s'explique principalement par la taille du cours d'eau (débit, section mouillée et la largeur moyenne). Sachant que cette composante intègre d'autres paramètres (tel que la vitesse moyenne du courant et la profondeur), la pente, la température estivale, l'amplitude thermique et l'abondance des bryophytes. Le second axe F2 (26,8% de l'inertie totale) révèle le gradient amont-aval et s'explique essentiellement par l'altitude, la conductivité électrique à 20°C et la température hivernale. Ces paramètres impliqués dans l'explication du plan F1-F2 permettent de résumer l'essentiel de la typologie.

Tableau 9. Matrice des données utilisées dans la typologie mésologique en 1981-85.

	Alt	P	L	SM	D	V	TH	TE	M.géo	AT	CE	OD	Sg	Bry	Pha	Pér
AA	3	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	3	3	1	1
S8	3	1	2	2	2	1	1	2	2	3	1	3	1	1	2	1
S9	3	1	2	2	2	2	1	2	2	3	1	3	2	1	2	2
TZ	2	2	2	2	2	3	2	1	2	1	2	3	2	3	3	1
S11	2	1	2	2	2	2	1	2	2	3	2	3	2	1	2	2
SS	2	2	2	2	2	1	3	2	3	2	3	2	1	2	2	3
S13	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	1	2
AT	2	3	1	1	1	3	3	2	3	1	2	2	3	3	3	1
S15	1	2	3	3	2	2	2	3	3	3	3	1	2	1	1	3
S17	1	1	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	1	1	2
S18	1	1	3	3	3	1	3	3	3	3	2	1	2	1	1	1

Généralement les sources se caractérisent par leurs propriétés physico-chimiques et la stabilité de leur composante thermique. Les trois sources se détachent vers la droite du plan et enregistrent les plus faibles amplitudes thermiques (1,4°C à AA, 1,8°C à TZ et 0,3°C à AT) ; et les plus faibles températures estivales (10,4°C à AA, 14,6°C à TZ et 18,7°C à AT) par rapport aux autres stations et une abondance des bryophytes.

Le tracé des stations d'étude représentées dans le plan F1-F2 est marqué par des inversions de la succession amont-aval au niveau des stations S13-SS et S15-17-S18. Dans la nature la station S13 est en aval de la source chaude SS, alors qu'elle s'est localisée à son amont dans la répartition nuages-stations (Fig. 33). Ceci est expliqué par les faibles valeurs de la minéralisation de l'eau et la température hivernale enregistrées à S13 (835 µs/cm et 12,6°C) par rapport à SS (900 µs/cm et 14°C). Les grandes rivières de basse altitude (S15, S17 et S18) plus impactées par les activités humaines, se caractérisent par une minéralisation et une température de l'eau plus élevée comparé aux autres stations. De même, S17 et S18 se situent en aval de S15, alors qu'elles se positionnent à son amont dans le plan F1-F2 (Fig. 33).

Cette inversion dans la nature amont-aval est expliquée par une inversion, d'une part, de la température estivale ou la faible valeur est obtenue en S17 (22,3°C) par rapport à S15 (25,6°C) et S18 (28°C). D'autre part, l'amplitude thermique qui enregistre une faible valeur à S17 (9,3°C) par rapport à S15 (13,2°C) et S18 (13,5°C).

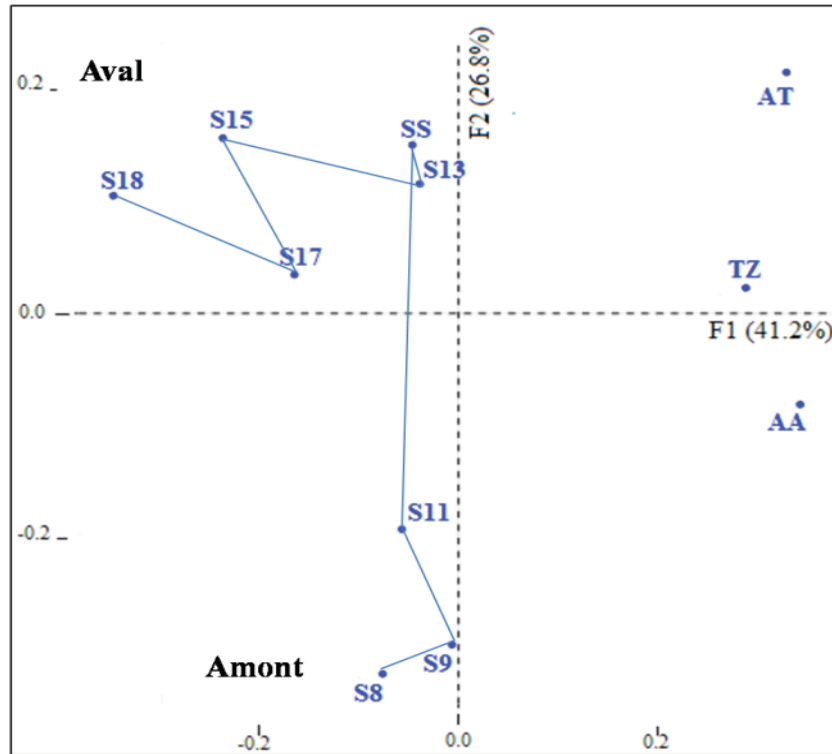


Figure 33. Structure mésologique des eaux lotiques du Haut Sebou étudiées en 1981-85. Répartitions des nuages-stations sur le plan F1-F2 de l'AFCM.

4.3. Structure mésologique du cours central en 2015-17

La structure mésologique (Fig. 35) obtenue par une analyse factorielle des correspondances multiples de la matrice binaire de 11 stations et 16 paramètres descripteurs des stations (Tabs. 6 et 10), a montré que les deux premiers axes F1 et F2 contribuent avec 61,9% de l'inertie totale. L'axe factoriel F1 (39,9% de l'inertie totale), exprime grosso-modo un gradient thermique amont-aval. Il oppose les stations des cours supérieurs (haut et moyen Guigou) des autres stations (bas Guigou et Sebou). L'axe F2 avec 22% de l'inertie totale, distingue en haut du graphe les sources et en bas les cours d'eau. Cette ségrégation est due à la relative stabilité du débit, de la température et de la composition de l'eau des sources.

Tableau 10. Matrice des données utilisées dans l'analyse mésologique 2015-17.

	Alt	P	L	SM	D	V	TH	TE	M.géo	AT	CE	OD	Sg	Bry	Pha	Pér
AA	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1
S8	3	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2
S9	3	1	2	2	2	2	1	2	1	3	1	2	2	2	2	2
TZ	2	2	2	2	2	3	2	2	1	1	2	2	3	2	3	1
S11	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	3	3
SS	2	2	2	2	2	2	3	2	3	1	3	1	1	2	2	3
S13	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	1	3	1	2	1
AT	2	3	1	1	1	3	2	2	2	1	2	2	2	2	3	1
S15	1	1	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	1	1	2
S17	1	1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
S18	1	1	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	1	1	2

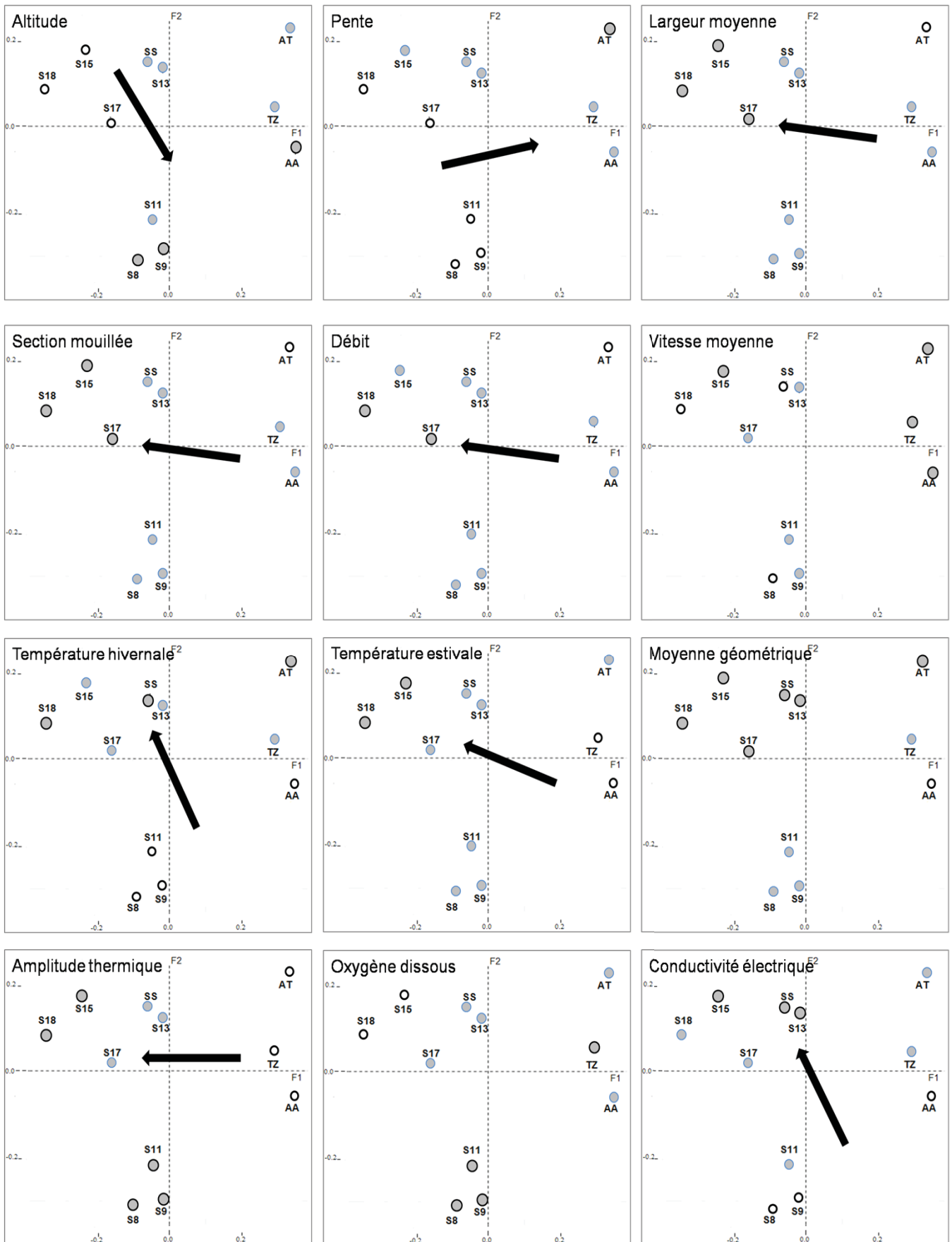


Figure 34. Interprétation de la structure mésologique 1981-1985 du haut Sebou : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

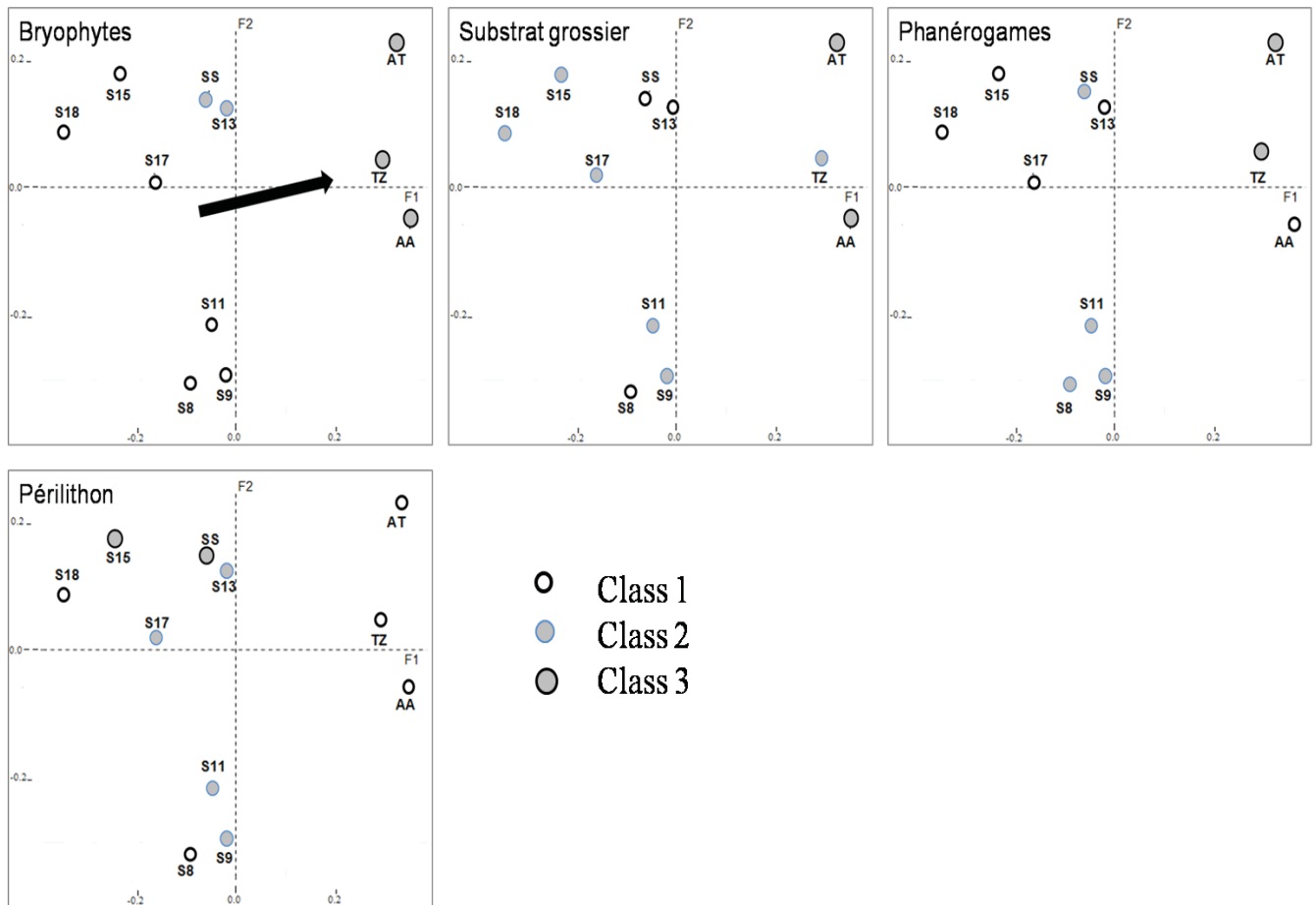


Figure 34 (suite). Interprétation de la structure mésologique 1981-1985 du haut Sebou : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

La recherche de variables mésologiques explicatives responsables de cette distribution, est faite à l'aide d'une simple projection de leurs modalités dans le plan F1-F2, et l'appréciation visuelle de leur corrélation selon l'axe F1 et F2 (Fig. 36). La composante thermique (la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes, la température hivernale et estivale), les bryophytes, l'altitude et la conductivité électrique de l'eau à 20°C expliquent l'axe F1. Tandis que, la pente, la section mouillée, le débit, la largeur moyenne et l'amplitude thermique expliquent principalement l'axe F2.

Les inversions relevées avec les données 1981-85 sont encore présentes en 2015-17, où la source tiède SS passe dans la structure mésologique en aval de la S13 ; tout en se rapprochant des sources AT et TZ (en haut du graphe). Auxquelles elle ressemble par la faible amplitude thermique de ses eaux (2.1°C) corrélé avec F1. Cette inversion s'explique aussi par la température hivernale, bien plus élevée à SS (20.7°C) qu'à S13 (14°C).

Ainsi la station S15 passe en aval de S17 et S18 dans le plan F1-F2, cette inversion est expliquée essentiellement par les faibles valeurs de la température estivale enregistrée en S17 (23,8°C) par rapport à celle obtenue en S15 (26,3°C) et S18 (26,3°C). En plus de la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes signalée en S17 (18,1°C) comparée à celle de S15 (20,4°C) et S18 (20,4°C). La minéralisation de l'eau semble aussi jouer un rôle dans cette inversion, la valeur minimale est enregistrée en S17 (623 µs/cm) par rapport à S15 (1034,5 µs/cm) et S18 (990 µs/cm).

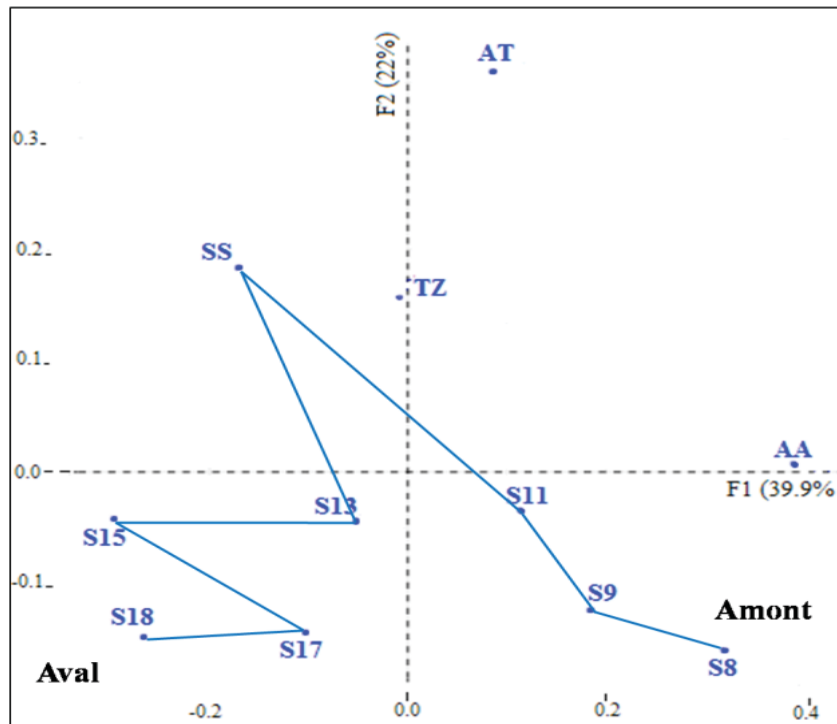


Figure 35. Structure mésologique des eaux lotiques du Haut Sebou étudiées en 2015-17.
Répartitions nuages-stations sur le plan F1-F2 de l'AFCM.

Concernant les autres variables, l'oxygène dissous (faible variation d'une station à une autre), la vitesse moyenne du courant (qualifiée de moyenne à forte dans ce secteur d'étude) et le substrat minéral, ne contribuent pas à l'établissement de ces deux structures typologiques.

Une première comparaison du plan F1-F2 de ces deux structures mésologiques a permis de signaler une inversion de signification des deux premiers axes factoriels. L'axe factoriel F1 dans la structure mésologique 1981-85 a séparé les sources des autres cours d'eau, alors qu'il a exprimé un gradient thermique, amont-aval dans la structure mésologique 2015-17. Tandis que l'axe factoriel F2 a distingué les sources du reste des stations et a matérialisé un gradient amont-aval respectivement dans les deux typologies 2015-17 et 1981-85.

4.4. Structure combinant les données anciennes et nouvelles

Le traitement à l'AFCM d'une matrice regroupant les données anciennes et récentes (Tab. 11) permet de définir pour chaque station, ses changements d'état entre les deux périodes d'étude. Lesquels changements sont examinés à l'intérieur d'un même schéma typologique intégrant l'ensemble des stations. Ladite matrice est de type ternaire '11 stations $\times$ 2 périodes $\times$ 14 paramètres'. Les paramètres invariables dans le temps (altitude et pente) n'ont pas été considérés dans cette matrice et ne participent pas directement à la structuration du réseau de stations. Les deux premiers axes expriment 59.7% de l'information totale sur la structure du nuage des points 'stations-périodes', ce qui autorise à limiter l'analyse de cette structure au plan F1-F2 (Fig. 37).

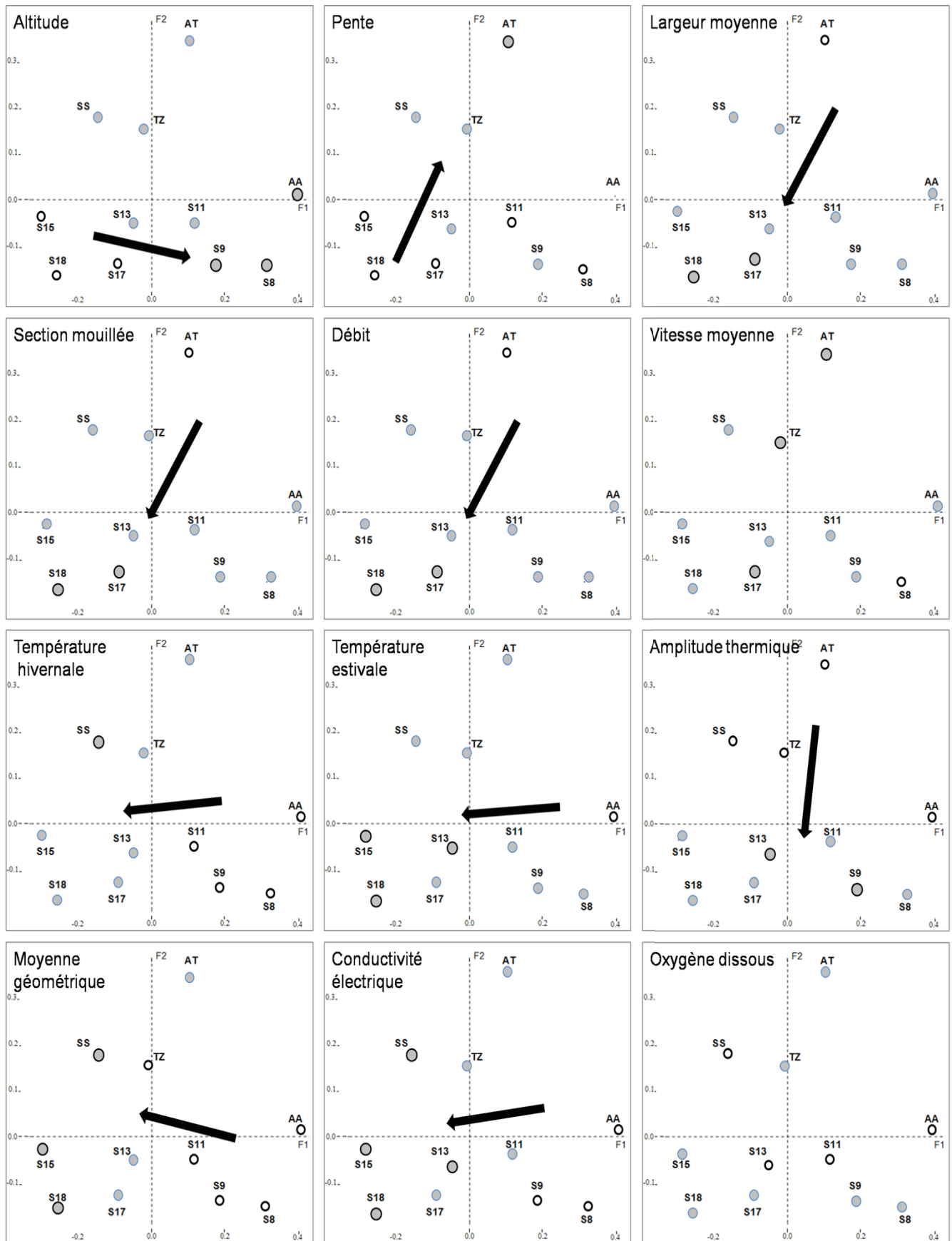


Figure 36. Interprétation de la structure mésologique 2015-2017 du haut Sebou : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

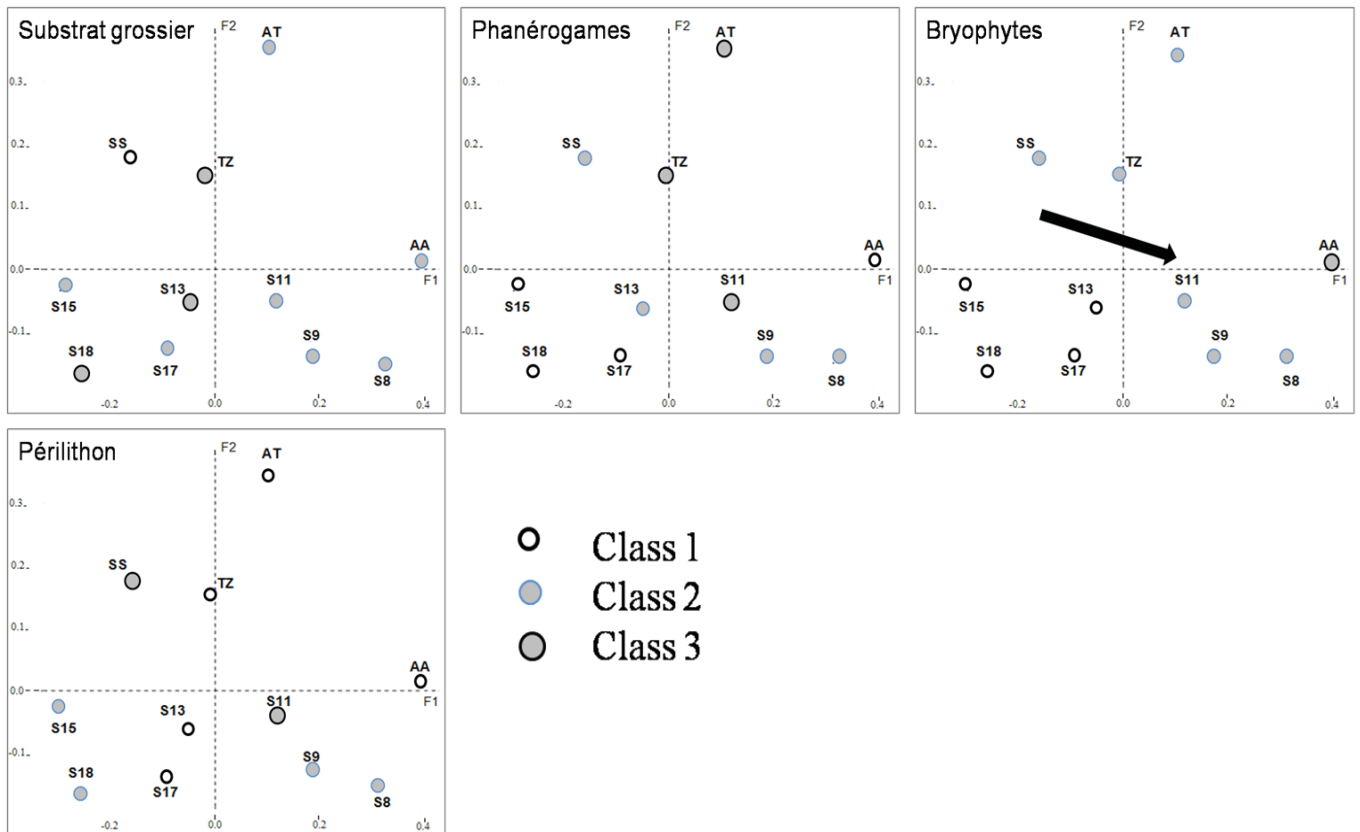


Figure 36 (suite). Interprétation de la structure mésologique 2015-2017 du haut Sebou : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

La structure mésologique obtenue dans le plan factoriel F1-F2 (Figs. 33 et 37) fait apparaître une grande ressemblance et parallélisme avec le schéma typologique obtenu en 1981-85. Ce plan ressort nettement un gradient amont-aval exprimé par l'axe factoriel F2. L'axe F1 sépare les trois sources (AA, TZ et AT) des autres cours d'eau.

La signification de chaque axe dans la répartition structurée du nuage des 'points-stations-périodes', obtenue par la projection des modalités des différentes variables mésologiques (Fig. 38) sur le plan F1-F2, montre que cinq descripteurs du milieu contribuent à l'explication de F1 (35,7 % de l'inertie totale). La largeur moyenne, la section mouillée, le débit, l'amplitude thermique et les bryophytes. Quatre paramètres participent à l'explication de l'axe F2 (24 % de l'inertie totale), la température hivernale, la température estivale, la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes et la conductivité électrique de l'eau.

Le résultat le plus important que révèle cette analyse réside dans le fait que chaque station occupe dans le schéma mésologique deux positions différentes, correspondant aux deux périodes d'étude (Fig. 37). Ces positions illustrent une migration de ces stations dans le sens du gradient 'amont-aval', exprimé simultanément par les deux axes. La migration se fait dans une direction oblique par rapport aux deux axes, ce qui signifie qu'elle résulte du concours des facteurs hydrologiques (F1) et thermiques (F2). Ladite migration est toutefois subparallèle à F2 pour la source SS et à F1 pour les cours d'eau S9 et S13. La distance entre les deux points d'une même station, variable d'un point d'eau à l'autre, pourrait être utilisée pour apprécier l'ampleur des changements subis par les stations au cours des trois décennies.

Tableau 11. Matrice des données utilisées dans l'analyse mésologique combinée entre 1981-85 et 2015-17.

	L	SM	D	V	TH	TE	M.géo	AT	CE	OD	Sg	Bry	Pha	Pér
AA.81	3	2	2	4	1	1	1	1	1	2	3	3	1	1
AA.17	2	2	2	3	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1
S8.81	3	3	2	1	1	2	1	3	1	3	1	1	2	1
S8.17	2	2	2	1	2	3	1	2	1	2	2	2	2	2
S9.81	2	2	3	3	1	3	1	3	1	3	2	1	2	2
S9.17	2	2	2	3	1	2	1	3	1	2	2	2	2	2
TZ.81	2	3	3	4	2	1	1	1	2	3	2	3	3	1
TZ.17	2	2	3	3	2	2	2	1	2	2	3	2	3	1
S11.81	3	3	3	3	1	3	1	3	2	3	2	1	2	2
S11.17	2	3	3	3	2	3	2	2	2	1	2	2	3	3
SS.81	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	1	2	2	3
SS.17	2	2	2	2	3	3	3	1	3	1	1	2	2	3
S13.81	2	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	1	2
S13.17	2	2	2	3	2	4	2	3	3	1	3	1	2	1
AT.81	1	1	1	4	3	2	2	1	2	2	3	3	3	1
AT.17	1	1	1	4	3	2	2	1	2	2	2	2	3	1
S15.81	3	2	2	3	2	4	2	3	3	1	2	1	1	3
S15.17	3	2	2	3	3	4	3	2	3	2	2	1	1	2
S17.81	4	4	4	4	2	3	2	2	2	2	2	1	1	2
S17.17	3	4	4	4	2	3	2	2	2	2	2	1	1	1
S18.81	4	4	4	2	2	4	3	3	2	2	2	1	1	1
S18.17	4	4	4	2	3	4	3	2	3	2	3	1	1	2

Dans le cours supérieur, les stations S8 et S11 opèrent un déplacement de grande ampleur, nettement corrélé avec l'axe F2, attestant ainsi que leurs eaux ont subi un réchauffement et une minéralisation accrus. En 2015-17, ces deux stations ont été déplacées vers l'aval à droite de leurs positions initiales.

Ce déplacement varie à la fois avec les deux axes factoriels F1 et F2. Les distances de déplacements montrent que les perturbations qu'ont subi ces deux stations sont les plus importantes, elles sont illustrées par des changements au niveau de la taille du cours d'eau, la minéralisation et la température. Les paramètres corrélés avec l'axe factoriel F1, entre autres la largeur moyenne et la section mouillée ont été régressés dans les deux stations au cours de notre période d'étude. Les valeurs passent de 8 m-120 dm² en 1981-85 à 7 m-94,5 dm² en 2015-17 pour la station S8 ; et de 8 m-140 dm² en 1981-85 à 6,5 m-100,8 dm² en 2015-17 pour la station S11. Une forte réduction du débit a été enregistrée à la station S11 (952 l/s en 1981-85 et 575 l/s en 2015-17). Par contre une légère augmentation du débit a été enregistrée à la station S8 (192 l/s en 1981-85 et 246 l/s en 2015-17). Les valeurs de l'amplitude thermique ont été réduites entre ces deux périodes d'étude, passant de 12,1°C à 9,2°C en S8 et de 14°C à 10,6°C en S11.

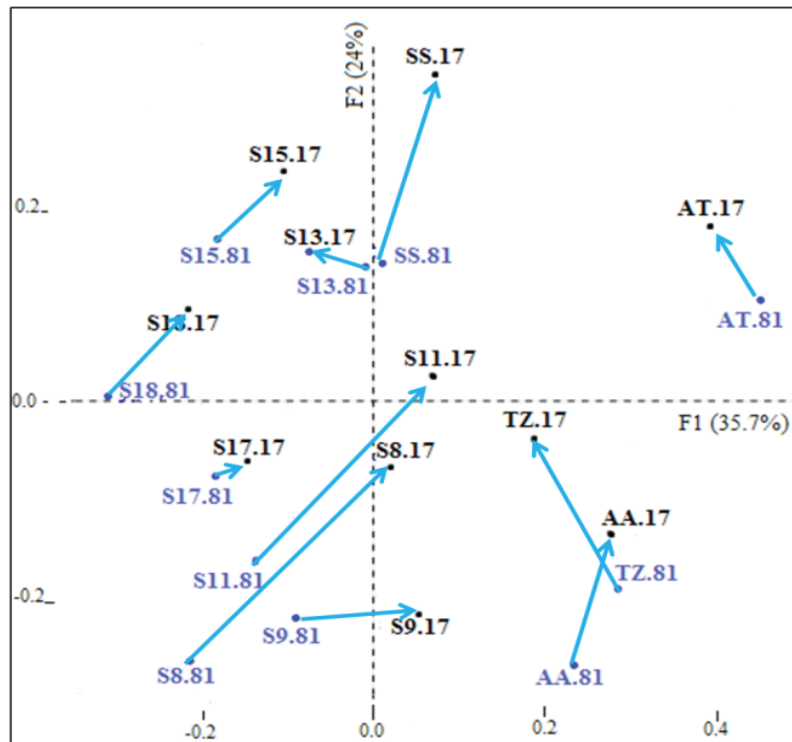


Figure 37. Plan factoriel F1-F2 de l'AFCM de l'analyse combinée des conditions mésologiques 1981-85 et 2015-17.

Les variables descriptives de l'axe F2, la température hivernale, la température estivale et la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes ont augmenté dans ces deux stations (S8 et S11). Elles varient successivement entre 6,9°C-19°C-11,5°C en 1981-85 et 10,3°C-19,5°C-14,2°C en 2015-17 à la station S8 et entre 8,8°C-22,8°C-14,2°C en 1981-85 et 11,2°C-21,8°C-15,6°C en 2015-17 au niveau de la station S11 (sauf une légère diminution de la température estivale notée à S11). Une augmentation marquante du degré de minéralisation (conductivité électrique) de l'eau a été mesurée dans S8 et S11 entre ces deux dates. Les valeurs passent successivement de 236 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 312,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à S8 et de 660 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 771 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en S11. Par ailleurs, ces deux stations, situées en aval de deux grandes sources permanentes Ain Aberchane (AA) et Ain Tit Zill (TZ), auraient connu une légère hausse de leur débit et une baisse de leur amplitude thermique, avec un léger développement de bryophytes.

A l'inverse, la station S9 a plutôt subi une perte en masse d'eau, exprimée par sa faible migration vers l'aval selon l'axe F1. Elle s'est déplacée horizontalement dans le sens droit de sa position d'origine. La largeur moyenne et la section mouillée ont été rétrécies entre ces deux périodes, passant respectivement de 7 m-95 dm^2 en 1981-85 à 5,5 m-63,25 dm^2 en 2015-17. De même, le débit a diminué en passant de 560 l/s à 317 l/s. Une légère prolifération des bryophytes a été mentionnée au niveau de cette station.

Sur le terrain, les deux stations S13 et S15 se localisent en aval de la station SS, alors qu'elles se sont déplacées à son amont dans la structure mésologique représentée en F1-F2 (Fig. 37). La station S13 a subi un déplacement vers l'aval à gauche par rapport à sa position initiale, corroborant avec une baisse de débit (F1) et une hausse de l'amplitude thermique et de la température estivale (F2). Les valeurs passent respectivement de 10°C-22,6°C en 1981-85 à 11,8°C-25,8°C en 2015-17. De même, la station S15 a migré vers l'aval et s'est positionnée à droite de sa position d'origine, corrélé avec F1 (la largeur moyenne,

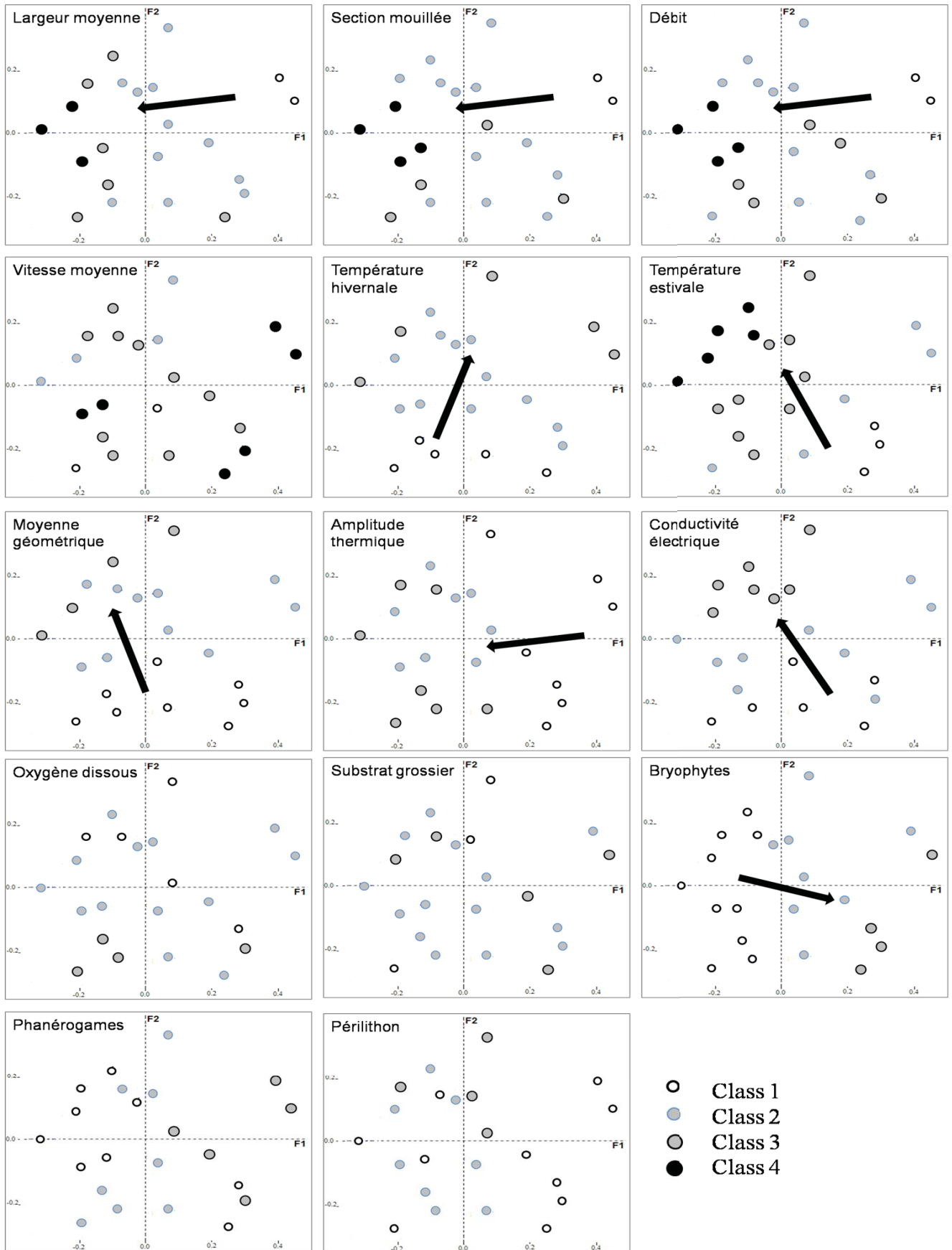


Figure 38. Interprétation de la structure mésologique du cours central du Haut Sebou dans le plan F1-F2 d'une AFCM combinant les données des deux périodes 1981-1985 et 2015-2017 : Projection des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

le débit, la section mouillée et l'amplitude thermique) et F2 (température hivernale, la température estivale, la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes et la conductivité électrique). Les paramètres corrélés avec l'axe F1 enregistrent une faible réduction, où les valeurs de la largeur moyenne, la section mouillée, le débit et l'amplitude thermique passent respectivement de 12 m-58 dm²-365 l/s-13,2°C en 1981-85 à 8 m-50 dm²-270 l/s-10,5°C en 2015-17.

Alors que les paramètres température hivernale, estivale, moyenne géométrique et conductivité électrique corrélés avec l'axe F2, marquent une augmentation de leurs valeurs entre ces deux périodes d'étude et, varient respectivement entre 12,4°C-25,6°C-15,7°C-996 µs/cm en 1981-85 et 15,8°C-26,3°C-20,4°C-1034,5 µs/cm en 2015-17.

Les deux stations situées plus en aval (S17 et S18) de SS ont opéré une migration qui reflète à la fois une perte de débit (F1) et un réchauffement récent de leurs eaux (F2), mais avec une ampleur bien plus faible pour la S17 (qui est pratiquement restée inchangée). De faibles augmentations de la température hivernale, estivale et la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes ont été relevées au niveau de S17. Les valeurs passent respectivement de 13°C-22,3°C-17°C en 1981-85 à 13,7°C-23,8°C-18,1°C en 2015-17. Tandis que, la largeur moyenne, la section mouillée et le débit enregistrent une réduction, ou les mesures varient successivement entre 20 m-1100 dm²-8250 l/s en 1981-85 et 14 m-840 dm²-5880 l/s en 2015-17.

Ces changements sont atténués en raison de son alimentation par de grandes résurgences situées à son amont. Ceci peut être expliqué aussi par l'effet du barrage Allal El Fassi (mis en service en 1991) qui a contribué au remplissage des nappes phréatiques qui induit l'apparition de sources et permet des apports en eaux pour quatre principales sources situées en aval immédiat du barrage (Ain Al Ouali, Ain Skhounate, Ain Laatrout et Ain Laksoub). De même, les apports d'oued Lihoudi contribuent au maintien de l'écoulement pendant l'étiage et à la régularisation du débit (Sanchez et al. 2017). La station S18 opère également un déplacement vers l'aval à droite de sa position d'origine et marque une réduction de son débit, de la section mouillée et la largeur moyenne. Les valeurs passent successivement de 6720 l/s -1600 dm²-25 m enregistrées en 1981-85 à 5220 l/s -1160 dm²-20 m obtenues en 2015-17. Dans le même sens, l'amplitude thermique enregistre une diminution en passant de 13,5°C à 10,4°C. En parallèle avec la diminution de la température estivale qui passe de 28°C à 26,3°C.

La disposition de ces stations (S15, S17 et S18) montre pour les deux périodes d'étude une inversion très prononcée, puisque la station S15 se positionne en aval même de la station S18 selon l'axe 2, indiquant la nature thermique de cette inversion.

Toutes les sources montrent une importante évolution de leurs caractéristiques abiotiques entre les deux périodes d'étude. Laquelle évolution est visiblement liée aux facteurs thermiques exprimés par l'axe F2, avec une contribution de la minéralisation pour les sources TZ et AT. En l'absence de données de suivi de la température des eaux phréatiques, on admettra l'hypothèse que les eaux phréatiques de surface, qui donnent lieu à ces sources, ont subi un léger réchauffement.

Les deux sources AA (source fraîche) et SS (source chaude) ont migré vers l'aval et ont été positionnées à droite de leurs positions initiales. Cette évolution varie avec l'axe F2 qui explique un gradient thermique net et une minéralisation de l'eau. Les trois composantes thermiques : la température hivernale, la température estivale et la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes enregistrent une augmentation entre ces deux périodes d'étude pour ces deux sources. Les valeurs passent respectivement

de 9°C-10,4°C-9,7°C en 1981-85 à 10°C-12,8°C-11,3°C en 2015-17 à la source AA, et de 14°C-21°C-17,5°C en 1981-85 à 20,7°C-22,8°C-21,7°C en 2015-17 à la source chaude SS.

Concernant la conductivité électrique à 20°C, les eaux de la source AA comptent parmi les plus faiblement minéralisées de toutes nos stations. Cette faible minéralisation est due essentiellement à la nature géologique (calcaire et dolomie) des terrains du bassin versant traversés et passe de 360 µs/cm en 1981-85 à 375 µs/cm en 2015-17. Alors que, SS aux eaux très minéralisées enregistre une légère diminution de la conductivité électrique de l'eau passant de 900 µs/cm en 1981-85 à 894 µs/cm en 2015-17.

Les deux autres sources TZ et AT ont aussi migré vers l'aval en 2015-17 et ont été orientées à gauche de leurs positions d'origine. Cette évolution varie dans les deux sens avec F1 et F2. L'amplitude thermique corrélée avec l'axe F1 a influencé ce changement en enregistrant une augmentation pour ces deux sources entre ces deux périodes, variant entre 1,8°C-4,9 pour TZ et 0,3°C-1,2°C pour AT. Ainsi que, les trois composantes thermiques : la température hivernale, la température estivale et la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes, corrélées avec F2 ont marqué une augmentation au niveau de la source TZ. Les valeurs mesurées passent respectivement de 12,8°C- 14,6°C- 13,7°C en 1981-85 à 13,6°C- 18,5°C- 15,9°C en 2015-17. Alors qu'elles ont enregistré une faible réduction au niveau de la source AT, passant successivement de 18,4°C- 18,7°C- 18,5°C en 1981-85 à 17,4°C-18,6°C-18°C en 2015-17. Une forte augmentation de degré de minéralisation de l'eau a été notée dans ces deux sources entre 1981-85 et 2015-17, passant de 600 µs/cm à 762 µs/cm au niveau de la station TZ et de 560 µs/cm à 783 µs/cm au niveau de la station AT.

II. Discussion

La nature physico-chimique des eaux et les caractéristiques mésologiques des cours d'eau expliquent la présence ou l'absence de certaines espèces animales et conditionnent leur développement (Tuffery 1980). En effet, chaque organisme est sensible à différents facteurs abiotiques de son milieu de vie (température, pH, salinité, oxygène dissous, vitesse du courant...) et présente, en général, des seuils de tolérance minimum et maximum pour chacun de ces facteurs. L'écart entre ce minimum et ce maximum est appelé valence écologique. Celle-ci représente l'adaptation de l'organisme à son biotope (Gaujous 1993). Donc, il est nécessaire dans notre travail de connaître la nature et la qualité physico-chimique des eaux du Haut Sebou, et son évolution au cours de trois derniers décennies (1981-2017) ; avant d'étudier sa qualité biologique et les interactions qui se développent entre les paramètres abiotiques et biotiques.

Les eaux du Haut Sebou étudiées en 2015-17, ont une température (hivernale et estivale) généralement variable qui augmente de l'amont vers l'aval. Leur pH peu variable (7,1-8,0) à tendance basique lié à la nature du terrain karstique traversé (n'est pas retenu dans la recherche des structures mésologiques). Ces stations ont une oxygénation moyenne variant entre 4 et 6,6 mg/l expliquée par une pollution naturelle et anthropique ainsi, qu'une minéralisation générale exprimée par des concentrations moyennes en conductivité (312,5 µS/cm enregistrée à S8 et 1034,5 µS/cm enregistrée à S15) moyenne à importante dans la majorité de nos stations, augmentant aussi de l'amont vers l'aval. Ceci reflète son origine issue du lessivage des terrains géologiques du bassin versant. Les valeurs de la conductivité, SDT et la salinité, suivent le même rythme de changement d'une station à une autre.

Les stations en aval caractérisées par une forte minéralisation issue des rejets urbains et industriels des villes de Sefrou et Skoura, et aux activités agricoles. Tandis que les stations amont sont les moins minéralisées. En été, la température augmente, ce qui contribue à l'augmentation de l'évaporation, et par

conséquent à une concentration ionique, donc la pollution est très prononcée durant la période estivale. Les températures sont plus ou moins fraîches dans la zone amont, grâce à l'altitude et sous l'influence de la neige, elles se caractérisent par une amplitude thermique assez élevée.

Les paramètres signalant la pollution montrent des teneurs moyennes à élevées de DBO_5 , dépassant 10 mg/l dans toutes les stations. Et des valeurs élevées de DCO dépassant 30 mg/l dans la majorité des stations, avec des maximums à S17 (29,4 mg/l) et à S18 (45 mg/l). Ces valeurs témoignent d'une pollution organique intense, et d'un fort impact anthropique dues aux déversements des eaux usées, l'utilisation des fertilisants agricoles et à la transformation de l'ammonium en nitrates provenant des déjections animales. Ces deux paramètres se basent sur la différence entre la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après oxydation de la matière organique rejetée dans une rivière. Ce qui entraîne une consommation accrue d' O_2 au cours des procédés d'autoépuration, donc des conditions d'anaérobie peuvent, ainsi, s'installer dans le milieu et conduire au déclin de la biodiversité aquatique.

Des concentrations très importantes en Nitrates (supérieur à 5 mg/l) induisant le phénomène d'eutrophisation (étouffement de la vie aquatique) sont présentes en très grandes quantités suite à des rejets domestiques ou des produits agricoles. Ces fortes concentrations favorisent la prolifération d'algues et de microorganismes photosynthétiques qui réduisent la pénétration de la lumière dans les couches d'eaux profondes.

Cependant les teneurs observées pour ces paramètres étudiés ne dépassent pas la norme marocaine respective relative à la qualité des eaux superficielles (MATEE 2006). Ainsi, la comparaison de la qualité des eaux des stations de l'oued Guigou avec celle des stations de l'oued Sebou montre que cette dernière est plus polluée et que celle de l'oued Guigou qui reste dans les limites tolérables en relation avec le faible développement socio-économique de la région.

Une comparaison de l'évolution de la qualité physico-chimique de ces eaux avec ceux étudiées en 1981-85 (Tab. 6) par le biais des outils statistiques (Test de Wilcoxon et l'AFCM), permet de révéler les perturbations thermique-hydrologique-composition chimiques qui ont subi nos stations ; et d'analyser l'ensemble de ces changements sur plus de trois décennies (1981-2017).

En raison de leurs caractéristiques abiotiques, les eaux du haut Sebou ont été organisées dans un schéma de classification qui a reflété leur succession naturelle 'amont-aval' (Fig. 37). Cette organisation est déterminée par les paramètres hydrologiques et thermiques, avec quelques inversions thermiques. Cette structure, déjà mis en évidence à l'aide des données de 1981-85 pour l'ensemble des branches de ce cours d'eau (Dakki 1985-1987), a été vérifiée aussi avec des données de 2015-17, soit trois décennies plus tard (Figs. 33 et 35).

Toutefois, la fusion des données de ces deux périodes (Fig. 37) révèle que chaque point d'eau a subi des changements de caractéristiques qui le mettent en 'aval' de sa situation originale dans ladite structure. Cette règle suppose une augmentation de la température (hivernale et estivale) et de la minéralisation de l'eau, en parallèle avec une diminution des débits. Les rares points d'eau qui font exception à cette règle montrent des situations particulières.

Ces changements s'expliquent en grande partie par le réchauffement climatique, reflété en région méditerranéenne par plusieurs crises de sécheresse, dont certaines ont duré plus de trois hivers successifs, notamment dans les années 1980 et 1990 (Chaouche et al. 2010, Hallouz et al. 2013, Khomsi et al. 2016,

Ouhamdouch et al. 2018).

Dans le Haut-Sebou, comme dans la plupart des cours d'eau sud-méditerranéens, ces changements sont fortement amplifiés par les prélèvements d'eau (à des fins diverses), qui ont même asséché plusieurs tronçons du cours d'eau central (Devos et al. 2000, Dakki & Himmi 2008). Au moins deux des secteurs étudiés (S13 et S15) ont subi un assèchement de plusieurs semaines ; toutes les autres zones ont également connu de fortes baisses de débit au cours des deux décennies.

Ces résultats rejoignent ceux de Devos et al. (2000), qui montrent une disparité spatiale des ressources en eau du bassin versant du Haut Sebou, dont la vidange est assurée exclusivement par les deux sources Ain Tit Zill et Ain Aberchane. Ainsi, l'influence de l'irrigation, qui se manifeste par un grand nombre de points de pompage et de seguias, sur les débits en période d'étiage. Ces pratiques, amplifiées par la sécheresse qu'a connue le Maroc entre 1980 et 1990 (El Ajhar et al. 2018), ont produit un assèchement systématique de la plaine du Guigou. La source pérenne SS, qui émane d'une nappe phréatique relativement profonde (compte tenu de sa température d'environ 20°C), a presque tari en 2008 et a cessé de s'écouler vers l'aval (c'est-à-dire vers la station S13). La minéralisation de l'eau, mesurée en été, a augmenté dans presque tous les points d'étude, favorisée par la baisse du débit et le réchauffement estival de l'eau. Cependant, plusieurs stations, notamment les sources TZ et AT et les oueds Guigou (S8 et S11) et Sebou (S18), présentent une eutrophisation liée aux rejets humains (lavage sur place, rejets domestiques et agricoles, déjections bovines, etc.), sachant que la plupart des eaux domestiques ne sont pas traitées.

En termes d'évolution observée, nos résultats corroborent avec ceux des études d'impact du changements globaux et plus particulièrement des changements climatiques sur les ressources en eau des grands bassins en Europe et en Afrique (Meddi et al. 2010, Floury et al. 2012). Une réduction des débits mensuels entre 1958 et 2000 a été enregistrée sur le bassin de Moulouya à l'Est du Maroc attribuée principalement à la diminution des précipitations combinées à l'augmentation de la température (Driouech et al. 2010). Une diminution des débits des écoulements superficiels entre 1961 et 1990 a été signalée sur le bassin du Chéllif au Nord d'Algérie sous l'influence du climat par l'augmentation des températures et la diminution de la pluie (Meddi et al. 2010) avec une poursuite de cette diminution de débits dans le futur. De même la température de l'eau et le débit du bassin versant de Loire en France ont été fortement affectés par le climat et d'autres sources cumulatives de changement anthropique entre 1977 et 2008. L'étude a mis en évidence le réchauffement graduel de la Loire de 1,2°C couplé à une réduction significative du débit de -25% (Floury et al. 2012, Floury 2013).

CHAPITRE IV

ANALYSE GLOBALE ET STRUCTURE DU

PEUPLEMEMNT DU HAUT SEBOU

CHAPITRE IV : ANALYSE GLOBALE ET STRUCTURE DU PEUPLEMENT DU HAUT SEBOU

I. Introduction

Les macroinvertébrés benthiques constituent un élément important des écosystèmes aquatiques car ils sont une source de nourriture pour de nombreuses espèces. Ils relient de façon très complexe différentes sources de matière organique aux maillons trophiques supérieurs à celui des décomposeurs (Bournaud et al. 1980, Tachet et al. 2000). Ils sont considérés comme de très bons indicateurs biologiques et manifestent des exigences et des préférences vis-à-vis des différents facteurs biotiques et abiotiques. En effet, lorsqu'un changement survient dans un milieu aquatique, on constate des perturbations des communautés qui le peuplent (Moisan & Pelletier 2011).

La capacité des macroinvertébrés à traduire ces perturbations et les modifications environnementales qu'a subi l'écosystème est liée en premier lieu à leur sédentarité, et à leur durée de vie suffisamment longue et variée qui leur permet d'intégrer l'action des perturbations sur des échelles de temps significatives (Olsgard & Gray 1995, Rosenberg 2001). En second lieu, c'est lié à leur grande diversité et hétérogénéité taxonomique, ainsi que leur abondance. En fait, les macroinvertébrés aquatiques sont relativement faciles à récolter et leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote (Moisan & Pelletier 2011). Enfin, leur sensibilité et leur tolérance variables à la pollution et à la dégradation de l'habitat, ainsi que, leur réactivité face à ces perturbations permet leur utilisation pour l'évaluation de l'état de santé globale des écosystèmes aquatiques (Fergani & Arab 2013, Kaboré et al. 2016).

Les objectifs poursuivis dans cette partie consacrée à l'étude de la structure des peuplements de la macrofaune benthique du Haut Sebou étaient d'identifier les principaux peuplements et faciès des macroinvertébrés au sein des stations étudiées. De fournir une description en termes de cortège d'espèces associées, d'abondances, de biomasses et de diversité. De déterminer les principaux facteurs environnementaux susceptibles d'expliquer la répartition des peuplements et celle de leurs différents faciès au sein des stations d'étude. Le présent recensement vise dans un premier temps à établir un inventaire aussi complet que possible des différents taxons pouvant être rencontrés dans le secteur d'étude et permettrait ainsi d'enrichir la liste de la biodiversité marocaine, et par la suite sert de support pour comparaison avec la composition de peuplement benthique récolté avant 35 ans à l'instar de la précédente étude mésologique.

II. Résultat

1. Inventaire commenté de la faune benthique globale recensée en 2015-2017

Dans cet inventaire global (Annexe I), le traitement de chacune des espèces est basé sur les critères fondamentaux suivants :

- **Sa position taxonomique**
- **Le matériel examiné** : pour chaque espèce répertoriée sont dressés, le nombre d'individus capturés, la date d'échantillonnage et les stations de capture (chaque station est illustrée par un code).
- **Aire de répartition** : deux types de répartitions sont abordées, la première est une distribution à l'échelle mondiale, selon les corotypes proposés par Taglianti (1992) et La Greca (1964, 1975). En se

référant à des publications, des mémoires de thèses et des catalogues ; pour cela seront mentionnées les grandes aires géographiques occupées par l'espèce. Et la deuxième répartition concerne une distribution nationale relevée dans des études hydrobiologiques, des citations bibliographiques et de nos prospections, où ne seront mentionnées que les grandes régions où l'espèce est connue.

➤ **Habitat** : pour chacune des espèces, une description de l'écologie et des préférences d'habitats sont présentées en se basant sur les données des récoltes et celles relevées sur les différents sites de captures et /ou de la littérature.

1.1. EPHEMEROPTERES

Super-famille BAETOIDEA

Famille BAETIDAE Leach, 1815

Genre *Baetis* Leach, 1815

-*Baetis maurus* Kimmins, 1938

Matériel examiné : 215 larves ; **TZ** : 16-XII-2015 (15), 27-IV-2017 (5). **S11** : 16-XII-2015 (155), 28-IV-2016 (10), 19-VII-2016 (7). **SS** : 16-XII-2015, 13L. **AT** : 16-XII-2015 (5), 28-IV-2017 (5).

Aire de répartition : Endémique Ibéro-Maghrébine, en Afrique du Nord, cette espèce est présente au Maroc et en Algérie (Abdaoui et al. 2010). Au Maroc, elle présente une distribution discontinue. Elle a été citée uniquement dans les domaines atlasiques et rifain et semble être absente dans le Plateau central et le Maroc oriental (El Agbani 1984, El Alami 2002).

Habitat : espèce rhéophile, elle fréquente les cours d'eau de montagne (les cours supérieurs) et se cantonne dans les eaux froides et rapides (Alba-Tercedor 1983, El Alami 2002).

-*Baetis pavidus* Grandi, 1949

Matériel examiné : 2077 larves ; **AA** : 19-VII-2016 (21). **S8** : 19-VII-2016 (55). **S9** : 9-X-2016 (47), 27-IV-2017 (47). **TZ** : 16-XII-2015 (24), 27-IV-2017 (24). **S11** : 16-XII-2015 (115), 19-VII-2016 (17), 9-X-2016 (127), 27-IV-2017 (14). **SS** : 16-XII-2015 (110), 28-IV-2016 (129), 19-VII-2016 (68), 9-X-2016 (103), 27-IV-2017 (38). **S13** : 16-XII-2015 (43), 28-IV-2016 (93), 19-VII-2016 (129), 9-X-2016 (31), 27-IV-2017 (6). **S15** : 28-IV-2016 (83), 19-VII-2016 (4), 9-X-2016 (26), 27-IV-2017 (8). **AT** : 16-XII-2015 (18), 28-IV-2016 (69), 19-VII-2016 (89), 9-X-2016 (24), 27-IV-2017 (32). **S17** : 22-IV-2016 (4), 4-VII-2016 (10), 28-IV-2017 (42). **S18** : 22-IV-2016 (3), 4-VII-2016 (102), 9-X-2016, (52). **S3** : 22-IV-2016 (97), 4-VII-2016 (107), 9-X-2016 (21), 28-IV-2017, (45).

Aire de répartition : espèce de diffusion Atlanto-Méditerranéenne. Son aire de répartition s'étend de l'Italie à la Péninsule Ibérique et de la France au Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie) (Lounaci et al. 2000). Elle présente une vaste distribution dans les eaux marocaines ; elle fréquente les principaux réseaux hydrographiques des domaines atlasiques, rifain et ceux du Plateau central et du Maroc oriental (Dakki 1979, El Alami 2002, Mabrouki et al. 2017).

Habitat : espèce qualifiée thermophile et rhéophile, elle fréquente les sources et les rivières à écoulement moyen et à eau tempérée et moyennement à faiblement minéralisée (El Bazi et al. 2017). Elle est présente dans toutes les stations prospectées du Haut Sebou, dans une large amplitude altitudinale variant entre 216 m à 1920 m.

-*Baetis rhodani* Pictet, 1843

Matériel examiné : 2450 larves ; **AA :** 19-VII-2016 (13), 27-IV-2016 (28). **S8 :** 16-XII-2015 (34), 28-IV-2016 (643), 19-VII-2016 (34), 9-X-2016 (55), 27-IV-2017 (644). **S9 :** 16-XII-2015 (44), 9-X-2016 (40), 27-IV-2017 (119). **TZ :** 16-XII-2015 (93), 27-IV-2017 (60). **S11 :** 16-XII-2015 (165), 19-VII-2016 (26), 9-X-2016 (36), 27-IV-2017 (16). **SS :** 16-XII-2015 (7), 28-IV-2016 (8), 19-VII-2016 (50). **S13 :** 28-IV-2016 (17), 27-IV-2017 (13). **S15 :** 28-IV-2016 (35), 10-X-2016 (4), 28-IV-2017 (25). **AT :** 16-XII-2015 (53), 28-IV-2016 (64), 19-VII-2016 (15), 9-X-2016 (11), 27-IV-2017 (98).

Aire de répartition : espèce de l'Ouest-Paléarctique, avec une distribution latitudinale couvrant l'Europe et les pays du pourtour méditerranéen. Elle a été répertoriée au Maroc, en Algérie et en Tunisie (Dakki 1987, Zrelli et al. 2012). Au Maroc, elle constitue l'une des espèces les plus ubiquistes et elle présente une très large distribution horizontale (El Alami 2002) couvrant les domaines atlasiques, rifain, le Plateau central et le Maroc oriental (El Agbani 1984, Thomas & Sartori 1989, Mabrouki et al. 2017).

Habitat : espèce eurytope, pullule dans des biotopes très variés (sources, rivières, émissaires de sources) et à différentes altitudes (haute et moyenne). Elle régresse dans les eaux tempérées de basse altitude (El Alami & Dakki 1998). Dans le Haut Sebou, elle est plus fréquente et plus abondante dans la zone supérieure de Guigou (Dakki 1987).

Genre *Cloeon* Leach, 1815

-*Cloeon dipterum* Linné, 1761

Matériel examiné : 116 larves ; **S11 :** 16-XII-2015 (17). **SS :** 16-XII-2015 (9), 9-X-2016 (7), 27-IV-2017 (10). **S13 :** 9-X-2016 (8). **S15 :** 19-IV-2016 (5), 9-X-2016 (8). **AT :** 17-XII-2015 (17), 19-VII-2016 (11), 28-IV-2017 (8). **S3 :** 9-X-2016 (16).

Aire de répartition : espèce probablement Holarctique (Bauernfeind & Soldan 2012). Elle présente une large répartition latitudinale puisqu'elle est présente dans toute l'Europe, même en Sibérie sur le continent asiatique et en Amérique du Nord (Kluge 2004). Sa limite méridionale s'étend jusqu'aux pays sud-Méditerranéens où elle est mentionnée en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Au Maroc, cette espèce a également une répartition très vaste couvrant les domaines atlasique et rifain en passant par le Plateau central et le Maroc oriental (El Alami 2002, Mabrouki et al. 2017).

Habitat : généralement cette espèce peuple les biotopes calmes des rivières à été tempéré et des sources chaudes (El Alami & Dakki 1998).

Genre *Labiobaetis* Novikova & Kluge, 1987

-*Labiobaetis neglectus* Navàs, 1913

Matériel examiné : 396 larves ; **SS :** 19-VII-2016, (8). **S13 :** 19-VII-2016, (5). **S18 :** 28-IV-2016 (22), 19-VII-2016 (59), 9-X-2016 (18). **S3 :** 28-IV-2016 (117), 19-VII-2016 (67), 9-X-2016 (35), 28-IV-2017 (65).

Aire de répartition : Endémique Ibéro-Maghrébine, espèce connue dans la Péninsule Ibérique (Alba-Tercedor & Jaimez-Cuellar 2003), en Afrique du Nord et au Maghreb (Bauernfeind & Soldan 2012). Cette espèce a été signalée pour la première fois au Maroc par Dakki (1979) et possède une aire de distribution assez large entre le Rif, le Maroc oriental et les Atlas (El Alami, 2002).

Habitat : espèce thermophile, peuple les sources chaudes et les rivières du cours moyen. Les larves de cette espèce exigent une température de l'eau qui dépasse 25 °C et apparaissent vers la fin du printemps (El Alami & Dakki 1998).

Genre *Nigrobaetis* Novikova & Kluge, 1987

-*Nigrobaetis numidicus* Soldan & Thomas, 1983

Matériel examiné : 16 larves ; **S18 :** 4-VII-2016 (8). **S3 :** 22-IV-2016 (8).

Aire de répartition : Sa distribution couvre l'Afrique du Nord seulement. Cette espèce est probablement Endémique de la région du Maghreb, signalée pour la première fois dans oued Chiffa (province de Blida en Algérie) (Bauernfeind & Soldan 2012). Au Maroc, cette espèce est insuffisamment documentée et notre étude la signale pour la première fois dans le Moyen Atlas.

Habitat : espèce peu abondante dans notre récolte et elle montre une préférence pour les grandes rivières tempérées de basse altitude.

Genre *Procleon* Bengtsson, 1915

-*Procleon* sp.

Matériel examiné : 1 larve ; **SS :** 19-VII-2016 (1).

Aire de répartition : Au Maroc, ce taxon est connu dans le Moyen Atlas, Prérif et le Plateau central. La première citation de ce genre s'est portée sur un imago femelle (capturé à Tétouan) que Navàs (1922) rapproche à *Procleon concinnum* (Dakki & El Agbani 1983). En absence des adultes dans nos échantillons, nos identifications n'ont pas dépassé le niveau générique.

Habitat : ce taxon est très rare dans nos récoltes, échantillonné uniquement dans la Source Skhounate aux eaux tempérées et chaudes.

-*Procleon concinnum* Eaton, 1885

Matériel examiné : 6 larves ; **S3 :** 4-VII-2016 (6).

Aire de répartition : espèce Endémique Ibéro-Maghrébine, au Maroc, elle a été citée pour la première fois par Navàs (1922) dans la région de Tétouan. Son aire de distribution est restreinte à la Péninsule tingitane. Elle a été citée du Maroc oriental, où elle se caractérise par une large distribution et une très faible abondance (El Alami 2002, Mabrouki et al. 2017). Ainsi, nos investigations ont permis de la découvrir pour la première fois dans le Haut Sebou.

Habitat : espèce thermophile qui a une nette préférence pour les substrats sableux. Elle est très rare dans nos récoltes. Généralement, elle affectionne les eaux tempérées et chaudes des stations temporaires et permanentes de basse et moyenne altitude (El Alami & Dakki 1998).

Super-famille CAENOIDEA

Famille CAENIDAE Newman, 1853

Genre *Caenis* Stephens, 1835

-*Caenis luctuosa* Burmeister, 1839

Matériel examiné : 345 larves ; **S9 :** 9-X-2016 (25), 27-IV-2017 (5). **S11 :** 28-IV-2016 (3). **SS :** 16-XII-2015 (19), 28-IV-2016 (52), 19-VII-2016 (11), 9-X-2016 (27), 27-IV-2017 (6). **S13 :** 19-VII-2016 (18), 9-X-2016 (17), 27-IV-2017 (7). **S15 :** 28-IV-2016 (8), 19-VII-2016 (15), 27-IV-2017 (18). **AT :** 19-VII-2016, (9). **S17 :** 22-IV-2016 (31), 28-IV-2017 (6). **S18 :** 28-IV-2016 (6), 10-X-2016 (33). **S3 :** 22-IV-2016 (17), 10-X-2016 (9), 28-IV-2016 (3).

Aire de répartition : espèce de distribution Paléarctique, elle fréquente des biotopes très variés en Europe, Asie mineure et en Afrique du Nord (El Agbani et al. 1992, Bouzidi & Giudicelli 1994). Au Maroc, sa répartition s'étend du versant Nord rifain au versant sud atlasique (El Alami 2002, Mabrouki et al. 2017).

Habitat : espèce eurytope et eurytherme, prolifère dans les eaux courantes et stagnantes. Elle occupe un intervalle altitudinal compris entre 0 et 2000 m d'altitude (Dakki & El Agbani 1983), et ne régresse que dans les stations et les sources fraîches de haute altitude à régime torrentiel (Dakki 1986a).

-*Caenis pusilla* Navàs, 1913

Matériel examiné : 90 larves ; **SS :** 16-XII-2015 (23), 28-IV-2016 (11), 27-IV-2017 (3). **S13 :** 28-IV-2016 (14), **S15 :** 28-IV-2016 11L (9), 19-VII-2016 (5). **S17 :** 22-IV-2016 (3), 28-IV-2017 (1). **S18 :** 22-IV-2016 (8). **S3 :** 22-IV-2016 (3), 4-VII-2016 (10).

Aire de répartition : espèce du Paléarctique occidental bien connue en Afrique du Nord. Au Maroc, cette espèce présente une répartition discontinue (El Alami 2002). Elle n'est connue que du Haut Atlas et du Rif. L'étude de Mabrouki et al. (2017) a montré une distribution large et discontinue de cette espèce dans le bassin versant Moulouya du Maroc oriental. Ainsi notre étude signale sa présence pour la première fois dans l'oued Guigou.

Habitat : espèce abondante dans les stations permanentes et temporaires, elle est moins tolérante aux variations thermiques que *C. luctuosa* et s'adapte mieux aux écoulements rapides (El Alami & Dakki 1998).

Super-famille HEPTAGENIOIDEA

Famille HEPTAGENIIDAE Needham, 1901

Genre *Ecdyonurus* Eaton, 1868

-*Ecdyonurus ifranensis* Vitte & Thomas, 1988

Matériel examiné : 95 larves ; **S8 :** 16-XII-2015 (19), 28-IV-2016 (32), 9-X-2016 (9). **S9 :** 28-IV-2016 (13), 27-IV-2017 (16). **TZ :** 16-XII-2015 (6).

Aire de répartition : espèce Endémique Marocaine, découverte pour la première fois dans l'oued Tizguit (en amont d'Ifrane). Les anciennes mentions d'*Ecdyonurus forcipula* (Pictet 1843-45) dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas seraient attribuées à *E. ifranensis* après la description de cette dernière (Giudicelli & Dakki 1984). L'espèce est amplement réparti dans les réseaux hydrographiques du Rif et de Moyen Atlas (Dakki 1987, El Alami 2002) et dans la région orientale du pays, où elle n'a été signalée que dans la zone orientale du Rif (Mabrouki et al. 2017).

Habitat : dans le Moyen Atlas, cette espèce est qualifiée de peu thermophile et plus alticole, elle exploite un intervalle altitudinale entre 1520-2020 m d'altitude (Mabrouki et al. 2017) et peuple les stations aux eaux fraîches et à vitesse d'écoulement assez forte.

-*Ecdyonurus rothschildi* Navàs, 1929

Matériel examiné : 639 larves ; **S8 :** 28-IV-2016 (32), 27-IV-2016 (18). **S9 :** 28-IV-2016 (16). **SS :** 16-XII-2015 (20), 9-X-2016 (11). **S13 :** 28-IV-2016 (18), 19-VII-2016 (6). **S15 :** 28-IV-2016 (9), 19-VII-2016 (21), 28-IV-2017 (13). **S17 :** 22-IV-2016 (226), 4-VII-2016 (19), 28-IV-2016 (63). **S18 :** 16-XII-2015 (2), 22-IV-2016 (21), 4-VII-2016 (10), 10-X-2016 (8). **S3 :** 22-IV-2016 (51), 4-VII-2016 (30), 10-X-2016 (18), 28-IV-2016 (43).

Aire de répartition : espèce Endémique Ibéro-Maghrébine, amplement répandue dans les trois pays du Maghreb. Elle a été décrite à partir d'un matériel provenant d'Algérie ; par la suite, Thomas & Dakki (1979) confirmèrent sa présence dans le Haut Sebou (Moyen Atlas). Elle a également une large distribution latitudinale et altitudinale et occupe presque tous les réseaux hydrographiques des Atlas, de Plateau central, du Maroc oriental et de la péninsule tingitane (Dakki & El Agbani 1983, El Alami 2002).

Habitat : c'est l'espèce la plus thermophile des *Ecdyonurus*. Dans nos investigations, elle a été recensée dans des stations permanentes à fort courant et à une large distribution altitudinale comprise entre 216-1910 m d'altitude.

-*Rhithrogena* sp.

Matériel examiné : 18 larves ; **S15:** 28-IV-2016 (5), 19-VII-2016 (3). **AT :** 28-IV-2016 (7), 19-VII-2016 (3).

Aire de répartition : la distribution du genre *Rhithrogena* couvre sans doute une grande partie du Maghreb (Dakki & Thomas 1986) et présente une diversité relativement importante. Au Maroc ce genre est connu du Haut et Moyen Atlas, le Rif et le Maroc oriental. Et par manque des adultes mâles nos identifications n'ont pas pu dépasser le niveau générique.

Habitat : dans nos investigations, *Rhithrogena* sp. affectionne essentiellement les cours d'eaux permanents et tempérés de moyenne altitude.

Famille OLIGONEURIIDAE Ulmer, 1940

Genre *Oligoneuriella* Ulmer, 1924

-*Oligoneuriella skoura* Dakki & Giudicelli, 1980

Matériel examiné : 13 larves ; **S17:** 4-VII-2016 (5). **S18 :** 28-IV-2016 (8).

Aire de répartition : espèce Maghrébine connue uniquement en Algérie (zones septentrionales) et au Maroc (zones atlasiques) (Giudicelli & Dakki 1984). Décrite pour la première fois de l'oued Guigou au Moyen Atlas, et atteint le Haut Atlas où elle se cantonne dans l'oued Ourika et le Haut Drâ. Elle semble être absente dans le Rif, le Plateau central et le Maroc oriental (Dakki & Giudicelli 1980, El Alami 2002).

Habitat : espèce rhéophile se rencontre dans les rivières à fort courant (rarement dans les zones à faibles courants) sous les pierres (Dakki & Giudicelli 1980).

Genre *Oligoneuriopsis* Crass, 1947

-*Oligoneuriopsis skhounate* Dakki & Giudicelli, 1980

Matériel examiné : 115 larves ; **SS :** 28-IV-2016 (2), 9-X-2016 (12). **S15 :** 19-VII-2016 (7). **S17 :** 4-VII-2016 (12), 28-IV-2017 (18). **S18 :** 22-IV-2016 (24), 4-VII-2016 (20), 9-X-2016 (7), 28-IV-2017 (1). **S3 :** 22-IV-2016 (4), 4-VII-2016 (8).

Aire de répartition : Endémique Ibéro-Maghrébine dont la distribution horizontale couvre la Péninsule Ibérique (Gonzalez Del Tango & Garcia de Jalon 1983) et l'Afrique du Nord (Algérie, Maroc et Tunisie) (Alba-Tercedor & El Alami 1999). Au Maroc, cette espèce présente une assez grande répartition, elle a été capturée dans plusieurs localités du Haut et Moyen Atlas, le Plateau central, le Rif et le Maroc oriental (Dakki 1979, El Alami 2002, Mabrouki et al. 2017).

Habitat : espèce thermophile et rhéophile côtoyant les grandes rivières chaudes à forte vitesse du courant et caractérisées par un fond pierreux (El Alami & Dakki 1998).

Super-famille LEPTOPHLEBIOIDEA

Famille LEPTOPHLEBIIDAE Banks, 1900

Genre *Choroterpes* Eaton, 1881

-*Choroterpes (Choroterpes) atlas* Soldan & Thomas, 1983

Matériel examiné : 83 larves ; **S13 :** 28-IV-2016 (1), 19-VII-2016 (3). **S17 :** 22-IV-2016 (35), 28-IV-2017 (3). **S3 :** 22-IV-2016 (25), 4-VII-2016 (9), 28-IV-2016 (7).

Aire de répartition : espèce Endémique Maghrébine. Elle se rencontre dans les trois pays du Maghreb à l'exception des zones désertiques (Thomas & Vitte 1988, El Alami 2002). Au Maroc, cette espèce a une très large aire de répartition s'étendant depuis les bassins du Rif jusqu'à ses limites méridionales situées entre le Haut Atlas et l'Anti-Atlas. De même, des études récentes ont permis d'élargir son aire de répartition dans le Maroc oriental (Mabrouki et al. 2017).

Habitat : espèce thermophile, récoltée dans des cours d'eau permanents, caractérisés par une vitesse moyenne du courant et parfois piégés dans de petites mares résultant du déclin des niveaux d'eau (Mabrouki et al. 2017).

-*Choroterpes (Choroterpes) volubilis* Thomas & Vitte, 1988

Matériel examiné : 30 larves ; **S17 :** 28-IV-2017 (30).

Aire de répartition : espèce Endémique Marocaine, citée pour la première fois par Thomas & Vitte (1988) dans le Rif à oued Loukkos et trouvée aussi dans le Moyen Atlas près d'Azrou à oued Bençmin (El Alami 2002). Ainsi des études récentes ont permis d'élargir son aire de répartition dans le Maroc oriental (Mabrouki et al. 2017). Nos prospections ont permis de la récolter pour la première fois à Azzaba.

Habitat : cette espèce semble être sténotopique. Son aire de distribution se limitant au Moyen Atlas oriental, où elle occupe les bords du lit aux eaux tempérées et les courants modérés à faibles (Mabrouki et al. 2017).

Super-famille EPHEMEROIDEA

Famille POLYMITARCYIDAE Banks, 1900

Genre *Ephoron* Williamson, 1802

-*Ephoron virgo* Olivier, 1791

Matériel examiné : 20 larves ; **S17 :** 28-IV-2017 (3). **S18 :** 10-X-2016 (9). **S3 :** 22-IV-2016 (4), 28-IV-2017 (4).

Aire de répartition : espèce de diffusion Ouest-Paléarctique, présente une large distribution en Europe centrale, occidentale et dans les pays du pourtour méditerranéen (Dakki 1979, Thomas 1998). En Afrique du Nord, elle est connue dans les trois pays du Maghreb (El Alami 2002). Au Maroc, elle est présente dans le Plateau central, le Moyen Atlas, le Maroc oriental et dans les trois réseaux hydrographiques du Rif (Laou, Tahaddart, et Sebou) (Mabrouki et al. 2017).

Habitat : dans le Haut Sebou, cette espèce paraît être plus alticole puisqu'elle a été récoltée entre 200 et 1400 m d'altitude (Dakki 1987) dans des cours d'eau caractérisés par des températures élevées.

1.2. PLECOPTERES

Famille NEMOURIDAE Newman, 1853

-*Nemoura* sp.

Matériel examiné : 2 larves ; **S17 :** 22-IV-2016 (2).

Aire de répartition : le genre *Nemoura* est de diffusion Ouest-Méditerranéenne côtoyant la Péninsule Ibérique et le nord-ouest de l'Afrique. Au Maroc, il couvre le Rif et le Moyen Atlas, Toutefois ce genre est représenté jusqu'à présent par trois espèces : *N. fluviceps*, *N. lacustris* et *N. rifensis* (Errochdi 2015).

Habitat : dans notre station, les deux larves récoltées étaient des juvéniles ce qui n'a pas permis leur identification jusqu'au rang spécifique.

Genre *Protonemura* Kempny, 1898

-*Protonemura talboti* Navás, 1929

Matériel examiné : 1 larve ; **S15 :** 10-X-2016 (1).

Aire de répartition : espèce de distribution Ouest-maghrébine, connue du Maroc et de l'Algérie où elle a été citée dans les montagnes de Tlemcen et de la Tafna en Algérie occidentale et centrale. Au Maroc, elle est présente dans le Haut et le Moyen Atlas, dans le Rif et dans la région orientale du pays (Vinçon & Muràny 2009, Errochdi et al. 2014, Mabrouki et al. 2016).

Habitat : espèce sthénotherme, ses larves se rencontrent dans divers ruisseaux de montagne et dans des sources entre 85 et 3000 m d'altitude (Vinçon & Muràny 2009, Mabrouki et al. 2016).

1.3. TRICHOPTERES

Sous Ordre SPICIPALPIA

Famille RHYACOPHILIDAE Stephens, 1836

Genus *Rhyacophila* Pictet, 1834

-*Rhyacophila munda* McLachlan, 1862

Matériel examiné : 43 larves ; **TZ :** 16-XII-2015 (3), 9-X-2016 (2). **S11 :** 16-XII-2015 (8), 9-X-2016 (11). **S13 :** 27-IV-2017 (7). **AT :** 16-XII-2015 (8), 19-VII-2016 (3), 22-IV-2016 (1). **S17 :** 28-IV-2017 (1).

Aire de répartition : espèce de distribution Ouest-Paléarctique, dont l'aire de répartition couvre le sud-ouest de l'Europe et l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie) (Malicky & Lounaci 1987, Bonada et al. 2004). Au Maroc, l'espèce a une large distribution géographique, dans les eaux lotiques du Moyen et du

Haut Atlas, du Plateau central et du Rif (Bonada et al. 2008, Hajji et al. 2012, Hajji et al. 2013). Mabrouki et al. (2020) ont recensé dans les régions de l'Oriental et de Drâ-Tafilalet.

Habitat : espèce eurytope, elle colonise des biotopes très variés, caractérisés par des substrats fins riches en sable et en graviers. Dans le Haut Sebou, elle est qualifiée de rhéocrène en exigeant des eaux courantes bien oxygénées (Dakki 1987).

Famille GLOSSOSOMATIDAE Wallengren, 1891

Genre *Agapetus* Curtis, 1834

-*Agapetus dolichopterus* Giudicelli & Dakki, 1980

Matériel examiné : 37 larves ; **TZ :** 16-XII-2015 (37).

Aire de répartition : Endémique du Maroc, elle a été signalée dans le Haut et le Moyen Atlas et également capturée dans la région rifaine (Giudicelli & Dakki 1980, Hajji 2017).

Habitat : cette espèce a une nette préférence pour les sources tempérées, permanentes de haute altitude, rhéocrène au débit et au substrat stables (Dakki 1986a).

-*Agapetus incertulus* McLachlan, 1884

Matériel examiné : 12 larves ; **S11 :** 19-VII-2016 (5). **AT :** 19-VII-2016 (5), 28-IV-2017 (2).

Aire de répartition : espèce de diffusion Ouest-Méditerranéenne, côtoyant la Péninsule Ibérique, l'Italie et le Maroc (Bonada et al. 2008). Elle a été décrite pour la première fois au Maroc sous le nom d'*Agapetus berbericus* (Giudicelli & Dakki 1980), puis elle a été attribuée à *A. incertulus* après comparaison des spécimens marocains avec ceux de la Péninsule Ibérique (Malicky 1980). Cette espèce est assez répandue dans le Haut et Moyen Atlas, le Rif et les régions oriental et Drâ-Tafilalet (Bouzidi 1989, Mabrouki et al. 2020).

Habitat : espèce ubiquiste, inféodée essentiellement aux cours supérieurs et moyens du Guigou, qui se caractérisent par des eaux relativement chaudes en été (température généralement supérieure à 20°C) (Dakki 1986a).

Sous Ordre ANNULIPALPIA

Famille HYDROPSYCHIDAE Curtis, 1835

Genre *Hydropsyche* Pictet, 1834

-*Hydropsyche fezana* Navas, 1935

Matériel examiné : 229 larves ; **S8 :** 16-XII-2015 (8), 28-IV-2016 (5), 9-X-2016 (18), 27-IV-2017 (9). **S9 :** 27-IV-2017 (12). **S11 :** 16-XII-2015 (62), 28-IV-2016 (6), 19-VII-2016 (11), 9-X-2016 (9). **SS :** 17-XII-2015 (10), 28-IV-2016 (6), 19-VII-2016 (14), 9-X-2016 (59).

Aire de répartition : espèce Endémique Maghrébine (Maroc et Algérie) (Tobias & Tobias 2009). Au Maroc, elle est répandue dans les cours d'eaux du Haut et Moyen Atlas, la partie orientale du pays et dans le Rif (Chillasse & Dakki 2004, Hajji et al. 2013, Mabrouki et al. 2020).

Habitat : espèce rhéophile habitant principalement les cours d'eaux permanents de différentes tailles, à vitesse d'écoulement moyenne, coulant sur un fond hétérogène (limon, sable et galets). Au Moyen Atlas,

elle fréquente les petites rivières du cours supérieur du haut Sebou et devient sporadique dans les sources (Dakki 1987).

-*Hydropsyche maroccana* Navàs, 1936

Matériel examiné : 893 larves ; **S9 :** 28-IV-2016 (48), 9-X-2016 (2). **S11 :** 16-XII-2016 (6), 19-VII-2016 (20). **SS :** 16-XII-2016 (22), 19-VII-2016 (36), 27-IV-2017 (54). **S13 :** 9-X-2016 (12). **S15 :** 17-XII-2015 (47), 28-IV-2016 (7). **AT :** 28-IV-2016 (34), 19-VII-2016 (8). **S17 :** 22-IV-2016 (87), 4-VII-2016 (25), 28-IV-2017 (14). **S18 :** 22-IV-2016 (58), 4-VII-2016 (97), 10-X-2016 (20), 28-IV-2017 (22). **S3 :** 22-IV-2016 (134), 4-VII-2016 (93), 10-X-2016 (13), 28-IV-2017 (34).

Aire de répartition : espèce de distribution nord-Africaine, elle a été signalée au Maroc, en Algérie, en Tunisie et aux îles Canaries (Bouzidi & Giudicelli 1994). Au Maroc, elle couvre le Haut et le Moyen Atlas, le Plateau central, le Maroc oriental et le Rif (Bouzidi 1989, Berrahou et al. 2001a).

Habitat : elle est bien représentée dans la plupart des cours d'eau marocains (les cours moyens et supérieurs des oueds et ruisselets des sources) de fonds très variables (limon, sable, gravier, et galets). Elle semble bien limitée dans les sources froides par les faibles débits organiques que par les faibles températures (Dakki 1987).

-*Hydropsyche pellucidula* Curtis, 1834

Matériel examiné : 1091 larves ; **S9 :** 27-IV-2017 (3). **SS :** 16-XII-2015 (86), 28-IV-2016 (214), 9-X-2016 (113), 27-IV-2017 (56). **S13 :** 16-XII-2015 (73), 19-VII-2016 (86), 28-IV-2016 (85), 9-X-2016 (74), 27-IV-2017, (15). **AT :** 16-XII-2015 (9), 28-IV-2016 (78), 10-X-2016 (29). **S15 :** 16-XII-2015 (39), 28-IV-2016 (53), 19-VII-2016 (44), 10-X-2016 (14). **S17 :** 22-IV-2016 (20).

Aire de répartition : espèce Holo-Paléarctique, à large répartition en Europe, en Asie et au Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie) (Bonada et al. 2009, Tobias & Tobias 2009). Au Maroc, elle est présente dans le Haut et le Moyen Atlas, le Plateau central, le Maroc oriental, et le Rif (El Agbani 1984, Dakki 1986a, Hajji et al. 2013) et récemment citée dans la lagune de Nador (Mabrouki et al. 2020).

Habitat : espèce euryèce côtoyant les petits ruisseaux et les rivières de grande dimension, elle préfère des eaux de bonne qualité, à courant rapide et à fond pierreux des cours moyen et inférieur (Verneaux & Faessel 1976, Lapchin & Neveu 1979).

Sous Ordre INTEGRIPALPIA

Famille LIMNEPHILIDAE Kolenati, 1848

Genus *Stenophylax* Kolenati, 1848

-*Stenophylax nycterobius* (McLachlan, 1875)

Matériel examiné : 100 larves ; **AA :** 19-VII-2016 (11), 9-X-2016 (6), 27-IV-2017 (11). **S8 :** 16-XII-2015 (30), 28-IV-2016 (34), 9-X-2016 (8).

Aire de répartition : espèce du Ouest Paléarctique, dont l'intervalle de répartition couvre le centre et le sud-ouest de l'Europe (Espagne et Portugal) et le Maroc (Bonada et al. 2008). Où elle a été citée dans le Moyen Atlas (Giudicelli & Dakki 1984), dans le Rif par Dakki (1987) et Hajji et al. (2013), et dans la région orientale par Mabrouki et al. (2020).

Habitat : cette espèce montre une nette préférence pour les sources fraîches et les faciès des ruisseaux et des petites rivières de haute altitude à hiver froid. Ces cours d’eaux sont temporaires ou permanents, à substrat grossier et fin (Dakki 1979, Hajji 2017).

1.4. ODONATES

Sous Ordre ZYGOPTERA Sélys, 1854

Famille CALOPTERYGIDAE Buchecker, 1876

-*Calopteryx haemorrhoidalis* Vander Linden, 1825

Matériel examiné : 25 larves ; **AA :** 27-IV-2017 (4). **TZ :** 27-IV-2017 (5). **S11 :** 19-VII-2016 (5), 27-IV-2017 (2). **SS :** 28-IV-2016 (3). **S17 :** 22-IV-2016 (3). **S18 :** 22-IV-2016 (3).

Aire de répartition : espèce de diffusion Ouest-Méditerranéenne, avec une expansion sur la façade atlantique de l’Europe (Jacquemin & Boudot 1999). Au Maroc, elle est largement répandue dans le Rif, le Moyen et le Haut Atlas, la région orientale du pays, le Plateau central et elle atteint même le domaine saharien du pays dans les bassins de Ziz et Drâa (Dumont 1972, El Haissoufi et al. 2008, Taybi et al. 2019).

Habitat : cette espèce préfère les eaux courantes caractérisées par un écoulement assez fort et bien oxygéné. Elle ne colonise jamais les eaux stagnantes (El Haissoufi 2006). Dans le Haut Atlas, elle occupe un intervalle altitudinal entre 216-1915 m.

Famille COENAGRIONIDAE Kirby, 1890

-*Coenagrion cf mercuriale* Charpentier, 1840

Matériel examiné : 23 larves ; **AA :** 28-IV-2016 (2). **S8 :** 28-IV-2016 (1). **S9 :** 27-IV-2017 (2). **S17:** 22-IV-2016 (5). **S18 :** 22-IV-2016 (10). **S3 :** 22-IV-2016 (3).

Aire de répartition : espèce Holo-Méditerranéenne à expansion atlantique. Elle occupe la région Ouest-Européenne à affinité méditerranéenne, et également présente dans le nord de l’Afrique (Jacquemin & Boudot 1999, Boudot & De Knijf 2012). Au Maroc, elle se rencontre dans sa partie septentrionale, dans le Rif, le Plateau central, le Moyen Atlas et jusqu’au versant nord du Haut Atlas (El Haissoufi 2012, El Haissoufi 2006). Espèce classée En Danger (EN) sur la liste rouge du nord de l’Afri

que (Samraoui et al.2010)

Habitat : cette espèce peuple exclusivement les ruisseaux envahis de végétation et à écoulement fort. Dans le Haut Sebou, elle a été récoltée jusqu’à 1915 m d’altitude.

-*Ischnura graellsii* Rambur, 1842

Matériel examiné : 8 larves ; **S9 :** 16-XII-2015 (6). **S3 :** 22-IV-2016 (2).

Aire de répartition : élément Ouest-Méditerranéen limité à la Péninsule Ibérique et au Maghreb (Jacquemin & Boudot 1999). En Afrique du Nord, sa distribution est complémentaire à celle d’*Ischnura saharensis*. Au Maroc, l’espèce couvre tout le Nord et l’Ouest du pays : le Rif, le Plateau central, la Plaine côtière, le Moyen Atlas et la région orientale (Ben Azzouz & Aguesse 1990, Taybi et al. 2019).

Habitat : espèce répandue et abondante dans les eaux courantes et stagnantes, dans notre étude elle exploite un intervalle altitudinale entre 243-1820 m.

Sous Ordre ANISOPTERA Sélys, 1850

Famille GOMPHIDAE Sélys, 1850

-*Onychogomphus costae* Sélys, 1885

Matériel examiné : 39 larves ; **S17 :** 22-IV-2016 (3). **S18 :** 22-IV-2016 (18), 4-VII-2016 (5). **S3 :** 22-IV-2016 (10), 4-VII-2016 (3 exuvies).

Aire de répartition : espèce Ibéro-Maghrébine, sa distribution dans la Péninsule Ibérique se limite aux zones les plus arides et s'étend au nord du Maghreb (Jacquemin & Boudot 1999, Boudot & De Knijf 2012). Au Maroc, elle a été signalée dans les trois domaines atlasiques, dans le Rif et dans le domaine oriental (El Haissoufi 2012, El Haissoufi et al. 2015). Ce Gomphidé est classé Quasi Menacé sur la liste rouge des Odonates du bassin méditerranéen et du nord de l'Afrique et en Danger (EN) sur la liste rouge européenne (IUCN, à paraître).

Habitat : l'espèce fréquente essentiellement les eaux courantes, les oueds à courant soutenu. Elle héberge les bancs de sable et de galets, les sols nus ou à végétation rase et elle peut atteindre des altitudes variables (Jacquemin 1994). Dans le Haut Sebou, elle ne dépasse pas 470 m d'altitude.

-*Onychogomphus uncatus* Charpentier, 1840

Matériel examiné : 18 larves ; **AT :** 17-XII-2015 (10), 9-X-2016 (5). **S15 :** 10-X-2016 (3).

Aire de répartition : espèce Ouest-Méditerranéenne, connue dans le bassin méditerranéen occidental, en France atlantique et présente des populations périphériques en Europe tempérée (Jacquemin & Boudot 1999). Au Maroc, elle a une répartition montagnarde couvrant le Moyen et le Haut Atlas, le Plateau central, la région orientale et le Rif (Ben Azzouz 1988, Taybi et al. 2019).

Habitat : l'espèce peuple principalement les cours d'eau de montagne (faciès lotique) à eau claire et rapide et à des altitudes comprises entre 880 et 1340 m (El Haissoufi et al. 2008).

Famille LIBELLULIDAE Sélys, 1850

-*Orthetrum* sp.

Matériel examiné : 7 larves ; **AT :** 19-VII-2016 (7).

Aire de répartition : le genre *Orthetrum* est connu généralement dans la région méditerranéenne et dans l'Europe occidentale (Aguesse 1968). Au Maroc, il est largement répandu dans tous les domaines du pays. La petite taille des larves capturées n'a pas permis l'identification jusqu'au rang spécifique.

Habitat : la station où on a capturé *Orthetrum* sp. est située à une altitude moyenne, caractérisée par un écoulement assez fort et une végétation dense par endroits.

1.5. COLEOPTERES

Sous ordre ADEPHAGA

Famille GYRINIDAE Latreille, 1810

Sous famille Gyrininae Latreille, 1810

-*Aulonogyrus striatus* Fabricius, 1792

Matériel examiné : 197 adultes ; **S13 :** 28-IV-2016 (26), 19-VII-2016 (20). **S15 :** 28-IV-2016 (22), 19-VII-2016 (19). **AT :** 28-IV-2016 (36). **S17 :** 22-IV-2016 (10), 4-VII-2016 (7), 28-IV-2017 (6). **S18 :** 22-IV-2016 (8), 4-VII-2016 (11). **S3 :** 22-IV-2016 (12), 4-VII-2016 (16), 28-IV-2017 (4).

Aire de répartition : espèce de diffusion Holo-Méditerranéenne avec une extension dans les îles Canaries. Au nord de l'Afrique, elle est connue en Algérie, au Maroc et en Tunisie (Millán et al. 2014, Chakour et al. 2017). Au Maroc, cette espèce est largement distribuée dans la quasi-totalité des réseaux hydrographiques du Rif, du Haut et Moyen Atlas, du Maroc oriental, du Plateau central et de l'Anti-Atlas (Chavanon et al. 2004, Bennas & Sàinz-Cantero 2006, Chakour et al. 2017).

Habitat : c'est l'espèce la plus fréquente et la plus abondante des Coléoptères dans notre récolte. Elle se rencontre dans les milieux aquatiques à caractère lénitique (lacs, sources..) et lotique (cours moyen des rivières, ruisselets de sources...) de moyenne à basse altitude (1340 à 216 m).

Famille DYTISCIDAE Leach, 1817

Sous famille Agabinae C.G. Thomson, 1867

-Agabus didymus Olivier, 1795

Matériel examiné : 4 adultes ; **S8 :** 17-XII-2015 (1). **S9 :** 9-X-2016 (3).

Aire de répartition : espèce Européo-Méditerranéenne, largement répandue dans la Péninsule Ibérique (Millan et al. 2014). Au Maroc, elle est largement répartie sur son littoral atlantique, le Rif, le Moyen et le Haut Atlas, et le Maroc oriental à l'exception des domaines Anti Atlasique et Saharien (Benamar 2015, Taybi et al. 2017a, Benamar et al. 2021a).

Habitat : l'espèce héberge à la fois dans les milieux aquatiques lénitiques de fond purement limoneux (cas des mares, lacs, étang...) et lotiques (rivières, ruisselets des sources...) de fond dominés par les graviers et les galets. Où cette espèce occupe les bords en se réfugiant sous les pierres ou parmi les limons (Chavanon et al. 2004, Benamar 2015).

-Ilybius chalconatus (Panzer, 1796)

Matériel examiné : 1 adulte ; **S11 :** 27-IV-2017 (1).

Aire de répartition : Espèce présentant une large diffusion en Europe et dans le bassin Méditerranéen. Au Maroc, elle a été mentionnée sur le littoral atlantique, les trois domaines atlasiques, au Maroc oriental et dans le Rif (Chavanon et al. 2004, Millan et al. 2014).

Habitat : cette espèce héberge les cours d'eaux faiblement courant, à fond pierreux riches en matières organiques (Millán et al. 2014).

Sous Famille Colymbetinae Erichson, 1837

-Colymbetes schildknehti Dettner, 1983

Matériel examiné : 4 adultes ; **S8 :** 28-IV-2016 (3). **S9 :** 27-IV-2017 (1).

Aire de répartition : espèce de diffusion Ouest-Méditerranéenne, connue dans la Péninsule Ibérique et l'Afrique du Nord (Millán et al. 2014). Au Maroc, elle est connue de plusieurs localités dont les plus anciennes étaient attribuées à *C. fuscus*. Aussi, dans le littoral atlantique, le Moyen et le Haut Atlas, et dans le Rif (Bennas & Sàinz-Cantero 2006, Taybi et al. 2017a).

Habitat : elle fréquente les cours d'eau ruisselant avec une vitesse lente à moyenne, sur un substrat hétérogène (fins et grossiers). Elle est présente également dans les rizières, les lacs et les sources limnocrènes (Benamar 2015).

Sous famille Dytiscinae Leach, 1815

-*Cybister (Cybister) lateralimarginalis laterimarginalis* (De Geer, 1774)

Matériel examiné : 3 adultes ; **AA :** 27-IV-2017 (1), **S8 :** 27-IV-2017 (2).

Aire de répartition : Espèce de diffusion Turanique-Européo-Méditerranéenne. Au Maroc, elle se répartie sur son littoral atlantique, le Rif, le Moyen Atlas et la région orientale du pays (Kocher 1958, Benamar 2015).

Habitat : Cette espèce a été recueillie dans deux stations de haute altitude aux eaux froides avec un substrat argileux où les spécimens tendent à s'enfouir dans le limon.

-*Dytiscus pisanus* Laporte de Castelnau, 1835

Matériel examiné : 11 adultes ; **AA :** 28-IV-2016 (5). **S8 :** 28-IV-2016 (4). **S11 :** 28-IV-2016 (2).

Aire de répartition : élément de répartition Ouest-Méditerranéenne. Au Maroc l'espèce est qualifiée rare, elle a été mentionnée dans le Rif, dans les trois domaines Atlasique, et sur le littoral atlantique (Guignot 1946, Bennis & Sàinz-Cantero 2006).

Habitat : espèce eurioïque, hébergeant différents types de milieu aquatique. Dans les eaux courantes, elle peuple le crénon et le rhitron dominés par un substrat grossier. Les individus de cette espèce tendent à occuper les rives des cours d'eau où ils se réfugient parmi la végétation et les débris organiques (Millán et al. 2014, Benamar 2015).

Sous famille Hydroporinae Aubé, 1836

-*Deronectes fairmairei* Leprieur, 1876

Matériel examiné : 19 adultes ; **AA :** 9-X-2016 (1). **S11 :** 9-X-2016 (7). **AT :** 28-IV-2016 (3). **S15 :** 28-IV-2016 (4). **SS :** 28-IV-2016 (2), 27-IV-2017 (2).

Aire de répartition : espèce de répartition Ouest-Méditerranéenne, bien connue dans les régions montagneuses méditerranéennes de la Péninsule Ibérique (Millán et al. 2014). Au Maroc, elle est amplement répartie dans les principaux domaines atlasiques, le Rif, le Plateau central et le Maroc oriental (Fery & Brancucci 1997, Taybi et al. 2017a, Benamar et al. 2021a).

Habitat : espèce localisée essentiellement dans les eaux courantes à substrats fins et à macrophytes submergées et occasionnellement dans des milieux stagnants (Benamar 2015).

-*Nebrioporus clarkii* Wollaston, 1862

Matériel examiné : 22 adultes ; **AA :** 27-IV-2017 (2), 9-X-2016 (1). **S8 :** 27-IV-2017 (1), 9-X-2016 (1). **S15 :** 19-VII-2016 (1). **S11 :** 19-VII-2016 (2). **SS :** 9-X-2016 (3), 27-IV-2017 (4). **AT :** 28-IV-2016 (2). **TZ :** 27-IV-2017 (5).

Aire de répartition : espèce de diffusion Ouest-Méditerranéenne avec une extension aux îles Canaries et en Turquie. Elle est largement répartie dans le sud-est de la Péninsule Ibérique (Millán et al. 2014, Taybi

et al. 2017a). Au Maroc, elle a été citée dans sa région orientale, dans les trois domaines atlasiques, dans le Rif et sur le littoral atlantique (Berrahou et al. 2001b, Bennas & Sàinz-Cantero 2006).

Habitat : Cette espèce colonise les milieux à faciès lotique sur un fond hétérogène et un courant lent à rapide, et parfois elle habite les eaux stagnantes. Ainsi que, les résurgences qui jaillissent à la surface et forment des retenues d'eau presque stagnantes (Benamar 2015, Lamri et al. 2016).

-Nebrioporus ceresyi Aubé, 1838

Matériel examiné : 3 adultes ; **S8 :** 9-X-2016 (3).

Aire de répartition : espèce de distribution Holo-Méditerranéenne, elle est connue dans la partie côtière Sud de la Péninsule Ibérique (Millán et al. 2014, Taybi et al. 2017a). Au Maroc, elle a été mentionnée dans l'ensemble des domaines géographiques du pays : sur le littoral atlantique, le Haut et le Moyen Atlas, au Maroc oriental et dans le Rif (Chavanon et al. 2004, Benamar et al. 2021a).

Habitat : cette espèce peut coloniser les milieux aquatiques salins aussi bien à faciès lotique que lénitique. Caractérisés par un fond limoneux couvert par quelques graviers et galets et une végétation composée des algues filamenteuses et d'autres macrophytes (Benamar 2015).

-Hydroporus discretus Fairmaire & Brisout de Barneville, 1859

Matériel examiné : 1 adulte ; **S8 :** 19-VII-2016 (1).

Aire de répartition : espèce du Paléarctique occidental, largement répandue en Asie occidentale et en Afrique du Nord (Bennas & Sàinz-Cantero 2006, Taybi et al. 2017a). C'est l'une des espèces les plus communes dans la Péninsule Ibérique (Millán et al. 2014). Elle est signalée au Maroc sur le littoral nord atlantique, la Meseta côtière, dans le Rif et dans le Haut, le Moyen et l'Anti Atlas (Bennas et al. 1992, Benamar et al. 2011).

Habitat : cette espèce fréquente essentiellement les eaux courantes et occasionnellement les eaux stagnantes, où les individus occupent les rives et se réfugient parmi la végétation et les débris organiques (Millán et al. 2013, Benamar 2015).

-Hydroporus lucasi Reiche, 1866

Matériel examiné : 8 adultes ; **AA :** 28-IV-2016 (2). **S8 :** 9-X-2016 (4). **S11 :** 9-X-2016 (2).

Aire de répartition : espèce de diffusion Ouest-Méditerranéenne, elle est distribuée en Europe méridionale et en Afrique du Nord ; les systèmes ibérique et central représentent la limite septentrionale de son aire de répartition (Bennas & Sàinz-Cantero 2006, Millán et al. 2014). Cette espèce est connue dans le nord-ouest du Maroc (Chavanon et al. 2004). En effet, toutes les notices bibliographiques de *H. planus* doivent correspondre à *H. lucasi*, puisque sa diffusion est limitée à l'Europe (Millán et al. 2014). Cette espèce a été récoltée au Moyen et au Haut Atlas, sur le littoral atlantique, au Maroc oriental et dans le Rif (Benamar et al. 2011).

Habitat : espèce eurytope habitant à la fois les eaux courantes et les eaux stagnantes, et s'accommode bien en milieu saumâtre (Slimani et al. 2016). Dans ces milieux, les habitats sont composés de substrat hétérogène (sable, gravier, roche) et une végétation formée des algues filamenteuses (Millán et al. 2013, Benamar 2015).

-*Graptodytes atlantis* Théry, 1933

Matériel examiné : 5 adultes ; **AA :** 28-IV-2016 (3). **S8 :** 28-IV-2016 (2).

Aire de répartition : cette espèce est Endémique Marocaine, elle a été recensée uniquement dans le Haut et le Moyen Atlas, et récemment capturée dans le bassin de Bouregreg (Chakour et al. 2017, Benamar et al. 2021b).

Habitat : elle semble être inféodée aux cours supérieurs des oueds et les lacs de montagnes (Benamar 2015), capturée à 1910 m d'altitude dans notre étude.

-*Stictonectes azruensis* Théry, 1933

Matériel examiné : 8 adultes ; **AA :** 28-IV-2016 (6). **S8 :** 28-IV-2016 (2).

Aire de répartition : Endémique Marocaine, espèce citée uniquement dans trois localités de Moyen Atlas (Benamar 2015, Benamar et al. 2021a).

Habitat : espèce alticole, exploitant un intervalle altitudinal variant entre 1200 et 2178 m, et peuplant les cours supérieurs des oueds de montagne. Elle présente un haut degré de vulnérabilité à l'échelle nationale (Benamar et al. 2021b).

Sous-famille Laccophilinae Gistel, 1848

-*Laccophilus hyalinus* De Geer, 1774

Matériel examiné : 19 adultes ; **AT :** 19-VII-2016 (8), 28-IV-2017 (3). **S18 :** 4-VII-2016 (5). **S3 :** 4-VII-2016 (3).

Aire de répartition : espèce de répartition Ouest-Méditerranéenne, largement répandue dans la Péninsule Ibérique avec extension aux îles Canaries (Millán et al. 2014). Au Maroc, elle est parmi les Dytiscidae les plus amplement répandus sur l'ensemble de ses domaines géographiques (Chakour et al. 2017, Taybi et al. 2017a, Benamar et al. 2021a).

Habitat : cette espèce fréquente les eaux courantes à substrats limoneux couverts par les galets et les graviers. Elle a tendance à supporter des degrés élevés de matières organiques et d'eutrophisation (Millán et al. 2014, Benamar 2015).

Sous ordre POLYPHAGA

Famille HELOPHORIDAE Latreille, 1802

-*Helophorus (Empleurus) rufipes* Bosc, 1791

Matériel examiné : 6 adultes ; **S11 :** 27-IV-2016 (3). **AA :** 27-IV-2017 (3).

Aire de répartition : espèce Méditerranéenne avec prolongement en Europe atlantique (Allemagne, Grande Bretagne) (Kocher 1958). Au Maroc, elle est présente dans le Moyen et le Haut Atlas et dans le Rif (Bennas 2002, Mabrouki et al. 2018).

Habitat : Elle peuple principalement les bords des milieux aquatiques à faciès lotique, et à écoulement moyen sur un fond hétérogène avec dominance de substrat grossier (Benamar 2015).

-*Helophorus (eutrichelophorus) oxygonus* Bedel, 1881

Matériel examiné : 8 adultes ; **AA :** 27-IV-2017 (3). **S11 :** 28-IV-2016 (5).

Aire de répartition : Espèce de Méditerranée occidentale, signalée uniquement en Algérie, au Maroc et en France. Au Maroc, elle est citée au Rif, au Moyen et au Haut Atlas et au Maroc oriental (Bennas 2002, Mabrouki et al. 2017a).

Habitat : espèce alticole, elle occupe un large éventail de milieux aquatiques aussi bien à faciès lotique comme lénitique, caractérisés par une végétation aquatique constituée surtout d'algues et de macrophytes (Bennas 2002).

- *Helophorus (Rhopalohelophorus) algiricus* Motschulsky, 1860

Matériel étudié : 6 adultes ; **S8 :** 28-IV-2016 (3). **AT :** 28-IV-2017 (3).

Aire de répartition : Endémique Maghrébine, mentionnée exclusivement en Algérie, au Maroc et en Tunisie (Lobl & Smetana 2004). Au Maroc, elle est signalée dans le Haut et le Moyen Atlas, au Maroc oriental, au littoral atlantique et dans le Rif (Touaylia et al. 2009, Benamar 2015).

Habitat : espèce eurytope habitant à la fois les faciès lotique et lénitique des eaux courantes, à substrat hétérogène et végétation diversifiée. Ainsi, elle montre une nette préférence pour le crénon et le rhitron que pour le potamon (Bennas 2002, Lamri et al. 2016)

- *Helophorus (Rhopalohelophorus) atlantis* Angus & Aouad, 2009

Matériel examiné : 2 adultes ; **S8 :** 17-XII-2015 (2).

Aire de répartition : Endémique Marocaine, citée uniquement dans le Moyen Atlas (Angus & Aouad 2009, Benamar et al. 2021b).

Habitat : espèce très rare dans notre récolte, qualifiée alticole évoluant dans un intervalle altitudinal limité variant entre 1548-1800 m (Benamar 2015). Nos prospections ont permis de la recenser à une altitude de 1910 m dans le Haut Sebou. Cette espèce est classée hautement vulnérables à l'échelle nationale (Benamar 2015).

Famille HYDROCHIDAE Thomson, 1859

-*Hydrochus flavipennis* Küster, 1852

Matériel examiné : 5 adultes ; **AA :** 27-IV-2017 (5).

Aire de répartition : Atlanto-Méditerranéenne, espèce distribuée au Maghreb (Maroc et Algérie) et au sud de l'Europe avec une extension en Asie mineure. Au Maroc, elle est connue dans le Rif, la région orientale, le Haut et le Moyen Atlas et sur sa façade atlantique (Bennas 2002, Benamar et al. 2011, Mabrouki et al. 2018).

Habitat : l'espèce habite différents types de milieu aquatique lotique et lénitique. Elle montre une nette préférence pour les eaux stagnantes (Boukal et al. 2007). Elle est accidentelle dans les eaux courantes où elle colonise les bords (Valladares 1995).

-*Hydrochus grandicollis* Kiesenwetter, 1870

Matériel examiné : 1 adulte ; **S8 :** 27-IV-2017 (1).

Aire de répartition : espèce de distribution Ouest-Méditerranéenne couvrant l'Europe, la Péninsule Ibérique, l'Italie et l'Afrique du Nord (Maroc et Tunisie) (Castro & Delgado 1998). Au Maroc, elle a été citée dans le Rif, le Haut Atlas, la région orientale et dans l'Anti-Atlas (Bennes 2002, Millán et al. 2014). Nos prospections ont permis de la recensée pour la première fois dans le Haut Sebou au Moyen Atlas.

Habitat : l'espèce peuple principalement les cours supérieurs et moyens des oueds et les sources rhéocrènes coulant sur un substrat de graviers et de galets (Benamar 2015).

Famille HYDROPHILIDAE Latreille, 1802

Sous famille Hydrophilinae latreille, 1802

-*Helochares (Helochares) lividus* Forster, 1771

Matériel examiné : 1 adulte ; **TZ :** 27-IV-2017 (1).

Aire de répartition : espèce de répartition Atlanto-Méditerranéenne. Au Maroc, elle est distribuée sur toute la frange côtière de l'Océan Atlantique depuis Tanger jusqu'à Essaouira, au Rif, au Maroc oriental, et aux trois domaines atlasiques (Chavanon et al. 2004, Benamar et al. 2021c). Il s'agit de la première citation pour le Haut Sebou

Habitat : espèce ubiquiste habitant des milieux aquatiques très variables aussi bien lotique que lénitique. Elle est également qualifiée d'espèce thermophile vivant dans des eaux peu profondes avec une végétation dense (Hebauer & Ryndevich 2005, Benamar 2015).

Sous famille Sphaeridinae latreille, 1802

-*Coelostoma hispanicum* Küster, 1848

Matériel examiné : 16 adultes ; **S18 :** 4-VII-2016 (9), 28-IV-2017 (2). **S3 :** 4-VII-2016 (5).

Aire de répartition : espèce de diffusion Ouest-Méditerranéenne-Macaronésienne. Au Maroc, elle présente une ample répartition couvrant l'ensemble des domaines géographiques et atteint même la région méridionale du pays (Chavanon et al. 2004, Benamar et al. 2011).

Habitat : espèce assez commune et sensible à la pollution. Elle héberge aussi bien des milieux aquatiques lénitique que lotique, avec un fond limoneux couvert par des graviers, des galets et parfois de petits blocs (Benamar 2015, Lamri et al. 2016).

Famille HYDRAENIDAE Mulsant, 1844

Sous famille Ochthebiinae Thomson, 1859

-*Ochthebius (Ochthebius) quadrioveolatus* Wollaston, 1854

Matériel étudié : 1 adulte ; **S15 :** 28-IV-2017 (1).

Aire de répartition : espèce de diffusion Afrotropicale-Méditerranéenne. Au Maroc, sa distribution couvre la région orientale et s'étend du nord jusqu'au domaine saharien à l'exception du littoral atlantique (Berrahou et al. 2000, Bennis et al. 2001).

Habitat : espèce recensée majoritairement dans les cours supérieurs et moyens des oueds, et bien rarement au niveau des lacs et des mares, caractérisés par un substrat hétérogène et une végétation composée essentiellement des algues, mousses et macrophytes (Benamar 2015).

Famille ELMIDAE (Latreille, 1798)

Sous famille Elminae Curtis, 1830

-*Elmis aenea* Müller, 1806

Matériel examiné : 12 adultes ; **S8 :** 28-IV-2016 (8), 27-IV-2017 (4).

Aire de répartition : espèce à diffusion couvrant toute l'Europe, ainsi elle est largement répandue dans la Péninsule Ibérique (Millán et al. 2014). Au Maroc, sa présence est douteuse ou insuffisamment documentée, notre étude a permis de confirmer cette présence.

Habitat : généralement *Elmis aenea* est une espèce très rare au Maroc. Elle n'a été trouvée que dans une seule de nos stations (S8) et jusqu'à présent nous ne comprenons pas comment elle apparaît, sachant que le nombre total que nous avons trouvé est de 12 individus. La seule hypothèse cohérente est qu'elle apparaît avec les changements qui se sont produits dans la source AA juste en amont de S8 (à 100 m).

Au Maroc, de nombreux spécimens appartenant au groupe *mauetii*, capturés par Nard Bennis dans les montagnes du Rif (Nord du Maroc), ont des genitalia mâles avec l'apex courbé de paramère (comme montré dans la Fig. 106A dans Olmi 1976) et ont été identifiés comme *E. mauetii*. Cependant, dans notre station, certains spécimens d'*Elmis* ont l'apex de paramère non courbé (comme le montre la Fig. 106B d'Olmi 1976), et sont attribués à *E. aenea*. Les deux espèces sont extérieurement très similaires, et une étude moléculaire du groupe *mauetii* est cruciale pour clarifier le statut de ces espèces considérées par Horion (1955) comme des variations dans la même espèce.

-*Elmis mauetii* Reiche, 1879

Matériel examiné : 53 adultes ; **S8 :** 28-IV-2016 (33), 19-VII-2016 (2). **TZ :** 16-XII-2015 (7). **S11 :** 19-VII-2016 (9), 9-X-2016 (2).

Aire de répartition : espèce de diffusion large, couvrant le sud et le centre de l'Europe avec une extension au Maghreb occidental (Maroc et Algérie). Au Maroc, elle est connue dans le Rif, le Maroc oriental, le Moyen et le Haut Atlas (Giudicelli & Dakki 1984, Berrahou 1995, Benamar 2015).

Habitat : espèce inféodée exclusivement aux secteurs lotiques des eaux courantes, caractérisés par une vitesse d'écoulement faible à modérée, avec un fond formé essentiellement de galets, graviers et blocs. Et une végétation sub-immersée assez dense et formée d'algue et mousse qui constituent un support de nourriture pour l'espèce (Berrahou et al. 2001b, Lamri et al. 2016).

-*Esolus* sp.

Matériel examiné : 3 adultes ; **S15 :** 28-IV-2017 (3).

Aire de répartition : le genre *Esolus* a une distribution Paléarctique couvrant l'Europe, le nord de l'Afrique et atteint les îles britanniques. Au Maroc, les espèces appartenant à ce genre ont été localisées dans différents domaines géographiques du pays ; les atlas, le Rif et la région orientale du pays (Benamar 2015).

Habitat : ces spécimens ont été capturés dans un cours bas de l'oued Guigou, dans des systèmes lotiques coulant avec une vitesse moyenne sur un fond formé de galets de graviers et de sable.

-*Limnius intermedius* Fairmaire, 1881

Matériel examiné : 12 adultes ; **SS :** 28-IV-2016 (7), 19-VII-2016 (2). **AT :** 19-VII-2016 (3).

Aire de répartition : espèce montre une distribution sud-Européenne avec une extension en Europe centrale, en Anatolie et aux trois pays de Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie) (Touaylia et al. 2010, Bennas et al. 2018). Au Maroc, elle a été signalée dans le Moyen et le Haut Atlas, le Rif, et au Maroc nord oriental (Dakki 1986a, Mabrouki et al. 2018).

Habitat : *L. intermedius* est qualifiée à la fois potamophile, eurytherme et sténotope (Dakki 1987). L'espèce colonise généralement les secteurs lotiques des eaux courantes (cours supérieur, moyen et inférieur des oueds et les émissaires des sources), à écoulement lent à rapide sur un fond à substrats grossiers (Benamar 2015).

-*Limnius opacus* P.W.J. Müller, 1806

Matériel examiné : 148 adultes ; **S8 :** 17-XII-2015 (26), 19-VII-2016 (6), 10-X-2016 (9), 28-IV-2017 (84). **S9 :** 9-X-2016 (6), 28-IV-2017 (11). **TZ :** 28-IV-2017 (3). **SS :** 10-X-2016 (3).

Aire de répartition : espèce de répartition sud-Européenne avec une extension en Europe centrale, en Anatolie et au Maghreb occidental. Au Maroc, elle est connue dans les deux domaines atlasiques : le Moyen et le Haut Atlas, dans le Rif, et au Maroc nord oriental (Chavanon et al. 2004, Bennas & Sáinz-Cantero, 2007).

Habitat : espèce à caractère rhéophile et crénophile, elle peuple principalement les sources et les cours d'eaux permanents à écoulement moyen à rapide, à fond composé essentiellement de pierres, graviers et galets (Berrahou et al. 2001b, Lamri et al. 2016).

-*Oulimnius fuscipes* Reiche, 1879

Matériel examiné : 15 adultes ; **S8 :** 27-IV-2017 (7). **TZ :** 27-IV-2017 (5). **AT :** 8-IV-2017 (3).

Aire de répartition : espèce à distribution Ibéro-Maghrébine, couvrant le nord Africain avec une extension au Sud de la Péninsule Ibérique (Berrahou 1995, Chavanon et al. 2004). Elle a été recensée dans tous les domaines géographiques du Maroc à l'exception de l'Anti Atlas et du domaine Saharien (Benamar, 2015)

Habitat : élément rhéophile, colonise essentiellement les cours supérieur et moyen des oueds et les émissaires de source, caractérisés par un écoulement modéré à fort et un substrat hétérogène (Chavanon et al. 2004, Lamri et al. 2016).

Famille Dryopidae Billberg, 1820

-*Dryops gracilis* Karsch, 1881

Matériel examiné : 21 adultes ; **AA :** 19-IV-2016 (3). **S13:** 19-IV-2016 (3). **AT :** 19-IV-2016 (3). **S3 :** 4-IV-2016 (12).

Aire de répartition : espèce de diffusion Méditerranéenne avec un prolongement dans le domaine Afrotropicale (Bennas 2002, Bennas & Sáinz-Cantero 2007). Au Maroc, elle est connue dans ces trois

domaines atlasiques, de sa façade atlantique, de sa partie nord orientale et dans le Rif (Chavanon et al. 2004, Chakour et al. 2017).

Habitat : espèce peuplant les milieux à faciès lotiques et lenticques et tend à s'abriter sous les pierres et les galets et à s'enfuir dans le sable et sous les graviers. Ainsi, elle présente une ample valence écologique vis-à-vis le degré de minéralisation de l'eau (Benamar et al. 2011, Millán et al. 2014).

-*Dryops sulcipennis* Costa, 1883

Matériel examiné : 5 adultes ; **S9** : 9-X-2016 (5).

Aire de répartition : espèce de diffusion Holo-Méditerranéenne. Au Maroc, elle présente une ample répartition couvrant ses principaux domaines géographiques : le Rif, les domaines atlasiques et le domaine oriental (Berrahou et al. 2001b, Chavanon et al. 2004, Bennas & Sàinz-Cantero 2007).

Habitat : espèce capturée dans les eaux courantes et stagnantes, où elle se cantonne au niveau des zones calmes, parmi le sable et le gravier. Elle présente une grande tolérance vis-à-vis du haut degré de minéralisation de l'eau (Berrahou et al. 2001b, Bennas 2002).

1.6. HEMIPTERES

Infra-ordre GERROMORPHA Popov, 1971

Famille GERRIDAE Leach, 1815

-*Aquarius cinereus* Puton, 1869

Matériel examiné : 74 adultes ; **S8** : 17-XII-2015 (6), 28-IV-2016 (2). **S9** : 9-X-2016 (9). **SS** : 17-XII-2015 (11), 9-X-2016 (4), 27-IV-2017 (3). **S13** : 17-XII-2015 (13), 28-IV-2016 (7), 19-VII-2016 (1). **S15** : 10-X-2016 (9), 28-IV-2017 (2). **S3** : 22-IV-2016 (8).

Aire de répartition : espèce de l'Ouest-Méditerranéenne citée en Espagne, Italie, Portugal et en France. Elle est très commune au Maghreb (Gheit 1994, Damgaard et al. 2014). Au Maroc, elle a été citée dans les trois domaines atlasiques, dans la Meseta Côtière, dans le Plateau central, dans le Rif et au Maroc oriental (L'Mohdi 2016, Taybi et al. 2018). Elle n'est connue que sous la forme aptère chez laquelle les hémélytres ne sont représentés que par des écailles rudimentaires (Gheit 1995).

Habitat : bien que cette espèce fréquente les eaux courantes (Slimani et al. 2016), elle semble avoir une prédilection pour les anses calmes de ceux-ci (Gheit 1994).

-*Gerris* sp.

Matériel examiné : 8 adultes ; **S18** : 4-VII-2016 (3). **S3** : 4-VII-2016 (5).

Aire de répartition : ce genre à une distribution Paléarctique, assez commune en Europe et dans le bassin méditerranéen. Au Maroc, il a une large diffusion en occupant les principaux réseaux hydrographiques du pays.

Les individus capturés de ce genre étaient de très petite taille ce qui n'a pas permis de pousser leur identification jusqu'au rang spécifique.

Famille MESOVELIIDAE Douglas & Scott, 1867

-*Mesovelia vittigera* Horváth, 1859

Matériel examiné : 21 adultes ; **AA :** 27-IV-2017 (1). **S11 :** 27-IV-2017 (3). **AT :** 28-IV-2017 (3), 19-VII-2016 (8). **S17 :** 22-IV-2016 (1). **S18 :** 22-IV-2016 (3). **S3 :** 22-IV-2016 (2).

Aire de répartition : espèce Sub-Cosmopolite d'origine Ethiopienne connue des pays méditerranéennes et africains (Gheit 1994, Annani et al. 2012). Au Maroc, elle a été récoltée dans la Meseta côtière, le Plateau central, les domaines atlasiques, la région orientale et dans le Rif (L'Mohdi 2016, Taybi et al. 2018).

Habitat : espèce commune aussi bien en eaux stagnantes temporaires ou pérennes qu'en bordures des eaux courantes. Elle supporte bien les eaux saumâtres et préfère les endroits où abondent les plantes aquatiques à feuilles surnageantes (Aguesse et al. 1982, Gheit 1994). Nos prospections ont permis de la recenser entre 216 et 1915 m d'altitude.

Famille VELIIDAE Brullé, 1836

-*Rhagovelia nigricans* Burmeister, 1835

Matériel examiné : 2 adultes ; **S3:** 22-IV-2016 (2).

Aire de répartition : espèce de distribution Afrotropicale-Paléarctique. Elle est connue en Europe, au Sud de la Péninsule Ibérique, au centre d'Asie et très répandue en Afrique Subsaharienne, avec un prolongement vers le nord de l'Afrique au sud Tunisien, en Egypte et au Maroc (Linnavuori 1971, Gheit 1994). Au Maroc, elle a été citée dans la Méseta, le Plateau central, le Haut Atlas occidental, le Rif oriental. Aussi, elle a été recensée aux environs de Guelmim (Gheit 1994, El Mohdi 2016). Nos prospections ont permis d'élargir davantage son aire de distribution dans le Haut Sebou (Moyen Atlas).

Habitat : espèce peuple à la fois les oueds et les ruisseaux temporaires et pérennes où elle forme des colonies grégaires sous les frondaisons (feuilles des arbres) (Gheit 1994).

-*Velia (Plesiovelia) noualhieri* Puton, 1889

Matériel examiné : 17 adultes ; **TZ :** 17-XII-2015 (3). **S11 :** 17-XII-2015 (3). **AT :** 16-XII-2015 (5), 28-IV-2016 (2). **S18 :** 10-X-2016 (1). **S3 :** 10-X-2016 (3).

Aire de répartition : espèce Endémique Maghrébine présente seulement au Maroc et en Algérie. Au Maroc, l'espèce est connue du Rif et du Moyen Atlas (Gheit 1994, 1995, L'Mohdi et al. 2008).

Habitat : l'espèce peuple les eaux courantes caractérisées par une végétation riveraine très dense où l'espèce se trouve réfugiée dans les buissons de végétaux ou sous les amas abondants de roselières (Gheit 1994). Dans le Haut Sebou, elle occupe les cours de moyenne et basse altitude à courant rapide.

Infra-ordre NEPOMORPHA Popov, 1968

Famille APHELOCHEIRIDAE Fieber, 1851

-*Aphelocheirus pema* Millán, L'mohdi & Carbonell, 2016

Matériel examiné : 9 adultes ; **S18 :** 22-IV-2016 (9).

Aire de répartition : Endémique Marocaine, elle n'est connue jusqu'à présent que du Moulouya (Taybi et al. 2018) et Sebou (Millán et al. 2016). Cette espèce est similaire en apparence à *A. aestivalis* et elle est qualifiée rare et menacée (Millán et al. 2016).

Habitat : Cette espèce a été capturée dans une station chaude et permanente présentant des faciès lotiques avec une profondeur assez importante (58 cm), et le fond est principalement composé de galets et de sable.

Famille CORIXIDAE Leach, 1815

-*Corixa affinis* Leach, 1817

Matériel examiné : 23 adultes ; **AA :** 19-IV-2016 (13), 27-IV-2017 (10).

Aire de répartition : espèce de distribution Paléarctique (Aukema & Rieger 1995) connue en Europe, en Asie, en Afrique du nord, et en Inde. Au Maroc, elle a été localisée dans le littoral atlantique, le Plateau central, le Moyen, le Haut et l'Anti Atlas et dans le Rif (L'Mohdi 2016, L'Mohdi et al. 2008).

Habitat : l'espèce est eurytope, elle affectionne aussi bien les eaux douces que saumâtres de plaines et plateaux. Elle peuple à la fois les eaux stagnantes et courantes caractérisées par un substrat sablonneux et peut même tolérer de forts degrés de pollution (L'Mohdi 2006).

-*Micronecta (Dichaetonecta) scholtzi* Fieber, 1860

Matériel examiné : 29 adultes ; **AA :** 19-VII-2016 (4). **S8 :** 19-VII-2016 (7). **SS :** 28-IV-2016 (5), 19-VII-2016 (5). **S18 :** 22-IV-2016 (3). **S3 :** 22-IV-2016 (5).

Aire de répartition : il s'agit d'une espèce Européo-Maghrébine connue d'Europe, de la Péninsule Ibérique et d'Afrique du Nord (Poisson 1938, Gheit 1994). Au Maroc, ce Micronecte fréquente les bordures littorales atlantiques, le Plateau central, les trois domaines atlasiques, la partie nord orientale du royaume et le Rif (Aguesse et al. 1982, L'Mohdi et al. 2008).

Habitat : espèce eurytope, peuple abondamment les rives sablonneuses ou caillouteuses des milieux aquatiques (les lacs, les oueds temporaires et pérennes) à faciès lotiques comme lentiques (Poisson 1957). Dans notre secteur d'étude, l'espèce exploite un intervalle altitudinal allant de 216 jusqu'à 1915 m.

-*Micronecta (Micronecta) minuscula* Poisson, 1929

Matériel examiné : 11 adultes ; **S3 :** 22-IV-2016 (7), 4-VII-2016 (4).

Aire de répartition : espèce connue de l'extrême Ouest de la Méditerranée, l'Europe méridionale où elle est citée en Espagne, en France, en Italie et au nord de l'Afrique (Gheit 1994, 1995). Au Maroc, l'espèce couvre le Moyen Atlas, le Rif et récemment, elle a été signalée dans l'Anti-Atlas (L'Mohdi 2016).

Habitat : espèce inféodée exclusivement aux faciès lotiques temporaires et permanents et exige de l'eau fraîche voir froide indispensable à l'hibernation larvaire (Gheit 1994). Dans notre étude, ce micronecte est récolté dans des biotopes de basses altitudes, d'eaux tièdes avec une concentration en sel de 0,43 mg/l.

Famille NAUCORIDAE Fallén, 1814

-*Naucoris maculatus* Fabricius, 1798

Matériel examiné : 13 adultes ; **S17 :** 22-IV-2016 (2). **S3 :** 22-IV-2016 (9), 4-VII-2016 (2).

Aire de répartition : espèce à diffusion Paléarctique commune en zones méditerranéennes y compris l'Afrique du Nord et l'ouest de l'Europe (Portugal et Espagne) (Poisson 1957, Gheit 1994). Au Maroc, elle a été mentionnée dans la Meseta côtière, le Plateau central, le Haut, le Moyen et l'Anti Atlas, le Rif et la partie orientale du royaume (Chavanon et al. 2004, L'Mohdi et al. 2008).

Habitat : espèce ubiquiste, elle colonise tout type de milieux lenticues ou lotiques (Slimani et al. 2016). Généralement *N. maculatus* montre une grande préférence aux eaux stagnantes riches en végétations (L'Mohdi 2016).

Famille NEPIDAE Latreille, 1802

-*Nepa cinerea* Linnaeus, 1758

Matériel examiné : 27 adultes ; **AA :** 9-X-2016 (5). **S8 :** 9-X-2016 (4). **S9 :** 9-X-2016 (7), 27-IV-2017 (3). **S11 :** 9-X-2016 (2), 28-IV-2016 (6).

Aire de répartition : espèce Paléarctique à très vaste distribution géographiques, commune en Europe, dans le bassin méditerranéen et au Maghreb. Au Maroc, elle a été signalée dans la Meseta côtière, le Plateau central, le Moyen et le Haut Atlas, le Rif et la partie orientale du royaume (Aguesse et al. 1982, Chavanon et al. 2004).

Habitat : espèce cosmopolite fréquente tous les types d'habitats stagnants ou courants, d'eau douce ou saumâtre. Il s'agit là d'une espèce eurytherme et euryhaline (Touabay et al. 2002, L'Mohdi et al. 2008, Gheit 1994). Nos investigations ont permis de la récolter dans les cours supérieurs du Haut Sebou.

Famille NOTONECTIDAE Latreille, 1802

-*Notonecta maculata* Fabricius, 1794

Matériel examiné : 18 adultes ; **AA :** 19-VII-2016 (3). **S8 :** 19-VII-2016 (7). **S11 :** 28-IV-2016 (1). **AT :** 27-IV-2016 (5). **S17 :** 28-IV-2017 (2).

Aire de répartition : Paléarctique, espèce à large distribution géographique couvrant l'Europe, l'Asie occidentale et le nord d'Afrique (Poisson 1957, Gheit 1994). Au Maroc, ce notonecte est très abondant. Il a été trouvé dans la Meseta côtière, le Plateau central, le Rif, les trois domaines atlasiques, et le Maroc oriental (Aguesse et al. 1982, L'Mohdi 2016).

Habitat : espèce très commune, elle peuple tous les milieux lotiques et lenticues. Elle est qualifiée d'eurytherme à tendance thermophile (Eurytope) et dotée également d'un grand pouvoir de migration ; ce qui explique sa présence dans différents types d'habitats (Gheit 1994).

1.7. CRUSTACES

Ordre Amphipoda Latreille, 1816

Famille GAMMARIDAE Leach, 1813

-*Gammarus gauthieri* Karaman, 1935

Matériel examiné : 9089 spécimens ; **AA :** 17-XII-2015 (731), 28-IV-2016 (554), 19-VII-2016 (613) 9-X-2016 (101), 27-IV-2017 (400). **S8 :** 17-XII-2015 (901), 28-IV-2016 (784), 19-VII-2016 (201), 9-X-2016 (500), 27-IV-2017 (56). **S9 :** 28-IV-2016 (522), 9-X-2016 (320), 27-IV-2017 (1007). **TZ :** 17-XII-2015 (608), 27-IV-2017 (240). **S11 :** 17-XII-2015 (333), 28-IV-2016 (148), 19-VII-2016 (52), 27-IV-2017 (400). **SS :** 17-XII-2015 (15), 28-IV-2016 (38), 9-X-2016 (10), 27-IV-2017 (30). **S17 :** 22-IV-2016 (13).

Aire de répartition : Espèce connue et très bien représentée en Afrique du Nord et dans la Péninsule Ibérique (Pinkster 1971). Au Maroc, c'est l'espèce la plus fréquente dans le Moyen Atlas, la plaine de Saiss, la Haute Moulouya en plus de la Meseta côtière et les régions orientales (Fadil & Dakki 2001, Fadil 2002).

Habitat : c'est l'espèce la plus abondante des Gammarus dans notre récolte. Généralement, elle occupe le crénon et le rhitron des sources et des cours d'eau supérieurs entre 200 et 2000 m d'altitude. Son abondance maximale s'observe au dessus de 1500 m, où les populations de cette espèce atteignent des densités de l'ordre de 1000 individus/m². *G. gauthieri* habite les eaux fraîches mais, peut aussi tolérer des températures estivales de l'ordre de 25°C. Aux basses altitudes, elle cohabite avec *G. maroccanus* (Fadil & Dakki 2001, Fadil & Dakki 2009).

-*Gammarus maroccanus* Fadil & Dakki, 2001

Matériel examiné : 11 spécimens ; **S17 :** 24-IV-2016 (8), 28-IV-2017 (3).

Aire de répartition : Endémique Marocaine, jusqu'à présent cette espèce a été rencontrée à moins de 800 m d'altitude dans la plaine de Saiss et les escarpements calcaires qui la surplombent ; ainsi qu'à sa limite avec la Meseta Atlantique (Fadil & Dakki 2001, Fadil 2002).

Habitat : cette espèce vit souvent avec *G. gauthieri*. Elle fréquente les eaux fraîches des sources voire les eaux des petits cours riches en calcium et dont la température moyenne est de 19°C (Fadil & Dakki 2001).

-*Gammarus rifatlantis* Fadil & Dakki, 2004

Matériel examiné : 251 spécimens ; **AT :** 17-XII-2015 (73), 24-IV-2016 (108), 19-VII-2016 (11), 28-IV-2017 (59).

Aire de répartition : Endémique Marocaine connue jusqu'à présent dans le Rif et le Moyen Atlas où elle a été récoltée dans cinq sources : Ain El Ouali, Ain Timedrine, Ain Tadoute, Ain Asserdoun, et au niveau des cascades d'Ozoud (Fadil & Dakki 2006).

Habitat : espèce liée aux grandes résurgences dans le Rif et le Moyen Atlas où la température de l'eau varie entre 14 et 18°C, elle vit souvent en sympatrie avec *G. gauthieri* (Fadil & Dakki 2006).

Ordre Decapoda Latreille, 1802

Famille Atyidae De Haan, 1849

-*Atyaephyra desmaresti* Millet, 1831

Matériel examiné : 221 spécimens ; **S17 :** 22-IV-2016 (32), 4-VII-2016 (33), 28-IV-2017 (27). **S18 :** 22-IV-2016 (56), 4-VII-2016 (47), 10-X-2016 (11), 28-IV-2017 (2). **S3 :** 22-IV-2016 (13).

Aire de répartition : espèce à large répartition géographique autour de la Méditerranée. Elle est répandue en Afrique du Nord (Algérie, Maroc et Tunisie) (Boumaïza 2005) et typiquement localisée en Europe méridionale : France, Espagne, Italie, Portugal avec extension vers le nord (André 1943, Huguet 2015, Meurisse-Génin et al. 1985). Au Maroc, elle a été récoltée dans plusieurs bassins hydrauliques du Rif, des Atlas et de la région orientale.

Habitat : espèce à caractère euryèce et en particulier euryhalin. Elle peuple les rivières et surtout les bords des canaux, en colonies quelquefois populeuses, sur le fond de substrat et de pierre ou sous les feuilles et

parmi les tiges des végétaux aquatiques. Elle se nourrit essentiellement de microfaunes et microflore qui s'y trouvent en abondance (Dhaouadi-Hassen et al. 2004, Huguet 2015,).

Famille POTAMIDAE Ortmann, 1896

-*Potamon fluviatile* Herbst, 1785

Matériel examiné : 16 spécimens ; **AT** : 17-XII-2015 (1). **S17** : 22-IV-2016 (1). **S18** : 22-IV-2016 (5). **S3**: 22-IV-2016 (5), 4-IV-2016 (4).

Aire de répartition : espèce présente dans tout le pourtour méditerranéen, en Europe méridional (Italie, Grèce) et en l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie). Au Maroc, elle a été trouvée dans le Rif, le Moyen Atlas, et dans la région orientale (Melhaoui & Boudot 2009).

Habitat : cette espèce colonise les rivières et les cours d'eau plus ou moins calmes, en plaine comme en moyenne altitude. Elle vit sous les pierres et en bordures ainsi que dans les lits des rivières asséchées. En période de sécheresse l'espèce creuse des galeries à proximité des cours d'eaux (Melhaoui & Boudot 2009).

1.8. MOLLUSQUES

Classe GASTEROPODES

Famille LYMNAEIDAE Lamarck, 1799

- *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller, 1774

Matériel examiné : 11 spécimens ; **AT** : 17-XII-2015 (5), 28-IV-2016 (5), 19-VII-2016 (1).

Aire de répartition : espèce Holarctique répandue dans les régions Néarctique, Paléarctique et en Eurasie (Marazanof 1966, Cucherat 2003, Vignoles & Dreyfuss 2009). Au Maroc, elle a été citée dans plusieurs localités dispersées dans l'ensemble du pays du nord au Sahara : sur sa façade atlantique, la plaine de Haouz, le Moyen et le Haut Atlas, la région de Gharb, le Plateau côtier, le Rif et au Maroc oriental (Kharboua 1988, Ghamizi 1998, Taybi et al. 2017b).

Habitat : cette limnée vit dans les milieux aquatiques où il existe de fortes variations de niveau d'eau et dans des ruisseaux à faible courant d'eau, et fossé peu profonde très riches en matière organique et en Diatomés. Cette espèce est un vecteur de la grande douve (*Fasciola hepatica*) parasite de la fois des moutons (Cucherat 2003, Barkia et al. 2014).

- *Lymnaea maroccana* Pallary, 1889

Matériel examiné : 5 spécimens ; **AT** : 28-IV-2016 (5).

Aire de répartition : espèce Endémique Marocaine, connue de sa partie septentrionale, et dans les montagnes du domaine Rifain (Ghamizi 1998). Les spécimens de cette espèce ont été identifiés par Kristensen (1985) et Ramdani et al. (1987) comme *Lymnaea glabra*. Ghamizi (1990) avance des arguments concluants que l'espèce initialement décrite par Pallary est distincte et endémique du Maroc.

Habitat : cette espèce peuple les marais, les petites rivières peu profondes et également les bassins de stockage d'eau (Van Damme & Ghamizi 2010). Nos investigations ont permis de la recenser pour la première fois dans oued Guigou au Moyen Atlas.

- *Lymnaea palustris* Müller, 1774

Matériel examiné : 13 spécimens ; **TZ** : 27-IV-2017 (5). **AT** : 27-IV-2017 (2), 9-X-2016 (3), 28-IV-2017 (3).

Aire de répartition : espèce du Paléarctique, elle se rencontre en Europe, en Afrique du Nord, en une grande partie en Asie et en Arabie Saoudite (Brown 2005, Khalloufi & Boumaïza 2007). Au Maroc, elle a été collectée dans sa partie septentrionale occidentale, dans le Rif, le Moyen Atlas et la région orientale du pays (Ghamizi 1998, Taybi et al. 2017b).

Habitat : généralement ce taxon héberge les eaux courantes légèrement acide et extrêmement riches en végétation, limpide et peu profonde (Ramdani et al. 1987, Ghamizi 1998).

- *Lymnaea peregra* Müller, 1774

Matériel examiné : 5 spécimens ; **S9** : 27-IV-2017 (3). **S11** : 19-VII-2016 (2).

Aire de répartition : espèce amplement répartie dans le Paléarctique ; elle occupe l'Europe, le nord de l'Asie et l'Afrique du Nord (Marazanof 1966). Au Maroc, cette espèce est assez commune dans tout le pays, abondante dans les cours d'eau du Haut et Moyen Atlas, du Rif, du Maroc oriental et du Plateau côtier (Ramdani et al. 1987, Barkia et al. 2014).

Habitat : Cette espèce fréquente les lacs et les cours d'eaux à faible courant. Elle vit dans des environnements lenticques avec des dépôts de détritiques, elle peut tolérer un certain degré de pollution organique (Taybi et al. 2017b, Ghamizi 1998).

Famille PLANORBIDAE Gray, 1840

- *Anisus spirorhis* Linnaeus, 1758

Matériel examiné : 3 spécimens ; **S11** : 10-XII-2015 (3).

Aire de répartition : espèce de diffusion Holo-Paléarctique, largement répartie en Europe, en Asie occidentale et en Afrique du Nord (Marazanof 1966, Glöer & Brook 2008). Au Maroc, elle a été trouvée dans le Plateau côtier, le Moyen Atlas, et récemment dans le Rif et le Maroc oriental (Kharboua 1988, Ghamizi 1998, Taybi et al. 2017b).

Habitat : cette espèce peuple surtout les milieux aquatiques méso-eutrophes temporaires comme elle peut être présente dans les hydrosystèmes stagnants ou à faible débit. Elle peut également se retrouver dans les conduits d'eau artificielles, où elle coule dans la boue, ou se déplace sur les pierres et parmi les plantes aquatiques (Ghamizi 1998, Taybi et al. 2017b).

Famille PHYSIDAE Fitzinger, 1833

- *Physa acuta* Draparnaud, 1805

Matériel examiné : 178 spécimens ; **S9** : 9-X-2016 (20). **TZ** : 28-IV-2017 (5). **S11** : 9-X-2016 (3). **SS** : 28-IV-2017 (8). **AT** : 28-IV-2016 (46), 19-IV-2016 (18), 9-X-2016 (27), 28-IV-2017 (46). **S15** : 28-IV-2016 (3). **S17** : 22-IV-2016 (5). **S18** : 4-VII-2016 (1). **S3** : 4-VII-2016 (3).

Aire de répartition : espèce Holarctique, originaire des Amériques et introduite en Afrique par l'action humaine. Sa répartition couvre l'Europe, l'Asie, l'Australie, les pays méditerranéens de l'Afrique et

l'Afrique du Sud (Paraense & Pointier 2003, Taylor 2003, Brown 2005). Au Maroc, elle a été localisée dans le Haut et le Moyen Atlas, le Plateau central, la plaine du Haouz, la région orientale et le Rif (Taybi et al. 2017b).

Habitat : cette espèce préfère essentiellement les cours d'eau riche en végétation aquatiques (algues filamenteuses et characées) et remarquablement tolérante à la pollution, les niveaux élevés de la salinité, la température et la matière organique (Melhaoui & Boudot 2009). C'est l'espèce la plus abondante de notre faune malacologique, elle a été récoltée dans presque toutes les stations du Haut Sebou.

Famille ANCYLIDAE Rafinesque, 1815

- *Ancylus fluviatilis* Müller, 1774

Matériel examiné : 336 spécimens ; **AA** : 19-VII-2016 (16), 9-X-2016 (76), 27-IV-2017 (29). **S8** : 17-XII-2015 (79), 9-X-2016 (14), 28-IV-2017 (24). **S9** : 28-IV-2017 (2). **TZ** : 16-XII-2015 (7), 28-IV-2017 (42). **S17** : 22-IV-2016 (10). **S18** : 22-IV-2016 (5), 4-VII-2016 (4). **S3** : 22-IV-2016 (10), 4-VII-2016 (8).

Aire de répartition : élément du Paléarctique occidental, répandu dans toute l'Europe et en Afrique du Nord (Brown 2005). Au Maroc, il a été signalé dans le Plateau côtier, le Rif, la plaine du Haouz, le Moyen, le Haut et l'Anti-Atlas. C'est l'un des éléments les plus communs de la faune malacologique des eaux lotiques du Maroc oriental (Kharboua 1988, Brown 2005, Taybi et al. 2017b).

Habitat : Ce gastéropode est rhéophile très abondant dans les eaux à courant rapide, il se fixe sur les cailloux, les pierres et en bordure des lacs, où il se nourrit d'algues. Il est également trouvé dans les eaux froides bien oxygénées et il est sensible aux changements de la chimie et la température de l'eau (Ghamizi 1998, Ramdani et al. 1987, Taybi et al. 2017b).

Famille NERITIDAE Rafinesque, 1815

- *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus, 1758)

Matériel examiné : 19 spécimens ; **S3** : 22-IV-2016 (11), 4-VII-2016 (8).

Aire de répartition : espèce Paléarctique, se rencontre dans les régions Néarctique et Paléarctique et couvrant l'Europe allant de la Scandinavie jusqu'à la mer des pays Baltes (Marković et al. 2014, Abdou et al. 2015). Elle est également observée en Asie et en Afrique du nord (Kharboua 1988, Cucherat 2003). Au Maroc, elle a été citée dans le Rif, le Plateau côtier, le Haut et le Moyen Atlas et dans la partie orientale du pays (Taybi et al. 2017b, Ghamizi 1998).

Habitat : espèce potamo-rhéophile, habite les eaux courantes bien oxygénées et riche en calcium. Elle se fixe aux substrats durs (roches et galets) proches de la surface et très rarement observée sur les végétaux aquatiques (Ramdani et al. 1987, Cucherat 2003).

- *Theodoxus numidicus* Récluz, 1841

Matériel examiné : 926 spécimens ; **S15** : 28-IV-2016 (135), 28-IV-2017 (39). **AT** : 17-XII-2015 (43), 28-IV-2016 (214), 19-VII-2016 (173), 10-X-2016 (46), 28-IV-2017 (276).

Aire de répartition : espèce Endémique Maghrébine limitée au Maroc et à l'Algérie, qualifiée rare dans toute son aire de répartition, voir en voie de disparition. Elle figure sur la liste rouge des espèces menacées

de l'UICN. Au Maroc, elle appartient au bassin versant de l'oued Za (Haut Plateau), au Moyen Atlas, et la région orientale du pays (Ghamizi 1998, Melhaoui & Boudot 2009, Taybi et al. 2017b).

Habitat : espèce sténotopique et particulièrement exigeante en eau froide et pure, limitée aux sources et aux ruisseaux (Taybi et al. 2017b). Abondante toute l'année dans notre secteur d'étude.

Famille MELANOPSIDAE H. & A. Adams, 1854

-*Melanopsis cariosa* (Linnaeus, 1767)

Matériel examiné : 864 spécimens ; **S18** : 22-IV-2016 (102), 4-VII-2016 (81), 10-X-2016 (10), 28-IV-2017 (92). **S3** : 22-IV-2016 (207), 4-VII-2016 (169), 10-X-2016 (31), 28-IV-2017 (172).

Aire de répartition : espèce Endémique Ibéro-Maghrébine, dont l'aire de répartition couvre l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie) et l'Espagne, où elle est enregistrée dans plusieurs provinces andalouses (Martínez-Ortí et al. 2013). Au Maroc, elle a été citée dans le Moyen Atlas, le Rif, le Maroc oriental, et dans les zones sahariennes du pays (Taybi et al. 2017b).

Habitat : cette espèce héberge les grands cours d'eau douce avec des niveaux d'eau bas et des fonds pierreux ou sur les marges, mais également les canaux, les ruisseaux, les étangs permanents et les lacs. Elle colonise préférentiellement les substrats durs comme les rochers et les murs (Taybi et al. 2017b, Ramdani et al. 1987).

-*Melanopsis praemorsa* (Linnaeus, 1758)

Matériel examiné : 731 spécimens ; **S15** : 28-IV-2016 (53), 10-X-2016 (40), 28-IV-2017 (10). **AT** : 17-XII-2015 (134), 28-IV-2016 (81), 19-VII-2016 (209), 10-X-2016 (107), 28-IV-2017 (97).

Aire de répartition : espèce à répartition Holo-Méditerranéenne, entre l'Europe du Sud, l'Afrique du Nord et l'Asie mineure (Glaubrecht 1993). Au Maroc, elle a été recensée dans le Plateau côtier, la plaine du Haouz, le Haut et le Moyen Atlas, le Maroc oriental et dans le Rif (Ghamizi et al. 1997a).

Habitat : espèce cosmopolite colonise de nombreux écosystèmes aquatiques. Elle est très commune dans presque tous les bas cours d'eau et sources du Maroc, elle est absente dans les cours d'eau froids de haute altitude. Elle se caractérise par une large valence écologique et vit en colonies denses sur un substrat solide, ainsi cette espèce est capable de résister à la sécheresse en s'enfonçant dans la boue (Ramdani et al. 1987, Taybi et al. 2017b).

Famille HYDROBIIDAE Stimpson, 1856

- *Belgrandia* sp.

Matériel examiné : 1 spécimen ; **S3** : 22-IV-2016 (1).

Aire de répartition : ce genre à large distribution couvrant la région Méditerranéenne de l'Europe (Péninsule Ibérique, France, Italie, Croatie et Grèce). Au Maroc, le premier enregistrement de *Belgrandia* a été fait par Kharboua en 1988 dans le Plateau côtier et dans les régions orientales (Kharboua 1988, Taybi et al. 2017b). Nos investigations ont permis de le recenser pour la première fois dans le Haut Sebou au Moyen Atlas.

Habitat : ce genre est karstique, il colonise le sous compartiment des écosystèmes aquatiques et s'enfonce dans le substrat sous jacent, ou dans les sources d'eau pure avec des plantes aquatiques denses (Taybi *et al.* 2017b). Ce seul spécimen est prélevé justement des petites sources sur les rives de la station.

- ***Corrosella nechadae* Boulaassafer, Ghamizi and Delicado, 2021**

Matériel examiné : 298 spécimens ; **S15 :** 28-IV-2016 (11), 28-IV-2017 (10). **AT :** 16-XII-2016 (17), 28-IV-2016 (202), 19-VII-2016 (4), 10-X-2016 (7), 28-IV-2017 (47).

Aire de répartition : cette nouvelle espèce a été collectée dans trois localités de Moyen Atlas géographiquement proches, dans la région de Fès au Nord-Est du Maroc. Deux de ces localités font parties de notre zone d'étude (AT et S15). La troisième c'est la source de Regrag de taille moyenne, et qui possède un substrat calcaire et un débit continu tout au long des saisons, elle alimente également un petit lac voisin entouré d'une végétation abondante. *C. nechadae* est la plus morphologiquement similaire parmi toutes les espèces de *Corrosella* marocaines à ses congénères ibériques (Delicado *et al.* 2012, Boulaassafer *et al.* 2021).

Habitat : cette espèce peuple des cours d'eau de faible profondeur à écoulement soutenu, où elle se trouve attachée à des pierres et à des branches mortes ou enterrés dans les sédiments. Elle cohabite avec *Pseudamnicola ramosae*, *Melanopsis praemorsa* et *Theoduxus numidicus*.

- ***Mercuria* sp.**

Matériel examiné : 3 spécimens ; **AT :** 16-XII-2016 (3).

Aire de répartition : en raison du faible nombre de spécimens récoltés et de la complexité d'identification, nous avons gardé la détermination au rang générique. Ce taxon est connu de la zone Méditerranéenne, et au Maroc, il a une diffusion couvrant presque toutes les zones géographiques du pays : les trois domaines atlasiques, le Rif et le Maroc oriental (Ghamizi 1998).

Habitat : généralement les espèces du genre *Mercuria* peuplent les cours d'eau naturels et artificiels de basse altitude, parfois fortement chargés de matière organique ; des sources de haute altitude et enfin des étangs légèrement saumâtres le long de la côte méditerranéenne (Taybi *et al.* 2017b, Boulaassafer *et al.* 2018).

- ***Pseudamnicola ramosae* Boulaassafer, Ghamizi and Delicado, 2020**

Matériel examiné : 900 spécimens ; **S15 :** 28-IV-2016 (31), 28-IV-2017 (30). **AT :** 17-XII-2015 (101), 28-IV-2016 (327), 19-VII-2016 (152), 10-X-2016 (120), 28-IV-2017 (139).

Aire de répartition : le genre *Pseudamnicola* a une distribution Holo-Méditerranéenne, connue dans la Péninsule Ibérique, l'Italie et largement répandu en Afrique du Nord avec au moins 10 espèces au Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie) (Ghamizi *et al.* 1997b, Taybi *et al.* 2017b). *P. ramosae* est récoltée de cinq localités de Moyen Atlas (Source Tadoute, Guigou sous le pont de Skoura, aux alentours de Midelt dans la source Ben Smail, d'un ruisseau près d'Itzer et d'un ruisseau à Itzer) (Boulaassafer *et al.* 2020).

Habitat : cette espèce héberge deux de nos stations, la source chaude AT et une large rivière sous le pont de Skoura, généralement enfouie dans le sable ou sur des pierres. Ces deux stations se caractérisent par une

faible profondeur de l'eau et un substrat meuble. Où elle cohabite avec *Melanopsis praemorsa* et *Physella acuta*.

Classe BIVALVES

Famille UNIONIDAE Fleming, 1828

- *Potomida littoralis* Cuvier, 1798

Matériel examiné : 8 spécimens ; **S17** : 22-IV-2016 (2). **S18** : 22-IV-2016 (3). **S3** : 22-IV-2016 (3).

Aire de répartition : Paléarctique dont la distribution Holo-Méditerranéenne est inégale et englobe des zones d'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie et Lybie), d'Europe du Sud-Ouest, de Grèce et du Levant et atteint le Moyen Orient (Daget 1998, Araujo et al. 2016, Froufe et al. 2016). Au Maroc, elle a été récoltée dans les rivières côtières de l'Atlantique et du Moyen Atlas (Ghamizi 1998).

Habitat : cette espèce fréquente les fonds de rivières calme d'eau douce, non eutrophe de petite et de grande taille, voir dans les canaux et les lacs, avec fonds sableux et caillouteux. Espèce en régression à cause d'aménagement artificiel d'ancien biotope de cette espèce (Ghamizi 1998).

Famille SPHAERIIDAE Fleming, 1828

- *Pisidium Casertanum* Poli, 1791

Matériel examiné : 61 spécimens ; **AA** : 9-X-2016 (19), 27-IV-2017 (14). **S8** : 19-VII-2016 (3), 9-X-2016 (10). **S9** : 27-IV-2016 (11). **S11** : 28-IV-2016 (4).

Aire de répartition : espèce à distribution cosmopolite, elle a été rencontrée en Europe, à Madère et aux îles Canaries et également collectée en Suède, Finlande et Danemark. En Afrique, elle a été signalée sur le plateau est africain et au nord du continent (Kuiper et al. 1989, Daget 1998). Au Maroc, elle a été recueillie dans le Moyen et le Haut Atlas (Kuiper 1972), la plaine du Haouz, le Plateau côtier, la région orientale, le Rif et même dans quelques oasis sahariennes (Kharboua 1988, Ghamizi 1998, Berrahou et al. 2001a).

Habitat : cette pisidie colonise un large éventail d'habitats aquatiques où elle vit profondément dans la boue, les sédiments fins et les matières organiques. Elle peut également être trouvée dans le sable et entre les racines de la végétation aquatique (Taybi et al. 2017b).

- *Pisidium personatum* Malm, 1855

Matériel examiné : 13 spécimens ; **S8** : 16-XII-2015 (3). **S9** : 9-X-2016 (3). **TZ** : 16-XII-2015 (7).

Aire de répartition : espèce de distribution Paléarctique couvrant toute l'Europe avec extension en Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie et Lybie) (Kuiper et al. 1989, Daget 1998). Au Maroc, elle est connue dans ses trois domaines atlasiques (Kuiper 1972, Bouzidi 1989).

Habitat : ce petit bivalve a été signalé en petit nombre par rapport au *Pisidium Casertanum*, il semble que la végétation, la teneur en calcium, la nature du substrat et la vitesse du courant contribuent considérablement dans la répartition de ce bivalve dans les eaux continentales (Bouzidi 1989, Tachet et al. 2006).

Famille CORBICULIDAE Gray, 1847

- *Corbicula fluminea* Müller, 1774

Matériel examiné : 47 spécimens ; **S18 :** 22-IV-2016 (14), 4-VII-2016 (21), 28-IV-2017 (6). **S 3:** 22-IV-2016 (6).

Aire de répartition : espèce envahissante distribuée dans le monde entier, présentant une large diffusion en Europe, en Asie, en Australie, en Nouvelle Guinée, en Amérique du Sud et du Nord (Martins et al. 2006) et dans quelques régions de l'Afrique (Daget 1998, Clavero et al. 2012). Au Maroc, sa répartition est limitée au nord-ouest du pays en expansion tout au long du Sebou et ses affluents (Beht et Inaouène) et à travers la rivière d'Oum Er-Rbia. Récemment l'espèce est enregistrée dans la région orientale du pays dans le bassin de Moulouya (Taybi et al. 2017b).

Habitat : ce bivalve peuple les rivières ou les lacs en occupant les fonds de graviers et sables. Il se trouve dans les canaux où les conditions écologiques favorables à sa reproduction et à sa diffusion. Il supporte une eau turbide et résiste à la pollution (Marie 2005, Taybi et al. 2017b).

2. Analyse Biogéographique

Catégories chorologiques des espèces

Les espèces recensées de la faune benthique du Haut Sebou, peuvent être rangées dans les catégories dressées ci-dessous :

Distribution large dépassant le domaine Paléarctique

- **Holarctique** : répartition couvrant le domaine Paléarctique et Néarctique.
- **Sub-Cosmopolite** : distribution atteint plusieurs domaines biogéographiques en plus du domaine Paléarctique.
- **Afrotropicale Paléarctique et Afrotropicale-Méditerranéenne** : cette diffusion couvre l'Afrique subsaharienne et Madagascar avec respectivement le domaine Paléarctique et Méditerranéenne.

Distribution Paléarctique

- **Holo-Paléarctique** : distribution couvrant la région Euro-asiatique, la région macaronésienne et le nord de l'Afrique.
- **Paléarctique-occidentale ou ouest-Paléarctique** : cette distribution couvre l'Europe jusqu'à l'Oural, le Caucase, l'Anatolie jusqu'au sud des Himalaya et l'Afrique du Nord.
- **Européo-Méditerranéenne** : diffusion couvrant l'Europe et le domaine Méditerranéen.

Distribution Méditerranéenne

- **Holo-Méditerranéenne** : distribution couvrant les pays du pourtour Méditerranéen
- **Méditerranéenne-Occidentale** : diffusion limitée à la Péninsule Ibérique, le Maghreb, la France et/ou l'Italie.
- **Atlanto-Méditerranéenne** : diffusion couvrant les pays du pourtour Méditerranéen avec un prolongement vers le domaine atlantique Européen de la région Macaronésienne.
- **Ibéro-Maghrébine** : répartition limitée à la Péninsule-Ibérique et/ou trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie).
- **Maghrébine** : distribution couvrant les trois pays du Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie) ou uniquement deux d'entre eux.

- **Endémique Marocaine** : distribution limitée au Maroc.

L'analyse de la composition du peuplement recensée en se basant sur les catégories chorologiques proposées par (Taglianti et al. 1992) attribuées à chaque taxon en fonction de son aire d'occupation (Annexe II, Fig. 39), montre que les éléments de distribution méditerranéenne représentent 64% du total, suivis par les taxons à répartition Paléarctique avec 25% du total, alors que les espèces à large distribution sont minoritaires et représentant 11% du total des taxons.

Le corotype Méditerranéen (Fig. 40A) regroupe à la fois les éléments à distribution Ouest-Méditerranéenne (32%), Holo-Méditerranéenne (17%), Atlanto-Méditerranéenne (10%), Ibéro-Maghrébine (11%), Maghrébine (13%) et Endémique Marocaine (17%). Le corotype des éléments à large distribution (Fig. 40B) présente respectivement les taxons à diffusion Holarctique (40%), Sub-Cosmopolite (30%), Afrotropicale-Méditerranéenne (20%) et Afrotropicale-Paléarctique (10%). Et enfin le corotype Paléarctique (Fig. 40C) renferme les éléments à distribution Européo-Méditerranéenne (38%), Holo-Paléarctique (37%), et Ouest-Paléarctique (25%).

En général, et de point de vue biogéographique, l'essentiel des taxons inventoriés ont une origine Méditerranéenne et Paléarctique (84%). Les résultats de la présente étude corroborent et confirment ceux obtenus pour les différents groupes d'insectes : Coléoptères, Hémiptères, Odonates, Plécoptères (El Haissoufi 2006, Errochdi & El Alami 2008, El Haissoufi et al. 2008, L'Mohdi et al. 2008, Benamar 2015, L'Mohdi 2016, Hajji 2017).

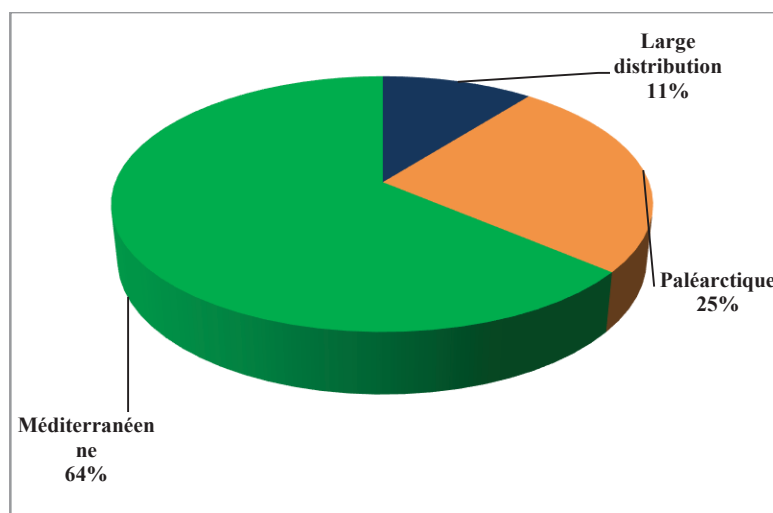


Figure 39. Composition chorologique globale de la faune benthique du Haut Sebou.

Au sein du corotype Méditerranéen (Fig. 40A), il y a une nette prédominance des endémiques au sens large, en représentant 41% du total (soit presque la moitié des catégories du corotype), répartie entre les espèces Maghrébines (13%), Endémique Marocaines (17%) et Ibéro-Maghrébines (11%) sur les autres catégories du corotype Méditerranéen. Ceci prouve un taux d'endémisme très élevé et une similitude faunistique au sein du bassin méditerranéen (entre la Péninsule Ibérique et le Maghreb) comme en témoigne la présence des espèces appartenant au corotype Ibéro-Maghrébin. Nous relevons les échanges faunistiques entre la faune de l'Europe et du nord de l'Afrique, et qui ont été possible par la présence des ponts terrestres entre ces deux zones géographiques (Hsü 1983, Rosenbaum et al. 2002).

La forte représentativité des espèces de diffusion Européo-Méditerranéenne et Holo-Paléarctique au sein du corotype Paléarctique, serait la conséquence de la situation géographique du Maroc, dans la partie septentrionale du continent Africain, la plus proche du continent Européen. Les régions situées au Nord des oueds Moulouya et Ouerrha ont été partiellement unies à l'Europe durant le Miocène (López-Martínez 1989, Benson et al. 1991), et celles situées au Sud de ces rivières à partir de la fin du Miocène (6.0 Ma) (Krijgsman et al. 1999). Cet événement aurait permis la migration de la faune européenne du sud, spécialement au nord du Maroc. Ainsi, la représentativité des espèces de distribution Afrotropicale-Paléarctique et Afrotropicale-Méditerranée au sein du corotype large distribution seraient la conséquence de l'histoire paléogéographique du Maroc. Leur colonisation du Maroc, du reste des pays méditerranéens et aussi de l'Europe a probablement eu lieu lorsque le climat du bassin Méditerranéen était aride et sec, comparable à celui de l'Afrique centrale et du domaine oriental (Maldonado 1989).

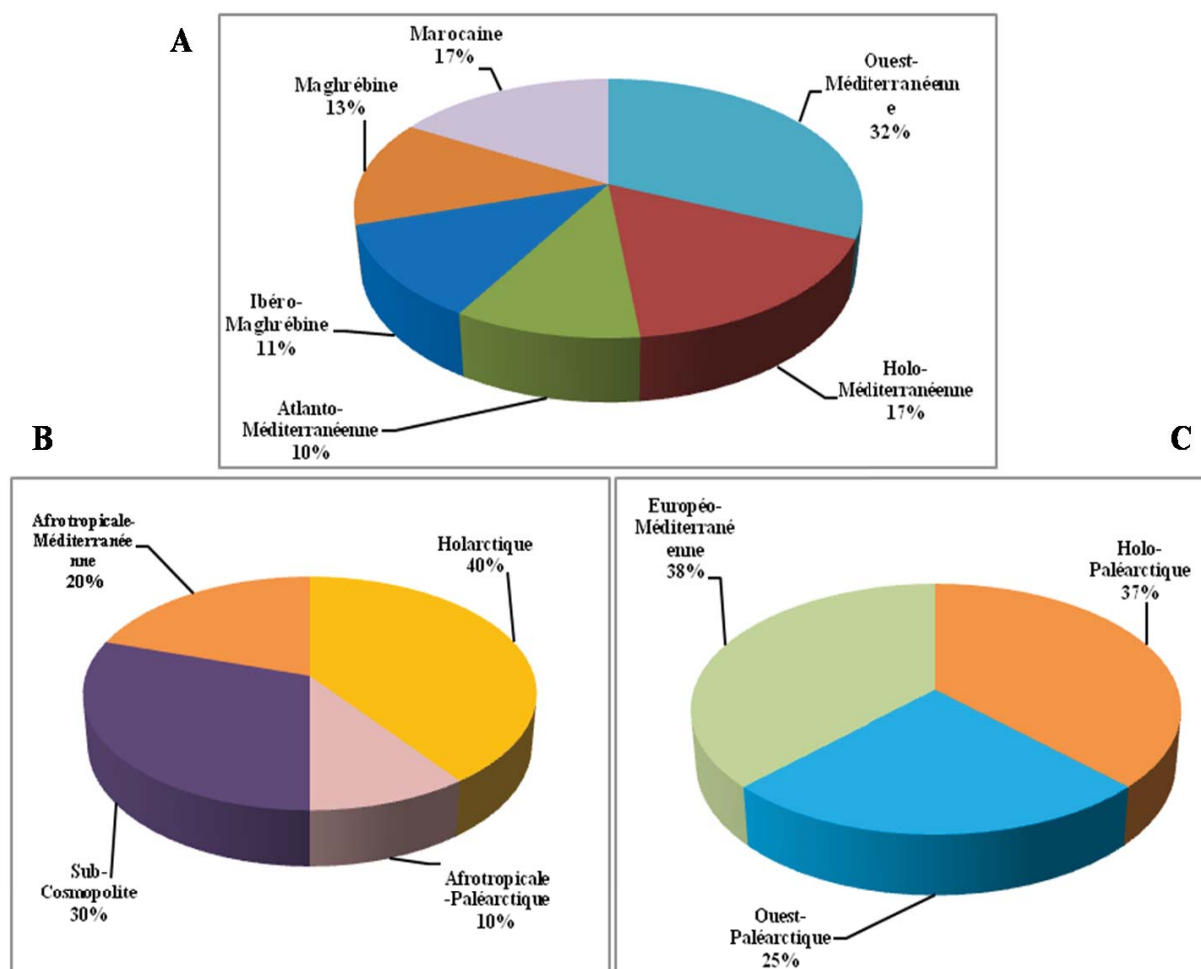


Figure 40. Composition de différents corotypes de la faune du Haut Sebou. A) corotype Méditerranéen. B) corotype large distribution. C) corotype Paléarctique.

Selon les études de Hsü et al. (1973), Hsü (1983) et Rosenbaum et al. (2002), il y'a 6 à 5,5 millions d'années au cours du Miocène, la mer Méditerranée s'est presque complètement asséchée et un massif bético-rifain a fonctionné comme un pont continental entre l'Afrique et l'Europe. Ce pont a permis aussi le développement des systèmes fluviaux, ainsi que la migration des macroinvertébrés aquatiques entre les continents (Hsü et al. 1973).

Toutefois, cette période d'échanges d'espèces entre les continents a été relativement courte, car elle a été suivie par le phénomène de vicariance au Pliocène, avec l'isolement de l'Europe et de l'Afrique du Nord, après l'ouverture du détroit de Gibraltar. Cet événement constitue une forte barrière biogéographique contre les échanges faunistiques et a favorisé le phénomène de spéciation.

3. Composition globale de la faune recensée du secteur Haut Sebou

La présente recherche a permis de recenser une faune benthique comportant 24 152 individus. Leur étude taxonomique a permis de les répartir entre 44 familles, 73 genres et 102 espèces appartenant aux trois groupes zoologiques (Insectes, Mollusques et Crustacés). Ce recensement (Tab. 12, Fig. 41) a fourni des résultats assez significatifs, permettant une analyse de la composition de la faune à l'échelle du secteur étudié.

Tableau 12. Nombre de Familles et d'espèces de la faune recensée dans les stations Haut Sebou.

Classes	Ordres	Familles	Espèces	Effectifs
Insectes	Trichoptères	4	8	2409
	Ephéméroptères	6	18	6725
	Plécoptères	1	2	3
	Coléoptères	8	32	633
	Odonates	4	6	120
	Hémiptères	8	12	252
Mollusques	Gastéropodes	7	15	4293
	Bivalves	3	4	129
Crustacés	Amphipodes	1	3	9351
	Décapodes	2	2	237
Total		44	102	24152

Cette diversité taxonomique varie selon les stations, ces variations spatiales sont conditionnées par diverses influences que subissent les milieux et par la nature des différents habitats. En effet, un milieu perturbé présente des conditions défavorables pour les taxons polluosensibles laissant la place à d'autres taxons polluo-résistants.

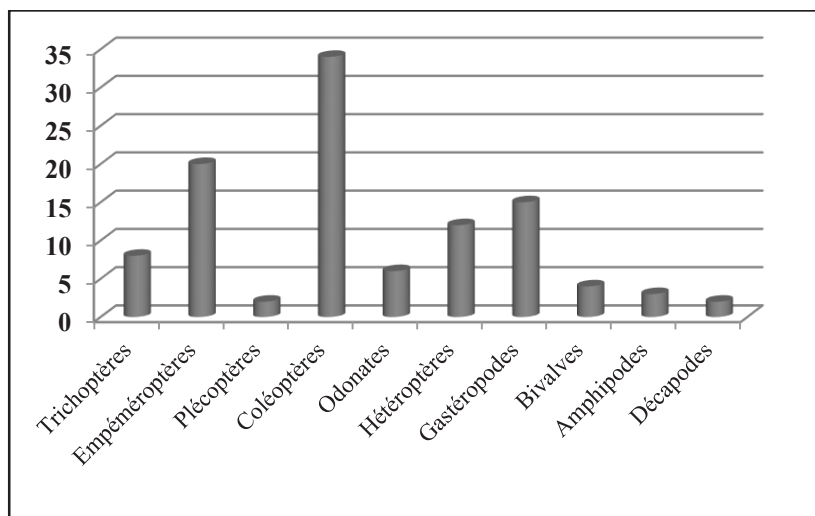


Figure 41. Nombre de taxons recensés dans le Haut Sebou par groupe zoologique.

La structure quantitative du peuplement récolté durant cette période d'étude (Fig. 42) montre que les insectes sont les plus inventoriés avec plus de trois quart de la faune globale (77%). Ce sont les mieux représentés avec 6 ordres, qui se répartissent entre les Trichoptères (7%), les Ephéméroptères (19%), les Coléoptères (32%), les Plécoptères (2%), les Odonates (6%) et les Hémiptères (11%). Suivi par les Mollusques avec un pourcentage de (18%) représentés par deux ordres, les Gastéropodes (14%) et les Bivalves (4%). Et enfin les Crustacés qui sont le groupe le moins représenté (5%) renferment respectivement les Amphipodes (3%) et les Décapodes (2%). Aucun représentant des ordres des Plannipennes, des Mégaloptères ou des Hyménoptères n'a été échantillonné, puisque ces trois ordres renferment peu d'espèces aquatiques.

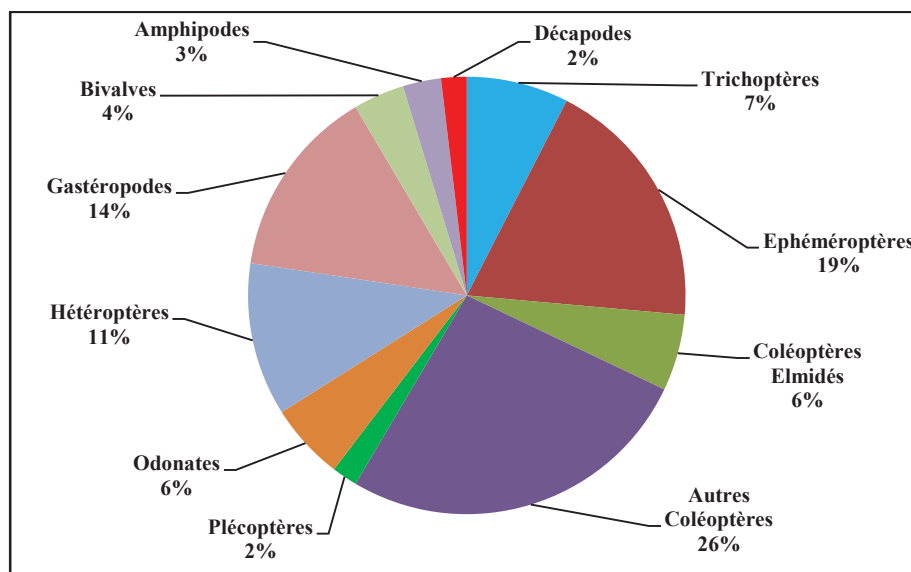


Figure 42. Représentation de la faune globale recensée du Haut Sebou.

4. Richesse taxonomique du peuplement benthique du Haut Sebou

Notre secteur d'étude situé entre 216 et 1915 m d'altitude offre par son relief et sa topographie une grande diversité de biotopes aquatiques. En effet, la lecture de la figure 43, relatif à la richesse taxonomique stationnelle montre des fluctuations au long des cours d'eau étudiés. La richesse taxonomique observée dans les trois stations d'oued Sebou est plus importante, avec 35 taxons récoltés au niveau de la station S3, 28 taxons récoltés à S17 et 27 taxons à S17. Ces stations sont permanentes et se caractérisent par une végétation aquatique assez importante, une régulation du régime thermique d'eau et une grande diversification du substrat et des micro-habitats. En comparaison avec les stations d'oued Guigou, la richesse spécifique est très importante à S8 et AT avec 34 taxons chacune. La plus faible richesse spécifique (14 taxons) a été signalée à S13 en aval de la source SS. Les stations de haute altitude (entre 1820 et 1915 m), situées dans l'étage montagnard, renferment 57% de la richesse taxonomique totale du Guigou (22 taxons à S9, 23 taxons à AA et 34 taxons à S8).

Ces stations sont caractérisées par une eau froide, une vitesse d'écoulement rapide à modérée, une amplitude thermique moyenne et un substrat grossier à dominance galets. Tandis que les stations de moyenne et basse altitude au niveau des plaines (entre 1550 m et 880 m d'altitude) enregistrent 78% de la richesse spécifique totale du Guigou, qui fluctuent entre un minimum de 14 taxons à S13 et un maximum de 19 taxons à TZ. Ces secteurs sont connus par des températures de l'eau assez élevées (26 °C à S15), et subissent des perturbations anthropiques intenses.

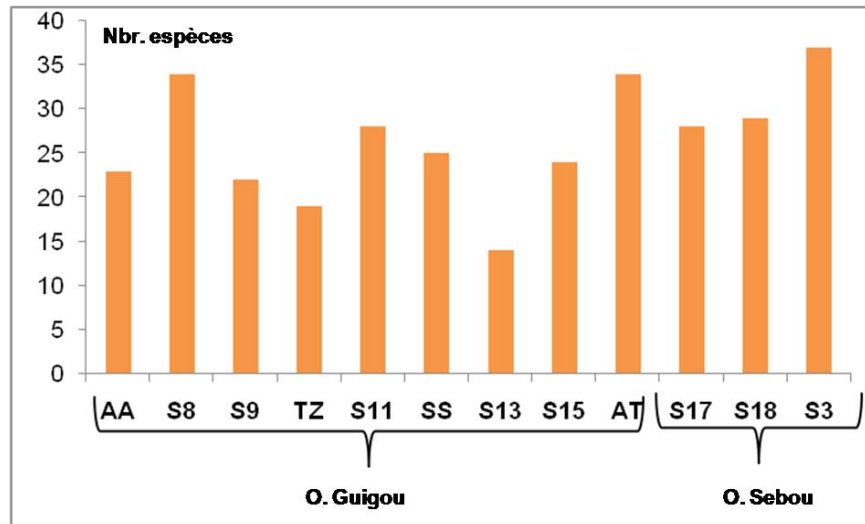


Figure 43. Distribution spatiale de la richesse taxonomique de la faune benthique Haut Sebou.

5. Analyse qualitative et quantitative du peuplement benthique du Haut Sebou

5.1. Ephéméroptères

Les Ephéméroptères sont des insectes ptérygotes-hétérométaboles-hémimétaboles dont les larves sont exclusivement aquatiques et les adultes aériens. Ils constituent l'un des principaux groupes de macroinvertébrés benthiques dans les écosystèmes d'eau continentale, qu'ils soient d'eaux courantes ou stagnantes (Tachet et al. 2010). Leur importance réside dans le fait que leur abondance peut constituer jusqu'à 50% de la biomasse totale d'un cours d'eau, et par leur capacité de coloniser divers biotopes (substrat minéral, végétal, différentes gammes de vitesse...) (Sartori & Gattolliat 2001, El Alami 2002).

Les Ephéméroptères se caractérisent par leur grande valeur bioindicative vis-à-vis de la pollution anthropique subie par les cours d'eau, puisque ce groupe renferme un grand nombre d'espèces ayant des exigences écologiques strictes (Alba-Tercedor & Picazo-Muñoz 1995, El Alami 2002).

Ils constituent le groupe le mieux représenté parmi la faune récoltée, 6725 individus ont été recensés, appartenant à 6 Familles (Baetidae, Caenidae, Oligoneuriidae, Heptageniidae, Leptophlebiidae et Polymitarcyidae) et 18 espèces (Annexe I, Fig. 44).

La famille la plus abondante est celle des Baetidae, elle représente 79% du total des captures (8 espèces et 5277 individus). Le genre *Baetis* à caractère eurytope (Sowa 1975) renferme trois espèces, il a été récolté dans toutes les stations à différentes altitudes, aussi bien dans des sections à courant rapide que dans des sections à faible courant. C'est le genre le plus abondant et le plus fréquent dans notre secteur d'étude et le plus résistant à la pollution. Tandis que, *Cloeon* et *Procleon* affectionnent les habitats des secteurs moyens et aval des cours d'eau, caractérisés par une grande amplitude thermique. Ces deux genres sont qualifiés d'éléments rares et peu abondants dans nos récoltes. Les genres *Nigrobaetis* et *Labiobaetis* semblent être confinés aux milieux de basses altitudes. Ils ont été capturés dans des stations en aval de l'oued Sebou (S18 et S3) en faible exemplaires.

La deuxième famille en termes d'abondance est celle des Heptageniidae qui compte 11% (3 espèces et 752 individus) représentée par deux genres *Ecdyonurus* et *Rhitrogena* inféodés aux eaux fraîches de montagne et de piémont (Sartori & Gattolliat 2001) aux biotopes à substrat grossier et à courant rapide à

modéré. Les Caenidae, les Oligoneuriidae occupent la troisième place par 6% de total de la récolte. Le genre *Caenis* est représenté par deux espèces dans presque toutes nos stations d'étude, hébergeant les zones de faible courant, et fréquentant ainsi les eaux à courant fort, dans les feuilles mortes ou sur les rochers. Les Oligoneuriidae sont représentés dans notre récolte par deux genres *Oligoneuriopsis* et *Oligoneuriella* qui se cantonnent dans des stations tempérées de moyenne et basse altitude.

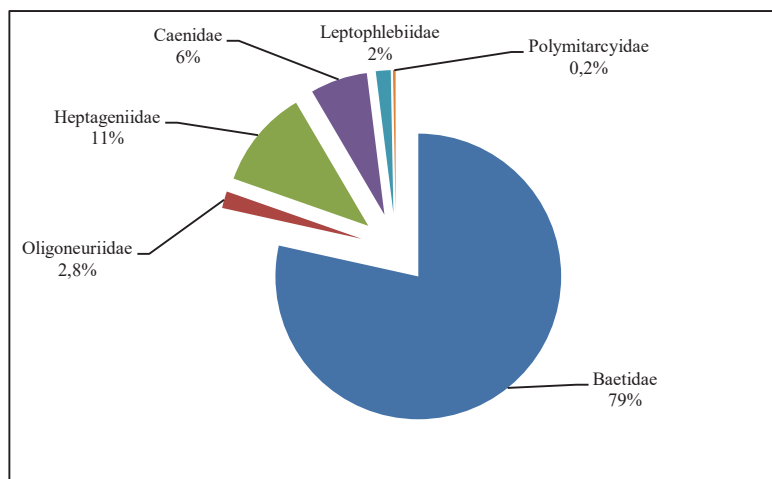


Figure 44. Abondance des Ephéméroptères récoltés dans les stations étudiées.

Les Leptophlebiidae occupent la quatrième place avec 2% du total du peuplement, représentés dans nos échantillons par un seul genre *Choroterpes* qualifié rhéophile, et occupe une tranche altitudinale de 234 et 1300 m. Il colonise les interstices des roches, les débris des végétaux et même les berges dénudées de courant. Et enfin la famille des Polymitarcyidae qui est faiblement représentée (0,2% de récolte), connue en Afrique du Nord par une seule espèce *Ephoron virgo* (El Alami 2002) compte 20 individus, colonisant les stations de basse altitude de notre secteur d'étude.

La répartition longitudinale des Ephéméroptères couvre toutes les stations étudiées (Fig. 45), la richesse spécifique est plus importante dans les stations aval de moyenne à basse altitude (10 et 11 espèces respectivement capturées à S8 et S3). En effet, ces stations se caractérisent par des températures relativement élevées, une abondance de la végétation riveraine et des substrats hétérogènes riche en

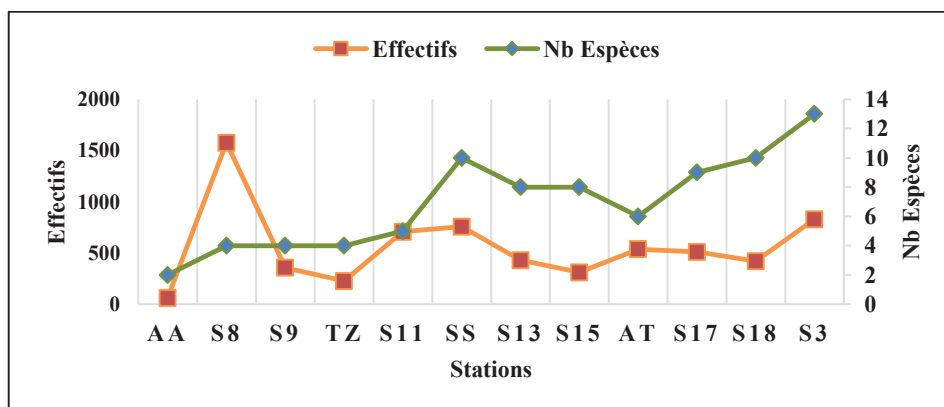


Figure 45. Distribution spatiale des Ephéméroptères récoltés dans les stations étudiées.

matière organique offrant des conditions favorables au développement et la diversification de la faune. En revanche, les stations de faible richesse taxonomique sont celles de haute altitude (2 et 4 espèces sont

respectivement enregistrées dans AA et S8). Ces stations sont connues par leurs basses températures, leur enneigement, elles ne sont pas considérées comme des lieux préférentiels pour les Ephéméroptères.

5.2. Plécoptères

Les plécoptères constituent un groupe d'insectes hémimétaboles, à larves exclusivement aquatiques. Ils sont inféodés aux eaux courantes fraîches avec des teneurs élevées en oxygène dissous (Tachet et al. 2010, Errochdi 2015). C'est un groupe très intéressant pour les études de biogéographie en raison de leur ancienneté (depuis le Permien) (Consiglio 1963). Ainsi que pour les études d'écologie car ils sont de très bons indicateurs de la qualité de l'eau, et très sensibles à la pollution.

Dans nos récoltes et malgré les prospections et l'effort d'échantillonnage fourni, leur présence était accidentelle. Ils ont été révélés uniquement dans deux stations S15 et S17 avec trois individus (Annexe I) repartis en une seule famille Nemouridae représentée par deux genres *Nemoura* et *Protonemura* représenté par une seule espèce. Les Nemouridae fréquentent à la fois les petits ruisseaux des eaux froides et aussi les grands fleuves et les bords des lacs, et habitent les racines et les accros de feuilles (Fochetti & Tierno de Figueroa 2008, Errochdi et al. 2014).

Autres études hydrobiologiques portant sur des écosystèmes lotiques en Afrique du Nord et au Maroc (surtout le Haut Sebou) ont aussi mis en évidence la faible diversification du peuplement des Plécoptères dans ces derniers (Bouzidi & Giudicelli 1994, Berrahou et al. 2001a, Abbou & Fahde 2014).

5.3. Trichoptères

Les Trichoptères sont des insectes ptérygotes-holométaboles à métamorphoses complètes et présentent donc des larves et des nymphes aquatiques distinctes des stades adultes (Wiggins 2004, Tachet et al. 2010). Cet ordre est le plus utilisé pour évaluer la qualité des eaux courantes, et l'un des groupes les plus diversifiés des insectes aquatiques. Ainsi, les espèces de Trichoptères sont dans leur majorité, de remarquables bioindicateurs (Marlier 1981).

Dans notre secteur d'étude, les Trichoptères récoltés (Annexe I, Fig. 46) sont peu fréquents et peu abondants par rapport aux Ephéméroptères. Nous avons récolté 2409 individus représentant uniquement 7% de la faune totale, repartis en 4 familles (Hydropsychidae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae et Limnephilidae) et 8 espèces d'abondances inégales.

Les Trichoptères récoltés sont majoritairement représentés par la famille Hydropsychidae (92%) (Fig. 46). Cette famille est qualifiée de cosmopolite, largement dominante dans les réseaux hydrographiques du Maroc. Ainsi, plusieurs espèces du même genre peuvent cohabiter ensemble (Hajji 2017). Le genre *Hydropsyche* qui constitue généralement un élément fréquent, souvent abondant du benthos des eaux courantes est réparti entre 3 espèces et 2213 individus, suivi par la famille Limnephilidae représentée par le genre *Stenophylax* avec 100 individus soit 4% des Trichoptères.

A un degré moindre, la famille des Glossosomatidae est également représentée par un seul genre *Agapetus* avec 53 individus soit (2%). Ce genre est montagnard et à tendance sténotherme d'eau froide. Il montre une nette préférence pour les ruisseaux relativement froids de moyenne montagne à ripisylve assez dense (Haouchine 2011). La famille des Rhyacophilidae est représentée par le genre *Rhyacophila* avec 43 individus soit (2%) des Trichoptères récoltés. Ce taxon est largement réparti dans les réseaux hydrographiques du pays et qualifié d'eurytherme et eurytope.

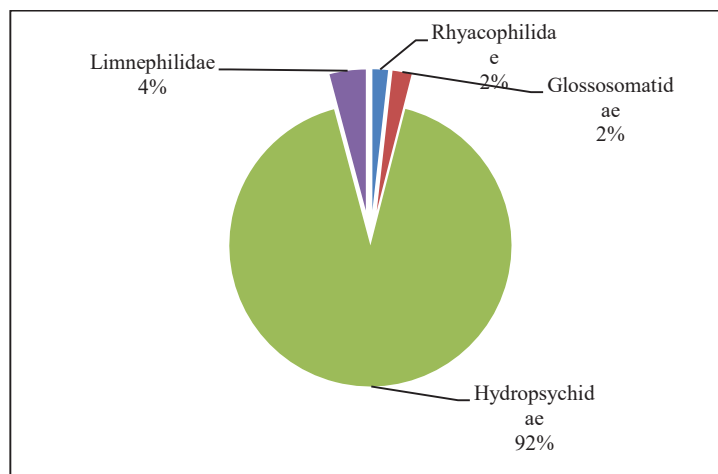


Figure 46. Abondance des Trichoptères récoltés dans les stations étudiées.

La distribution longitudinale des Trichoptères (Fig. 47) dans les cours d'eau étudiés montre que les stations de haute altitude (> à 1300 m) hébergent 3 à 4 taxons. Ce nombre reste également très faible par rapport aux résultats des études qui ont été effectuées précédemment dans le Haut Sebou (Dakki 1979, 1987). Alors que, les stations de basse altitude n'hébergent qu'un seul taxon (S18 à 216 m et S3 à 234 m) en raison de l'élévation de la température estivale et les perturbations anthropiques des milieux en aval.

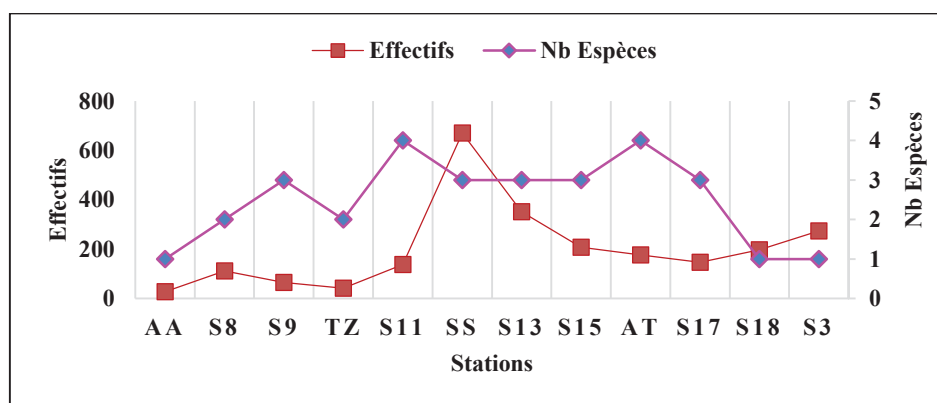


Figure 47. Distribution spatiale des Trichoptères récoltés dans les stations étudiées.

5.4. Odonates

Les Odonates constituent un ordre d'insectes hémimétaboles à larve exclusivement aquatique (Tachet et al. 2010). Ces communautés constituent également de bons indicateurs de la qualité et de l'état de préservation des milieux qu'ils peuplent, et de leur richesse en faune aquatique (Jacquemin 1994, Jacquemin & Boudot 1999). Selon Aguesse (1968), leur diversité est fonction du régime thermique et de l'ombrage qui jouerait un rôle de facteur limitant. Leurs habitats de prédilection sont caractérisés par des eaux à écoulement lent et assez fraîches.

Dans le Haut Sebou l'abondance et la diversité des Odonates est assez faible : 120 individus seulement (soit 0,5 % de la faune globale) ont été inventoriés. Quatre familles ont été récoltées : Gomphidae (2 espèces, 57 individus, soit 47%), dont les larves sont généralement de taille moyenne et hébergent les eaux courantes ou agitées. Cette famille est représentée par un seul genre *Onychogomphus* abonde dans les stations tempérées de piémont et de plaine (Annexe I, Fig. 48).

La famille Coenagrionidae (31 individus, soit 26%) est représentée dans notre récolte par deux genres : *Ischnura* et *Coenagrion* peu fréquents et peu abondants. Suivie par la famille Calopterygidae (1 espèce, 25 individus, soit 21%) et la famille Libellulidae (une seule espèce, 7 individus, soit 6%) en faible abondance et une répartition incomplète.

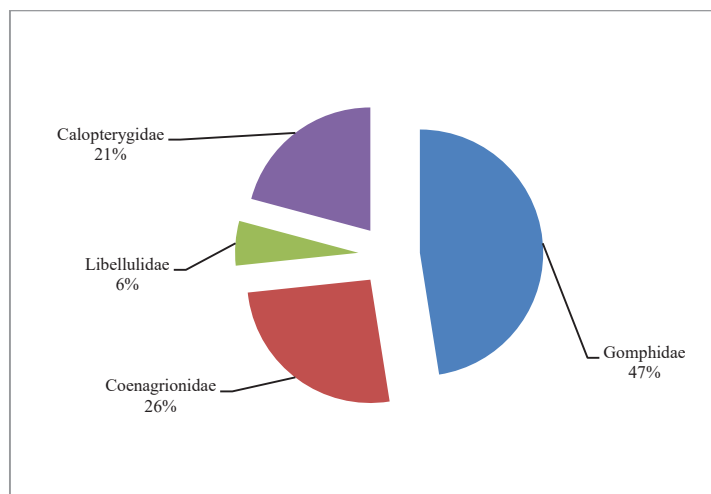


Figure 48. Abondance des Odonates récoltés dans les stations étudiées.

La répartition spatiale des Odonates le long du secteur étudié (Fig. 49) a révélé une abondance et une richesse très faible. Le maximum de taxon est enregistré dans les stations d'oued Sebou (3 taxons à S17, S18 et S3) et aucun taxon n'a été prélevé à S13.

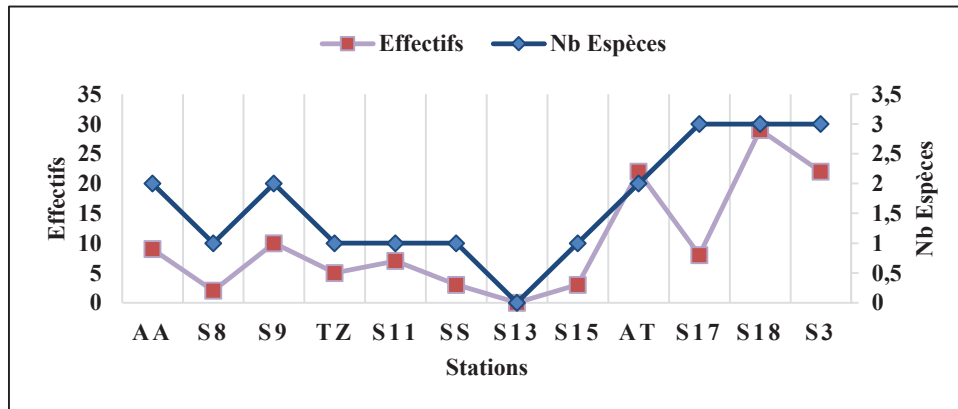


Figure 49. Distribution spatiale des Odonates récoltés dans les stations étudiées.

5.5. Coléoptères

Les Coléoptères sont des insectes holométaboles, se présentent à la fois sous la forme imaginaire et larvaire dans les milieux aquatiques. Ils constituent un groupe très diversifié et écologiquement très hétérogène pouvant s'adapter à tout type de biotope (Berthélemy 1979). La végétation immergée, la granulométrie fine du substrat, la température de l'eau et les potentialités trophiques majeures influencent la distribution des éléments de ce groupe d'insectes (Angus 1973).

Dans la présente étude, les Coléoptères représentent l'ordre des insectes le plus diversifié (Annexe I, Fig. 50), avec une abondance relativement faible comparée aux Ephéméroptères et Trichoptères. Un total de 633 individus repartis en 8 familles (Elmidae, Dytiscidae, Dryopidae, Helophoridae, Hydraenidae,

Hydrochidae, Hydrophilidae et Gyrinidae), 22 genres et 32 espèces. En termes de richesse spécifique, la famille Dytiscidae est la plus diversifiée avec 11 genres, 13 espèces et une abondance relativement faible de 113 individus, soit 19% de totale des Coléoptères capturés. Ces dytiques peuvent vivre dans des milieux très divers en eaux courantes ou stagnantes, capables de voler pour la plus grande majorité, ils peuvent coloniser de nouveaux biotopes facilement (Nilsson 2001). Ils présentent une répartition discontinue dans le Haut Sebou.

La famille des Elmidae est représentée par 4 genres, 6 espèces et 243 individus soit 37% de totale. Ils vivent généralement dans les habitats à faciès lotique, très peu d'espèces sont rencontrées dans les rivages des lacs et dans les étangs (Berthélemy 1966, Bennas 2002, Touaylia et al. 2010). Dans notre étude cette famille contribue considérablement à la biotypologie du Haut Sebou, aucun de ces 4 genres n'a été capturé dans les stations en aval. Le genre *Elmis* est alticole et se cantonne principalement dans les biotopes d'altitude (entre 1520-1910 m). *Limnius* plus dominant et à répartition plus ou moins large que le précédent, et à un degré moindre les genres *Esolus* et *Oulimnius* sont très rares dans nos prélèvements. Selon Berthélemy (1966) ces deux genres sont eurythermes et présentent une faible tendance limnophile et peuvent même coloniser les eaux à faible courant.

La famille Gyrinidae composée de 197 individus soit 31% du total. Dans notre récolte, elle est représentée par un seul genre *Aulonogyrus* abondant et très répandu dans les stations de moyenne et basse altitude. Les individus de ce genre vivant en petites colonies à la surface de l'eau, à la moindre alerte on les voit tournoyer ou plonger rapidement.

La famille Helophoridae est monogénérique avec un seul genre *Helophorus* regroupe 4 espèces et 30 individus soit 5% de peuplement de Coléoptères. Ces individus sont des mauvais nageurs et se tiennent plutôt dans la végétation aquatique (Mart et al. 2010). Les autres familles (Hydraenidae, Hydrochidae, Hydrophilidae et Dryopidae) sont minoritaires et faiblement représentées dans nos échantillons. Ces taxons sont récoltés avec de rares exemplaires et leur répartition est incomplète donc ne nous pouvons pas attribuer à ces taxons une situation définie dans leur répartition le long des cours d'eau étudiés.

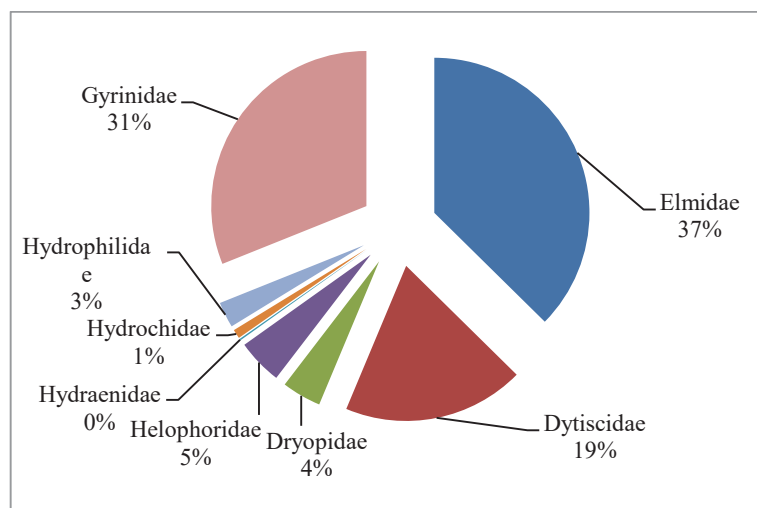


Figure 50. Abondance des Coléoptères récoltés dans les stations étudiées.

La distribution longitudinale des Coléoptères le long des stations étudiées (Fig. 51), montre que la richesse la plus élevée est signalée dans les stations de haute et moyenne altitude (19 taxons enregistrés à S8 et 10 taxons dans AA). Cette diversité est due à la grande variété des niches écologiques, l'hétérogénéité

du substrat et l'abondance de la végétation. Les stations de basse altitude (oued Sebou), par contre, enregistrent une faible richesse (1 taxon à S17 et 3 taxons à S18)

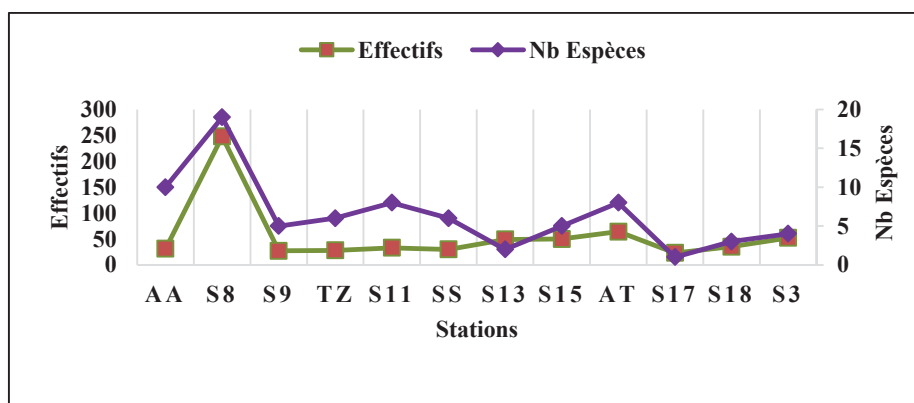


Figure 51. Distribution spatiale des Coléoptères récoltés dans les stations étudiées.

5.6. Hémiptères

Les Hémiptères ou punaises aquatiques constituent un ordre d'insectes paurométabole-hétérométaboles très diversifié (Tachet et al. 2010) (dans la mesure où les larves et les adultes vivent au sein de l'eau, mais les adultes peuvent quitter temporairement le milieu aquatique). Selon Poisson (1957), les Hémiptères peuplent divers biotopes des milieux aquatiques et s'observent surtout sur les rives des cours d'eau. Et d'après Dethier (1985-1986), les Hémiptères sont avant tout des insectes d'eau stagnante. En eau courante, ils colonisent les zones lénitiques ou les biotopes abrités du courant. En plus la granulométrie de substrat des rives (sable, vase, graviers...) et l'abondance de la végétation jouent un rôle dans l'écologie et la biologie de cet ordre d'insectes (Polhemus & Polhemus 2008).

Selon nos résultats (Annexe I, Fig. 52), la faune récoltée des Hémiptères compte 252 individus, soit 1% de la faune totale inventoriée appartenant à 8 familles et 12 espèces réparties comme suit : la famille Gerridae (2 espèces, 82 individus soit 32%) ; les Gerris colonisent divers types d'eaux stagnantes et fréquentes les faciès lentiques des eaux courantes. Elle est représentée dans nos récoltes par le genre *Gerris* très rare et le genre *Aquarius* qui représente 29% de l'abondance totale des Hémiptères (47 individus notés dans 6 stations).

La famille Corixidae (3 espèces, 63 individus soit 25%), elle est représentée par deux genres : *Corixa* se cantonne dans une source de montagne et *Micronecta* très peu abondant et très peu fréquent récolté dans 5 stations dans des biotopes proches de rives. La Famille Veliidae (2 espèces, 19 individus soit 8%), les individus de cette famille sont de petite taille et incapables de voler (Gheit 1994). Ils sont représentés dans nos stations par deux genres *Velia* et *Rhagovelia* très rares s'hébergeant dans les courants moyens à rapides avec une végétation aquatique dense.

La famille des Nepidae (1 espèce, 27 individus soit 11%) est représentée par un seul genre *Nepa*. Ce taxon est peu fréquent et peu abondant, nous l'avons récolté dans 4 stations, il semble être une forme de montagne et de piémont (entre 1520 et 1915 m d'altitude). Les autres familles Naucoridae (1 espèce, 13 individus soit 5%), Notonectidae (1 espèce, 18 individus soit 7%), Mesoveliidae (1 espèce, 21 individus soit 8%) et Aphelocheiridae (1 espèce, 9 individus soit 4%) sont représentées par un seul genre et une seule espèce, rencontrées dans une ou deux stations de basse altitude au maximum et en très faibles effectifs.

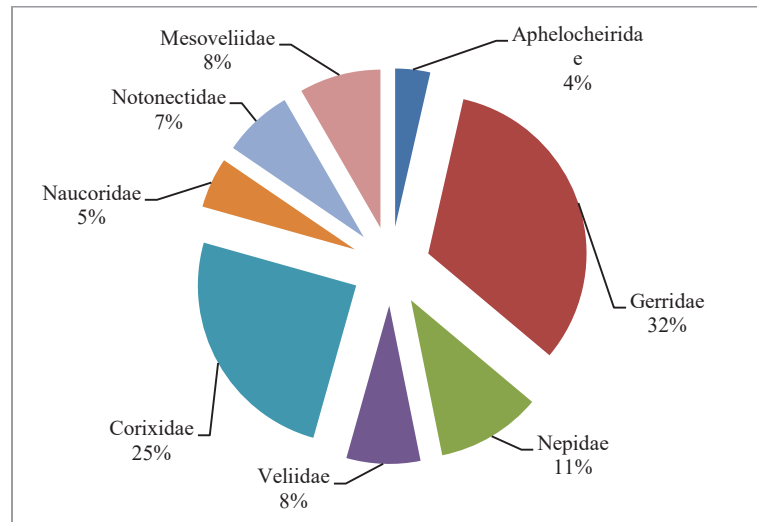


Figure 52. Abondance des Hémiptères récoltés dans les stations étudiées.

La distribution longitudinale des Hémiptères (Fig. 53) dans notre secteur révèle l'existence de ces invertébrés dans toutes les stations avec des proportions variables. En effet, la richesse spécifique la plus élevée est celle enregistrée dans les stations de basse altitude d'oued Sebou. 7 taxons ont été relevés à S3, 5 taxons à S18 et 4 taxons à S17.

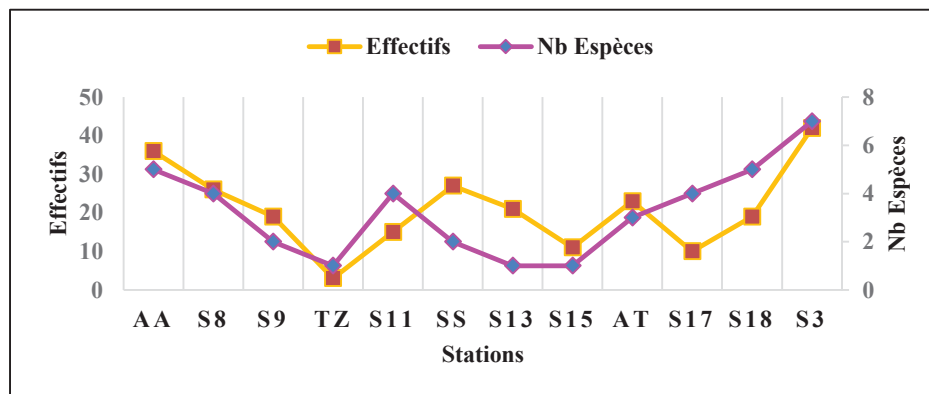


Figure 53. Distribution spatiale des Hémiptères récoltés dans les stations étudiées.

5.7. Crustacés

Les Crustacés sont représentés par 9588 individus soit 40 % de la faune récoltée. Ils appartiennent à deux ordres : les Amphipodes et les Décapodes.

Les Amphipodes sont représentés (Annexe I, Fig. 54) par la plus importante famille, Gammaridae, qui compte 9351 individus (97% des Crustacés). Les Gammaridae sont des hôtes courants des eaux de surface ; ils servent de nourriture à de nombreux poissons, oiseaux et autres prédateurs tels que les planaires et les sangsues. Ainsi, ils occupent une place importante dans la chaîne alimentaire, ce sont des candidats intéressants pour suivre la contamination des milieux aquatiques à travers leur cycle de vie sédentaire (Geffard et al. 2007, Schaller et al. 2010).

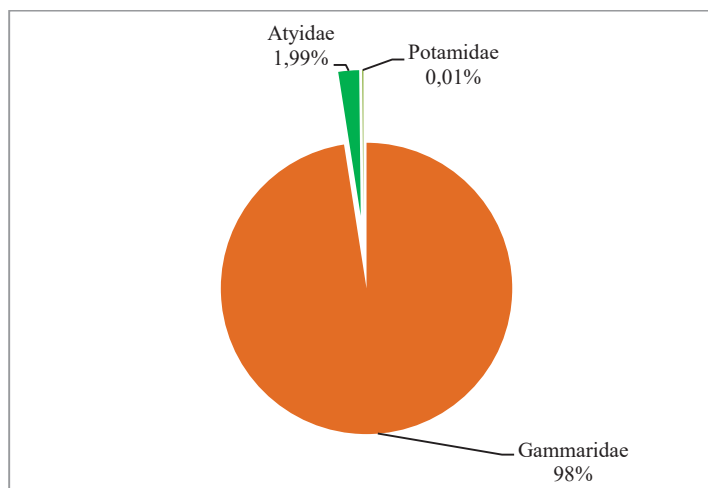


Figure 54. Abondance des Crustacés récoltés dans les stations étudiées.

Dans le Haut Sebou, ils se répartissent en un seul genre *Gammarus* et 3 espèces, ayant une préférence pour les cours d'eau de montagne (de haute altitude) caractérisés par des habitats aux eaux fraîches coulant sur un substrat grossier et riche en débris végétaux (Fig. 55). Les Décapodes sont représentés par deux familles (Fig. 54) : Atyidae (représentée par une seule espèce avec 221 individus, soit 2% des Crustacés) inventoriée dans les trois stations d'oued Sebou à basse altitude (S17, S18 et S3). La famille des Potamidae est représentée par une seule espèce récoltée en de rares exemplaires dans 4 stations (AT, S17, S18 et S3).

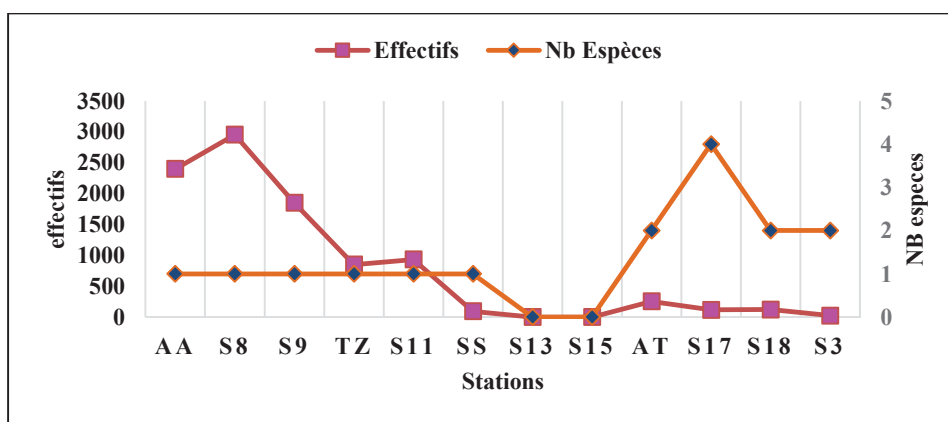


Figure 55. Distribution spatiale des Crustacés dans les stations étudiées.

5.8. Mollusques

5.8.1. Gastéropodes

Selon Strong et al. (2008) les Mollusques ne sont jamais abondants en milieu aquatique continental, c'est la teneur en Calcium, la nature de substrat, la vitesse d'écoulement et la végétation qui contribuent à leur répartition et leur prolifération dans les eaux continentales

La température est souvent considérée comme facteur limitant dans la distribution et le développement de la faune malacologique en agissant sur le développement, la croissance, la maturité des Gastéropodes soit directement ou indirectement en agissant sur d'autres facteurs environnementaux (Tachet 2010).

Dans le présent travail, le matériel biologique récolté est très diversifié (Annexe I, Fig. 56), 4293 individus (soit 17% de la faune totale) appartenant à 7 familles et 15 espèces. La famille Melanopsidae est largement dominante (2 espèces, 1595 individus soit 37% des Gastéropodes). Suivie par la famille Hydrobiidae (4 espèces 1202 individus, soit 28%), les Lymnaeidae (4 espèces, 34 individus soit à peu près 1%), Neritidae (2 espèces, 945 individus soit 22%). Les Ancyliidae et les Physidae sont les plus répandus, ils couvrent presque toutes les stations avec des valeurs numériques respectivement (363 individus, soit 8%) et (178 individus, soit 4%). Et enfin la famille Planorbidae qui est très minoritaire dans notre récolte (1 espèce, 3 individus soit 0,06%), représentée par un seul genre *Anisus*, prélevé dans une seule station en une faible importance numérique.

Le genre *Melanopsis* représentant de la famille Melanopsidae est largement abondant dans les eaux douces du Maroc (Ramdani et al. 1987) grâce à sa grande valence écologique. Il est particulièrement tolérant aux températures chaudes, à la dissolution des éléments chimiques, ainsi qu'à la dessiccation (Dupouy et al. 1980). Il dispose d'un polymorphisme étendu qui porte, non seulement sur la taille et la coloration, mais aussi sur la forme générale de la coquille, l'allure de la spire, les caractères de l'ouverture et de la columelle (Ramdani et al. 1987).

Les Neritidés ont envahi les milieux marins, les eaux douces et les eaux souterraines et présentent une grande variété de forme (Quintero-Galvis & Castro 2013). *Theodoxus* est le seul genre peuplant les eaux continentales du Maroc (Ghamizi 1988) et représenté dans notre étude par deux espèces abondantes dans les stations chaudes de moyenne et basse altitude.

Les Hydrobiidae renferment des petits escargots présentant une ubiquité et une diversité estimée d'une manière critique à plus de 100 genres et environ 1000 espèces (Kabat & Hershler 1993, Bertrand 1999). Dans la présente étude et même si la biologie et l'écologie des taxons représentant cette famille restent mal connus et sont susceptibles d'être sensibles aux nombreuses perturbations qui affectent leurs habitats. Ils constituent une contribution à la répartition des espèces et font l'objet de quelques publications pour les deux genres *Pseudamnicola* et *Corrosella* (Boulaassaf et al 2020, Boulaassaf et al. 2021).

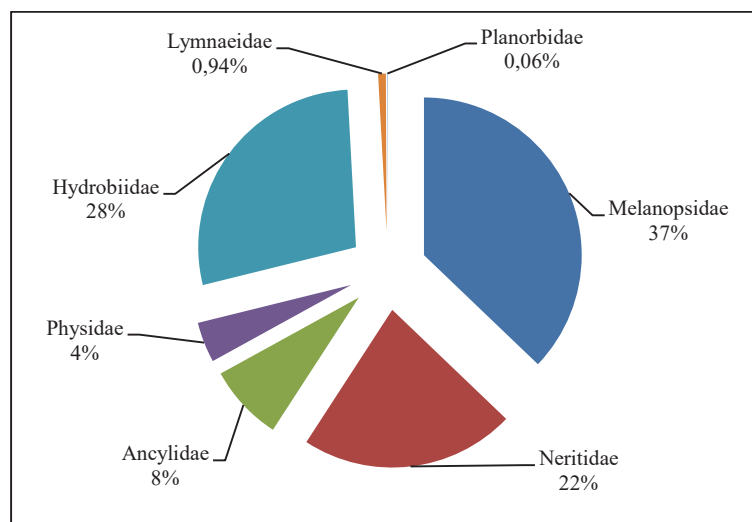


Figure 56. Abondance des Gastéropodes récoltés dans les stations étudiées.

Les Lymnaeidae sont caractérisés par une diversité extrême et présentent une plasticité éco-phénotypique très élevée qui empêche une distinction claire entre les espèces (Correa et al. 2011). Deux genres *Galba* et *Lymnaea* existent au Maroc (Ghamizi 1998), dont ce dernier est le plus diversifié et

représenté par quatre espèces dans nos stations avec une faible abondance. *Ancylus* est le seul représentant de la famille Ancyliidae dans nos récoltes et le plus dominant en occupant presque toutes les stations d'étude. Les Physidés sont représentés par le genre *Physa* colonisant une grande variété d'habitats d'eau douce dans le monde y compris des environnements pollués (Wethington 2014). Il manifeste son optimum écologique dans la source chaude AT.

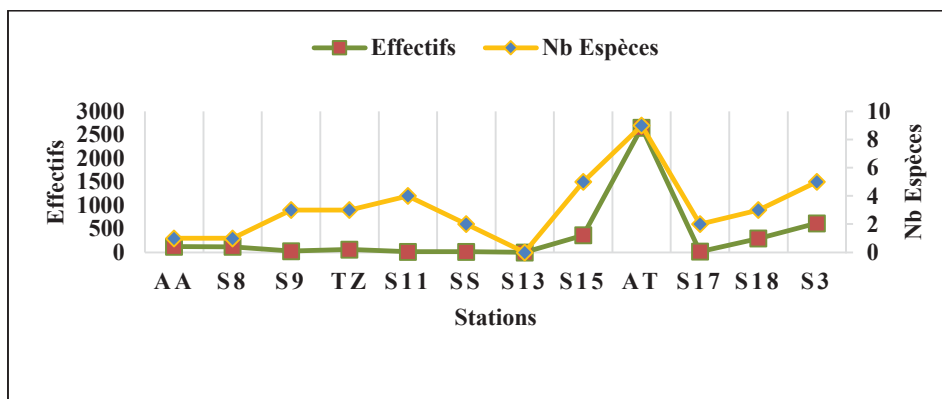


Figure 57. Distribution spatiale des Gastéropodes récoltés dans les stations étudiées.

La répartition longitudinale des Gastéropodes dans nos stations (Fig. 57) semble être très hétérogène et montre que leur prolifération et leur développement sont plus importants dans les stations en aval. La station AT renferme 9 taxons, S3 compte 5 taxons et la station S13 est en dépourvue.

5.8.2. Bivalves

Selon nos résultats (Fig. 58), la faune récoltée des Bivalves compte seulement 129 individus, soit 0,53% de la faune totale inventoriée. Elle appartient à 3 familles et 4 espèces. Elle se répartisse entre les Sphaeriidae (2 espèces, 74 individus soit 57% des bivalves), Corbiculidae (1 espèce, 47 individus soit 37%) et en fin Unionidae (1 espèce, 8 individus soit 6%).

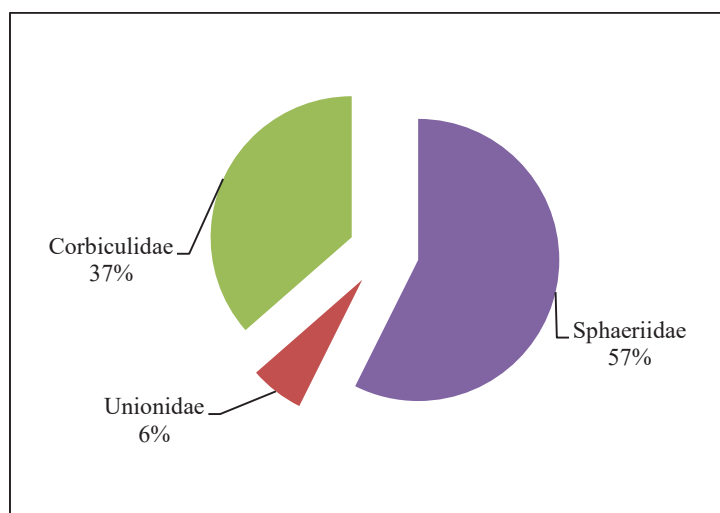


Figure 58. Abondance des Bivalves récoltés dans les stations étudiées.

La distribution longitudinale de ces Bivalves est très hétérogène (Fig. 59) dans le secteur étudié. Le développement des Sphaeriidae semble plus important dans les stations amont des cours d'eau et sources de haute altitude. Tandis que la répartition des Corbiculidae et Unionidae est plus intéressante en aval (stations de basse altitude).

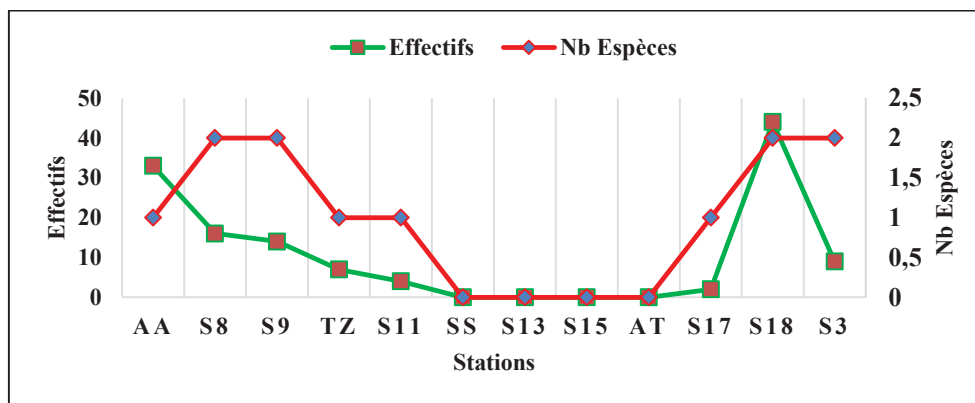


Figure 59. Distribution spatiale des Bivalves dans les stations étudiées.

5.9. Autres Ordres

5.9.1. Diptères

Les Diptères constituent l'ordre d'insectes le plus important après les Coléoptères. Ils se caractérisent par leur grande diversité tant sur le plan écologique que biogéographique. Ils bénéficient d'une grande capacité de coloniser les biotopes les plus variés et ils sont représentés aussi bien en nombres d'espèces que d'individus (Tachet et al. 2001, 2010).

Les difficultés systématiques et taxonomiques rencontrées dans l'étude des larves de ce groupe, ont rendu cependant impossible leur identification jusqu'au rang spécifique (sauf quelques espèces de Simuliidae) et leur utilisation dans la zonation du Haut Sebou.

Le matériel biologique récolté (Tab. 13) est composé essentiellement de larves et quelques nymphes et exuvies. Dans l'ensemble du secteur étudié, 15 familles ont été dénombrées. Elles sont abondantes dans presque toutes les stations mais leur répartition est très hétérogène (Fig. 60).

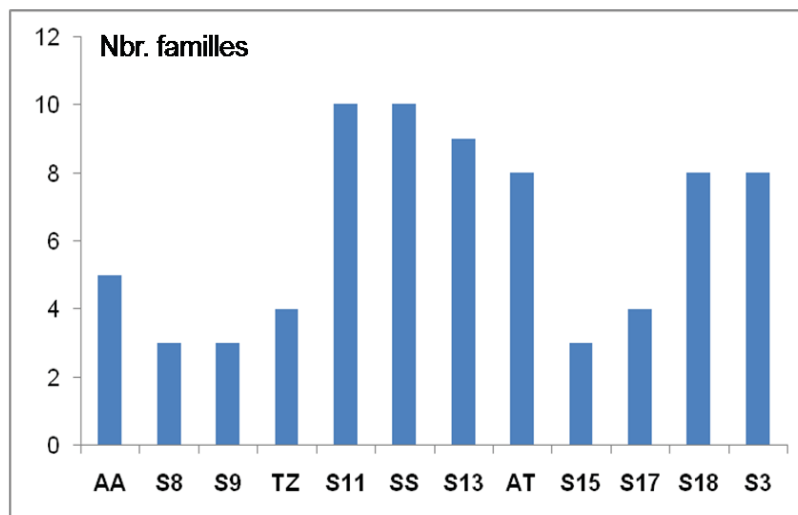
Les Chironomidae sont connus depuis longtemps comme des indicateurs potentiels de la qualité de l'eau. Ils renferment des genres et des espèces habitant des milieux de haute qualité de l'eau, d'autres préfèrent des milieux pollués (Debbiche Zerguine 2010). Dans notre récolte (Tab. 13) cette famille est représentée par trois sous-familles : les Orthocladinae (regroupent deux genre : *Orthocladus* et *Cricotopus*), les Tanypodinae et les Chironominae. Cette dernière renferme deux Tribu : Tanytarsini et Chironomini. Ces Chironomidae sont les plus abondants et les plus répandus des Diptères dans toutes les stations étudiées, tant dans les stations de haute que dans les stations de basse altitude. Pour les Simuliidae et malgré leur taxonomie difficile, nous avons pu déterminer quatre espèces appartenant toutes au genre *Simulium* (*Simulium ornatum*, *Simulium costatum*, *Simulium pseudoquinom*, *Simulium quadrifila* et *Simulium sp.*). Ils occupent la deuxième place dans l'ordre des Diptères en colonisant aussi bien les stations les plus en amont que ceux de piémont et de basse altitude.

Pour le reste des familles de Diptères (autres que les Simuliidae et les Chironomidae), Anthomyiidae, Ceratopogonidae, Dixidae, Drosophilidae, Empididae, Ephydriidae, Limoniidae, Phoridae, Scatophagidae, Sphaeroceridae, Stratiomyidae, Tabanidae, et Tipulidae), à la taxonomie aussi difficile, constituent un groupe d'invertébré mal connu, peu abondant et très peu fréquent dans nos prélèvements et ne couvrent que quelques stations.

Tableau 13. Distribution spatiale des Diptères récoltés dans les stations étudiées.

Familles	Espèces	AA	S8	S9	TZ	S11	SS	S13	AT	S15	S17	S18	S3
Anthomyidae	-						1	1	1				
Ceratopogonidae	<i>Seromyia</i> sp.								1				1
Chironomidae	-												
SF : Orthocladinae	<i>Orthocladus</i> sp.		1	1	1	1	1	1	1	1			1
	<i>Cricotopus</i> sp.										1		1
SF : Chironominae	-												
Tribu. Tanytarsini	-										1		1
Tribu. Chironomini	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SF : Tanypodinae	-										1		1
Dixidae	<i>Dixa</i> sp.	1					1						1
Drosophilidae	-	1	1			1							
Empididae	<i>Empis</i> sp.	1				1	1	1	1	1	1		1
Ephydriidae	-			1		1		1					
Limoniidae	<i>Dicranota</i> sp.												1
	<i>Hexatoma</i> sp.					1			1				1
Phoridae	-					1	1	1					
Scatophagidae	-						1	1					
Simuliidae	<i>Simulium ornatum</i>	1			1								
	<i>Simulium costatum</i>				1	1							
	<i>Simulium pseudoquinom</i>	1			1	1							
	<i>Simulium quadrifila</i>					1							
	<i>Simulium</i> sp.			1			1	1	1		1	1	1
Sphaeroceridae	-		1		1	1						1	1
Stratiomyidae	-					1	1						
Tabanidae	-					1	1	1	1		1	1	
Tipulidae	-				1		1	1	1	1			

(1) Signifié que le taxon est présent.

**Figure 60.** Distribution spatiale des Diptères récoltés dans les stations étudiées.

L'analyse de la distribution longitudinale des Diptères dans les cours d'eau étudiés (Tab. 13 et Fig. 60), se traduit dans sa globalité par la mise en évidence de leur importance dans les zones de piémont et de plaine. La plus grande richesse en termes de nombre de familles a été observée aux stations S11 et SS avec 10 taxons et S13 avec 9 taxons, caractérisées généralement par un courant moyen à modéré, un substrat

hétérogène, des températures relativement élevées et une pollution organique légère. Tandis que les stations montagnardes enregistrent une faible richesse taxonomique (3 taxons à S8 et S9).

5.9.2. Planaires

Ils peuplent préférentiellement les sources (AA, TZ, SS et AT) et ils sont récoltés à S18. Ces Planaires sont représentées (Tab. 14) par deux familles : Dugesidae et Planariidae. La première est représentée par deux espèces : *Dugesia tigrina* qui se caractérise par une grande tolérance vis-à-vis la nature et la qualité de son habitat, en supportant également de grandes amplitudes de changements rapides de températures (Russier-Delolmer 1972, Tachet 2010) recensée à S11 et TZ. *Dugesia gonocephala* considérée comme l'une des Planaires les plus connus et les plus fréquents dans les mares d'eau douce. Elle est qualifiée de rhéophile et euryèce avec une large valence écologique (Pattée 1970, Giudicelli & Dakki 1984), où elle a été piégée dans les ruisseaux de montagne et les sources aux eaux froides de Haute altitude (AA, TZ, et AT). Aussi, elle a été récoltée dans la source Skhounate où la température de l'eau est très élevée. La deuxième famille est représentée exclusivement par *Phagocata* sp. considéré comme le plus eurytope des Turbellariés et préfère surtout se cantonner dans les sources (Carpenter 1969). Sa distribution dans notre secteur s'étale sur une altitude comprise entre 1915 et 216 m.

5.9.3. Oligochètes

Ces Annélides fréquentent tous les types d'habitat : cours d'eau à fond meuble (sablonneux, limoneux ou vaseux) et biotopes à courant lent riches en détruits végétaux ; depuis les ruisseaux de sources jusqu'aux cours d'eau de plaine. Ils sont abondants surtout dans les secteurs les plus pollués et riches en matière organique (Echaubard & Neveu 1975, Lauzanne 1980, Fekhaoui & Baroudi, 1993).

Dans nos stations d'étude (Tab. 14), ce groupe est représenté par la famille des Haplotaxidae et Naididae inféodées aux formations végétales immergées, présentant un développement important au niveau des stations aux températures élevées et riches en matière organique, facteurs favorables à leur prolifération.

5.9.4. Achètes

Les Achètes (ou sangsues) constituent une classe d'Annélides présente aussi bien en milieu marin qu'en eau douce où ils sont distribués dans presque toutes les altitudes en milieu stagnant comme en milieu courant (Tachet et al. 2010). C'est un groupe d'un grand intérêt médical et vétérinaire, puisqu'il pourrait causer la mortalité tant chez le bétail que chez l'homme. Cependant, nous ne connaissons pas le programme ni les moyens de lutte utilisés officiellement au Maroc contre les sangsues, d'autant plus qu'elles peuvent être utilisées comme indicateurs de pollution biologique car elles ne vivent que dans une faible pression d'oxygène. En 1978 ce groupe était pratiquement absent sur tout le haut Guigou (Nechad et al. 2018).

Dans notre récolte (Tab. 14), ces Annélides sont représentés par la famille des Glossiphoniidae représentée par deux genres : *Glossiphonia* et *Helobdella*, avec une présence massive (entre 45 et 70 individus) dans la station S11. La famille des Hirudidae est représentée par le genre *Hirudo*. La répartition longitudinale montre que ces Achètes se développent favorablement dans des stations situées à proximité des agglomérations et quasiment absentes dans le reste des stations.

Tableau 14. Distribution spatiale des Planaires, Oligochètes et Achètes dans les stations étudiées.

Classe	Familles	Espèces	AA	S8	S9	TZ	S11	SS	S13	AT	S15	S17	S18	S3
Planaires	Dugesiiida	<i>Dugesia gonocephala</i>	1			1	1	1		1				
		<i>Dugesia tigrina</i>				1	1							
	Planariidae	<i>Phagocata</i> sp.	1			1	1						1	
Oligochètes	Haplotaxidae	-	1	1				1		1				
	Naididae	-		1		1				1				
Achètes	Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i> sp.				1	1						1	1
		<i>Helobdella</i> sp.					1						1	1
	Hirudidae	<i>Hirudo</i> sp.		1	1					1				

(1) Signifié que le taxon est présent.

6. Discussion

L'examen de cet inventaire faunistique recensé dans notre secteur d'étude montre un appauvrissement en taxons du bassin du Haut Sebou par rapport à ceux récoltés par Dakki (1979, 1987). Résultat dû aux particularités hydrochimiques du milieu, à la forte minéralisation des eaux à cause de la pollution qui entraîne une forte réduction de la diversité du peuplement benthique et l'absence ou la dégradation du couvert végétal dans quelques stations. Ce même constat a été obtenu dans plusieurs études sur le bassin Sebou par (Abbou & Fahde 2014, Nechad 2016, Nechad et al. 2018 ...). Avec une diversité de 78 espèces, le Haut Sebou abrite près de 13,7 % et 16,9 % de la diversité de 6 ordres d'insectes aquatiques (Ephéméroptères, Coléoptères, Plécoptères, Trichoptère, Odonates et Hémiptères) du Maroc et du Rif, et ce bien qu'il ne représente respectivement que moins de 1% et moins de 17% de leur superficie (Tab. 15).

Tableau 15. Le pourcentage que présente la diversité spécifique des espèces de Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Coléoptères, Odonates et Hémiptères dans le Haut Sebou, par rapport à celle du Maroc.

	Haut Sebou (Moyen Atlas)	Bassin Bouregreg (Moyen Atlas)	Rif	Maroc
Trichoptères	8	-	41 (17,1%)	73 (9,6%)
Ephéméroptères	18	-	38 (47,4%)	48 (37,5%)
Plécoptères	2	-	23 (8,7%)	28 (7,1%)
Coléoptères	32	76	248 (14,5%)	288 (12,5%)
Odonates	6	29	54 (11,1%)	63 (9,5%)
Hémiptères	12	20	58 (18,9%)	67 (16,4%)
Total (espèces)	78	125 (40,0%)	462 (16,9%)	567 (13,7%)
Superficie	4677 Km ²	9800 Km ²	27.700 Km ² (16, 9%)	710.851 Km ² (0,66%)

En termes d'habitat, les sources bien qu'elles soient représentées par une source froide AA, une tempérée TZ et deux sources chaudes SS et AT (Tableau I) hébergent plus de 67% de la faune recensée dans l'ensemble du bassin versant Haut Sebou. Il est suivi par l'habitat cours inférieur (S17 et S18) et moyen (S13 et S15) des oueds avec respectivement plus de 47% et 45% des espèces recensées. Les habitats cours supérieurs des oueds (S8, S9, et S11) abritent 42% des espèces de la zone d'étude. Ces habitats aquatiques sont inégalement soumis à plusieurs impacts naturels et anthropiques menaçant la conservation de cette diversité taxonomique, ceux situés en basse altitude, sont relativement plus impactés que le reste des stations. Les principaux impacts, sont ceux dérivant de l'agriculture et l'utilisation abusive des engrais,

la captation et le détournement de l'eau pour l'irrigation des champs de culture. En plus du pâturage, l'abreuvement de bétails, le piétinement, l'installation des agglomérations à proximité des points d'eau, et le rejet des déchets et des détergents. Ces activités engendrent également des perturbations de fonctionnements des écosystèmes aquatiques. En plus du réchauffement climatique couplé à une diminution du débit estivale et l'assèchement de tronçons de plus en plus long.

En outre, parmi les résultats faunistiques les plus intéressants, il est à signaler la découverte de deux espèces récemment décrites comme nouvelles pour la science *Pseudamnicola ramosae* et *Corrosella nechadae* (Gastéropodes : Hydrobiidae) dans deux régions de Moyen Atlas (les environs de Midelt et Skoura) (Boulaassaf et al. 2020, Boulaassaf et al. 2021). Ces deux espèces cohabitent et hébergent deux de nos stations d'étude (Ain Tadoute et oued Guigou sous le pont de Skoura). La découverte pour la première fois au Maroc du Coléoptère *Elmis aenea*. La collecte d'un premier spécimen du genre *Belgrandia* (Gastéropodes : Hydrobiidae) dans le Moyen Atlas, ce dernier a été récolté des petites sources sur les rives de l'oued Sebou en amont de sa confluence avec oued Lihoudi (S3). De même, il y'a la signalisation pour la première fois du genre *Nemoura* (Plécoptères : Nemouridae) dans le Haut Sebou. Parmi les espèces récoltées, un Coléoptère *Hydrochus grandicollis*, un Hétéroptère *R. nigricans* et un Ephéméroptère *N. numidicus* sont citées pour la première fois au Moyen Atlas. Quatre autres espèces s'avèrent des premières citations pour le bassin versant du Haut Sebou, dont un Coléoptère *H. (Helochares) lividus*, un Hétéroptère (*V. noualhier*) et deux Ephéméroptères (*C. pusilla* et *P. concinnum*).

L'importance du bassin versant du Haut Sebou ne se limite pas à la diversité des espèces qu'il abrite mais aussi au fait qu'il héberge des espèces rares et menacées. Parmi ces espèces certaines méritent une mention spéciale, notamment, *G. atlantis*, *H. atlantis* et *S. azruensis* qui sont hautement vulnérables à l'échelle nationale à cause de leur distribution géographique très étroite (endémiques Marocaines) et la perte de leurs habitats (Benamar et al. 2021b). Ces espèces affectionnent des habitats (cours d'eau, lacs, sources...) soumis à plusieurs impacts par exemple le captage et le détournement des cours supérieurs des oueds, comme conséquence de la mise en place des agglomérations à proximité des ressources hydriques, les activités agricoles et touristiques, la pollution. Le Gastéropode *T. numidicus* connu du Maroc et l'Algérie, menacé et rare dans toute son aire de distribution et probablement très localisée selon la Liste Rouge des espèces menacées de l'IUCN.

Quant aux Odonates, *C. mercuriale* espèce Ouest-Européenne à affinité méditerranéenne, est disséminée dans le nord de l'Afrique et abonde dans le nord du Maroc et dans le Moyen Atlas. Cette espèce fréquente exclusivement les eaux courantes et affectionne particulièrement les petits ruisseaux prairiaux envahis ou bordés de végétation. *C. mercuriale* régresse presque dans toute sa zone de répartition, et de ce fait, elle est classée Quasi Menacée (NT) sur les Listes Rouges mondiales et méditerranéennes de l'IUCN, et En Danger (EN) sur la Liste Rouge du nord de l'Afrique (Samraoui et al. 2010). *O. costae* qui s'étend des parties les plus arides de la péninsule Ibérique au nord du Maghreb. Cette espèce colonise les petits et les grands oueds et affectionne les bancs de sable et de galets, les sols nus et la végétation rase. Ce Gomphe de Coste est classé Quasi Menacé (NT) sur les Listes Rouges des Odonates du nord de l'Afrique et du Bassin Méditerranéen, et En Danger (EN) sur la Liste Rouge européenne (IUCN, à paraître) (Riservato et al. 2009, Samraoui et al. 2010).

III. Analyse comparative de la diversité des Ephéméroptères, Trichoptères, Plécoptères et Coléoptères Elmidae du Haut Sebou entre deux périodes d'étude (1981-85) et (2015-17)

Quatre ordres des macroinvertébrés (Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères et Coléoptères Elmidae) les mieux connus et les mieux étudiés par Dakki (1986a, 1987), servent de support pour la comparaison de la diversité et l'évaluation de la qualité du milieu étudié entre ces deux périodes séparées par plus de trois décennies. Ce choix, est dicté essentiellement par les problèmes de systématique et d'homogénéité des données à présenter aux analyses statistiques. Ces groupes constituent, en biomasse et en richesse spécifique, une bonne part des communautés de la majorité des eaux lotiques, et ils sont aussi de bons révélateurs de la physionomie des eaux courantes (Bournaud et al. 1980).

1. Variation spatio-temporelle de la diversité du Haut Sebou entre 1981 et 2017

1.1. Abondance des espèces

L'effectif, l'abondance relative et la fréquence de chaque espèce étudiée en 1981-85 et en 2015-17 ont été calculés par le biais de deux matrices constituées de 5 relevés par période (Annexes III et IV). La récolte représentant la première période d'étude est constituée de 47 espèces appartenant aux 16 familles, qui ont été échantillonnées au cours de cinq campagnes de terrain en 1981 (avril, juin, juillet, octobre et décembre). De même, la faune récoltée en 2015-17 est composée de 33 espèces appartenant aux 12 familles récoltées en décembre 2015, juillet, octobre et avril 2016 et mai 2017.

Les espèces de ces quatre ordres d'insectes aquatiques recensées dans le Haut Sebou vivent dans tous les types de biotopes du crénon au potamon. Les larves de certaines espèces montrent des préférences pour certains types de milieu que pour d'autres. Ces milieux préférentiels constituent, alors des lieux privilégiés où elles y sont abondantes. Sur ce contexte, l'analyse de la distribution des abondances de nos espèces recensées montre une nette différence entre les deux périodes d'échantillonnage (Tab. 16). En 1981-85, six espèces ont été recensées avec un effectif total de 12479 individus, ce qui représente 71,08% de la faune totale. Les deux Baetidae viennent en première position avec 43,36% des individus récoltés, *Baetis pavidus* avec 23,17% et 5466 individus et *Baetis rhodani* avec 20,19% et 2450 individus. Suivie respectivement par *Caenis luctuosa* qui représente 7,58% de la faune recensée avec 1494 individus et *Baetis maurus* avec 4,65% et 919 individus. Deux Trichoptères représentent 15,49% de la faune totale avec 3053 individus. En première position *Hydropshyche maroccana* domine avec 1777 individus (9,02%), suivie par *Agapetus dolichopterus* avec 1276 individus (6,47%).

Au cours de notre période d'étude, un changement de la composition faunistique et de la distribution d'abondance a été remarqué ; six espèces seulement échantillonnées avec un effectif de 6790 individus représentent plus de 80% de la faune totale. Trois espèces d'entre eux montrent une plus forte abondance avec 5342 individus et 64,25%. *Baetis rhodani* domine avec 2450 individus et 29,44% de la récolte suivie par *Baetis pavidus* avec 1801 individus et 21,7% de la faune prélevée. En troisième position vient *Hydropshyche pellucidula* avec 1091 individus en représentant 13,11% de la faune totale, cette espèce était minoritaire en 1981-85 en représentant uniquement 1,49% de la faune avec 292 individus seulement (Tab. 16). Elles sont suivies respectivement par *Hydropshyche maroccana* avec 619 individus (7,44%), *Ecdyonurus rothschildi* avec 513 individus (6,16%) et en dernière position *Caenis luctuosa* avec 316 individus (3,80%).

Pour les autres espèces, au cours des deux périodes d'étude elles présentent de très faibles abondances ne dépassant pas 2,6% pour la période 1981-85 et 1,8% pour la période 2015-17 avec parfois une absence totale de certaines espèces.

Tableau 16. Effectifs, abondance relative AR% et fréquence F% des espèces recensées en 1981-85 et en 2015-17 dans le Haut Sebou.

Espèces	Effectifs (1981-85)	Effectifs (2015-17)	AR % (1981-85)	AR % (2015-17)	F % (1981-85)	F % (2015-17)
<i>Rhyacophila munda</i>	65	43	0,33	0,52	33,33	17,65
<i>Agapetus dolichopterus</i>	1276	37	6,47	0,44	9,09	1,96
<i>Agapetus incertulus</i>	69	12	0,35	0,14	22,73	5,88
<i>Agapetus sp.</i>	0	4	0,00	0,05	0,00	1,96
<i>Orthotrichia angustella</i>	5	0	0,03	0,00	6,06	0,00
<i>Hydroptila campanulata</i>	26	0	0,13	0,00	9,09	0,00
<i>Hydroptila vectis</i>	170	0	0,86	0,00	28,79	0,00
<i>Allotrichia pallicornis</i>	17	0	0,09	0,00	7,58	0,00
<i>Hydropsyche fezana</i>	487	229	2,47	2,75	30,30	25,50
<i>Hydropsyche lobata</i>	323	0	1,64	0,00	39,39	0,00
<i>Hydropsyche maroccana</i>	1777	619	9,02	7,44	65,15	37,25
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	293	1091	1,49	13,11	37,88	35,29
<i>Hydropsyche resmineda</i>	345	0	1,75	0,00	19,70	0,00
<i>Cheumatopsyche atlantis</i>	58	0	0,29	0,00	24,24	0,00
<i>Psychomyia pusilla</i>	366	0	1,86	0,00	45,45	0,00
<i>Paduniella vandeli</i>	68	0	0,35	0,00	25,76	0,00
<i>Tinodes algericus</i>	14	0	0,07	0,00	12,12	0,00
<i>Stenophylax necteroibius</i>	505	100	2,56	1,20	18,20	11,76
<i>Mesophylax aspersus</i>	1	0	0,01	0,00	1,51	0,00
<i>Athripsodes cinereus</i>	2	0	0,01	0,00	3,03	0,00
<i>Setodes acutus</i>	1	0	0,01	0,00	1,51	0,00
<i>Baetis maurus</i>	916	215	4,65	2,58	53,03	15,68
<i>Baetis muticus</i>	1	0	0,01	0,00	1,51	0,00
<i>Baetis pavidus</i>	4566	1807	23,17	21,71	63,64	68,63
<i>Baetis rhodani</i>	3980	2450	20,19	29,44	75,76	56,86
<i>Centropilum pennulatum</i>	3	0	0,02	0,00	1,51	0,00
<i>Cloeon dipterum</i>	2	100	0,01	1,20	3,03	17,65
<i>Labiobaetis neglectus</i>	232	112	1,18	1,35	28,79	9,80
<i>Nigrobaetis numidicus</i>	0	8	0,00	0,10	0,00	1,96
<i>Proclon sp.</i>	3	1	0,02	0,01	3,03	1,96
<i>Oligoneuriella skoura</i>	248	13	1,26	0,16	21,20	3,92
<i>Oligoneuriopsis skounate</i>	91	103	0,46	1,24	28,79	17,65
<i>Rhitrogena sp.</i>	134	18	0,68	0,22	24,24	7,84
<i>Ecdyonurus ifranensis</i>	237	95	1,20	1,14	22,73	11,76
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	455	513	2,31	6,16	37,88	33,33
<i>Caenis luctuosa</i>	1494	316	7,58	3,80	68,18	37,25
<i>Caenis pusilla</i>	0	77	0,00	0,93	0,00	17,65
<i>Choroterpes atlas</i>	1	42	0,01	0,50	1,51	7,84
<i>Choroterpes volubilis</i>	0	30	0,00	0,36	0,00	1,96
<i>Habrophlebia fusca</i>	3	0	0,02	0,00	1,51	0,00
<i>Ephoron virgo</i>	25	12	0,13	0,14	7,57	3,92
<i>Elmis atlantis</i>	22	0	0,11	0,00	7,57	0,00
<i>Elmis maugetii</i>	177	53	0,90	0,64	31,81	9,80
<i>Elmis aenea</i>	0	42	0,00	0,50	0,00	3,92
<i>Esolus sp.</i>	0	3	0,00	0,04	0,00	1,96
<i>Limnius intermedius</i>	94	12	0,48	0,14	25,76	5,90
<i>Limnius opacus</i>	239	148	1,21	1,78	24,24	15,86

<i>Riolus substriatus</i>	49	0	0,25	0,00	9,10	0,00
<i>Riolus villosocostatus</i>	37	0	0,19	0,00	13,64	0,00
<i>Oulimnius fuscipes</i>	494	15	2,51	0,18	31,81	5,90
<i>Nemoura sp.</i>	0	2	0,00	0,02	0,00	1,96
<i>Protonemura algerica</i>	207	0	1,05	0,00	12,12	0,00
<i>Protonemura talboti</i>	98	1	0,50	0,01	10,60	1,96
<i>Eoperla ochracea</i>	33	0	0,17	0,00	31,81	0,00
Total	19709	8323	100,00	100,00	-	-

1.2. Fréquence des espèces

La classification des espèces en fonction de leur fréquence permet de mieux situer le degré d'attachement des espèces aux conditions du milieu, en particulier aux conditions de perturbation naturelle ou anthropique. En adoptant les fréquences établies par Dajoz (1985) (Tabs.16 et 17), nous constatons que le peuplement récolté en 1981-85 renferme quatre espèces fréquentes (*Hydropshyche maroccana*, *Caenis luctuosa*, *Baetis maurus* et *Baetis pavidus*), 14 espèces communes (*Rhyacophila munda*, *Hydroptila vectis*, *Hydropshyche fezana*, *Hydropshyche lobata*, *Hydropshyche pellucidula*, *Psychomyia pusilla*, *Paduniella vandeli*, *Elmis maugetii*, *Limnius intermedius*, *Oulimnius fuscipes*, *Eoperla ochracea*, *Ecdyonurus rothschildi*, *Oligoneuriopsis skhounate* et *Labiobaetis neglectus*), 9 espèces rares (*Mesophylax aspersus*, *Athripsodes cinereus*, *Setodes acutus*, *Baetis muticus*, *Centroptilum pennulatum*, *Cloeon dipterum*, *Procleon sp.*, *Choroterpes atlas*, et *Habrophlebia fusca*), et une seule espèce d'Ephéméroptères est constante (*Baetis rhodani*).

Quant aux espèces considérées comme accessoires, elles sont de l'ordre de 19 espèces réparties comme suit : 2 Plécoptères (*Protonemura talboti* et *Protonemura algerica*), 4 Ephéméroptères (*Rhitrogena sp.*, *Oligoneuriella skoura*, *Ecdyonurus ifranensis* et *Ephoron virgo*), 9 Trichoptères (*Agapetus dolichopterus*, *Agapetus incertulus*, *Orthotrichia angustella*, *Hydroptila campanulata*, *Allotrichia pallicornis*, *Hydropsyche resmineda*, *Cheumatopsyche Atlantis*, *Tinodes algericus* et *Stenophylax necteroibius*) et 4 Coléoptères (*Elmis atlantis*, *Limnius opacus*, *Riolus substriatus* et *Riolus villosocostatus*).

En ce qui concerne la faune récoltée en 2015-17 (Tab. 17), deux espèces sont considérées comme fréquentes (*Baetis pavidus* et *Baetis rhodani*), 5 espèces peuvent être considérées comme communes (*Hydropshyche fezana*, *Hydropshyche maroccana*, *Hydropshyche pellucidula*, *Ecdyonurus rothschildi* et *Caenis luctuosa*), 14 espèces considérées comme accessoires (*Rhyacophila munda*, *Agapetus incertulus*, *Stenophylax necteroibius*, *Elmis maugetii*, *Limnius opacus*, *Oulimnius fuscipes*, *Baetis maurus*, *Cloeon dipterum*, *Labiobaetis neglectus*, *Oligoneuriopsis skhounate*, *Rhitrogena sp.*, *Ecdyonurus ifranensis*, *Caenis pusilla* et *Choroterpes atlas*) et finalement 12 espèces considérées extrêmement rares et qui sont réparties comme suit : deux Trichoptères (*Agapetus dolichopterus*, *Agapetus sp.*), cinq Ephéméroptères (*Nigrobaetis numidicus*, *Procleon sp.*, *Oligoneuriella skoura*, *Choroterpes volubilis*, *Ephoron virgo*), trois Coléoptères (*Limnius intermedius*, *Esolus sp.* et *Elmis aenea*) et deux Plécoptères (*Nemoura sp.* et *Protonemura talboti*).

Dans les deux études aucune des espèces n'a été qualifiée omniprésente, tandis que neuf espèces ont gardé la même classification entre 1981-85 et 2015-17, elles se répartissent comme suit : une espèce fréquente (*Baetis pavidus*), trois espèces communes (*Hydropshyche fezana*, *Hydropshyche pellucidula* et *Ecdyonurus rothschildi*), quatre espèces accessoires (*Stenophylax necteroibius*, *Limnius opacus*, *Rhitrogena sp.* et *Ecdyonurus ifranensis*) et une espèce rare (*Procleon sp.*). Alors que la majorité des espèces ont changé la catégorie de leur classification : passant de constante à Fréquente (*Baetis rhodani*), de fréquente à

commune (*Hydropsyche maroccana* et *Caenis luctuosa*), de fréquente à accessoire (*Baetis maurus*), de commune à accessoire (*Rhyacophila munda*, *Elmis maugetii*, *Oulumnius fuscipes*, *Labiobaetis neglectus* et *Oligoneuriopsis skhounate*), de accessoire à rare (*Agapetus dolichopterus*, *Oligoneuriella skoura*, *Ephoron virgo* et *Protonemura talboti*) et de rares à accessoire on note (*Cloeon dipterum* et *Choroterpes atlas*).

Tableau 17. Classement des espèces en fonction de leur fréquence entre les deux périodes d'étude 1981-85 et 2015-17.

Omniprésentes Constantes Fréquentes Communes Accessoires Rares					
Trichoptères	1981-85	2015-17	Ephéméroptères	1981-85	2015-17
<i>Rhyacophila munda</i>	33,33	17,56	<i>Baetis maurus</i>	53,03	15,68
<i>Agapetus dolichopterus</i>	9,09	1,96	<i>Baetis muticus</i>	1,51	-
<i>Agapetus incertulus</i>	22,73	5,88	<i>Baetis pavidus</i>	63,64	68,63
<i>Agapetus sp.</i>	-	1,96	<i>Baetis rhodani</i>	75,76	56,86
<i>Orthotrichia angustella</i>	6,06	-	<i>Centropilum pennulatum</i>	1,51	-
<i>Hydroptila campanulata</i>	9,09	-	<i>Cloeon dipterum</i>	3,03	17,65
<i>Hydroptila vectis</i>	28,79	-	<i>Labiobaetis neglectus</i>	28,79	9,80
<i>Allotrichia pallicornis</i>	7,58	-	<i>Nigrobaetis numidicus</i>	-	1,96
<i>Hydropsyche fezana</i>	30,30	25,50	<i>Procleon sp.</i>	3,03	1,96
<i>Hydropsyche lobata</i>	39,39	-	<i>Oligoneuriella skoura</i>	21,20	3,92
<i>Hydropsyche maroccana</i>	65,15	37,25	<i>Oligoneuriopsis skhounate</i>	28,79	17,65
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	37,88	35,29	<i>Rhitrogena sp.</i>	24,24	7,84
<i>Hydropsyche resmineda</i>	19,70	-	<i>Ecdyonurus ifranensis</i>	22,73	11,76
<i>Cheumatopsyche atlantis</i>	24,24	-	<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	37,88	33,33
<i>Psychomyia pusilla</i>	45,45	-	<i>Caenis luctuosa</i>	68,18	37,25
<i>Paduniella vandeli</i>	25,76	-	<i>Caenis pusilla</i>	-	17,65
<i>Tinodes algericus</i>	12,12	-	<i>Choroterpes atlas</i>	1,51	7,84
<i>Stenophylax necteroibius</i>	18,20	11,76	<i>Choroterpes volubilis</i>	-	1,96
<i>Mesophylax aspersus</i>	1,51	-	<i>Habrophlebia fusca</i>	1,51	-
<i>Athripsodes cinereus</i>	3,03	-	<i>Ephoron virgo</i>	7,57	3,92
<i>Setodes acutus</i>	1,51	-	Plécoptères	1981-85	2015-17
Coléoptères Elmidae	1981-85	2015-17	<i>Nemoura sp.</i>	-	1,96
<i>Elmis atlantis</i>	7,57	-	<i>Protonemura algerica</i>	12,12	-
<i>Elmis maugetii</i>	31,81	9,80	<i>Protonemura talboti</i>	10,60	1,96
<i>Elmis aenea</i>	-	3,92	<i>Eoperla ochracea</i>	31,81	-
<i>Esolus sp.</i>	-	1,96			
<i>Limnius intermedius</i>	25,76	5,90			
<i>Limnius opacus</i>	24,24	15,86			
<i>Riolus substriatus</i>	9,10	-			
<i>Riolus villosocostatus</i>	13,64	-			
<i>Oulimnius fuscipes</i>	31,81	5,90			

2. Indice EPT

Les insectes Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères contiennent de nombreux taxons pollu-sensibles qui constituent la base de méthodes biologiques d'évaluation de la variation des milieux aquatiques. Ils sont considérés comme des groupes taxonomiques importants dans les écosystèmes fluviaux (Mary 2001). De plus, le nombre total de ces taxons dans un milieu (indice EPT) est en lui-même un paramètre couramment utilisé pour estimer la qualité des eaux et les variations écologiques (Suhaila & Che

Salmah 2014). Une diminution du nombre de ces taxons généralement considérés comme sensibles à la pollution organique indique une perturbation.

La présence d'espèces de l'EPT indique que les paramètres de l'habitat se situent dans la limite de tolérance de l'espèce. Leurs distributions sont fortement dictées par leur tolérance à un ensemble de facteurs environnementaux. En effet, la composition et la distribution des trois ordres sont déterminées par leur tolérance physiologique à un large éventail de variables environnementales.

Wallace et al. (1996) ont approuvé l'indice EPT comme étant probablement le plus efficace des indices de macroinvertébrés. De même, Barbour et al. (1992) ont comparé un grand nombre d'indices de macroinvertébrés et ont constaté que les dénombrements simples des espèces, en particulier ceux des taxons sensibles, étaient les plus efficaces pour déterminer la dégradation des cours d'eau.

En 1981-85, huit stations présentent les indices EPT les plus élevés (compris entre 20 et 28) et classées comme suites : Assez bien (S9, S11 et AT), Bien (SS, S15 et S18) et Excellent (S13 et S17) (Tab. 18). Ces fortes valeurs indiquent une diversité taxinomique importante en Ephéméroptères (7 à 12 taxons), en Trichoptères (7 à 18 taxons) et moyenne en Plécoptères (2 à 4 taxons) et laissent suggérer que ces stations représentent des milieux propices au développement des EPTs. Tandis que, les deux sources AA et TZ et la petite rivière S8 ont présenté des indices EPT inférieurs à 12. Ces faibles valeurs expriment une diversité taxinomique très faible en Plécoptères (0 à 1 taxon), en Trichoptères (2 à 6 taxons) et en Ephéméroptères (2 à 5 taxons).

En outre, l'indice EPT montre une bioclassification différente de ces stations prospectées en 2015-17. En effet, AA, TZ et S8 ont présentées une bioclassification « Pauvre », le reste des stations sont classées moyennes et aucune de ces stations n'a été classé « Assez bien, Bien ou Excellent ». Ces faibles valeurs d'EPT indiquent une forte perte de diversité taxinomique en Plécoptères (0 à 1 taxons), Ephéméroptères (2 à 10 taxons) et Trichoptères (1 à 4 taxons) et d'habitats propices au développement de ces peuplements.

Tableau 18. Estimation de l'indice EPT des différentes stations prospectées au cours des deux périodes d'étude.

	Période 1981-85		Période 2015-17	
	Indice EPT	Bioclassification	Indice EPT	Bioclassification
AA	5	Pauvre	3	Pauvre
S8	11	Moyen	6	Pauvre
S9	20	Assez bien	8	Moyen
TZ	8	Moyen	6	Pauvre
S11	20	Assez bien	9	Moyen
SS	24	Bien	13	Moyen
S13	28	Excellent	11	Moyen
S15	34	Bien	12	Moyen
AT	14	Assez bien	10	Moyen
S17	28	Excellent	13	Moyen
S18	24	Bien	10	Moyen

3. Indices de diversité

Les différents indices de diversité actuellement utilisés permettent d'étudier la structure des peuplements en faisant référence ou non à un cadre spatio-temporel concret. La façon dont les individus sont répartis entre les différentes espèces (Daget 1979) permet de comparer la diversité intra et inter-habitat pour tenter de comprendre les mécanismes de maintenance de la diversité des espèces et leurs conservations selon les types d'habitats rencontrés et ceci, en fonction des conditions environnementales (humidité, température, exposition, radiation, etc.). Les auteurs des différents indices existants se sont fondés sur le principe selon lequel, dans un milieu non perturbé, les communautés sont relativement diversifiées (richesse spécifique élevée et uniformité de distribution). Les stress qui surviennent (pollutions diverses, aménagement du lit de la rivière...) ont en général pour conséquence la réduction de la diversité spécifique et les conditions de vie deviennent difficiles pour certaines espèces. Différents descripteurs ont été retenus pour la caractérisation de la structure du peuplement à savoir, la diversité de Shannon-Weiner (H'), l'Équitabilité de Pielou (E'), l'indice de Simpson (D') et l'indice de Hill. Le tableau 19 récapitule les indices calculés pour les deux périodes.

Tableau 19. Valeurs des indices de diversité calculées pour les deux périodes d'étude dans le Haut Sebou.

Période d'étude	Effectifs	Shannon (H')	Pielou (E')	Simpson (D')	Hill	Jaccard
1981-85	19709	3,82	0,69	0,12	0,18	47,27
2015-17	8323	3,26	0,64	0,16	0,24	

L'étude de ces différents indices de diversité entre les deux périodes de prospection, montre que l'échantillon récolté en 1981-85 est plus riche et plus diversifié en espèces que l'échantillon récolté en 2015-17. Il présente des scores relativement élevés des indices de diversité de Shannon et de Pielou et qui sont respectivement de 3,82 et de 0,69 (Tab. 19). Alors que l'échantillon prélevé en 2015-17 est moins riche par rapport au premier avec des scores de H' et E' respectivement de l'ordre de 3,26 et 0,64. L'indice de Simpson, qui est lié aux variations d'abondance entre les espèces dominantes, enregistre des valeurs plus ou moins proche au 0, $D'=0,12$ en 1981-85 et $D'=0,16$ en 2015-17. Ce qui peut s'expliquer par une diversité assez importante des deux peuplements.

De plus, on a eu recours à l'indice de diversité de Hill qui permet d'obtenir une vue encore plus précise de la diversité observée et qui a confirmé la forte richesse en espèces du peuplement de la période 1981-85 avec une valeur de 0,18 par rapport à celui de 2015-17 qui est plus faible en termes de richesse spécifique avec une valeur de 0,24.

En utilisant la sensibilité de l'indice de Shannon aux effectifs des espèces rares, et la sensibilité de l'indice de Simpson aux effectifs des espèces abondantes, l'indice de Hill semble le plus synthétique et le plus pertinent pour la comparaison de populations différentes dans la mesure où il intègre les deux autres indices. Plusieurs auteurs recommandent d'ailleurs leur utilisation (Colloca et al. 2003, Grall et al. 2006).

Le calcul de l'indice de similarité de Jaccard entre les deux peuplements récoltés dans les mêmes stations au cours des deux périodes d'échantillonnage, montre que ces derniers sont hétérogènes et présentent seulement 47,27 % de ressemblance.

3.1. Variation spatio-temporelle de la diversité

Par la suite, nous avons calculé pour chaque station les trois indices de diversité (Shannon, Piélou et Simpson) (Tab. 20) qui permettent une étude plus complète des informations concernant la structure des communautés ; puis nous les avons comparés entre deux dates de prélèvements (1981-85 et 2015-17).

Tableau 20. Valeurs des indices de diversité calculés pour chaque station du Haut Sebou étudiée en 1981-85 et 2015-17.

Stations	Nbr Espèces		Effectifs		Indice de Shannon (H')		Indice de Piélou (E')		Indice de Simpson (D')	
	1981-85	2015-17	1981-85	2015-17	1981-85	2015-17	1981-85	2015-17	1981-85	2015-17
AA	7	3	635	90	1,10	1,53	0,39	0,96	0,62	0,35
S8	12	10	1619	1896	0,96	1,57	0,27	0,47	0,68	0,56
S9	20	8	2596	432	2,65	2,21	0,60	0,73	0,21	0,29
TZ	11	9	2462	290	1,67	2,16	0,48	0,68	0,37	0,32
S11	19	10	2300	895	3,00	2,51	0,69	0,75	0,15	0,21
SS	20	15	2236	1444	2,23	2,68	0,51	0,68	0,34	0,22
S13	25	11	2544	754	3,12	1,92	0,67	0,55	0,16	0,36
AT	16	11	490	711	2,62	2,34	0,65	0,67	0,24	0,25
S15	28	13	2338	517	3,03	2,84	0,63	0,76	0,20	0,18
S17	20	13	1360	660	3,05	2,47	0,70	0,66	0,18	0,27
S18	16	11	1129	618	2,99	2,59	0,74	0,78	0,17	0,20

3.1.1. Indice de Shannon-Weaver (H')

D'après Bournaud & Keck (1980), l'indice de Shannon-Weaver présente l'avantage d'avoir été le plus fréquemment employé dans les études d'écologie benthique et de fournir une indication globale de l'importance relative des différents taxons.

Les valeurs de l'indice de Shannon calculées en 1981-85, fluctuent entre un minimum de 0,96 bit et un maximum de 3,12 bit, où les faibles indices de H' rencontrés sont ceux des stations S8 (0,96 bit) et AA (1,10 bit) ; et TZ (1,67 bit) qui coïncident avec la dominance nette de quelques espèces par rapport aux autres (*B. rhodani* à S8 et TZ ; *S. necteroibius* à AA ; *B. pavidus* à SS et *A. dolichopterus* à TZ). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les stations S13 (3,12 bit), S17 (3,05 bit), S15 (3,03 bit), S11 (3,00 bit) et S18 (2,99 bit) qui montrent des valeurs d'abondance plus ou moins proches de la moitié des espèces recensées et donc, montrent une très bonne représentation (Fig. 61).

Concernant l'échantillon récolté en 2015-17, malgré le fait qu'il apparaisse avec une abondance et une richesse spécifique moins élevées que celles de l'échantillon précédent ; il montre une représentation assez équilibrée entre les espèces. Plusieurs sources et stations au cours de cette période d'étude ont perdu leurs espèces exclusives et d'autres espèces sont devenues moins abondantes. Les indices de diversité de Shannon enregistrés dans ces stations varient entre un minimum à AA (1,53 bit) et un maximum à S15 (2,84 bit) (Fig. 61).

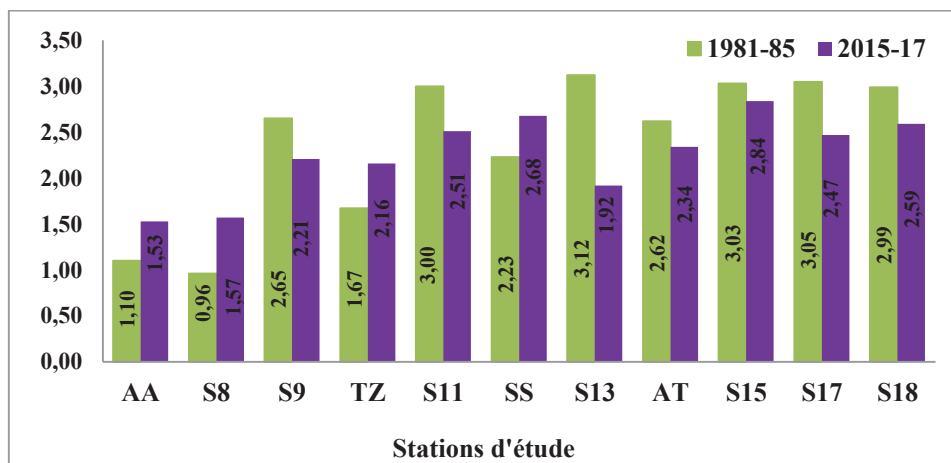


Figure 61. Variation spatio-temporelle de l'indice de Shannon (H') au niveau des stations d'étude durant les périodes 1981-85 et 2015-17.

3.1.2. Indice d'Équitabilité de Pielou (E')

L'indice d'équitabilité appelé aussi l'indice d'équi-répartition, exprime le rapport entre la diversité (H') et la diversité maximale ($\log_2(\text{Nb. espèces})$), varie d'une station à l'autre entre un minimum de 0,27 à S8 et un maximum de 0,74 à S18 en 1981-85 et un minimum de 0,47 à S8 et 0,96 à AA en 2015-17. En effet, dans les deux cas, la majorité des valeurs sont proches de 1 que de 0, ce qui se traduit par une bonne homogénéité dans la répartition des espèces du peuplement. Ce n'est que dans les stations S8 (0,27) et AA (0,39) que ces deux valeurs enregistrées en 1981-85 présentent une hétérogénéité dans la distribution des espèces (Fig. 62).

Généralement, les deux indices de diversité Shannon (H') et Pielou (E'), augmentent d'une part avec la richesse spécifique et d'autre part avec la régularité de la distribution de leur abondance ; autrement dit, un indice faible est une conséquence d'un faible nombre d'espèce et/ou de la dominance de certaines espèces. Ceci est plus semblable à notre période d'étude 2015-17, où nous avons une faible richesse spécifique et une prédominance de l'espèce *Baetis pavidus* et *Baetis rhodani* dans presque toutes les stations étudiées (Fig. 62).

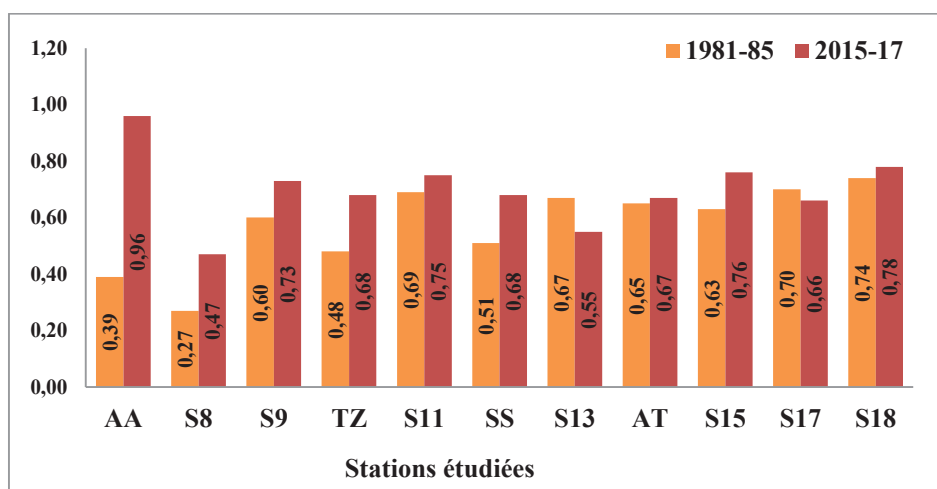


Figure 62. Variation spatio-temporelle de l'indice de Pielou (E') au niveau des stations d'étude durant les périodes 1981-85 et 2015-17.

3.1.3. Indice de Simpson (D')

L'indice de Simpson (D') fondé sur la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard et indépendamment dans une même population appartiennent à la même espèce. La majorité des valeurs de cet indice calculées dans les stations d'étude en 1981-85 et en 2015-17 tendent vers une valeur de 0, ce qui indique une diversité maximale du peuplement benthique. Alors que les stations qui montrent une diversité minimale enregistrent des valeurs de (D') qui tendent vers 1, où la station S8 présente une valeur de $D' = 0,68$ en 1981-85 et $D' = 0,56$ en 2015-17 et AA marque une valeur de $D' = 0,62$ en 1981. Ces valeurs indiquent une diversité minimale des peuplements dans ces deux stations. Elles signifient aussi que la probabilité de rencontrer la même espèce est de plus de 50% des deux individus choisis au hasard dans notre population (Fig.63).

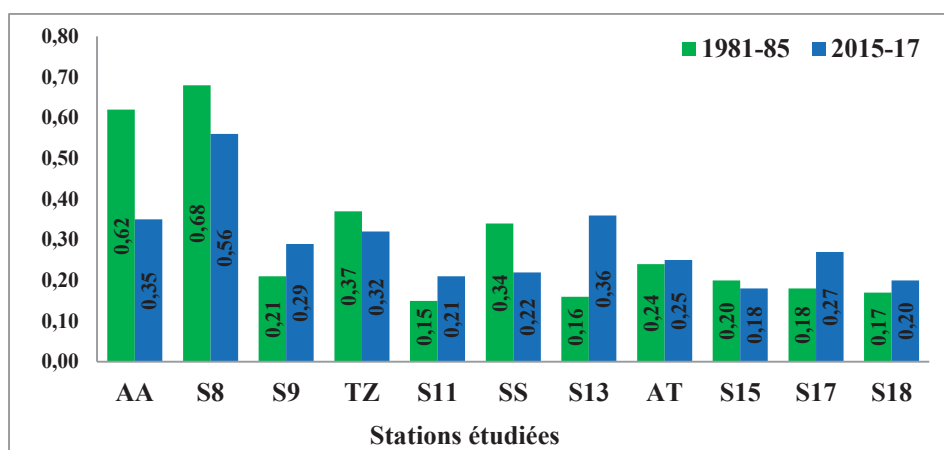


Figure 63. Variation spatio-temporelle de l'indice de Simpson (D') au niveau des stations d'étude durant les périodes 1981-85 et 2015-17.

4. Discussion

Les méthodes de bio-évaluation se basent sur l'étude d'organismes vivants inféodés aux milieux aquatiques, ces organismes sensibles sont désignés sous le terme d'indicateurs biologiques ou de bioindicateurs. Diverses études ont montré que les macroinvertébrés surtout les Ephéméroptères, les Trichoptères, les Plécoptères et les Coléoptères constituent un matériel favorable dans les études écologiques, notamment dans l'estimation de la qualité biologique des eaux. Ils se caractérisent par leur grande valeur bioindicative vis-à-vis des nuisances subies par les cours d'eau, du fait qu'ils contiennent une forte proportion d'espèces ayant des exigences écologiques strictes (Alba-Tercedor & Picaso-Munoz 1995). Par exemple, les larves des Ephéméroptères constituent le premier rang des insectes aquatiques occupant souvent les principaux biotopes des torrents, des ruisseaux, et des rivières, et elles présentent de très nombreuses adaptations morphologiques notamment aux courants rapides (Gattolliat 2002).

L'inventaire faunistique réalisé au cours de notre période étude constitue une base de données importante des régions semi arides. Puisqu'il couvre 11 stations d'études localisées le long des deux oueds (Guigou et Sebou), et qui sont considérés comme les plus représentatives des 37 stations étudiées en 1981-85. La faune recensée se compose de 8323 correspondant à 33 espèces relativement faibles par rapport à celle étudiée en 1981-85 correspondant à 19709 individus répartie en 47 espèces. Cette faible diversité est dû principalement à l'anthropisation, la faible pluviosité et aux températures estivales élevées ; ce qui

conduit à l'augmentation des périodes de sécheresse, ainsi, la longueur de la saison sèche a été reconnue comme un facteur important dans la détermination de la diversité biologique dans ces cours d'eau.

Ces macroinvertébrés présentent des variations de l'abondance le long du même cours d'eau. L'évolution de l'abondance et de la richesse spécifiques des populations recensées au cours de ces deux périodes d'étude et leurs variations dans l'espace et dans le temps dans le Haut Sebou, montre une réduction de ces dernières. Les effets des perturbations sur les organismes peuvent s'expliquer par l'espèce ou par le peuplement dans son ensemble et en développant différentes techniques d'étude de l'état d'un milieu (Gimenez-Casaldueiro 2001). L'analyse des abondances a montré que *B. pavidus* et *B. rhodani* sont les plus dominants et prennent des positions inverses dans les deux périodes ; avec une dominance maximale de 23,17% pour *B. pavidus* suivie par *B. rhodani* avec une abondance de 20,19% en 1981-85. Alors que, *B. rhodani* qui vient en première position avec une abondance maximale de 29,44% suivie par *B. pavidus* avec 21, 71% en 2015-17. Ces deux espèces ont été déjà signalées plusieurs fois dans ce travail et sont considérées par plusieurs auteurs comme eurytopes et eurythermes à grande valence écologique.

La majorité des données bibliographiques relatives aux thèmes des perturbations et leurs impacts sur la structure des macroinvertébrés benthiques concordent sur le fait que l'anthropisation, le réchauffement de l'eau les crues et leurs fréquences peuvent avoir des effets immédiats dramatiques sur les macroinvertébrés dont leur richesse spécifique et leur densité diminuent à l'instant où s'est produite la perturbation (Robinson & Minshall 1986).

CHAPITRE V

ETUDE BIOTYPOLOGIQUE DES COURS

D'EAU DU HAUT SEBOU

CHAPITRE V : ETUDE BIOTYPOLOGIQUE DES COURS D'EAU DU HAUT SEBOU

I. Introduction

L'impact des perturbations naturelles ou anthropiques sur la dynamique des communautés benthiques est resté longtemps exclu des recherches écologiques. Il n'est devenu un thème central dans l'écologie des eaux courantes qu'après les années 1980, notamment avec la publication de Resh et al. (1988) qui a marqué le début d'une période de recherches intenses sur les perturbations par des crues et leurs effets sur les écosystèmes riverains (Stanley et al. 2010). En effet, les crues peuvent modifier la structure physique des cours d'eaux, et ainsi, changer la densité et la distribution des populations par leur influence sur l'organisation spatiotemporelle des caractéristiques abiotiques et biotiques qui composent les communautés (Croyle 1997).

Ces perturbations sont connues par leurs influences sur l'abondance des organismes et peuvent avoir aussi de graves répercussions sur la structure de la communauté d'organismes dans les cours d'eaux (Croyle 1997, Townsend et al. 1997). Par exemple les crues peuvent agir soit directement par retrait des animaux soit indirectement par la destruction ou la modification de leurs habitats, en produisant immédiatement un changement de l'habitat physique qui affecte la communauté benthique (Townsend et al. 1997). Ainsi, l'augmentation de la température de l'eau peut affecter les organismes et être à l'origine de plusieurs contraintes entraînant parfois certaines adaptations physiologiques. Dans certains cas, quand le stress dépasse le seuil de tolérance, le cycle de vie ou la répartition des espèces peuvent être modifiés. La réduction des niveaux d'eau semble également entraîner une modification du régime alimentaire de certains poissons (Mazumder et al. 2012), et une modification des dates de reproduction de certains poissons comme le gardon (MDDEFP 2013).

Les écosystèmes continentaux sont le siège de diverses sources de perturbation, aussi bien naturelles qu'anthropogéniques. Les peuplements benthiques intègrent ces perturbations et répondent par les fluctuations de leurs paramètres de structure, comme la richesse taxonomique et l'abondance (Occhipinti-Ambrogi et al. 2005). De ce fait les organismes benthiques sont largement utilisés comme des indicateurs des conditions écologiques des écosystèmes marins, côtiers et continentaux (Pearson & Rosenberg 1978).

Pour la faune benthique du Haut Sebou, un changement de peuplement benthique important est révélé par Nechad (2016) en le comparant avec la faune récoltée en 1979 (inventaire exhaustif établi par Dakki en 1979). Ce changement est caractérisé par la diminution de la richesse spécifique et de l'abondance de certains taxons, avec l'apparition et l'installation de plus d'une dizaine de taxon (*Simulium ornatum*, *Simulium pseudoquinum*, *Gammarus gauthieri*, *Phagocata* sp., *Dugesia gonocephala*, *Pisidium personatum*...). Certains sont devenus envahissantes, comme *Gammarus gauthieri*, ou très abondants comme *Simulium pseudoquinum*, signe d'une forte variabilité des conditions environnementales, notamment thermiques. En revanche, les invertébrés autochtones semblent en forte régression comme les Coléoptères Elmidae (*Elmis maugetii* et la disparition totale d'*Elmis atlantis* endémique du moyen Atlas). Et ce qui est alarmant, c'est la disparition presque totale des plécoptères qui sont des bioindicateurs sentinelles ainsi qu'une grande majorité des Trichoptères.

II. Résultats

1. Evolution du peuplement benthique du Haut Sebou sur un profil temporel de plus de 35 ans : effet des changements globaux

Une lecture complète de la littérature scientifique a révélé qu'aucun travail n'a été entrepris sur la surveillance hydroécologique des systèmes fluviaux à long terme au Maroc. Sauf une étude comparative des peuplements benthiques des sources du Haut Sebou entre 1979 et 2015 entamée par Nechad (2016), Nechad et al. (2018) ; et une autre étude qui vise les réponses des macroinvertébrés benthiques (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) aux pressions anthropiques dans un contexte de changement climatique sur le bassin versant de l'Ourika (Haut-Atlas) (Zuedzang et al. 2021). Pourtant, on constate partout des changements dans les populations de poissons et de macroinvertébrés en relation avec les effets du changement climatique et des activités anthropiques (Khalanski et al. 2008, Fayolle-Sanna et al. 2012). Dans cette étude, nous avons ouvert une fenêtre sur les stations du cours central du Haut Sebou-Moyen Atlas dans le but d'analyser et de comparer la dynamique de la faune benthique.

Cette étude comparative consiste à mettre en évidence les changements qualitatifs, quantitatifs, l'apparition ou le déclin de la faune benthique récoltée au cours des années 1981-1985, dans 11 stations du Haut Sebou et celles récoltées dans les mêmes sites, plus de trente-quatre ans après (2015-17). Lors de ce travail de thèse, nous avons consacré les trois premières années au dépouillement des prélèvements et la valorisation des résultats acquis, afin de mieux cerner la succession des cortèges faunistiques du Haut Guigou et de mettre en valeurs les causes d'éventuelles modifications de la faune benthique.

2. Réponses structurelles des peuplements benthiques aux changements long-terme des conditions abiotiques du Haut Sebou

L'analyse de l'ensemble du peuplement récolté par Dakki (1986a, 1987) durant la période 1981-85 (Fig. 64) a permis d'identifier 54 espèces appartenant à 18 familles, où les Trichoptères sont numériquement les plus inventoriés et représentent 48% (26 espèces et 8 familles) de l'échantillon total. Suivi par les Ephéméroptères avec 32% (17 espèces et 7 familles) abondants dans toutes les stations du secteur étudié. Les Coléoptères Elmidae 13% représentés par 7 espèces et enfin les Plécoptères sont minoritaires 7% avec 4 espèces réparties entre deux familles.

Les prélèvements effectués durant notre période de prospection 2015-17 (Fig. 64) ont permis de recenser un total de 33 espèces réparties en 12 familles. Les Ephéméroptères sont numériquement les plus inventoriés en représentant 53% de l'échantillon (17 espèces et 6 familles) récoltés pratiquement dans toutes les stations. Suivi par les Trichoptères 23% (8 espèces et 4 familles seulement) qui constitue le groupe qui a connu une forte régression dans le Haut Sebou. Et à moindre degré les Coléoptères Elmidae 18% (6 espèces) qui sont quasiment absents dans les deux stations d'oued Sebou. La présence des Plécoptères dans notre récolte peut être considéré comme accidentelle (3 individus appartenant à la famille Nemouridae).

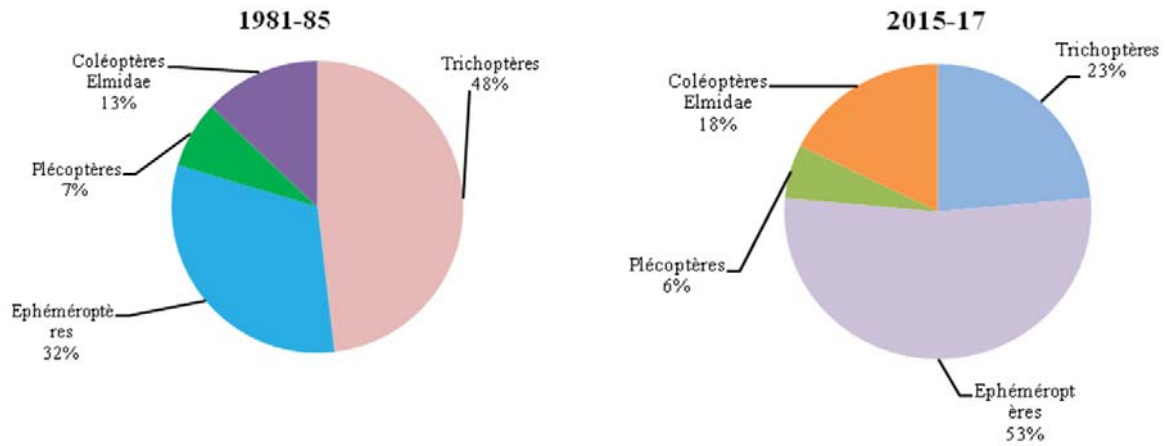


Figure 64. Représentativité de la faune benthique du Haut Sebou pour les deux périodes d'étude (1981-85 et 2015-17).

2.1. Pertes en diversité taxonomique

La richesse taxonomique des peuplements étudiés a connu une forte réduction durant la période 1981-2017, puisqu'elle est passée de 54 espèces et 18 familles à 33 espèces et 12 familles. Soit des pertes globales respectives de 39% et de 33% (Tab. 21, Figs. 65 et 66). Ce bilan résulte de la disparition de 28 espèces, soit 52% de la richesse faunistique originelle, et l'apparition de sept autres dans le réseau étudié.

Dans le détail, les pertes les plus fortes ont touché les Plécoptères (75% des espèces) et les Trichoptères (73%). La famille des Elmidae, déjà peu diversifiée, a perdu 3 espèces de son peuplement original, alors que les Ephéméroptères semblent mieux résister aux changements de milieu, puisque leur richesse est restée la même (la perte de trois espèces est compensée par l'apparition de trois autres espèces) (Fig. 66).

Tableau 21. Estimation des pertes en diversité des peuplements benthiques du Haut Sebou entre 1981-85 et 2015-17.

Groupes	Espèces disparues		Espèces apparues	Pertes moyennes	
	Nombre d'espèces	%		Nombre d'espèces	%
Trichoptères	19	73%	1	18	69%
Ephéméroptères	3	18%	3	0	0%
Coléoptères Elmidae	3	43%	2	1	14%
Plécoptères	3	75%	1	2	75%
Total/Moyenne	28	52%	7	21	39%

L'analyse spatiale des pertes révèle que tous les points d'eau ont enregistré une réduction de leur richesse spécifique après 35 ans (Fig. 65). Les pertes sont particulièrement élevées dans les oueds de moyenne montagne, le bas Guigou (stations S13 et S15) ayant perdu 63-67% de ses espèces, et dans le secteur S9 qui marque une perte de 62,5% de sa richesse taxonomique, dont le débit a fortement baissé en parallèle avec une augmentation de la charge organique.

Les plus faibles pertes de la diversité ont été enregistrées au niveau des sources permanentes TZ et AT (25%) et de la station S8 (28.6%), régulièrement alimentée par la source AA. Ceci est dû en partie à

leur faible richesse originelle, mais elles jouissent aussi d'une certaine stabilité hydrologique. Toutefois, certains taxons y sont à leur limite extrême de survie.

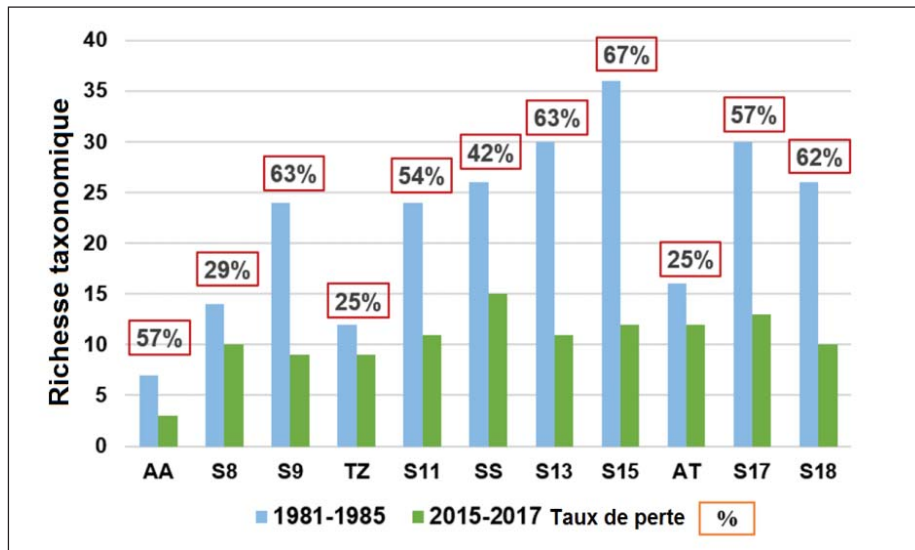


Figure 65. Richesse spécifique au niveau des stations étudiées pour les deux périodes (1981-85) et (2015-17).

2.2. Espèces disparues/ apparues dans le Haut Sebou

La communauté Trichoptérologique constitue en biomasse et en richesse spécifique le groupe qui a connu une forte régression dans le Haut Sebou entre les deux périodes d'étude (Fig. 66), avec des abondances minimales obtenues après 35 ans. Il y a eu une détérioration rapide de la biocénose Trichoptérologique, et l'extinction totale de 4 familles (Hydroptilidae, Polycentropodidae, Leptoceridae, Psychomyiidae) et 19 espèces (*Allotrichia pallicornis*, *Hydroptila campanulata*, *Hydroptila vectis*, *Orthotrichia angustella*, *Oxyethira unidentata*, *Pseudoneureclipsis maroccanus*, *Polycentropus kingi*, *Athripsodes cinereus*, *Setodes acutus*, *Setodes holocercus*, *Setodes punctatus*, *Mesophylax aspersus*, *Paduniella vandeli*, *Tinodes algiricus*, *Tinodes maroccanus*, *Psychomyia pusilla*, *Cheumatopsyche atlantis*, *Hydropsyche lobata*, et *Hydropsyche resmineda*). En 1981-85, ce peuplement occupait la totalité des stations d'étude, il était, notamment abondant dans les cours d'eau moyens et inférieurs du Haut Sebou et la régression n'est détectée que dans les deux sources de montagne (AA et TZ). Ces pertes ont conduit par conséquence à une diminution de la richesse spécifique de toutes les stations en 2015-17. En revanche, *Hydropsyche fezana* et *Hydropsyche pellucidula* sont toujours présentes dans les mêmes stations qu'elles ont occupé en 1981-85 et même avec des abondances beaucoup plus importantes.

Ces deux espèces tolèrent des biotopes variés et une large répartition altitudinale (216 à 1910m), où les larves se trouvent principalement sous les roches exposées à un fort courant, mais deviennent parfois muscicoles comme dans la source SS où elles peuvent atteindre une densité de 80 ind/m².

Dans l'ensemble du réseau Guigou, la communauté des Ephéméroptères était composée de 24 espèces, soit une richesse égale à celle des autres cours d'eau de la région méditerranéenne dont la moitié vivait également en Europe (Nechad et al. 2018).

Les Ephéméroptères sont considérés comme le groupe le plus maintenu dans cette étude comparative (Fig. 66), où il y a eu disparition d'une seule famille (Ephemerellidae) et 3 espèces

(*Habrophlebia fusca*, *Pseudocentroptilum pennulatum*, et *Epgemera glaucops*). Ces taxons avaient une faible abondance et n'occupaient que quelques stations de basse altitude (*Habrophlebia fusca* est exclusive de S9). Cette perte a été récompensée par l'apparition de trois autres Ephéméroptères en 2015-17 (*Nigrobaetis numidicus*, *Choroterpes volubilis* et *Caenis pusilla*) appartenant respectivement aux familles (Baetidae, Leptophlebiidae et Caenidae). Les deux premières espèces sont abondantes exclusivement dans les stations du cours inférieur et *C. pusilla* côtoie les mêmes biotopes que son congénère *Caenis luctuosa*.

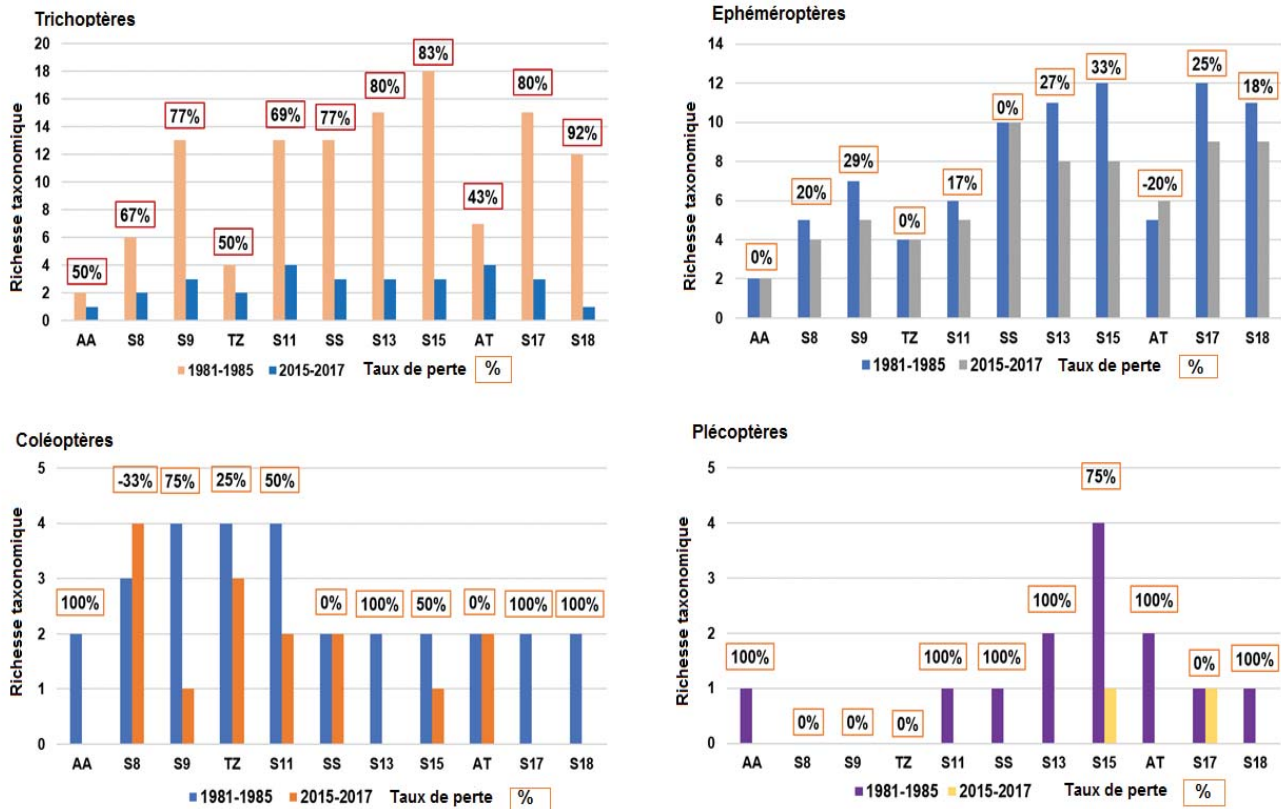


Figure 66. Richesse spécifique et taux de perte en Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères et Coléoptères Elmidae dans les stations d'étude entre (1981-85) et (2015-17).

Les Baetis occupent toutes les stations prospectées au cours des deux périodes d'étude, ils constituent les taxons les plus fréquents et les plus dominants numériquement. Les espèces *Baetis rhodani*, *Baetis pavidus* et *Caenis luctuosa* sont eurytopes et ubiquistes et à tendance thermophile. Elles sont les éléments dominants dans le secteur étudié.

Les Coléoptères sont considérés comme des indicateurs exceptionnels des conditions environnementales et des descripteurs par excellence des changements spatio-temporels des systèmes fluviaux. En 1981-85, les Elmidae occupaient la totalité des stations d'étude (Fig. 66), bien que le nombre d'espèces qui le composaient soit relativement faible (7 espèces), ils présentent un grand intérêt écologique, et sont considérés comme des indicateurs de la biodiversité des écosystèmes aquatiques (Dakki 1987). Les espèces des genres *Elmis*, *Limnius* et *Riolus* présentaient également un intérêt écologique important, en particulier dans la zonation du Haut Sebou. On constate que cette faible diversité de peuplement a été accentuée par la disparition du genre *Riolus* et trois espèces (*Elmis atlantis* (exclusive de la source AA), *Riolus substriatus* et *Riolus villosocostatus*) qui avaient une faible abondance et une restreinte répartition. En revanche, deux nouveaux taxons sont apparus au cours de notre période d'étude, *Elmis aenea* occupe la station froide de haute altitude et le genre *Esolus* qui a apparu dans oued Guigou.

Kamler (1965) a montré que les eaux à forte moyenne thermique journalière, sont plus pauvres en Plécoptères et Ephéméroptères et inversement. Les Plécoptères dominent en espèces et en densité dans les eaux à faible ou à moyenne thermique. Quatre espèces seulement composaient la faune Plécoptérologique du Haut Sebou en 1981-85, ce qui constitue par la suite le groupe le moins diversifié de toutes les stations échantillonnées. Ce peuplement côtoyait les stations de moyennes et basses altitudes et la source froide AA de haute altitude, et ne disparaissait que dans les cours d'eau de haute altitude (Fig. 66). Trois espèces (*Protonemura algerica*, *Eoperla ochracea* et *Perla marginata*) ont totalement disparu et seulement *Protonemura talboti* persiste encore en 2015-17. Un nouveau spécimen *Nemoura* sp. a été prélevé à S17. Ces deux taxons ont été récoltés à S15 et S17 aux premiers stades larvaires, ce qui n'a pas permis leur identification jusqu'au rang spécifique.

Dans l'ensemble du réseau Haut Sebou, ces extinctions ont touché plus les espèces méditerranéennes qui représentent 58% du total des espèces disparues, suivies par les espèces à distribution Paléarctique avec 38% en enfin le corotype Holarctique avec 4% seulement des espèces disparues. Au sein du corotype Méditerranéen, c'est le sous-corotype des endémiques au sens large (73%) répartie entre (sous-corotype Ibéro-Maghrébin (27%), sous-corotype Endémique-Maghrébin (33%) et le sous-corotype Endémique-Marocain (13%) qui a connu la plus forte extinction des espèces et l'emporte sur les sous-corotypes Ouest-Méditerranéen (20%) et Holo-Méditerranéenne (7%).

Toute interprétation des disparitions ou apparitions des peuplements benthiques entre les deux périodes d'étude serait difficile en raison des lacunes importantes dans nos connaissances sur l'écologie de ces espèces. Mais l'hypothèse d'une détérioration de ces populations benthiques suite à une dégradation des conditions abiotiques est présente. Elle est confirmée, en partie, par une masse de changements physico-chimiques dans l'environnement après plus de 35 ans. Ces variations, se traduisent par une augmentation de la température de l'eau, de la charge organique et de la minéralisation de l'eau, ainsi que, par une diminution du taux d'oxygène dissous (voir chapitre II) due à une forte anthropisation et aux changements climatiques.

2.3. Perte en habitats aquatiques, influence sur les peuplements

Parmi les paramètres qui influencent la diversité spécifique des peuplements étudiés, l'habitat aquatique occupe une place majeure, la diversité biologique des rivières est étroitement liée à la qualité et la quantité de l'habitat physique disponible. Dans un écosystème non perturbé, les caractéristiques d'habitat constituent les principaux facteurs qui déterminent la distribution des macroinvertébrés (Hynes 1970, Hellawell 1986). L'insuffisance à pouvoir accueillir et maintenir des peuplements diversifiés résulte principalement des modifications que subit le cours d'eau. Au cours de notre période d'étude, la majorité de ces cours d'eau sont canalisés pour divers aménagements anthropiques, ce qui rend le substrat benthique instable. La végétation rivulaire a beaucoup dégradé au fil des années, elle est désormais quasi rare mais reste plus importante entre juin et juillet, contrairement à la période 1981-85 où elle était constituée d'une ripisylve herbacée et boisée (Dakki 1986a). Cette végétation rivulaire remplissait de nombreuses fonctions écologiques favorisant la vie aquatique (rétention des sédiments, stabilisation des berges, apport d'éléments nutritifs...), en plus de préserver la faune aquatique lors des crues. La station AA a connu une forte destruction de ses habitats suite à un aménagement de la source (disparition de 30% de son substrat minéral).

Bien que le substrat benthique soit diversifié et adéquat pour accueillir et maintenir les peuplements, l'ensablement et l'envasement sont particulièrement importants surtout dans les stations de moyen et basse altitude SS, S15 et S18. Ils augmentent surtout en été et la qualité de l'habitat connaît une nette régression en juillet. Les stations S13, S11, et S17 connaissent des épisodes des crues intenses résultent généralement de fortes averses localisées dans l'espace, qui impactent de manière récurrente les habitats aquatiques et la faune en entraînant une destruction des biotopes et par la suite une disparition mécanique des taxas. Ainsi, la présence du barrage Allal El Fassi semble accentuer cette perte de biodiversité à S18.

3. Etude biotypologique des cours d'eau du Haut Sebou

La typologie des eaux courantes réalisée sur des bases écologiques serait l'outil principal de la gestion rationnelle des hydrosystèmes qui va permettre d'évaluer l'état et les potentialités des écosystèmes et d'avoir des modèles fonctionnels pour en prévoir leur évolution. En effet, la typologie biologique suppose que les biocénoses faunistique et/ou floristique sont bien structurées et à chaque ensemble de conditions écologiques données correspond une structure et un fonctionnement propre. Par conséquent, l'utilisation de la biotypologie en tant qu'outil de gestion présume la mise en évidence des facteurs structurants par comparaison de systèmes situés dans des conditions différentes (Gibon et al. 1995).

Afin d'étudier la structure spatiale de quatre ordres faunistiques (Ephéméroptères, Plécoptères, Trichopères et Coléoptères Elmidae) et les affinités cénotiques entre leurs peuplements dans le réseau hydrographique du Haut Sebou, nous avons utilisé l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC). Son utilisation par de nombreux auteurs (Verneaux & Rezzouk 1974, Dakki 1979-1987, Guidicilli & Dakki 1980, El Agbani 1984, Bouzidi & Giudicelli 1994, Berrahou 1995, El Alami 2002, Bebbi et al. 2015) montre la pertinence et l'efficacité de cette méthode en ce qui concerne la typologie et l'organisation des cours d'eau en fonction des ressemblances entre leurs peuplements et la réaction de leurs espèces vis-à-vis aux facteurs du milieu.

Outre ces études, le présent travail s'inscrit dans la continuité des travaux précédemment cités et se veut également une première tentative biotypologique comparative pour le réseau hydrographique Haut Sebou. Dakki (1979) était le premier à proposer une biotypologie concernant le cours central du Haut Sebou en Afrique du Nord, basée sur les quatre ordres d'insectes (Ephéméroptères, Plécoptères, Trichopères et Coléoptères Elmidae).

Les tableaux que nous avons utilisé dans les analyses biotypologiques et la comparaison sont des matrices binaires à double entrée de « ni espèces x nj stations » où chaque espèce est représentée dans chaque station par son abondance maximale obtenue lors des campagnes d'échantillonnage (nombre d'individus dans les six prélèvements à l'aide d'un filet Surber d'une surface de 250 cm²) ; sans tenir compte de la saison où elle a été relevée (El Alami & Dakki 1998, El Alami 2002, El Hamoumi et al. 2007). En effet, cette abondance maximale exprime l'optimum écologique de ce taxon dans les différents biotopes qu'il côtoie.

En outre, cette méthode permet de traiter l'ensemble du peuplement du réseau hydrographique étudié et d'atténuer le problème des irrégularités des campagnes de prélèvement et la rigueur de la méthode utilisée dans la collecte de la faune. Ainsi, cette méthode permet de déceler l'influence des paramètres mésologiques et morpho-métriques sur la répartition des peuplements et les différences qui existent entre ces peuplements dans la région d'étude. Nous avons effectué deux analyses biotypologiques distinctes par le biais de deux matrices différentes, la première comprend « 54 espèces x 11 stations » pour la période

1981-85 et la deuxième « 33 espèces x 11 stations » pour la période 2015-17. Puis, nous avons réalisé une analyse combinée globale pour l'ensemble des stations prospectées entre des deux dates par le biais d'une matrice tertiaire « espèces x stations x périodes » « 61 espèces x 11 stations x 2 périodes ».

3.1. Structure biotypologique du Haut Sebou étudiée en 1981-85

L'analyse de la matrice binaire « 54 espèces x 11 stations » (Tab.22) par l'AFC montre que les deux premiers axes cumulent 44,7 % de l'inertie totale du nuage des points, avec 23,4% pour l'axe F1 et 21,3% pour l'axe F2 (Fig. 67). Dans le plan F1-F2, les structures nuages-espèces et nuages-stations ont montré trois stations très particulières (les trois sources : AT, TZ et AA) isolées vers les extrémités du plan F1-F2 à cause des espèces exclusives (*Elmis atlantis* caractéristique de AA) et (*Agapetus dolichopterus* exclusive de TZ), emportant le maximum d'inertie et cachant l'essentiel de l'information de cette structure biotypologique.

Une seconde analyse s'est avérée nécessaire, où les trois sources ont été considérées en éléments supplémentaires, ce qui a permis d'obtenir des structures de nuages de points très satisfaisantes et suffisamment bien visualisée.

Le plan factoriel F1-F2 (Fig. 68) illustre une organisation générale des stations et des espèces correspondre à une courbe en « V » où les stations de haute altitude se situent vers la gauche du plan et celles de basse et moyenne altitude vers la droite. Celui-ci reproduit, grosso-modo, leur succession amont-aval, et le facteur altitude semble donc se manifester suivant l'axe F1. L'examen de la projection des modalités des variables du milieu sur le plan F1-F2 des stations (Fig. 69), permet d'identifier les paramètres mésologiques qui ont contribué à la dispersion des espèces dans la structure biotypologique 1981-85. L'axe F1 (38,4%) s'explique principalement par l'altitude, la moyenne géométrique des maxima thermique extrêmes, la conductivité électrique, la vitesse moyenne du courant et l'oxygène dissous. L'axe F2 (20,4%) est essentiellement lié à la composante végétale périlithon.

Le tracé des stations d'étude représentées dans le plan F1-F2 est marqué par des inversions de la succession amont-aval qui intéressent surtout SS, S13 et S15 (influence de la source chaude Skhounate sur les stations qui en dépendent S13 et S15 ; ces dernières reçoivent, par dérive, une faune particulière liée à cette source). Dans la nature, la station S13 est en aval de la source chaude SS, alors qu'elle s'est localisée à son amont dans la répartition nuages-stations, ceci est expliqué par la valeur élevée de la moyenne géométrique des maxima thermiques extrêmes enregistrée à SS (17,5°C) par rapport à S13 (16,9°C).

La structure biotypologique dans le plan F1-F2 (Fig. 68) discrimine la répartition des peuplements qui reflètent par leur richesse spécifique et l'abondance des taxons, les similarités des biotopes qu'ils colonisent (Dakki 1979, 1987).

Tableau 22. Matrice des données pour l'établissement d'une biotypologie globale du Haut Sebou en 1981-85 (chaque espèce est représentée dans chaque station par sa densité maximale rapportée à 6 prélèvements de 250 cm², soit à une surface de 0,15 m²).

Species \ stations	Code	AA	S8	S9	TZ	S11	SS	S13	S15	AT	S17	S18
Trichoptera												
<i>Rhyacophila munda</i> McLachlan, 1862	Rmu	12	8	7	4	60	2	9	24	1	2	0
<i>Agapetus dolichopterus</i> Giudicelli & Dakki, 1980	Ado	0	0	0	496	0	0	0	0	0	0	0
<i>Agapetus incertulus</i> McLachlan, 1884	Ain	0	22	5	0	21	0	0	0	8	0	0
<i>Orthotrichia angustella</i> McLachlan, 1865	Oan	0	0	61	0	1	56	5	1	0	0	0
<i>Oxyethira unidentata</i> McLachlan, 1884	Oun	0	0	0	0	0	3	0	4	1	0	0
<i>Hydroptila campanulata</i> Morton, 1896	Hca	0	0	0	0	1	5	10	6	0	8	10
<i>Hydroptila vectis</i> Curtis, 1834	Hve	0	0	0	0	139	6	7	8	5	1	6
<i>Allotrichia pallicornis</i> Eaton, 1873	Apa	0	0	3	0	27	0	0	7	0	1	0
<i>Hydropsyche fezana</i> Navás, 1935	Hfe	0	4	28	1	161	0	0	0	3	0	0
<i>Hydropsyche lobata</i> McLachlan, 1884	Hlo	0	0	0	0	0	19	36	9	0	31	10
<i>Hydropsyche maroccana</i> Navás, 1936	Hma	0	3	274	0	349	74	50	40	0	39	17
<i>Hydropsyche pellucidula</i> Curtis, 1834	Hpe	0	0	2	0	1	21	45	40	3	1	0
<i>Hydropsyche resmineda</i> Malicky, 1977	Hre	0	0	0	0	0	0	1	2	0	40	62
<i>Cheumatopsyche atlantis</i> Navás, 1930	Cat	0	0	0	0	0	2	9	5	0	6	9
<i>Pseudoneureclipsis maroccanus</i> Dakki & Malicky, 1980	Psm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8	1
<i>Polycentropus kingi</i> McLachlan, 1881	Pki	0	0	3	0	0	0	0	0	0	8	0
<i>Psychomyia pusilla</i> Fabricius, 1781	Ppu	0	0	10	0	72	56	22	1	0	6	32
<i>Paduniella vandeli</i> Décamps, 1965	Pva	0	0	1	0	0	8	18	1	0	1	64
<i>Tinodes algiricus</i> McLachlan, 1880	Tal	0	0	8	0	2	0	1	1	3	0	0
<i>Tinodes maroccanus</i> Mosely, 1938	Tma	0	0	0	0	0	1	4	1	0	0	0
<i>Stenophylax necteroibius</i> McLachlan, 1875	Sne	124	28	25	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Mesophylax aspersus</i> Rambur, 1842	Mas	0	0	0	0	2	2	2	1	0	1	0
<i>Athripsodes cinereus</i> Curtis, 1834	Aci	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Setodes acutus</i> Navás, 1936	Sac	0	0	0	0	0	0	3	6	0	2	2
<i>Setodes holocercus</i> Navás, 1923	Sho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
<i>Setodes punctatus</i> Fabricius, 1793	Spu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Ephemeroptera												
<i>Baetis maurus</i> Kimmins, 1938	Bma	0	5	737	38	293	18	420	41	10	5	0
<i>Labiobaetis neglectus</i> (Navás, 1913)	Lne	0	0	0	0	0	0	8	10	0	35	45
<i>Baetis pavidus</i> Grandi, 1949	Bpa	0	6	168	0	176	500	198	453	3	159	166
<i>Baetis rhodani</i> Pictet, 1984	Brh	13	514	436	350	386	22	139	98	32	10	0
<i>Centroptilum pennulatum</i> Eaton, 1870	Cpe	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1
<i>Cloeon dipterum</i> Linné, 1761	Cdi	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Procleon</i> sp.	Psp	0	0	0	0	0	8	1	0	1	0	0
<i>Oligoneuriella skoura</i> Dakki & Giudicelli, 1980	Osk	0	0	0	0	0	85	39	51	0	25	19
<i>Oligoneuriopsis skhounate</i> Dakki & Giudicelli 1980	Oskh	0	0	0	0	0	116	4	23	0	4	42
<i>Rhitrogena</i> sp.	Rsp	0	0	0	0	0	0	1	36	0	8	10
<i>Ecdyonurus ifranensis</i> Vitte & Thomas, 1988	Eif	0	5	63	6	7	0	0	0	0	0	0
<i>Ecdyonurus rothschildi</i> Navas, 1929	Ero	0	0	0	0	2	36	13	74	0	31	14
<i>Caenis luctuosa</i> Burmeister, 1839	Clu	6	9	130	1	96	34	205	142	3	58	121
<i>Choroterpes atlas</i> Soldan et Thomas 1983	Cal	0	0	0	0	0	3	0	1	0	22	3
<i>Habrophlebia fusca</i> (Curtis, 1834)	Hfu	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ephoron virgo</i> Olivier, 1791	Evi	0	0	0	0	0	18	11	0	0	3	12
<i>Ephemera glaucops</i> Pictet, 1843	Egl	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1
Coleoptera Elmidae												
<i>Elmis atlantis</i> Alluaud, 1922	Eat	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elmis maugetii</i> (Reiche, 1879)	Ema	0	30	30	3	21	0	0	0	0	0	0
<i>Limnius intermedius</i> Fairmaire, 1881	Lin	0	0	0	0	0	23	2	2	9	2	6
<i>Limnius opacus</i> P. W. J. Müller, 1806	Lop	1	202	47	2	6	0	0	0	0	0	0
<i>Riolus substriatus</i> Grouvelle, 1889	Rsu	0	0	122	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Riolus villosocostatus</i> Reiche, 1879	Rvi	0	0	0	0	0	1	12	14	0	3	4
<i>Oulimnius fuscipes</i> (Reiche, 1879)	Ofu	0	9	3	165	5	0	0	0	28	0	0
Plecoptera												
<i>Protonemura algirica</i> (Aubert, 1956)	Pal	0	0	0	0	0	0	6	3	99	0	0
<i>Protonemura talboti</i> (Navás, 1929)	Pta	46	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Eoperla ochracea</i> (Kolbe, 1885)	Eoc	0	0	0	0	0	1	2	7	2	22	9
<i>Perla marginata</i> (Panzer, 1799)	Pma	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0

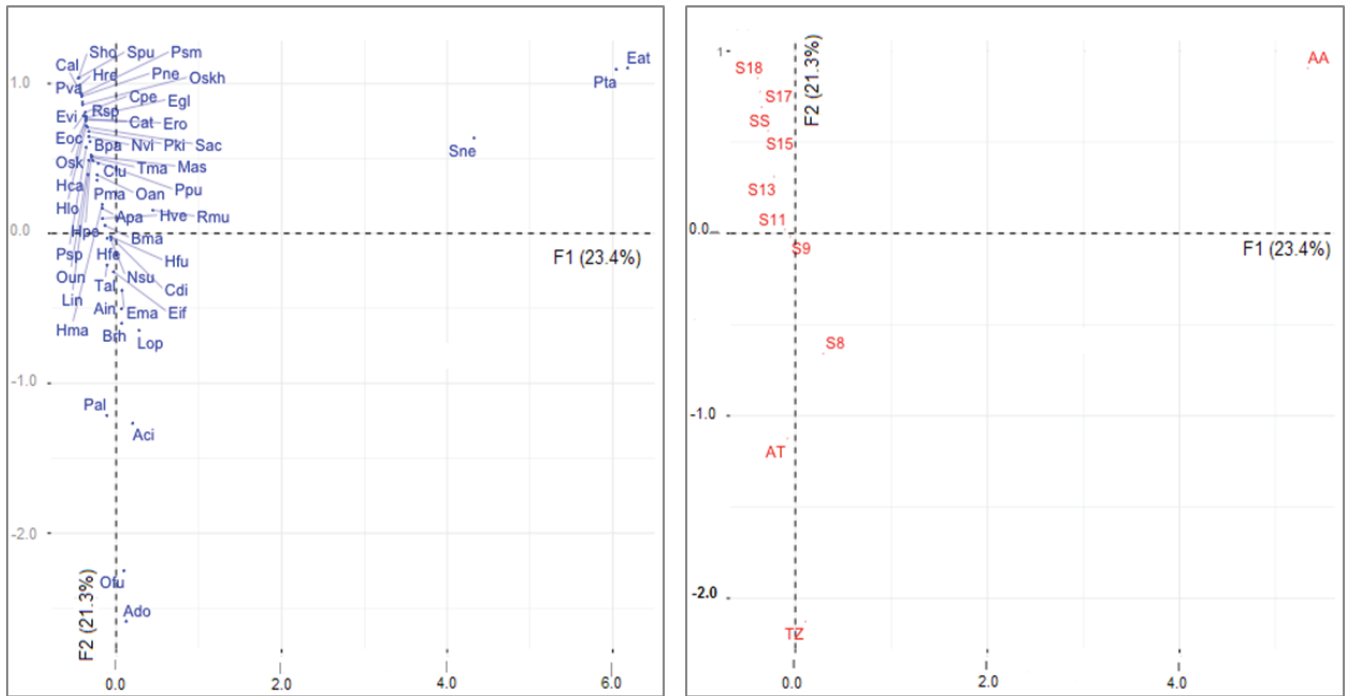


Figure 67. Typologie des peuplements du Haut Sebou en 1981-85 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC.

3.2. Caractéristiques des assemblages originaux (1981-1985)

L'analyse des données de 1981-85 permet de retrouver les types de peuplements mis en évidence par Dakki (1986a, 1987) pour l'ensemble du bassin versant du Haut Sebou ; lesquels sont résumés ci-après, tout en précisant qu'ils sont spécifiques à cette étude, qui est restreinte à 11 stations. Dans cette structure biotypologique (Fig. 68), les espèces se remplacent progressivement les unes les autres le long d'un " continuum " révélé par le plan F1-F2 ; pour caractériser cette distribution, nous avons relié les stations selon leur répartition spatiale réelle (succession le long du fleuve), sans inclure les sources. L'approche comparative consiste à scruter les populations originales (de 1981-1985) et à décrire les changements qu'elles ont subis entre cette date et 2015-2017.

• *Peuplement des sources fraîches et à écoulement permanent et rapide*

Les sources sont connues pour leurs peuplements rhéophiles et psychrothermes, riches en endémiques. Lesquels sont responsables de leur isolement dans la structure biotypologique (Fig. 67). Elles se caractérisent par une grande similarité de leurs caractères mésologiques. La température et l'altitude nous a permis de distinguer trois catégories de peuplements qui sont généralement de faible richesse spécifique dans le Haut Sebou ; dont le plus riche compte 16 espèces. La source froide AA de haute montagne à courant rapide, à faible minéralisation et riche en bryophytes, correspond aux meilleures préférences d'*Elmis atlantis* (exclusive de ce biotope) de *Protonemura talboti* et de *Stenophylax necteroibius*. La source tempérée de haute altitude TZ à écoulement rapide, s'individualise par une espèce exclusive *Agapetus dolichopterus* en plus d'*Oulimnius fuscipes*. Et enfin, la source chaude de moyenne altitude AT caractérisée par un écoulement très rapide et un faible débit connaît la prédominance de *Protonemura algirica* et *Oulimnius fuscipes*.

D'autres espèces eurythermes et rhéophiles, inféodées aux cours d'eau de montagne peuvent abonder dans ces habitats : *Baetis rhodani*, *Baetis maurus*, *Oulimnius fuscipes*, *Stenophylax necteroibius*, *Agapetus incertulus*, *Rhyacophila munda*, etc. ; ceci explique que la source AT, plus chaude que les deux autres, renferme des peuplements de moyenne montagne, sans oublier que cette source est en élément supplémentaire dans l'analyse.

- **Peuplements de ruisseaux hémi-eurythermes de haute altitude**

Deux types de faciès peuvent être distingués :

-Faciès hémi-eurytherme, à écoulement lent et à hiver très froid (S8): le peuplement de cette station est sous l'influence de la source AA. A ce niveau on assiste à une régression des taxons les plus thermophiles et à la prolifération de formes rhéophiles.

-Faciès hémi-eurytherme et rhéophile soumis à des perturbations légères (S9 et S11) caractérisés par des eaux fraîches à conductivité faible à moyenne et à courant assez fort.

Le benthos de ces trois stations est peu diversifié et riche en formes plus ou moins rhéophiles : *Baetis maurus*, *Baetis rhodani*, *Limnius opacus*, *Hydropsyche fezana*, *Riolus substriatus*, *Ecdyonurus ifranensis*, *Rhyacophila munda*, *Elmis maugetii*, *Stenophylax necteroibius*, *Allotrichia pallicornis*, *Agapetus incertulus*, *Habrophlebia fusca*... Dans le Haut Sebou, ces peuplements sont enrichis par des formes thermophiles, à large distribution (*Hydropsyche maroccana*, *Baetis pavidus*, *Hydroptila vectis*, *Caenis luctuosa*, *Psychomyia pusilla*, *Orthotrichia angustella*, etc.), dont la montée en altitude est favorisée par le réchauffement estival des eaux, suite à la baisse des débits (Dakki 1986a, 1987).

- **Peuplement de rivières eurythermes et rapides de moyenne montagne**

Il s'agit du cours inférieur du Guigou en aval de la source chaude SS (17-20°C), on distingue deux types de faciès :

-Faciès hémi-sténotherme de rivière à hiver chaud (SS) : se caractérise par des eaux chaudes, moyennement oxygénées et relativement très minéralisées.

-Faciès hémi-sténotherme ou hémi-eurytherme de rivière à hiver tempéré (S13 et S15), traversant un terrain très accidenté où il a creusé des vallées profondes et abritées ; caractérisées par un courant rapide, un fort débit, un substrat grossier, une bonne minéralisation de l'eau et une température estivale élevée.

Ces peuplements, relativement riches (26 à 36 espèces par station), sont composés de taxons plus ou moins thermophiles et rhéophiles (*Baetis pavidus*, *Baetis maurus*, *Baetis rhodani*, *Oligoneuriopsis skhounate*, *Oligoneuriella skoura*, *Hydropsyche maroccana*, *Ecdyonurus rothschildi*, *Hydropsyche pellucidula*, *Hydropsyche lobata*, *Rhitrogena* sp., *Rhyacophila munda*, *Orthotrichia angustella*, etc.). Bien que les trois stations soient en moyenne montagne, certaines de ces espèces sont particulièrement thermophiles, occupant habituellement des rivières de basse altitude. L'abondance de ces taxons (i.e. *O. skhounate*, *O. skoura* ...) dans la source SS explique l'inversion observée dans le gradient amont-aval, manifestée par le positionnement de SS en aval de S13, voire de S15.

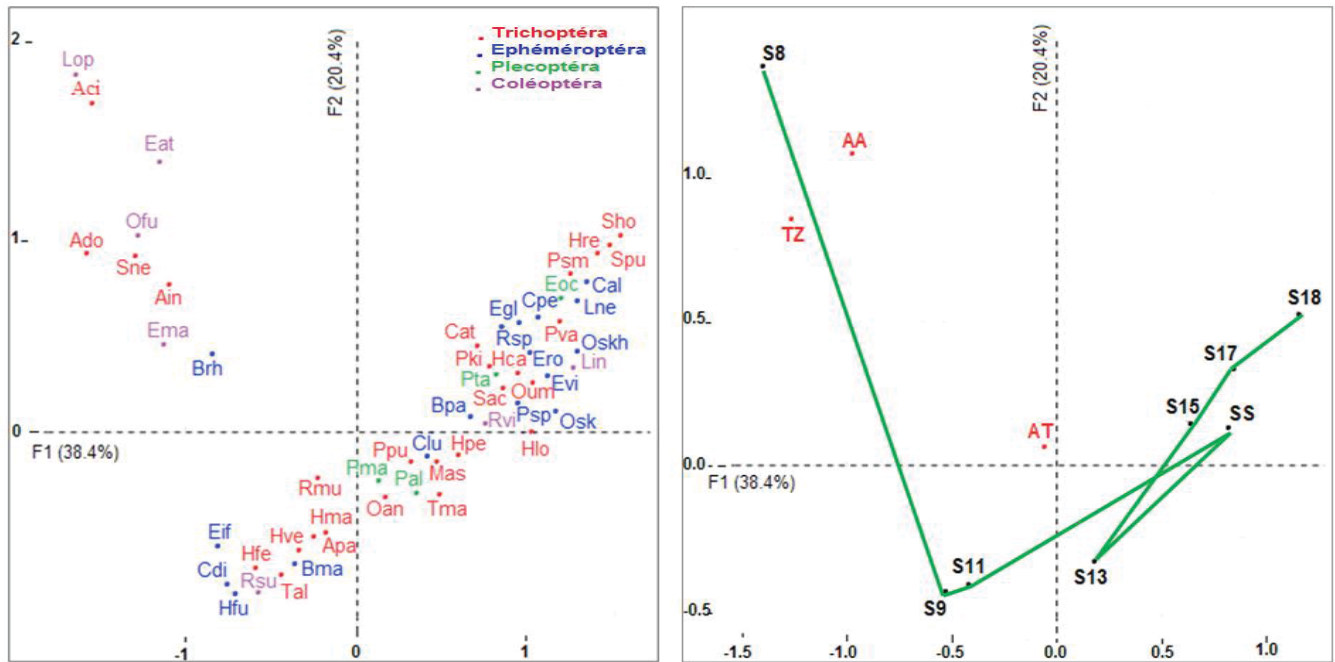


Figure 68. Typologie des peuplements du Haut Sebou en 1981-85 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC (Les sources AA, TZ et AT projetées en éléments supplémentaires).

Par ailleurs, ces peuplements contiennent de nombreuses formes lénitophiles (*Caenis luctuosa*, *Psychomyia pusilla*, *Paduniella vandeli*, *Labiobaetis neglectus*, *Ephoron virgo*, *Hydroptila campanulata*, etc.), dont la présence atteste de la forte baisse du débit estival, responsable de la création d'habitats à écoulement lent.

• **Peuplements de rivières chaudes de basse altitude**

Ils caractérisent les stations les plus basses du cours central (S17 et S18) caractérisées par une minéralisation moyenne de l'eau, un fort débit, un courant rapide et des températures estivale et hivernale élevées. Leur richesse est similaire à celle relevée en moyenne montagne (respectivement 30 et 25 espèces). Ces peuplements sont composés de taxons thermophiles (*Baetis pavidus*, *Caenis luctuosa*, *Paduniella vandeli*, *Hydropsyche resmineda*, *Labiobaetis neglectus*, *Oligoneuriopsis skhounate*, *Hydropsyche maroccana*, *Psychomyia pusilla*, *Ecdyonurus rothschildi*, *Hydropsyche lobata*, *Setodes punctatus*, *Oligoneuriella skoura*, *Choroterpes atlas*, *Eoperla ochracea*, *Ephoron virgo* ...).

Ces espèces sont, dans leur majorité, présentes en moyenne montagne, avec leur abondance maximal, mais ces peuplements se distinguent par une quasi-absence d'espèces d'eau fraîche, qui ne descendent qu'accidentellement en dessous de la moyenne montagne.

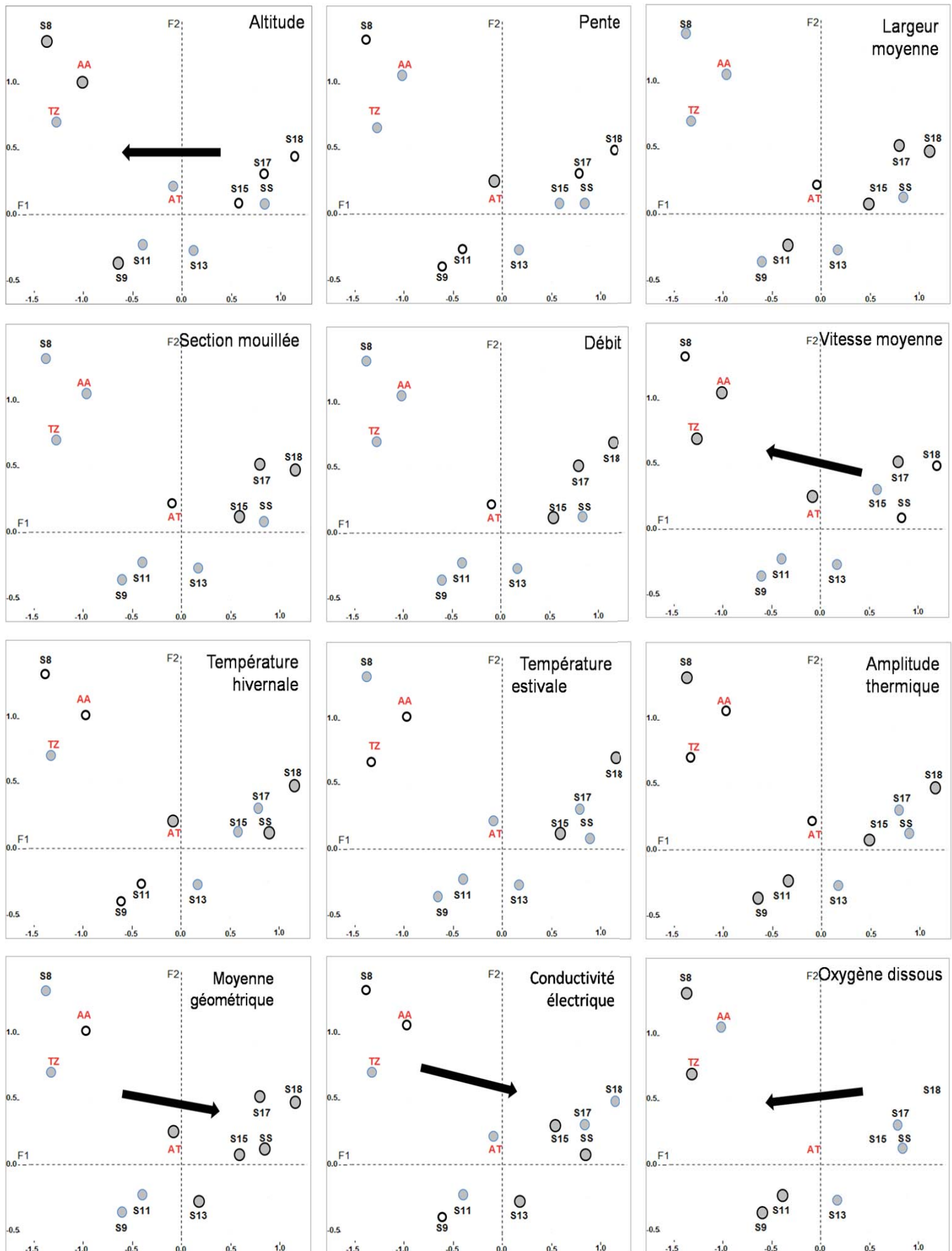


Figure 69. Interprétation de la structure biotypologique 1981-85 : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

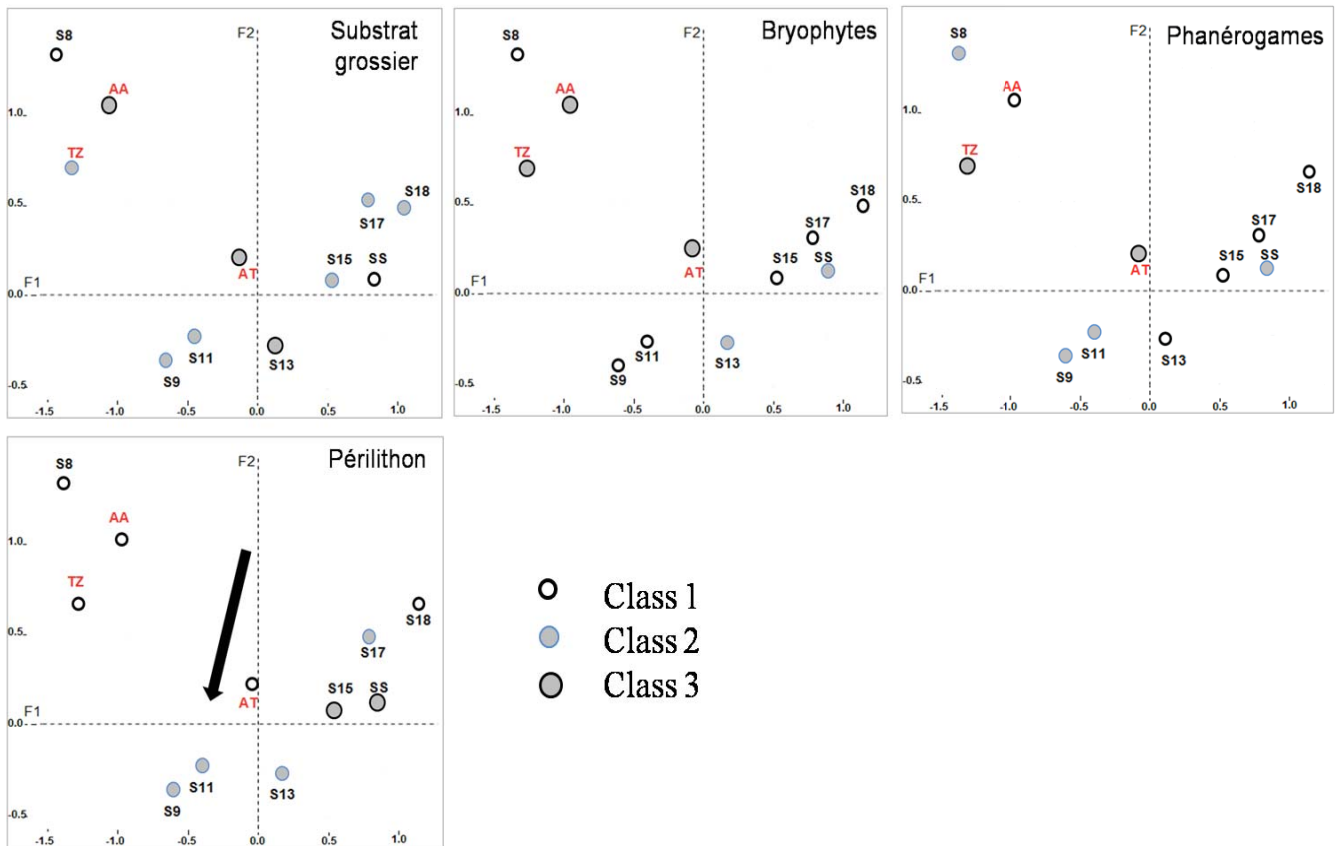


Figure 69 (suite). Interprétation de la structure biotypologique 1981-85 : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

3.3. Structure biotypologique du Haut Sebou en 2015-17

La matrice binaire utilisée pour l'Analyse Factorielle des correspondances du Haut Sebou en 2015-17 (Tab. 23) est composée de 33 espèces et 11 stations. Les deux premiers axes cumulent 53,5% de l'information contenue dans la matrice des données (32,9 % pour F1 et 20,6 % pour F2). Le plan factoriel F1-F2 des nuages-stations et nuages-espèces (Fig. 70), montre que l'axe F1 exprime un gradient thermique, et oppose les stations de haute altitude et les sources (vers la gauche) des autres stations du cours moyen et inférieur (vers la droite). Le facteur altitude semble donc se manifester suivant cet axe. L'axe F2 sépare d'avantage les stations faiblement oxygénées en haut, des stations moyennement oxygénées en bas. La station S17 de basse altitude caractéristique par ses espèces exclusives se détache des autres stations et s'isole en bas du plan.

Dans cette optique, nous avons procédé à la recherche des relations qui pourraient exister entre les variables du milieu, et l'ordination des peuplements suivant chacun des deux premiers axes factoriels de l'analyse. Pour ce faire, chacun de ces paramètres retenus dans l'analyse mésologique est représenté graphiquement dans le plan F1-F2, par projection de ses modalités sur le nuage-stations (Fig. 71).

L'étude de ces représentations graphiques montre que l'ordination des espèces et des stations s'expliquent essentiellement par les éléments suivants :

Six paramètres mésologiques et physico-chimiques semblent contribuer à l'explication de l'axe F1 : la composante thermique exprimée par, la température hivernale, la température estivale, la moyenne géométrique des maxima thermiques extrême et la conductivité électrique de l'eau. L'altitude et les

bryophytes varient dans le sens inverse des variables précédentes. L'axe F2 s'exprime essentiellement par l'oxygénation de l'eau.

Tableau 23. Matrice des données pour l'établissement d'une biotypologie globale du Haut Sebou en 2015-17 (chaque espèce est représentée dans chaque station par sa densité maximale rapportée à 6 prélèvements de 250 cm², soit à une surface de 0,15 m²).

Espèces \ stations	Code	AA	S8	S9	TZ	S11	SS	S13	S15	AT	S17	S18
Trichoptères												
<i>Rhyacophila munda</i>	Rmu	0	0	0	3	11	0	7	0	8	1	0
<i>Agapetus dolichopterus</i>	Ado	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0
<i>Agapetus incertulus</i>	Ain	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0
<i>Agapetus sp.</i>	Asp	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
<i>Hydropsyche fezana</i>	Hfe	0	18	12	0	62	59	0	0	0	0	0
<i>Hydropsyche maroccana</i>	Hma	0	0	48	0	20	54	12	47	34	87	97
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	Hpe	0	0	3	0	0	214	86	53	78	20	0
<i>Stenophylax necteroibius</i>	Sne	11	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ephéméroptères												
<i>Baetis maurus</i>	Bma	0	0	0	15	155	13	0	0	5	0	0
<i>Labiobaetis neglectus</i>	Lne	0	0	0	0	0	8	5	0	0	0	59
<i>Baetis pavidus</i>	Bpa	21	55	47	24	127	129	129	83	89	42	102
<i>Baetis rhodani</i>	Brh	28	644	119	93	165	50	17	35	98	0	0
<i>Cloeon dipterum</i>	Cdi	0	0	0	0	17	10	8	8	17	0	0
<i>Nigrobaetis numidicus</i>	Nnu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Proclon sp.</i>	Psp	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Oligoneuriopsis skhounate</i>	Oskh	0	0	0	0	0	12	0	7	0	18	24
<i>Oligoneuriella skoura</i>	Osk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8
<i>Rhitrogena sp.</i>	Rsp	0	0	0	0	0	0	0	5	7	0	0
<i>Ecdyonurus ifranensis</i>	Eif	0	32	16	6	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	Ero	0	32	16	0	0	20	18	21	0	226	21
<i>Caenis luctuosa</i>	Clu	0	0	25	0	3	52	18	18	9	31	33
<i>Caenis pusilla</i>	Cpu	0	0	0	0	0	23	14	9	0	3	8
<i>Choroterpes atlas</i>	Cat	0	0	0	0	0	0	3	0	0	35	0
<i>Choroterpes (Ch.) volubilis</i>	Cvo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
<i>Ephoron virgo</i>	Evi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9
Plécoptères												
<i>Nemoura sp.</i>	Nsp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Protonemura talboti</i>	Pta	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Coléoptères Elmidae												
<i>Elmis maugetii</i>	Ema	0	33	0	7	9	0	0	0	0	0	0
<i>Esolus sp.</i>	Esp	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Limnius opacus</i>	Lop	0	84	11	3	1	2	0	0	0	0	0
<i>Elmis aenea</i>	Eae	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Limnius intermedius</i>	Lin	0	0	0	0	0	7	0	0	3	0	0
<i>Oulimnius fuscipes</i>	Ofu	0	7	0	5	0	0	0	0	3	0	0

Le gradient amont-aval est marqué par deux inversions dans la structure biotypologique 2015-17 (Fig. 70), l'une concernant le cours supérieur de la rivière (S9 et S11) et l'autre concerne le cours inférieur (S17 et S18). Dans le plan F1-F2, la station S9 passe en aval de S11, cette inversion s'explique essentiellement par les faibles valeurs de la température hivernale, estivale et la moyenne géométrique des maximas thermiques (7,5°C 21,3°C 12,7°C) enregistrées en S9 qu'à S11 (11,2°C 21,8°C 15,6°C). Ainsi la station S17 passe en aval de S18 dans le plan F1-F2, cette inversion est expliquée aussi par les faibles valeurs de la température hivernale et estivale enregistrées en S17 (13,7°C et 23,8°C) par rapport à celles

obtenues en S18 (15,9°C et 26,3°C). Aussi, la conductivité électrique semble-elle jouer un rôle dans cette inversion ; la valeur minimale est enregistrée en S17 (623 $\mu\text{s}/\text{cm}$) par rapport à S18 (990 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

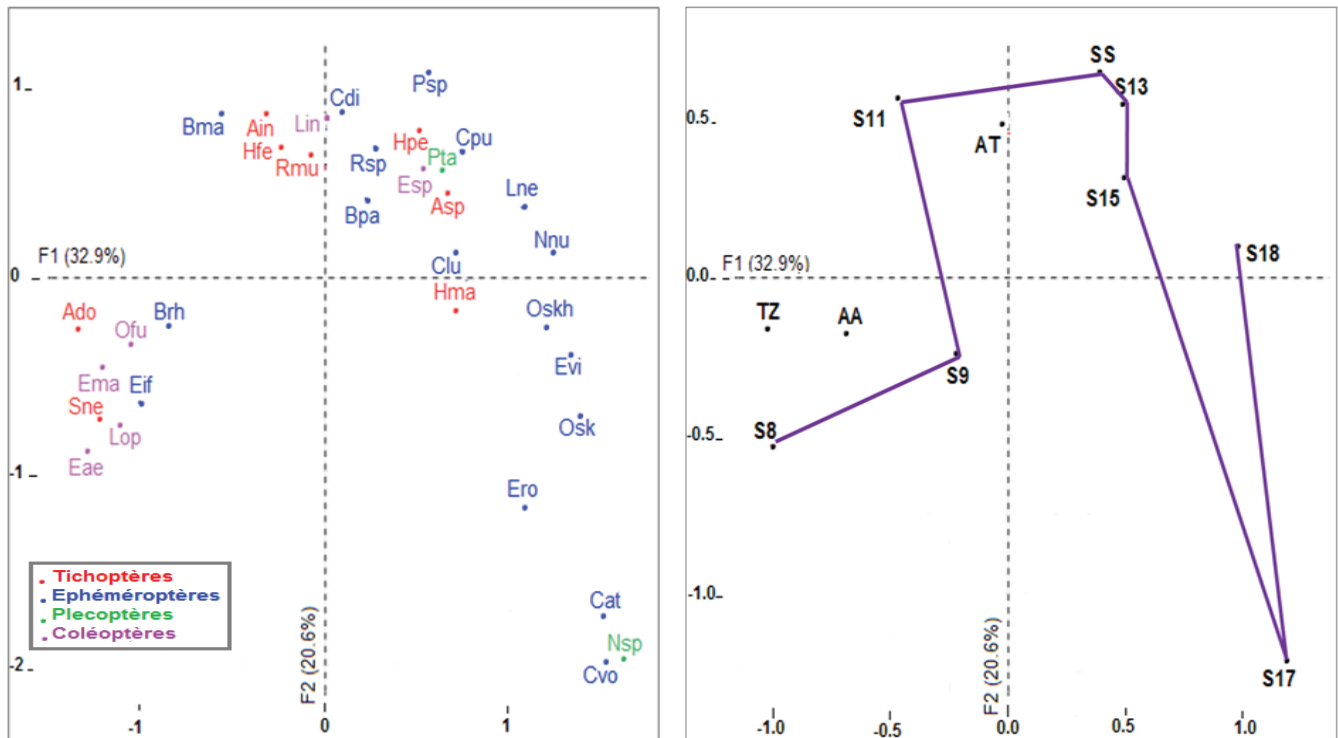


Figure 70. Typologie des peuplements du Haut Sebou en 2015-17 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC.

3.4. Caractéristiques des assemblages modifiés (2015-2017)

L'examen du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC révèle des modifications profondes de la composition des peuplements au cours de 35 dernières années. Si la succession amont-aval est toujours exprimée par l'analyse, le continuum est moins marqué avec les nouveaux peuplements, bien appauvris.

Sur le plan méthodologique, les nouvelles affinités établies entre les stations sont examinées ici en regard de la typologie établie pour les peuplements originaux, dans le sens que nous focaliserons davantage sur les changements et leur explication que sur la composition des peuplements modifiés et leurs affinités.

• **Modification des peuplements des sources fraîches**

C'est dans ces peuplements que l'on enregistre les pertes les plus drastiques, puisque leur richesse spécifique, naturellement très faible, se trouve réduite de 25 à 57%. Dans la source AA, ces pertes sont liées à son aménagement, qui y a détruit les habitats naturels, alors que dans les sources TZ et AT, elles sont dues aux modifications écologiques (pollution organique et détournement des eaux de la source). Les espèces exclusives des sources AA (*E. atlantis* et *P. talboti*) et AT (*P. algerica*) ont disparu et *A. dolichopterus* n'est plus qu'à 7.5% de son abondance originale dans TZ, tout comme deux autres taxons très préférants de ces sources (*O. fuscipes* et *S. necteroibius*). Plusieurs espèces qui avaient une faible abondance dans ces milieux, ont également disparu. Au contraire, on remarquera l'apparition ou l'expansion d'espèces avides de matière organique et plus ou moins thermophiles (*B. pavidus*, *H. pellucidula*, *H. maroccana*, etc.), attestant d'une certaine pollution organique et d'un léger réchauffement des eaux.

Dans la structure typologique de 2015-17, les peuplements de ces sources ne manifestent guère de particularités, vu qu'ils ont perdu leurs originalités faunistiques et se rangent dans le gradient amont-aval selon leur température (source AT) ou leur degré de dégradation (source AA).

- **Modification des peuplements de ruisseaux de haute altitude**

Ces peuplements ont également perdu 29 à 63% de leurs peuplements originels. Le plus faible taux de perte est enregistré à S8, qui continue de recevoir les eaux de la source AA, alors que les stations S9 et S11, dont le débit se trouve à un niveau très bas (en plus de la pollution de S9), ne comptent plus que 9 et 11 espèces respectivement. Les pertes ont touché les formes préférants les cours supérieurs (*Baetis maurus*, *Riolus substriatus*, *Ecdyonurus ifranensis*, *Rhyacophila munda*, *Elmis maugetii*, *Allotrichia pallicornis*, *Agapetus incertulus*, *Athripsodes cinereus*, *Habrophlebia fusca*, etc.), alors que quelques taxons thermophiles, tels que *Ecdyonurus rothschildi* et *Baetis pavidus*, continuent de gagner en abondance.

- **Modification des peuplements de rivière de moyenne montagne**

Ce secteur, où les plus grandes richesses ont été relevées en 1981-85, a subi des pertes surprenantes, puisque les disparitions ont atteint 63% et 67% des peuplements originels de S13 et S15 et 42% de celui de la source SS. En effet, plusieurs taxons ont connu une baisse de leurs abondances et des disparitions partielles (*Rhyacophila munda*, *Ephoron virgo*, *Protonemura algerica*, *Setodes acutus*, *Oxyethira unidentata*, *Hydropsyche resmineda*, *Allotrichia pallicornis*, *Centroptilum pennulatum*, *Ephemera glaucops*, *Perla marginata*, *Pseudoneureclipsis maroccanus*, etc.), mais 13 espèces n'ont pas été retrouvées dans les trois stations (*Oligoneuriella skoura*, *Orthotrichia angustella*, *Psychomyia pusilla*, *Hydropsyche lobata*, *Limnius intermedius*, *Paduniella vandeli*, *Normandia villosocostata*, *Hydroptila campanulata*, *Cheumatopsyche atlantis*, *Hydroptila vectis*, *Eoperla ochracea*, *Mesophylax aspersus* et *Tinodes maroccanus*). Notons que la moitié de ces espèces étaient bien représentées il y'a 35 ans.

Au contraire, quelques espèces sont apparues dans ce secteur (*Hydropsyche fezana*, *Caenis pusilla* et *Cloeon dipterum*), la première étant spécifique à la source SS et les deux autres (lénitophiles et potamophiles) préfèrent les faibles courants, ce qui atteste que la baisse du débit et du courant s'est beaucoup amplifiée dans le bas Guigou.

Ces pertes s'expliquent par l'assèchement quasi-total de ce secteur à la suite de sévères sécheresses historiques, lesquelles ont failli assécher la source SS. Le peu d'eau qui émergeait des sous-écoulements fluviaux était détourné pour l'irrigation de parcelles agricoles. Les peuplements se trouvent ainsi réduits à une poignée d'espèces à large distribution (*H. pellucidula*, *Baetis pavidus*, *Hydropsyche fezana*, *Hydropsyche maroccana*, *Caenis luctuosa*, *B. rhodani*, *Caenis pusilla*, *Ecdyonurus rothschildi* ...). Néanmoins, cette situation caractérise les secteurs aval du bas Guigou, qui continuent de subir les dérivations qui le mettent à sec pendant plusieurs semaines estivales. La source SS, qui semble avoir repris son écoulement, a contribué à la conservation de certaines espèces intéressantes (*Baetis maurus*, *O. skhounate* ...).

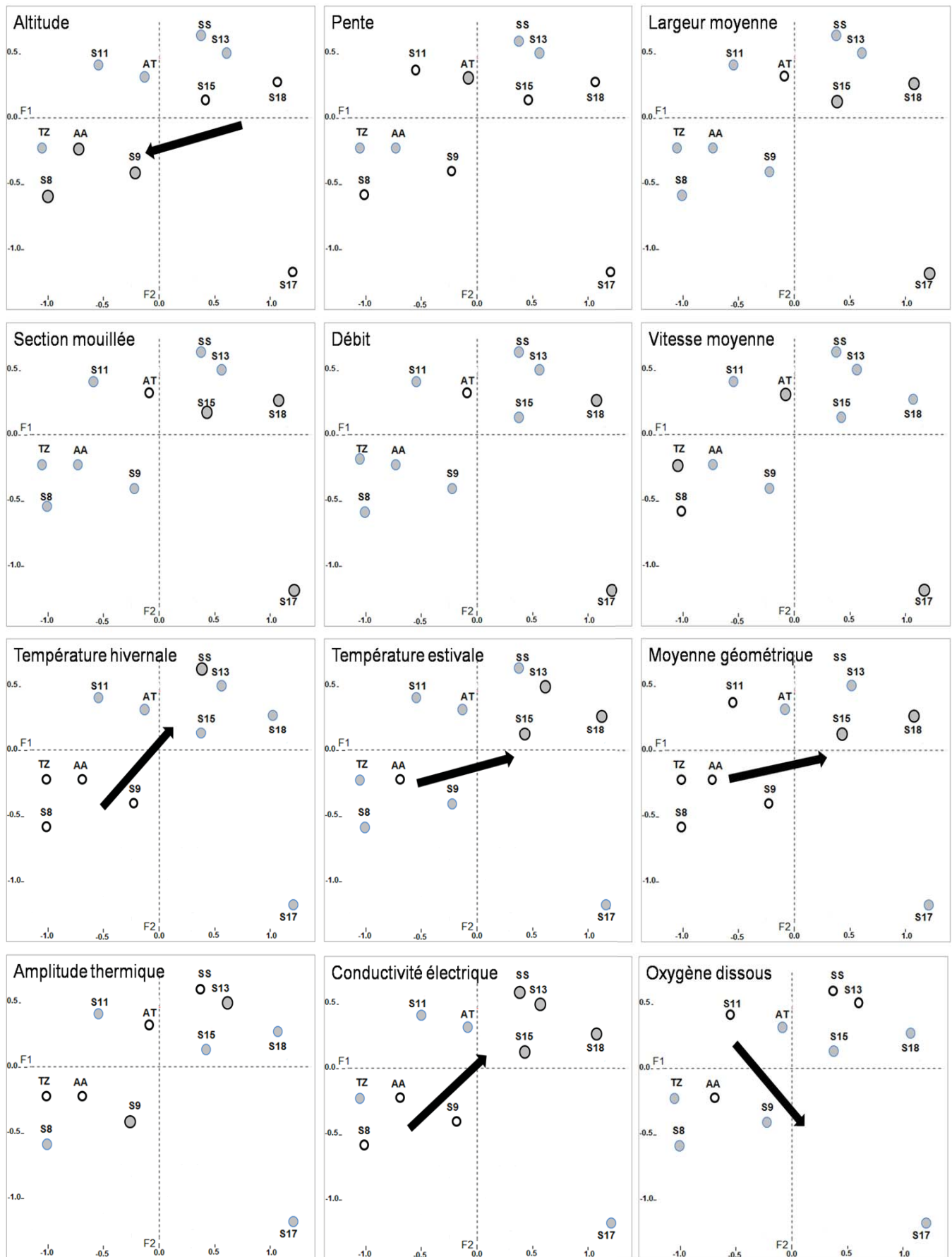


Figure 71. Interprétation de la structure biotypologique 2015-17 : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

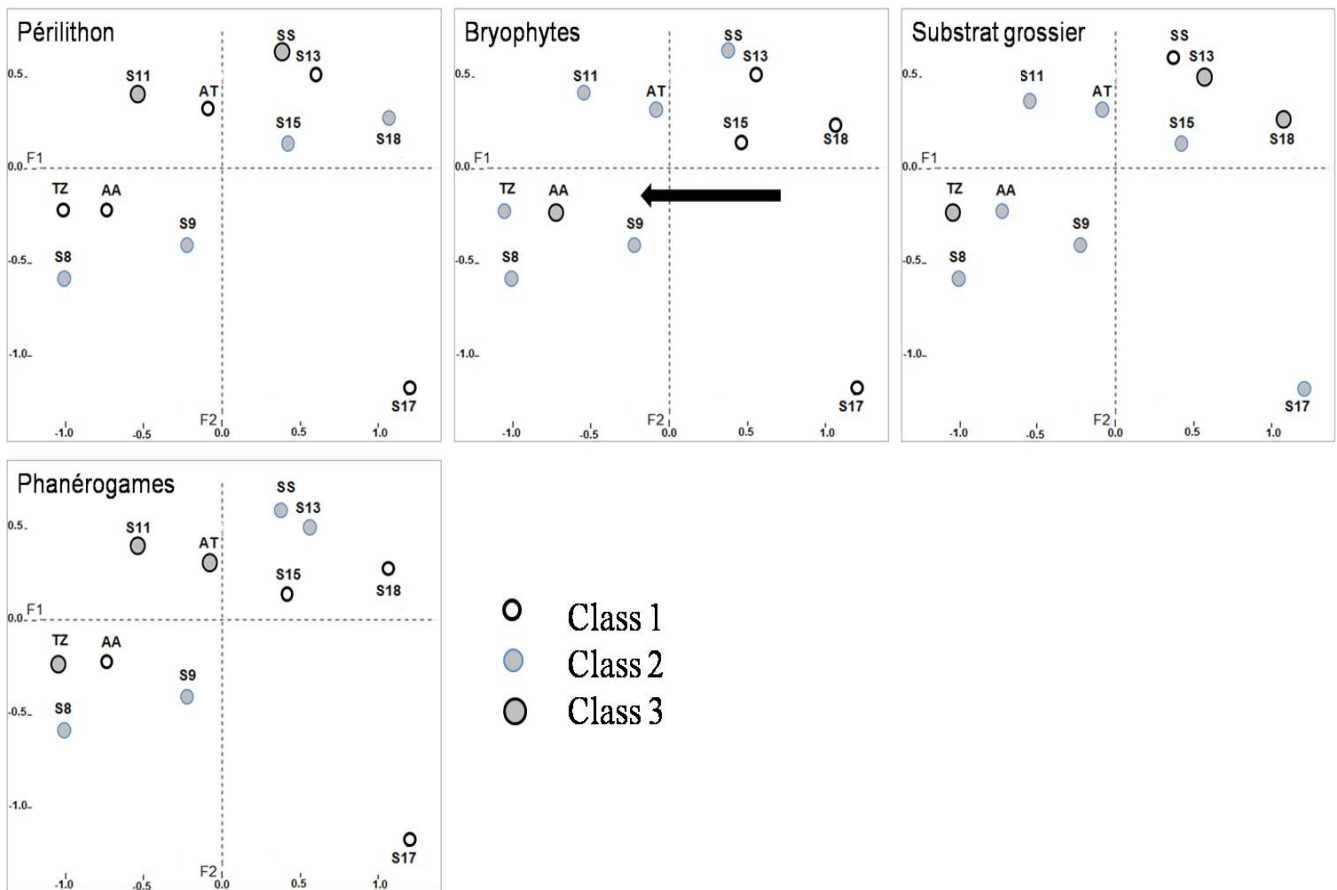


Figure 71 (suite). Interprétation de la structure biotypologique 2015-17 : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

• Modifications des peuplements de rivières de basse altitude

Les communautés de ces grandes rivières n'ont pas échappé aux pertes et ont subi des modifications très profondes, puisque leurs richesses sont réduites de 57% (17 espèces) en S17 et de 60% (15 espèces) en S18. Les extinctions ont touché 24 espèces, dont treize ont disparu des deux secteurs (*Hydroptila campanulata*, *Hydroptila vectis*, *Hydropsyche lobata*, *Hydropsyche resmineda*, *Choroterpes atlas*, *Perla marginata*, *Psychomyia pusilla*, *Paduniella vandeli*, *Centroptilum pennulatum*, *Limnius intermedius*, *Riolus villosocostatus*, *Eoperla ochracea*) ; d'autres taxons sont éteints dans l'un des sites (7 à S17 et 4 à S18). Les deux secteurs ne conservent pratiquement que des espèces à large distribution, pouvant supporter les faibles débits mais aussi une certaine charge organique. D'autres espèces thermophiles sont exclusives ou manifestent leur préférendum dans ces deux stations.

Ecdyonurus rothschildi eurytherme et adaptée à de grandes variations de température, elle colonise en altitude et en piémont et atteint son maximum d'abondance en S17, qui occupe une position éloignée en bas du plan factoriel F1-F2 liée d'autant plus à la spécialisation de son peuplement constitué par les espèces *Nemoura* sp., *Choroterpes volubilis* et *C. atlas*.

Les pertes subies dans le secteur aval sont compréhensibles, puisqu'un barrage (barrage Allal El Fassi mis en œuvre en 1991) a été installé à son amont entre les deux périodes d'étude et met pratiquement à sec une partie de la rivière. Les eaux ainsi retenues ne participent plus à la dilution des pollutions charriées par l'oued Lihoudi depuis la ville de Sefrou. Dans le secteur S17, situé en amont de ce barrage, la diversité

du peuplement fut élevée grâce au débit d'étiage soutenu par deux grandes sources (Aïn Timedrine et Aïn Sebou), sachant que l'oued Mdez, prolongement amont du Sebou, possède un très faible débit d'étiage et peut même s'assécher. Toutefois, la première source subit de fortes baisses de débit, liées à la dérivation de ses eaux pour l'irrigation et à la baisse du niveau de sa nappe (suite aux sécheresses). De même, Aïn Sebou, située sur la rive du Sebou, subit des vidanges brutales vers la nappe à la suite de chaque crue de l'oued Mdez. Ces conditions peuvent anéantir les débits d'étiage du secteur S17 et détruire son peuplement, jadis bien équilibré.

3.5. Biotypologie combinée du Haut Sebou

Comme indiqué dans la méthodologie, le traitement simultané à l'AFC des données des deux périodes d'étude fut possible par le biais d'une matrice ternaire '11 stations $\times$ 61 espèces $\times$ 2 périodes' (où chaque espèce à deux abondances différentes). Il a permis de déceler les changements à travers l'analyse du comportement de chaque station (peuplement) dans le schéma biotypologique entre les deux périodes. Il importe de préciser que dans un premier traitement de cette matrice, les sources AA, TZ et AT, qui hébergent des espèces exclusives abondantes, sont apparues isolément des autres stations et ont estompé le gradient amont-aval (Fig. 72). Nous avons alors utilisé les résultats d'une deuxième analyse où ces sources ont été intégrées en éléments supplémentaires dans une seconde analyse.

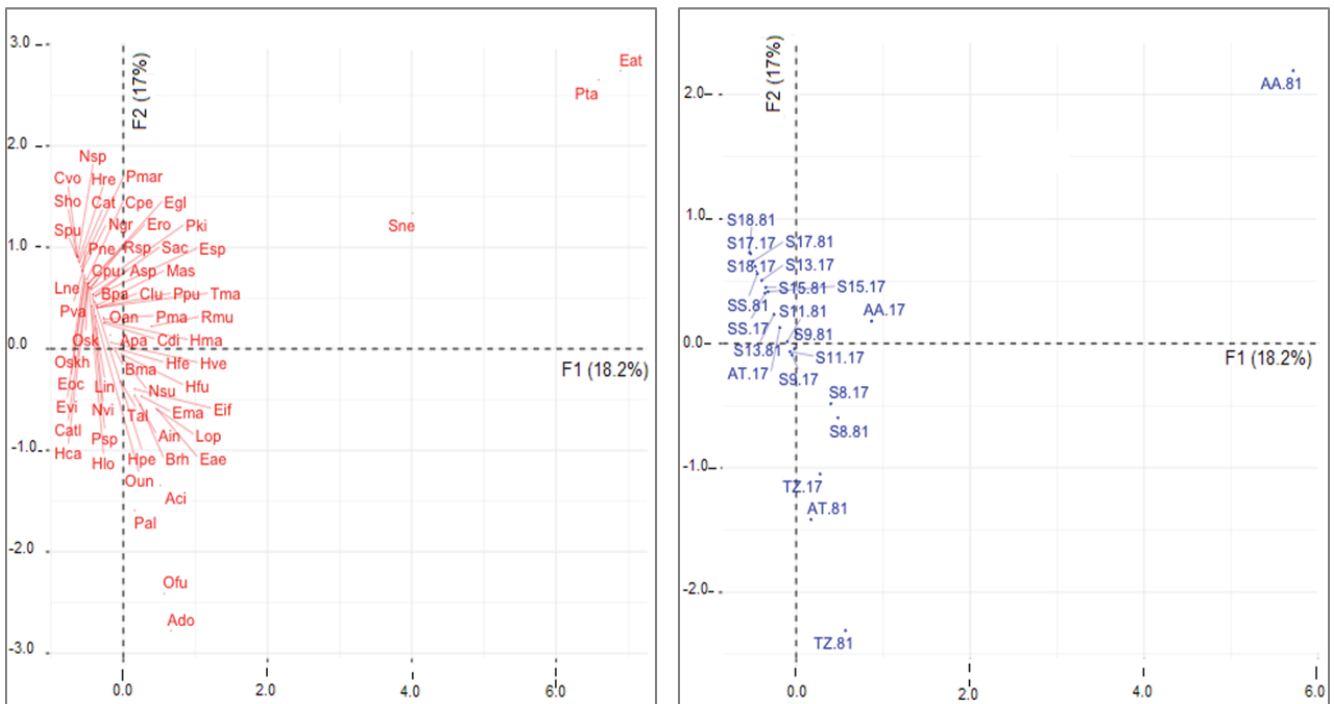


Figure 72. Typologie des peuplements du Haut Sebou combinant les données de 1981-85 et 2015-17 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuages-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC.

Les deux premiers axes (Fig. 73) de cette analyse participent à l'établissement de la structure biotypologique avec 36,6% de l'inertie totale. Ce taux est relativement faible par rapport à ceux obtenus des deux biotypologies séparées, il s'explique par la taille importante de la matrice. C'est à dire que d'autres facteurs temporels ont atténué la prédominance du gradient amont-aval, lequel reste toujours bien exprimé selon l'axe F1. Cet axe est fortement corrélé avec les paramètres thermiques (moyenne géométrique des maximas thermiques et température estivale), la composante végétale bryophyte et la conductivité

électrique (Fig. 74). Ce gradient est également amplifié par l'axe 2, qui reflète plutôt les changements écologiques opérés au cours du temps.

Le comportement de chaque station dans le schéma biotypologique est visualisé dans le plan F1-F2 (Fig. 73), en reliant ses positions par un segment. Cette approche montre clairement qu'entre les deux périodes d'étude, les stations opèrent dans la structure typologique une migration 'vers l'aval', avec toutefois une certaine tendance à converger vers le centre du nuage, indiquant une perte d'originalités au profit d'espèces à large distribution (situées dans ce genre d'analyse vers le centre de gravité du nuage). Ceci fait que ladite migration est exprimée davantage par l'axe 2 que par l'axe 1. Le sens de déplacement et la distance entre les deux points d'une même station reflèteraient l'ampleur des changements qu'ont subi ces dernières au cours des trois dernières décennies qui séparent les deux études

3.6. Changements de peuplements révélés par la structure biotypologique

Les deux stations S8 et S11 du cours supérieur opèrent un déplacement de faible amplitude, corrélé avec l'axe F1, confirmant ainsi qu'elles ont subi des changements relativement faibles, justifié par leur présence en aval de deux sources permanentes (AA et TZ). Leurs peuplements respectifs, bien qu'ayant perdu de leurs espèces (espèces rares où leur présence est accidentelle), restent quantitativement dominées par quelques taxons communs aux deux périodes. Le peuplement du secteur S9, fortement dégradé (débit faible et état pollué), s'est déplacé pratiquement vers le centre de la structure, dénotant sa nouvelle composition, dominée par des espèces eurytopes.

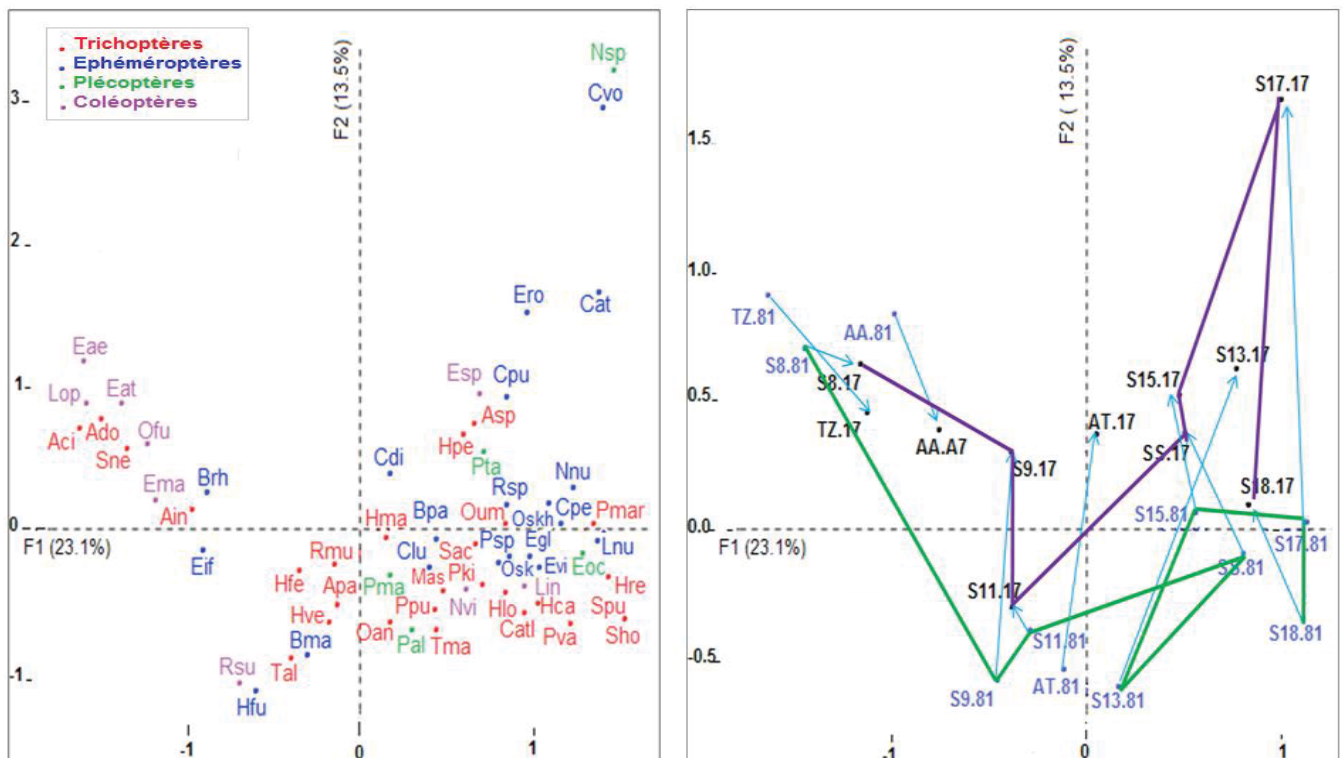


Figure 73. Typologie des peuplements du Haut Sebou combinant les données de 1981-85 et 2015-17 : distribution des nuages-espèces (à gauche) et des nuage-stations (à droite) dans le plan F1-F2 de l'AFC (Les sources AA, TZ et AT projetées en éléments supplémentaires).

Au niveau des peuplements crénophiles des sources AA, TZ et AT, malgré leur traitement en éléments supplémentaires. Nous relevons un déplacement d'ampleur moyenne vers le centre de la structure,

variant avec les deux axes et expliquant un gradient thermique et une minéralisation de l'eau ; et dénotant des pertes d'originalités (d'espèces exclusives) à la faveur de taxons banals. Ce même comportement est enregistré dans la source SS, bien qu'elle soit riche en espèces thermophiles qui la 'tireraient' vers l'aval. L'inversion thermique relevée entre les peuplements originels de cette station et ceux de la S13 est toujours visible ; mais en 2015-17, cette dernière s'est projetée en aval de la S15, en raison de sa conquête par les espèces thermophiles relativement ubiquistes.

Dans le cours inférieur, la légère inversion relevée en 1981-85 entre S17 et S18 apparaît comme amplifiée en 2015-17, en raison de l'apparition de *Choroterpes volubilis* comme exclusive de S17 assez abondante. Cette inversion serait plutôt amplifiée par la 'banalisation' du peuplement de S18, qui a perdu des espèces préférantes.

III. Discussion

Notre étude met en évidence et résume les principaux processus qui expliquent les effets des changements globaux et notamment le réchauffement climatique sur les assemblages d'invertébrés du Haut Sebou, un grand fleuve qui couvre l'une des régions les plus humides du Maroc. Cependant, elle visait à révéler les principaux mécanismes par lesquels le réchauffement climatique provoque des pertes catastrophiques de la faune benthique dans les régions arides, mais aussi elle montre l'importance potentielle de l'analyse des Correspondances pour révéler ces pertes.

Les approches comparatives adoptées dans cette étude ont montré que les changements au niveau des peuplements benthiques du Haut Sebou durant plus de 35 ans, sont généralisés à l'ensemble des habitats étudiés. L'analyse des structures biotypologiques du secteur étudié séparément en deux périodes 1981-85 et 2015-17 a mis en évidence une succession amont-aval des espèces selon un gradient thermique croissant. La fusion des données de ces deux périodes d'étude (Fig. 73) dans la même structure biotypologique révèle que chaque station a subi des changements et des perturbations qui la mettent en 'aval' de sa situation originale dans la biotypologie combinée. Cette règle suppose un réchauffement estival traduit par une augmentation de la composante thermique (hivernale, estivale et la moyenne géométrique des maximas thermiques) et de la minéralisation de l'eau, en parallèle avec une réduction des débits. À ces conditions s'ajoutent et se combinent toutes les activités anthropiques (pratiques culturelles, rejets domestiques, déjections animales, pâturage, diminution du débit sous l'effet de la canalisation pour irrigation, le lessivage) qui se traduisent par l'altération des habitats des cours d'eau et, par voie de conséquence, par une réduction, voire une disparition estivale de la faune benthique.

En effet, au cours des 35 années séparant les deux périodes d'échantillonnage, 28 espèces sensibles ont disparu de l'ensemble des secteurs qui ont été étudiés, soit une diminution globale de 52% de la richesse d'origine. Nos attentes étaient que ces pertes soient surtout dramatiques au niveau des sources, tel que l'indique une récente étude sur des sources du Sebou (Nechad et al. 2018). Vu qu'en Afrique du Nord ces habitats sont riches en endémiques (Giudicelli & Dakki 1984, Dakki 1987, El Alami & Dakki 1998) ; mais dans ce cours d'eau, la richesse spécifique a connu une diminution tragique dans tous les types d'habitat.

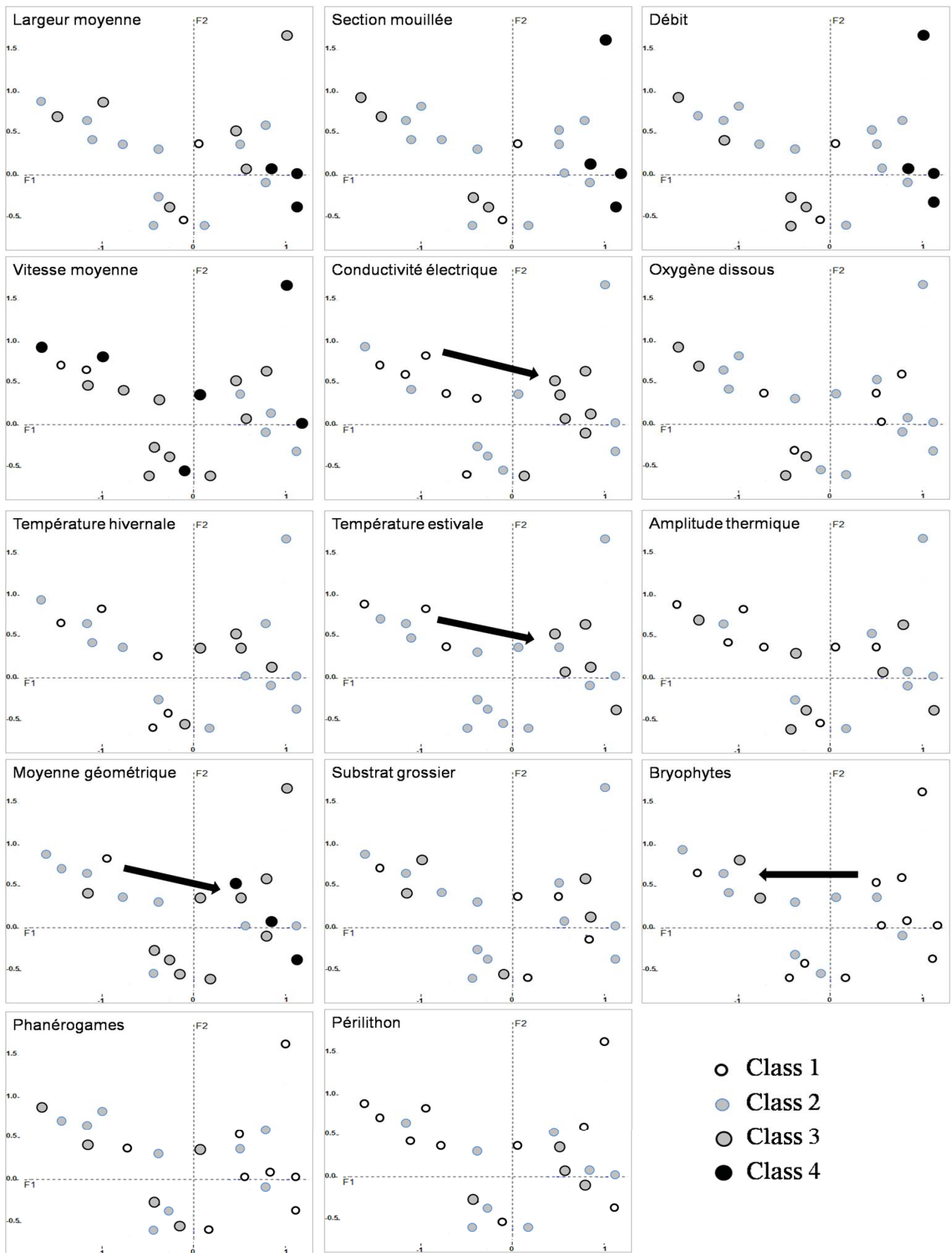


Figure 74. Interprétation de la structure biotypologique combinée : projection des modalités des variables mésologiques sur le plan F1-F2.

Parallèlement à cette perte, sept nouvelles espèces apparaissent dans la rivière ; cependant, elles ne peuvent être considérées comme une compensation de cette perte, mais comme un signe de dégradation de l'habitat, car elles ont une grande valeur écologique. En plus de la perte totale d'espèces, nous avons enregistré de profondes modifications dans les abondances des taxons et dans leur distribution spatiale, avec une régression des espèces d'eau froide, en faveur des espèces thermophiles, ces dernières montrant une ascension évidente en altitude. Ce phénomène, déjà considéré comme compensation de la perte en altitude (Dakki 1987), est une conséquence majeure du réchauffement climatique, puisque la baisse des précipitations entraîne une diminution du débit des rivières et un appauvrissement des nappes phréatiques, avec le tarissement de certaines sources. Cette évolution hydrologique s'est accompagnée d'une croissance démographique rapide et d'une dégradation des habitats, que ce soit en montagne ou à basse altitude.

Des taux de perte similaires ont été récemment mentionnés en Algérie, plus précisément dans les assemblages d'Hémiptères de quatre étangs dunaires sur la période 1996-2013 (Benslimane et al. 2019) et dans l'assemblage de libellules de l'oued Bouaroug (Morghad et al. 2019) sur les 25 dernières années. Benslimane et al. (2019) ont révélé une forte baisse de la richesse (47%) et de l'abondance (94%) des Hémiptères sur une période de 17 ans dans quatre étangs dunaires du nord-est de l'Algérie. Cette perte alarmante des espèces et de l'abondance des hémiptères aquatiques est le résultat de la combinaison de trois facteurs de stress anthropiques (introduction de poissons invasifs, empiètement humain notamment le ruissellement agricole et réchauffement climatique). Ainsi, Morghad et al. (2019) ont montré qu'au cours des 25 dernières années, la conversion des terres et le réchauffement climatique ont entraîné un changement à grande échelle de la composition de la communauté des Odonates. Ce changement évolue vers l'inclusion d'espèces thermophiles plus répandues au détriment d'espèces rares et sténotypiques.

Les changements écologiques sont bien reflétés par les structures biotypologiques construites pour nos deux études. Dans la biotypologie 1981-1985, les sources se comportaient comme des éléments isolés, en raison de leurs espèces exclusives/endémiques. Mais dans la biotypologie 2015-2017, après la disparition de ces espèces, lesdites sources sont proches des ruisseaux de montagne dans le plan factoriel F1-F2. Cette nouvelle position est liée à la prédominance d'espèces largement distribuées qui sont devenues dominantes dans l'ensemble des communautés fluviales et les attirent vers le centre de gravité du " nuage " des stations. Cette perte d'originalité des communautés, notamment dans les sources et les rivières permanentes, peut être interprétée comme une " banalisation " des assemblages faunistiques. Ces changements majeurs n'ont pas affecté le schéma de succession 'amont-aval' de la structure biotypologique, qui est régi à la fois par des facteurs thermiques et hydrologiques (Dakki 1985, 1987, El Agbani et al. 1992). Au contraire, ce gradient est plus confirmé dans la nouvelle situation, puisque le chevauchement amont-aval entre les espèces est renforcé.

L'eutrophisation, en tant que forme de pollution organique générée par la détérioration des facteurs thermo-hydrologiques, explique la prédominance des formes filtrantes et détritivores dans les nouvelles communautés et la disparition des formes polluosensibles (Alba-Tercedor et Picazo-Muñoz 1995, El Alami 2002, Tachet et al. 2010, Friberg et al. 2010). Néanmoins, dans certains secteurs du Haut Sebou, ces disparitions témoignent d'une pollution domestique aiguë. Ces impacts humains sont des conséquences indirectes du réchauffement climatique, puisque la croissance de l'habitat humain sur les berges du fleuve est principalement liée aux crises de sécheresse.

Plus largement, nos résultats sont également en accord avec des études conduites dans des contextes similaires de stress multiples et qui mettent en évidence l'impact des changements de la qualité d'eau et le

réchauffement climatique sur les communautés de macroinvertébrés (Daufresne et al. 2007, Durance & Ormerod 2009). Une forte régression de la richesse spécifique a été déjà mentionnée au Haut Guigou-Moyen Atlas ; Nechad (2016) a montré au bout de trente-cinq ans (1979-2015) une dominance des espèces polluo-tolérantes au dépend des espèces polluosensibles (Ephéméroptères et Trichoptères) avec une disparition de l'ordre des Plécoptères, signe d'une forte variabilité des conditions environnementales, notamment thermiques, couplée aux pressions anthropiques. De même, le réchauffement de l'eau et la réduction du débit sont impliqués dans la disparition ou le déclin progressif de taxons rhéophiles et l'apparition et la colonisation de taxons limnophiles et thermophiles au niveau de la Loire en France (Floury et al. 2012, Floury 2013, Floury et al. 2013).

Parmi les outils méthodologiques adoptés dans cette étude, la comparaison de la richesse était suffisante pour démontrer les pertes de biodiversité, mais nous avons également expérimenté un algorithme d'ordination, qui est dans ce cas l'analyse factorielle des correspondances. Les résultats étant très significatifs, nous recommandons d'investir davantage dans l'utilisation de tels algorithmes dans la modélisation des changements globaux de la biodiversité.

CHAPITRE VI
AUTOECOLOGIE ET ECOLOGIE COMPAREE DU
PEUPLEMENT DU HAUT SEBOU

CHAPITRE VI : AUTOÉCOLOGIE ET ÉCOLOGIE COMPAREE DU PEUPLEMENT DU HAUT SEBOU

I. Introduction

La comparaison des deux structures biotypologiques obtenues pour les deux périodes d'étude (1981-84) et (2015-17) et l'analyse de la biotypologie combinée, constitue une expression synthétique de l'ensemble des relations qui existent entre les espèces et leur milieu, ainsi que, leur évolution au cours du temps.

En général, les groupements biocénétiques ainsi définis réunissent des taxons ayant la même écologie dans une aire géographique bien déterminée. Cependant, ces groupements ne permettent pas de préciser le comportement de chaque espèce dans les biotopes qu'elle occupe. L'étude du profil d'abondance d'une espèce dans son contexte environnemental va nous aider à mettre en relief son degré de préférence vis-à-vis des biotopes qu'elle côtoie. En effet, une espèce sera considérée comme préférante d'un biotope lorsque sa densité y est nettement plus grande que dans les autres milieux. A l'opposé, une espèce inféodant la totalité des stations avec la même abondance, que celle-ci soit faible ou élevée, ne donnera aucun renseignement sur les différences ou les particularités de ces biotopes. Par conséquent, cette notion telle qu'elle a été définie par Dakki (1986a, 1987) suppose qu'une espèce ayant un degré de préférence très élevé devrait occuper des habitats similaires, lesquels devraient normalement être très proches les uns des autres dans la structure mésologique.

De ce fait, afin de visualiser la distribution et le comportement évolutif de chaque espèce dans les différentes stations étudiées entre 1981-85 et 2015-17, nous avons opté pour une représentation graphique qui consiste à projeter les densités spécifiques transformés en classe logarithmique (Tab. 24) sur la structure mésologique combinée du plan F1-F2 (Fig. 37). Où les biotopes sont préalablement ordonnés et regroupés selon leurs similarités mésologiques, ainsi, très proche l'un de l'autre dans ce plan factoriel. Rappelons que cette structure mésologique est obtenue par une combinaison des données anciennes (1981-85) et nouvelles (2015-17) dans le même plan factoriel F1-F2 (Voir Chapitre III). Ledit plan monte une ordination des stations selon un gradient amont-aval, fournit pour chaque station deux positions dans ce plan. Le schéma de déplacement de chaque station entre les deux périodes a été interprété comme des changements temporels de son état mésologique. La plupart de ces changements consistent en une migration des stations vers l'aval de ses positions d'origine résultants du concours des facteurs hydrologiques et thermiques exprimés respectivement par les axes F1 et F2.

Par la suite, cette structure typologique est utilisée comme support pour la visualisation graphique de la répartition écologique des profils d'abondance spécifiques de 26 espèces maintenues entre les deux périodes d'études. Ces espèces se répartissent comme suit sur les 4 ordres des peuplements benthiques du Haut Sebou : 7 Trichoptères (*R. munda*, *A. dolichopterus*, *A. incertilus*, *H. fezana*, *H. maroccana*, *H. pellucidula* et *S. necteroibius*) ; 14 Ephéméroptères (*B. maurus*, *B. pavidus*, *B. rhodani*, *L. neglectus*, *C. dipterum*, *Procloen sp.*, *O. skhounate*, *O. skoura*, *E. ifranensis*, *E. rothschildi*, *Rhitrogena sp.*, *C. luctuosa*, *C. atlas*, *E. virgo*). 4 Coléoptères (*E. maugetii*, *L. intermedius*, *L. opacus*, *O. fuscipes*) et 1 Plécoptère : *P. talboti*. Ces profils d'abondances fluctuent entre ces deux études séparées par plus de 35 ans et ces espèces enregistrent des disparitions ou apparitions dans quelques stations de ce secteur.

Les abondances maximales de ces espèces ont été remplacées par des classes logarithmiques (Tab. 24) dont les limites constituent les termes d'une progression géométrique de raison "2" (Bournaud et al. 1980). Cette transformation permet de diminuer la disparité entre les densités des différents taxons sans modifier l'information sur la typologie du cours d'eau (Bournaud et al. 1980, Dakki 1986a).

Tableau 24. Limites des classes d'abondance utilisées dans l'analyse de la structure spatiale.

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Effectifs/ 0,15 m ²	[1-2]	[3-4]	[5-8]	[9-16]	[17-32]	[33-64]	[65-128]	[129-256]	[257-512]	[513-1024]

II. Analyse graphique de l'évolution de la répartition des espèces

1. Trichoptères

1.1. Famille des Rhyacophilidae

-*Rhyacophila munda* : la famille des Rhyacophilidae est représentée au Maroc par un seul genre avec deux espèces faisant partie du groupe Pararhyacophila : *R. munda* et *R. fonticola* (Dakki 1987). Cette dernière est endémique Bético-Rifaine. *R. munda* est la seule représentante du genre dans le Moyen Atlas, cette espèce est qualifiée eurytope et rhéocrène en exigeant de forts courants. Elle a une large dispersion dans le Haut Sebou, présente dans toutes les stations étudiées en 1981-85 et absente ou très rare dans des biotopes à faible pente ou à hiver chaud (S18 et AT) (Dakki 1986a). La large valence écologique de cette espèce s'explique en grande partie par l'absence de son congénère qui aurait partagé ces biotopes avec elle.

L'analyse graphique (Fig. 75) de sa distribution montre une forte réduction de ses abondances surtout dans la station S11 (forte régression passant de 60 à 11 individus) voire même sa disparition totale dans le cours principal du Guigou des deux stations S8 et S9 (rivières froides de haute altitude), les deux sources AA et SS et de grande rivière de moyenne altitude S15. Cette faible représentativité de l'espèce en 2015-17 est probablement due aux changements de conditions hydrodynamiques favorables à sa prolifération (fort courant et basse à moyenne température) dans le bas bassin. En effet, une réduction de la composante hydrologique (débit et vitesse du courant) surtout dans AA et S11, une diminution de l'oxygénation des eaux et une augmentation de la composante thermique au cours de notre période d'étude pourraient constituer des facteurs limitants au développement de l'espèce. Ainsi, une légère augmentation des abondances a été enregistrée au niveau de la source chaude AT (passant d'un seul individu à 8 individus) dû probablement à l'augmentation de l'amplitude thermique.

1.2. Famille des Glossosomatidae

Seul le genre *Agapetus* de la famille Glossosomatidae est actuellement répertorié au Maroc, il est représenté par quatre espèces. *A. dolichopterus* et *A. incertulus* sont deux espèces répertoriées dans le Haut Sebou qui ne cohabitent nulle-part et préfèrent les cours supérieurs. Elles présentent une écologie très différente (Dakki 1986a, 1987).

-*Agapetus dolichopterus* : espèce crénobionte et rhéocrène au débit, exclusive de la source tempérée TZ, où elle lui montre une forte préférence (496 individus en 1981-85). Une forte réduction d'abondance a été mentionnée dans cette source (37 individus en 2015-17), qui peut être expliqué par une diminution de débit (passant de 836 l/s à 584,1 l/s) couplé à une augmentation de la composante thermique (température

hivernale et estivale) et surtout l'élévation de l'amplitude thermique (passant de 1,8°C à 4,9°C) en plus de la détérioration de la qualité de ses eaux.

-*Agapetus incertulus* : espèce nettement eurytherme, voire thermophile inféodée essentiellement en 1981-85 aux cours moyens et supérieur du Guigou et la source chaude AT avec des faibles abondances. Ces stations situées sur un haut plateau, sont caractérisées par des eaux relativement chaudes en été, leur température étant généralement supérieure à 20°C (Dakki 1986a). Elle disparaît à certains points du cours supérieur de l'oued Guigou, au débouché de grosses résurgences d'eau froide dans la rivière (Giudicelli & Dakki 1980).

Les résultats graphiques (Fig. 75) montrent une disparition de l'espèce dans les deux petites rivières de haute altitude S8 et S9 aux eaux froides, due probablement à la forte pollution organique de leurs eaux. De même, elle enregistre une régression de ses abondances dans les stations du cours moyen S11 (passant de 21 à 5 individus) et AT (passant de 8 à 5 individus) en 2015-17. Ces stations enregistrent une réduction de la masse d'eau (débit et section mouillée) et une détérioration de la qualité des eaux.

1.3. Famille des Hydropsychidae

L'examen de la répartition des trois Hydropsychés dans le Haut Sebou en 1981-85 et en 2015-17 (Fig. 75), montre qu'ils sont absents des deux sources AA (froide) et TZ (tempérée). Généralement, les sources froides possèdent la particularité d'être pauvres en matières organiques exigées pour la vie des larves d'Hydropsychidae. Une forte abondance et une prolifération des larves surtout de *H. fezana* et *H. maroccana* a été observée en 1981-85 à S11, correspond à une pollution organique et à une augmentation de la température en été. Alors que, *H. fezana* et *H. pellucidula* ont atteint leurs maxima d'abondances en 2015-17 à la source chaude SS, cette station apparaît dans le lit de l'oued, à la limite inférieure du secteur lent du moyen Guigou, qui forme en été un marais long de 200 m environ et qui est riche en matière organique en suspension. C'est à l'exutoire de ce marais que les larves d'*Hydropsyche* prolifèrent.

-*Hydropsyche fezana* : Espèce rhéophile et plus alticole que les deux autres Hydropsyches. Elle fréquente les petites rivières du cours supérieur du Haut Sebou caractérisées par la fraîcheur de ses eaux, le débit fort, et la vitesse d'écoulement moyenne à rapide. Elle atteint son optimum écologique à S11 (avec 161 individus) et devient sporadique dans les sources (Dakki 1987).

En 2015-17, cette espèce a apparu à SS (59 individus) et devient abondante à S8 (passant de 4 à 18 individus) ceci peut être expliqué par une augmentation de la vitesse du courant facteur exigeant pour le développement de l'espèce, passant de 16 cm/s à 26 cm/s à S8 et de 35 cm/s à 40 cm/s à SS; et l'augmentation du débit à S8 passant de 196 l/s à 246 l/s en plus de l'abondance de la matière organique dans ces deux stations. Elle a régressé dans les petites rivières de haute altitude aux eaux froides S9 et S11 où elle enregistre respectivement une faible densité (passant de 28 à 12 individus) et (passant de 161 à 62 individus). Cette régression peut s'expliquer par une diminution de la composante hydrologique, réduction de débit couplé à une réduction de la vitesse du courant, et l'assèchement de ces tronçons d'eau par endroit surtout en période estivale en plus de la forte pollution de ses eaux.

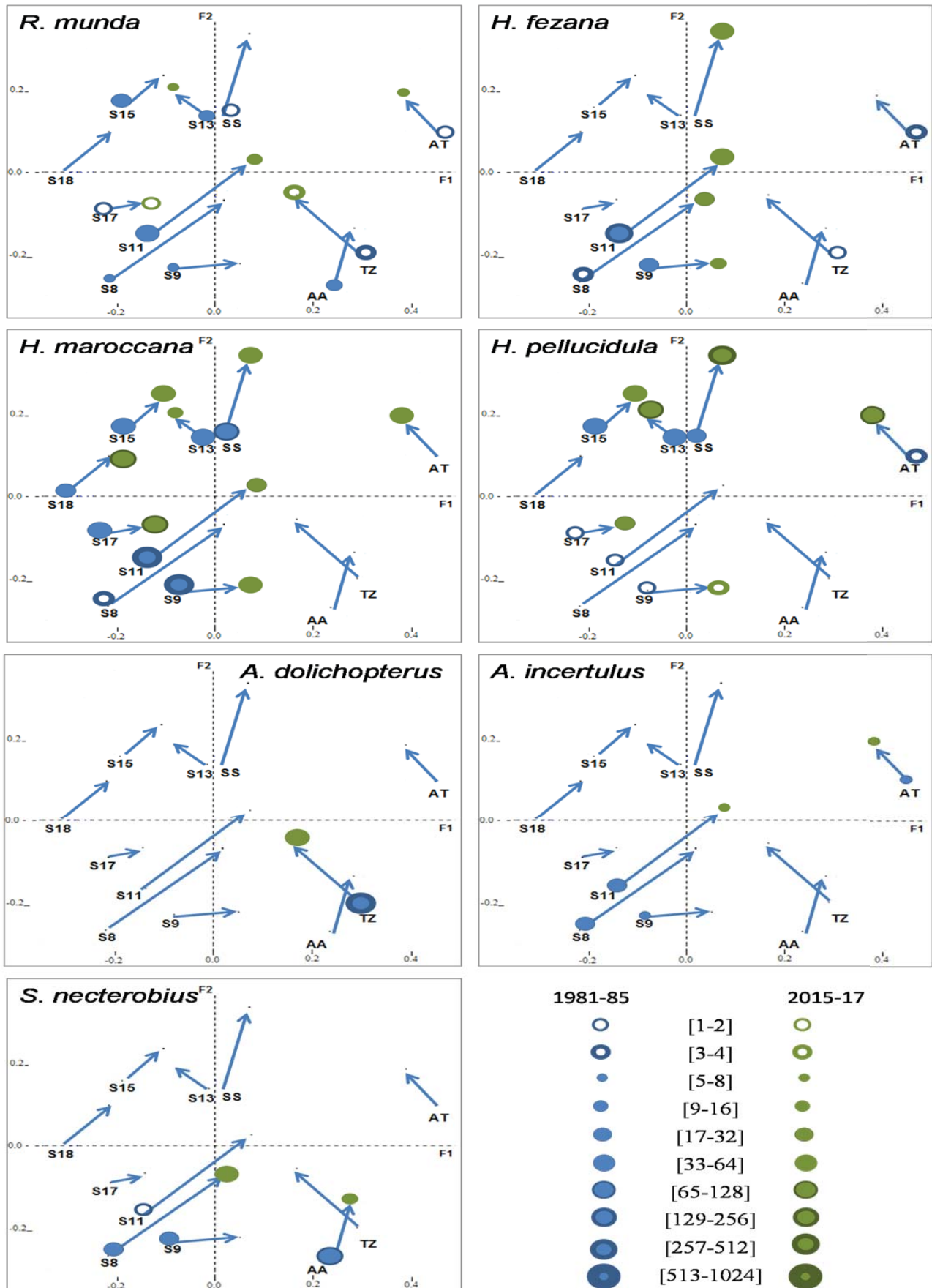


Figure 75. Evolution de la répartition des abondances des espèces Trichoptères sur le plan F1-F2 de la mésologie combinée du Haut Sebou entre 1981-85 et 2015-17.

-*Hydropsyche maroccana* : cet *Hydropsyche* abondait en 1981-85 dans les faciès des rivières chaudes héli-sténothermes à eurythermes de basse altitude au fort débit hivernal (Dakki 1986a), et atteint son optimum dans les petites rivières de haute altitude à faciès héli-eurytherme et rhéophile, mais il peut manquer dans les sources froides (Dakki 1987). Toutefois, sa répartition semble être plus limitée par les faibles débits organiques que par les faibles températures (Dakki 1986a, Bouzidi 1989).

En 2015-17, la réduction de la masse d'eau (diminution de débit et de la vitesse d'écoulement) ont conduit à la régression de cette espèce dans les stations de haute altitude (S9 et S11) où elle avait établi son optimum écologique passant de 274 à 48 individus à S11 et de 349 à 20 individus à S9. Ainsi, l'augmentation de la température hivernale, estivale et la moyenne géométrique des maximas thermiques extrêmes ont abouti à l'augmentation de son abondance dans des rivières de basse altitude S17 (passant de 39 à 87 individus) et S18 (passant de 17 à 97 individus) et son apparition dans la source chaude AT (34 individus). Ces deux rivières sont caractérisées par un débit soutenu par les apports des sources et un courant modéré à fort. Elle cohabite avec *H. fezana* dans les stations de haut et moyen Guigou et avec *H. pellucidula* dans les stations du bas Guigou et Sebou ; elle devient dominante en été, quand les eaux se réchauffent.

-*Hydropsyche pellucidula* : espèce thermophile euryèce, colonise aussi bien les petits ruisseaux que les rivières de plus grande dimension. Elle exige un courant rapide, les fonds pierreux et les eaux bien oxygénées des cours moyen et inférieur. Elle abonde dans les stations de bas Guigou avec un maximum enregistré en S13 (41 individus).

Durant notre période d'étude, cette espèce est devenue très abondante dans les stations de moyenne et basse altitude en aval de S11, où elle réalise son optimum écologique. Les plus fortes densités sont enregistrées dans les deux sources chaudes SS (passant de 21 à 214 individus) et AT (passant de 3 à 78 individus) ; et les deux rivières juste en aval de SS, la station S13 (passant de 45 à 86 individus) et S15 (passant de 40 à 53 individus) en plus de la grande rivière chaude S17 (passant de 1 à 20 individus). Ces stations enregistrent une augmentation de la composante thermique (température hivernale, estivale et la moyenne géothermique), facteur adéquat à sa prolifération. Cette espèce semble occuper les biotopes des stations où régresse son congénère *H. maroccana*.

1.4. Famille des Limnephilidae

-*Stenophylax necteroibius* : cette espèce montre une nette préférence pour les sources fraîches et les faciès des ruisseaux et des petites rivières de haute altitude à hiver froid. Ces cours d'eau sont temporaires ou permanents, caractérisés par un substrat fin à grossier et des eaux froides.

En 2015-17, elle a disparu des deux stations à faciès héli-eurytherme (S9 et S11) et a également régressé dans la source AA (passant de 124 à 11 individus) (Fig. 75) ceci peut être expliqué par le réchauffement de l'eau et la dégradation des habitats suite à l'aménagement de cette source. Ainsi, cette espèce enregistre une prolifération à S8 et atteint une densité de 34 individus.

2. Ephéméroptères

2.1. Famille des Baetidae

Les trois espèces de *Baetis* rencontrées dans le bassin du Haut Sebou montrent différentes distributions altitudinales entre 1981-85 et 2015-17 en rapport avec leurs exigences thermiques. Elles cohabitent dans toutes les stations au cours des années 1981-85, excepté la source froide AA peuplée

uniquement par *B. rhodani*, et la grande rivière chaude de basse altitude S18 colonisée uniquement par *B. pavidus* (Fig. 76).

-*Baetis maurus* : espèce à tendance sténotherme, dans le Moyen Atlas, elle présente une nette préférence pour les milieux situés entre 765 et 1820 m d'altitude (Giudicelli & Dakki 1984). Elle est largement répartie dans le secteur d'étude en 1981-85, elle ne manque que dans AA et S18, avec un net préférendum pour les habitats des cours supérieurs caractérisés par un courant fort et des températures variant entre 8,6°C et 22,8°C

En 2015-17, elle a disparue des petites rivières rapides et froides de haute altitude S8 et S9 dans laquelle avait atteint sa plus forte densité (737 individus) ; des deux cours d'eau de moyenne altitude S13 (420 individus) et S15 (41 individus) et de la grande rivière chaude de basse altitude S17 (5 individus). La hausse de la composante thermique hivernale, estivale et la moyenne géométrique que connaissent la plupart de ces stations peuvent être à l'origine de cette disparition. Ainsi, elle a régressé dans les sources tempérée TZ (passant de 38 à 15 individus) et chaudes SS (passant de 18 à 13 individus) et AT (passant de 10 à 5 individus), qui enregistrent une réduction du débit couplée d'une augmentation de l'amplitude thermique.

-*Baetis pavidus* : espèce qualifiée de Potamophile et thermophile, elle présente la plus large distribution altitudinale dans les différents réseaux hydrographiques marocains (Dakki & El Agbani 1983, El Alami 2002). En Algérie, elle abonde dans les cours d'eau relativement larges et légèrement eutrophes (Soldán & Thomas 1983), et en Tunisie, c'est l'espèce la plus fréquente et la plus abondante des Baetidae (Boumaiza & Thomas 1995).

Elle colonise, en particulier, les eaux tempérées des cours moyens et inférieurs et remonte vers les hautes altitudes. Cette remontée en altitude durant l'été pourrait s'expliquer par l'observation faite par El Agbani (1984) et dans laquelle, il précise que la population de *B. pavidus* évolue en fonction du couple vitesse-température. En effet, cette espèce colonise les cours inférieurs pendant la saison hivernale lorsque les températures sont basses et les vitesses très élevées alors qu'elle change de biotope durant la saison estivale en migrant vers les stations des cours supérieurs lorsque les températures sont assez élevées.

En 2015-17, cette espèce a été récoltée dans toutes nos stations d'étude et enregistre son apparition en remontant en altitude dans les deux sources, froide AA (21 individus) et tempérée TZ (24 individus), et sa prolifération dans la source chaude AT (passant de 3 à 89 individus). Une augmentation de l'amplitude thermique entre ces deux périodes d'étude a été mentionnée dans ces trois sources. Ainsi, une régression drastique de ses abondances (75% de perte de densité) a été mentionnée dans les rivières rapides et chaudes de moyenne et basse altitude SS (passant de 500 à 129 individus), S15 (passant de 453 à 83 individus) et S17 (passant de 149 à 42 individus). Les fortes pressions anthropiques et les pertes d'habitats que connaissent ces stations peuvent être à l'origine de cette régression.

-*Baetis rhodani* : C'est une espèce extrêmement commune que l'on trouve partout et qui s'accommode de conditions thermiques très diverses. Elle représente au moins le quart de toute la population Ephéméroptérologique. On peut trouver des larves et des adultes de cette espèce pratiquement pendant toute l'année. Elle pullule dans des biotopes très variés caractérisés par un fond pierreux (sources, torrents, rivières et à toutes altitudes) et ne régresse que dans les eaux tempérées de basse altitude (Boumaiza & Thomas 1995).

Elle est qualifiée d'ubiquiste et d'eurytope dans le Haut Sebou en présentant un faible degré de préférence (Dakki 1987). Elle abonde dans les biotopes froids et tempérés de haute et moyenne altitude S8, S9, TZ et S11 où elle enregistre les plus fortes densités fluctuant entre 350 individus à TZ et 514 individus à S8. Tandis que, les faibles densités sont celles obtenues dans les sources (AA, SS et AT) et la rivière S17, et qui oscillent entre 10 individus à S17 et 32 individus à AT. Elle ne disparaît que dans la station la plus chaude et à courant le plus vif S18 (Dakki 1987).

En 2015-17, on note surtout la disparition de *B. rhodani* dans la grande rivière chaude de basse altitude S17. Elle est devenue très abondante dans les trois sources où les effectifs les plus élevés sont atteints, AA (passant de 13 à 28 individus), SS (passant de 22 à 50 individus) et AT (passant de 32 à 98 individus) ; et enregistre son optimum écologique à S8 (644 individus). Les plus faibles densités sont obtenues dans les stations à faciès héli-eurytherme et rhéophile S9 (passant de 436 à 119 individus) et S11 (passant de 386 à 165 individus) ; et les rivières rapides de moyenne altitude S13 (passant de 139 à 19 individus) et S15 (passant de 98 à 35 individus). Certains auteurs la qualifient d'espèce indifférente à grande valence écologique car elle peut supporter de très fortes contaminations de l'eau et tolérer la pollution organique. En effet, nous avons remarqué qu'elle tolère de très larges variations de la conductivité (321,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 1034,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

-*Labiobaetis neglectus* : espèce thermophile pullule dans les rivières de basse et moyenne altitude aux températures estivales élevées. Elle a une forte prédilection pour les faciès à fortes vitesses d'écoulement, plus particulièrement durant la période estivale. Elle avait une restreinte répartition en colonisant les deux stations du bas Guigou avec des faibles abondances S13 (8 individus) et S15 (10 individus) en plus de deux stations de Sebou avec des effectifs plus élevés S17 (35 individus) et S18 (45 individus).

En 2015-17, *L. neglectus* enregistre son apparition dans la source SS (8 individus), en étendant son aire de répartition vers l'amont jusqu'à 1425 m d'altitude (Fig.76). La source Skhounate a connu une augmentation d'avantage de sa température estivale et hivernale et le réchauffement de ses eaux. Ainsi, elle a disparu dans les deux grandes rivières rapides de moyenne et basse altitude S15 et S17 qui connaissent une forte réduction de la composante hydrologique (la vitesse moyenne du courant et le débit) suite probablement à l'évaporation de l'eau due au réchauffement climatique et au nombre élevé de dérivation pour l'irrigation, ce qui limite sa prolifération. *L. neglectus* a régressé dans la rivière héli-eurytherme de moyenne altitude S13 (passant de 8 à 5 individus) qui enregistrent une diminution de la vitesse du courant surtout en été. Elle atteint ses fortes densités dans la grande rivière chaude S18 (passant de 45 à 59 individus) qui a connu une hausse de sa composante thermique.

-*Cloeon dipterum* : espèce lénitophile, elle peuple les zones calmes des rivières chaudes héli sténothermes à eurythermes et des sources chaudes (Dakki 1986a, 1987) dans le Plateau central et le Moyen Atlas. Elle a été qualifiée de très rare dans le Haut Sebou, où elle a été récoltée uniquement à S9 en un seul exemplaire (présence accidentelle).

Au cours de notre période d'étude, *C. dipterum* a colonisé les stations d'oued. Guigou plus en aval de S9 (Fig. 76). Elle apparaît dans les deux sources chaudes SS (10 individus) et AT (17 individus), dans les deux stations de moyenne altitude héli-sténotherme S13 (8 individus) et S15 (8 individus) et dans la station de haute altitude à faciès héli-eurytherme S11 (17 individus) où elle occupe les zones calmes et les bords des cours d'eau caractérisés par une vitesse d'écoulement atténuée. Cette prolifération est probablement une réponse au ralentissement du courant (réduction de la vitesse moyenne couplée à une

réduction de la profondeur et du débit), ainsi qu'à l'augmentation de la température (hivernale et estivale) dans ces stations, des biotopes nouveaux ont été créés, ce qui a contribué à l'hébergement de cette espèce.

Dans les différents réseaux hydrographiques rifains, *C. dipterum* présente une large distribution dans les faciès lénitiques de basse et moyenne altitudes riches en végétation immergée. Sa grande valence écologique lui permet de coloniser une grande variété de biotopes. En effet, Velasco et al. (1998) pensent que la grande plasticité de *C. dipterum* est due, probablement, à son cycle polyvoltin, son régime alimentaire détritivore et sa grande tolérance vis à vis des variations abiotiques.

-*Procloen* sp. : ce taxon montre une distribution discontinue, affectionnant les eaux tempérées et chaudes des stations temporaires ou permanentes de basses et moyennes altitudes (Dakki 1979, 1987). Il est très rare dans les deux récoltes et présente la même répartition que *C. dipterum* dans le bassin de Bouregreg avec une marge altitudinale étroite 240-335 m (El Agbani 1984).

En 2015-17, cette espèce persiste uniquement à SS. Ceci est dû probablement à la diminution de la vitesse du courant et à la réduction du débit. Elle a disparu de S13 et S17 où sa présence a été considérée comme accidentelle (un seul individu).

2.2. Famille des Oligoneuriidae

Deux espèces de la famille des Oligoneuriidae se répartissent dans les grandes rivières chaudes et rapides de basses et moyennes altitudes du Haut Sebou ; *Oligoneuriella skoura* évite les eaux à fortes fluctuations thermiques avec des maxima élevés, alors qu'*Oligoneuriopsis skhounate* paraît être une espèce plus thermophile (Fig. 76). Cette dernière présente un cycle estival saisonnier univoltin, la croissance et le développement ayant lieu pendant la période la plus chaude de l'année (de la fin du printemps au début de l'automne). L'absence de nymphes pendant l'hiver et la présence de nymphes de dernier stade de juillet à novembre suggèrent une longue diapause des œufs, après l'émergence et la reproduction estivo-automnale (Dakki & El Agbani 1983, Dakki 1986a).

-*Oligoneuriopsis skhounate* : espèce qualifiée de thermophile et de rhéophile. Des températures élevées de l'eau et de fortes vitesses du courant sont les deux principaux paramètres abiotiques exigés par cette espèce. Ses larves n'ont été échantillonnées que sous des faciès de gros galets à fortes vitesses du courant et à partir des mois de juin et juillet. De plus, l'espèce semble éviter les habitats dont le substrat est principalement constitué de grains fins, préférant les micro-habitats dominés par les galets (El Agbani 1984, Dakki 1986a). Les nymphes ont souvent été trouvées accrochées à la face inférieure des pierres. *O. skhounate* est automnal, son cycle biologique est d'autant plus précoce qu'on descend en altitude (Dakki 1979). Elle pullule dans les grandes rivières permanentes eurythermes de basses et moyennes altitudes aux fortes vitesses du courant.

En 2015-17, elle a régressé dans la source Skhounate (passant de 166 à 12 individus) où elle a été identifiée pour la première fois. Cette forte diminution d'effectifs peut être due au fait que cette station a tari en période de sécheresse en 2008. *O. skhounate* a également régressé dans les grandes rivières chaudes de basses et moyennes altitudes S18 (passant de 42 à 24 individus) et S15 (passant de 23 à 7 individus) et a disparu de S13 qui reçoit une partie de sa faune par dérive de SS. Cette régression s'explique en partie par la fragmentation des habitats permanents avec un substrat grossier qui maintient une vitesse d'eau modérée à forte en été, l'assèchement de ces tronçons d'eau par endroit suite au prélèvement excessive d'eau ; en plus de la contamination de l'eau suite à l'utilisation des fertilisants et des pesticides pour

l'agriculture surtout dans la station SS, où des champs de maraîchères s'étalant sur la rive droite de la station.

Une augmentation de l'abondance d'*O. skhounate* a été enregistrée dans la grande rivière chaude S17, comme conséquence à l'augmentation de la composante thermique (température hivernale, estivale et la moyenne géométrique des maximas thermiques extrêmes).

-*Oligoneuriella skoura* : cette espèce qualifiée aussi de thermophile et rhéophile, a la même répartition que la précédente, elle abonde dans les cours d'eau de moyen et basse altitude. Ces deux espèces cohabitent dans un grand nombre de biotopes du Haut Sebou. *O. skoura* préférant plutôt les cours d'eau moins chauds.

En 2015-17, elle a persisté uniquement à S17 avec une faible densité (5 individus) et a disparu de la source chaude SS, dans la grande rivière chaude de basse altitude S18 et des deux rivières rapides de moyenne altitude héli-sténotherme ou héli-eurytherme S13 et S15. Ceci peut être expliqué par une forte variation de la température d'eau et l'augmentation de la moyenne géométrique des maximas thermiques extrêmes intolérées par *O. skoura*.

2.3. Famille des Heptageniidae

Trois espèces composent la famille des Heptageniidae. *E. ifranensis* et *E. rothschildi* montrent une nette complémentarité dans leur distribution, la première étant moins thermophile et plus alticole que la seconde ; ces deux espèces semblent éviter les biotopes des sources. *Rhitrogena* sp. côtoie principalement les rivières de basse et moyenne altitude (Fig. 76).

-*Ecdyonurus ifranensis* : espèce alticole qui est abondante dans les eaux fraîches à écoulement rapide des cours supérieurs. Dans le Haut Sebou, elle est considérée comme caractéristique des grands ruisseaux du haut et moyen Guigou (Dakki 1987). Elle est rencontrée dans la source TZ, S8 et S11 et atteint sa densité maximale à S9 (63 individus).

En 2015-17, cette espèce est devenue très abondante dans la petite rivière de haute altitude à été froid S8 avec un effectif de 32 individus. Cette station se caractérise par ses eaux fraîches (température hivernale atteignant 10,3°C) et une augmentation de débit soutenu par les apports hydriques de la source AA à son amont. Elle disparaît de la station S11 à faciès héli-eurytherme et rhéophile qui enregistre une augmentation de la composante thermique et de la minéralisation de l'eau ; et elle régresse fortement à S9 (passant de 63 à 16 individus) dû probablement au réchauffement de ses eaux et à la forte pollution organique.

Dans les réseaux hydrographiques rifains, elle présente une large valence écologique puisqu'elle se rencontre dans une marge altitudinale située entre 20 et 1300 m et côtoie les stations des cours supérieurs jusqu'aux biotopes de plaine. Elle a une nette préférence pour les cours d'eau à fond pierreux et à vitesse du courant forte à modérée et elle est remplacée en aval par son congénère *E. rothschildi* (El Alami 2002). Elle paraît comme une forme alticole, sténotherme d'eau froide dans le Haut Atlas (Bouzidi 1989).

-*Ecdyonurus rothschildi* : considérée comme l'espèce la plus eurytherme et la plus thermophile des Heptageniidae dans le bassin versant Moulouya (Mabrouki et al. 2017), *E. rothschildi* colonise les réseaux hydrographiques de basse et moyenne altitude au nord-ouest de l'Algérie et au Maroc (Gagneur & Thomas 1988, El Agbani 1984). Elle est remplacée par *E. ifranensis* et *E. sylvicola* dans les eaux fraîches des cours supérieurs. Dans le Haut Sebou, cette espèce colonise les cours d'eau de basse et moyenne altitude, et

largement répandue dans les stations situées au-dessous de 1500 m d'altitude et ne régresse que dans la source AT, avec les plus fortes densités dans les cours inférieurs.

En 2015-17, on peut signaler que cette espèce a étendu son territoire et s'est déplacée vers l'amont (fuite vers le crénal) jusqu'à 1910 m d'altitude. Elle a colonisé les petites rivières aux eaux froides S8 (32 individus) et S9 (16 individus). Elle a connu une forte abondance dans les grandes rivières de basse altitude où elle atteint son optimum écologique S17 (passant de 31 à 226 individus) et S18 (passant de 14 à 21 individus). Les températures hivernale, estivale et la moyenne géométrique enregistrent une augmentation au niveau de ces stations. Ainsi, elle a régressé dans la rivière rapide de moyenne altitude S15 (passant de 74 à 21 individus) et dans la source chaude SS (passant de 36 à 20 individus) et a disparu totalement de S11.

Dans le Rif, *E. rothschildi* est considérée moins alticole que dans les autres réseaux hydrographiques marocains (El Alami 2002, Khadri 2018). Elle se cantonne dans les cours moyens et inférieurs des petites et grandes rivières permanentes ou temporaires entre 20 et 450 m d'altitude et à des températures variant entre 15 et 30°C. Elle semble éviter les ruisseaux et les émissaires de sources des cours supérieurs. Alors qu'elle paraît être plus alticole (500 à 2088 m) dans le Haut Atlas (Bouzidi 1989).

-*Rhitrogena* sp. : dans le bassin du Haut Sebou, *Rhitrogena* sp. semble être confinée aux faciès de grandes rivières eurythermes des cours moyens et inférieurs. Ce taxon tolère les grandes variations de la température et de la minéralisation de l'eau. Dans les réseaux hydrographiques européens, le genre *Rhitrogena* peuple les cours d'eau de haute et moyenne montagne caractérisés surtout par leurs basses températures. Ainsi, les larves *Rhitrogena* sp. ont été récoltées dans le bassin de Bou Regreg (El Agbani 1984) dans des cours d'eau de basse altitude caractérisés par les plus fortes températures de l'eau en juin et juillet.

En 2015-17, ce taxon a disparu des grandes rivières chaudes et rapides de basse altitude (S17 et S18). Il a régressé à S15 et apparu dans la source chaude AT (7 individus).

2.4. Famille des Caenidae

Deux espèces composent la famille des Caenidae, *C. luctuosa* très abondante et largement répartie dans le bassin Haut Sebou (Fig. 76). Elle cohabite avec son congénère *C. pusilla* dans les stations de moyenne et basse altitude au cours de notre période d'étude.

-*Caenis luctuosa* : espèce eurytope et eurytherme, colonise aussi bien les eaux courantes qu'aux eaux stagnantes entre 0 et 2000 m d'altitude au Maroc. Elle est inféodée aux substrats à faciès sédimentaire et ne régresse que dans les biotopes de sources fraîches ou tempérées (Dakki & El Agbani 1983, Dakki 1987).

Dans le Haut Sebou, elle se caractérise par sa grande valence écologique, c'est la plus prolifique, la plus abondante et la plus fréquente en côtoyant tout le secteur étudié. Cette valence écologique est due à sa grande tolérance vis-à-vis des variations abiotiques, à son cycle polyvoltin et à son régime alimentaire détritivore. *C. luctuosa* est qualifiée aussi, polluo-résistance en tolérant les eaux à très haute conductivité électrique (1600 µs/cm) (Zamora-Muñoz & Alba-Tercedor 1992). Les plus faibles densités ont été enregistrées dans les sources AA (6 individus), TZ (1 individu) et AT (3 individus), tandis que les plus fortes densités ont été obtenues à S13 (205 individus), S15 (142 individus), S9 (130 individus), et S18 (121 individus).

En 2015-17, les abondances de cette espèce ont fortement régressé tout au long du bassin et surtout dans les stations de moyenne et basse altitude S13 (passant de 205 à 18 individus), S15 (passant de 142 à 18 individus), S17 (passant de 58 à 31 individus) et S18 (passant de 121 à 33 individus) où elle cohabite avec son congénère *Caenis pusilla* et partagent la même niche écologique. Ainsi, elle a disparu de la source froide AA et tempérée TZ, et de la petite rivière de haute altitude à été très froid S8.

Dans le Haut Sebou *C. pusilla* semble moins alticole que dans le Haut Atlas (Gagneur & Thomas 1988), elle est moins abondante que sa congénère *C. luctuosa*, avec laquelle elle cohabite le potamon. Elle atteint son optimum écologique en été, période durant laquelle les larves s'observent dans la végétation immergée.

2.5. Famille des Leptophlebiidae

Au Maroc, le genre *Choroterpes* de la famille Leptophlebiidae est représenté par cinq espèces endémiques nord-africaines, elles se cantonnent généralement dans les cours chauds de moyenne et basse altitude et sont rares dans les cours supérieurs.

-*Choroterpes (ch.) atlas* : espèce thermophile collectée dans la majorité des cas, dans des cours d'eau permanents, caractérisés par une vitesse moyenne du courant et parfois piégés dans de petites mares résultant de la baisse des niveaux d'eau. En effet, les densités maximales de cette espèce ont été rapportées durant l'été.

Elle colonise les cours inférieurs et moyens et les biotopes dans le secteur de bas Guigou en aval de la source chaude SS avec des densités très faibles (Fig. 76), où elle occupe les bordures du lit dans lesquels la vitesse du courant est relativement faible et les eaux sont fortement tempérées et riches en algues filamenteuses.

En 2015-17, elle a disparu de SS, S15 et S18 dans lesquelles a été qualifiée de rare (1 à 3 individus récoltés) et elle abonde à S17 (passant de 22 à 35 individus) où elle cohabite avec son congénère *E. volubilis*.

2.6. Famille des Polymitarcyidae

Dans le Haut Sebou, la famille des Polymitarcyidae est représentée par l'espèce *E. virgo*.

-*Ephoron virgo* : cette espèce a un préférendum pour les grandes et moyennes rivières de Haut Sebou, et se distribue dans une marge altitudinale de 200 à 1400 m (Dakki 1987, Dakki & El Agbani 1983). Elle se répartie dans le bassin Bou Regreg entre 50 et 650 m d'altitude (El Agbani 1984) et établie son optimum écologique au niveau des cours inférieurs. Dans le Rif, elle est qualifiée de sténotherme d'eau chaude en tolérant des températures allant jusqu'à 28°C durant la période estivale (El Alami 2002). Les larves de cette espèce colonisent principalement, les biotopes situés sur les rives des cours d'eau avec un courant lent à modéré et un substrat riche en sable et en limon dans lequel elles creusent des galeries (El Alami 2002).

Dans le Haut Sebou, *E. virgo* est peu fréquente, elle habite les stations de moyenne et basse altitude avec de faibles abondances 3 individus à S17, 12 individus à S18, 11 individus à S13 et 18 individus à SS (Fig. 76). En 2015-17, cette espèce a disparu de la source chaude SS et de S13 et elle persiste uniquement dans les rivières rapides et chaudes de basse altitude S17 et S18 avec une abondance relativement faible et respectivement de 3 et 9.

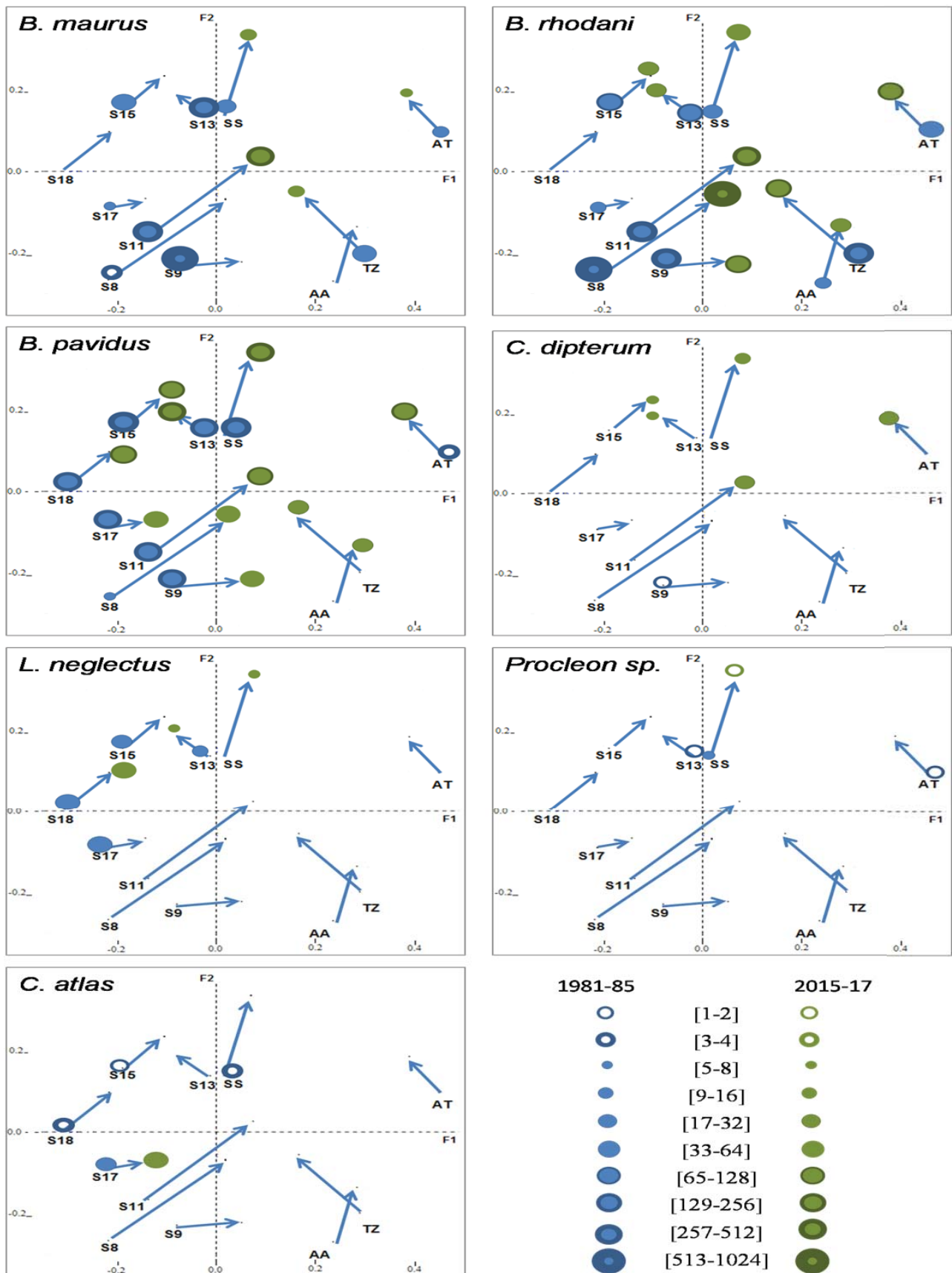


Figure 76. Evolution de la répartition des abondances des espèces d'Ephéméroptères sur le plan F1-F2 de la mésologie combinée du Haut Sebou 1981-85 et 2015-17.

3. Coléoptères

3.1. Famille des Elmidae

Quatre espèces réparties entre trois genres sont présentes dans les deux récoltes. Les *Elmis* occupent les tronçons supérieurs du Haut Sebou. Les *Limnius* se répartissent tout au long du réseau et pénètrent dans certaines sources pérennes, *Oulimnius* est le plus abondant et le plus largement réparti en hébergeant les tronçons et les sources.

-*Elmis maugetii* : espèce largement répandue, elle occupe presque tous les cours d'eau à hiver froid et les sources froides et tempérées de haute altitude à substrat grossier et à végétation sub-immersée abondante (Dakki 1987). Elle côtoie les stations du haut et moyen Guigou avec des densités fluctuantes entre 3 individus à TZ et 30 individus à S8 et S9, et ne manque que dans la source AA (Fig. 77).

En 2015-17, *E. maugetii* a disparu de S9 fortement polluée, elle persiste à S8 (passant de 30 à 33 individus) et à TZ (passant de 3 à 7 individus) avec une légère prolifération ; elle régresse dans S11 (passant de 21 à 9 individus).

-*Limnius intermedius* : espèce thermophile, dans le bassin du Haut Sebou elle a une préférence pour les milieux chauds de basse et moyenne altitude où les eaux ruissellent avec une vitesse moyenne à rapide sur un fond pierreux ou constitué essentiellement d'éléments minéraux grossiers (Dakki 1986a). Elle peuple plus que la moitié des stations avec de faibles densités, et un optimum atteint à SS (23 individus).

En 2015-17, *L. intermedius* est qualifiée de très rare dans notre récolte, elle a persisté uniquement dans la source chaude AT (passant de 9 à 3 individus) et a pratiquement disparu des petites et grandes rivières rapides de moyenne (S13 et S15) et basse altitude (S17 et S18) et de la source chaude SS (Fig. 77). La réduction de la composante hydrologique peut être à l'origine de cette disparition.

-*Limnius opacus* : espèce rhéophile, préfère plutôt les milieux plus frais du cours moyen et supérieur du Guigou (Dakki 1987, Bennas 2002). Elle fréquente principalement les sources et les cours d'eaux permanents où elle peut occuper le crénon et le rhithron (Benamar 2015). Elle occupait les deux sources fraîches AA et TZ avec de très faible densité (1 à 2 individus) et réalise son préférendum écologique dans la station S8 (202 individus).

En 2015-17, *L. opacus* a disparu de la source AA et S11 et a fortement régressé à S8 où elle enregistre une densité de 84 individus (Fig. 77). Ceci peut être expliqué par la réduction du débit et la vitesse du courant. Ainsi, on note le déplacement de cette espèce plus en aval et le début de la colonisation de SS.

-*Oulimnius fuscipes* : espèce rhéophile qui peuple les émissaires de sources et des cours supérieurs et moyens, ainsi que les sources tempérées et chaudes (Dakki 1986a, Chavanon et al. 2004). Dans le Haut Sebou, *O. fuscipes* fréquente les sources où elle atteint sa densité maximale TZ (165 individus) et AT (28 individus), et peuple les petites rivières de haute altitude (S8, S9 et S11) (Fig. 77).

En 2015-17, cette espèce a fortement régressé dans notre échantillon au niveau des sources tempérée TZ (passant de 165 à 5 individus) et chaude AT (passant de 28 à 3 individus). De même, elle a complètement disparu des petites rivières permanentes froides de haute altitude S9 et S11. Ceci est dû à une diminution de la taille du cours d'eau et une réduction de la vitesse du courant dans ces stations.

Selon Berthelemy (1966), " les zones où les Plécoptères sont les plus abondantes en espèces comme en individus, sont situées en amont de celles où dominent la plupart des autres groupes ". Kamler (1965) a montré que les eaux à forte moyenne thermique journalière, sont plus pauvres en Plécoptères et Ephéméroptères et inversement, les Plécoptères dominent en espèces et en densité dans les eaux de faible à moyenne thermique. Si nous appliquons ces résultats au Haut Sebou, le Guigou devrait être le plus riche en Plécoptères. En fait, 4 espèces sont signalées dans les stations étudiées au cours de la première période d'étude et montrent une distribution discontinue et des préférences pour les sources.

Il est donc difficile de trancher entre l'eurythermie, l'absence de feuillus aquatiques, la forte dégradation de la qualité des eaux et la pollution, pour déclarer l'un d'entre eux comme principal responsable de la pauvreté du Guigou en perles, mais c'est probablement la combinaison de tous ces facteurs. Car 35 ans après, on constate une disparition totale de cet ordre dans les stations étudiées.

-*Protonemura talboti* : cette espèce côtoie divers ruisseaux et sources de montagne du Haut Sebou, elle atteint jusqu'à 2900 m d'altitude. Elle a disparu de la source AA où elle a enregistré une densité maximale de 46 individus, et elle est représentée à S15 par un seul exemplaire (Fig. 77).

III. Discussion

La distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés benthiques dans une portion de cours d'eau est le résultat d'un ensemble d'interactions, entre variables biotiques ou abiotiques du type vitesse du courant, substrat, profondeur, ressources trophiques et/ou compétition. Les variations observées dans la structure du peuplement autochtone dépendront donc plus ou moins directement des modifications de ces paramètres sur la période étudiée. Deux séries de facteurs semblent être à l'origine de l'évolution constatée du peuplement benthique du Haut Sebou. La composante thermique est le facteur le plus influençant de cette évolution, le rôle de ce facteur a été déjà mis en évidence au Maroc par différents auteurs (Dakki 1987, El Agbani 1984, El Alami 2002).

D'autres facteurs combinés à la température tels que l'altitude, la végétation riveraine, la nature du substrat, la vitesse du courant, le débit, seraient également responsables de la variation de la richesse spécifique dans un cours d'eau. En outre, les paramètres physico-chimiques des eaux (conductivité électrique, salinité, oxygène dissous, polluants organiques) jouent également un rôle non moins négligeable dans l'évolution de la répartition et l'abondance de nos espèces. A ces conditions du milieu, s'ajoutent tous les effets naturels (autres perturbations hydrologiques et crues) et les activités anthropiques (pratiques culturales, rejets domestiques, déjections animales, pâturage, diminution du débit sous l'effet de la canalisation pour irrigation, lessivage, lavage des voitures, élargissement des routes) qui se traduisent par l'altération des habitats des cours d'eau et, par voie de conséquence, par une réduction de la diversité biologique de ces milieux (Kaushal et al. 2010).

Les richesses spécifiques de la faune récoltée au cours des deux périodes d'études (1981-85) et (2015-17) montrent un gradient d'appauvrissement du nord vers le sud, chose déjà signalée par Giudicelli et al. (1985), Dakki (1986a, 1987) et Sanchez-Ortega & Azzouz (1998).

La projection des densités spécifiques sur la structure mésologique combinée du plan F1-F2 (Fig. 37) nous a confirmé encore une fois la rareté, voire l'absence d'espèces sténothermes d'eaux fraîches en faveur des eurythermes et/ou thermophiles dans quelques stations du secteur étudié. En effet, la majorité des espèces recensées dans le Haut Sebou au cours des deux périodes d'échantillonnage sont thermophiles

préférant les eaux tièdes des cours moyen et inférieur, ce qui est en accord avec les résultats obtenus dans d'autres réseaux hydrographiques au Maroc, ainsi qu'en Europe et en Afrique du Nord par un certain nombre d'auteurs (Bournaud et al. 1980, El Agbani et al. 1992, Floury et al. 2013, Nechad et al. 2018 etc.). Et à faible degré des espèces généralement alticoles qui se cantonnent dans les cours supérieurs avec des densités faibles à moyenne.

Au niveau des Ephéméroptères, les espèces répertoriées en 1981-85 ont été soit déplacées vers l'amont (fuite vers le crénal) ou vers l'aval, soit éradiquées (*C. pennulatum*, *H. fusca* et *E. glaucops*). Elles ont été remplacées par un ensemble de Baetidés (*C. dipterum*, *N. gracilis*) spécialisés dans les milieux à courant lent à moyen et à végétation aquatique abondante et des espèces eurytope et eurytherme à grande valence écologique (*C. pusilla*). A la catégorie des espèces plus ou moins insensibles au changement restées en place, bien que perturbées et/ou décimées appartiennent avant tous aux Baetidés. En effet, hormis, peut-être une légère diminution ou une augmentation dans la densité des populations, nous avons constaté de faible changement en ce qui concerne *B. rhodani*, *B. pavidus* et *C. luctuosa*. Ces espèces marquent une forte abondance et une large distribution couvrant tout le secteur étudié pendant les deux périodes. Les larves de *B. rhodani* et *B. pavidus* sont de type nageur ou agrippeur et ne cherchent pas de substrat spécifique. De plus, elles sont eurythermes et donc peu sensibles aux variations de température, et peuvent supporter des écarts de température assez importants.

Pour les espèces européennes (*B. pavidus*, *E. rothschildi* et *L. neglectus*) qui s'étalent jusqu'à nos réseaux hydrographiques, nous remarquons des remontées en altitude ou des cantonnements aux cours supérieurs dûs aux conditions thermiques plus chaudes qui règnent dans nos milieux marocains. Cette remontée vers ces stations froides est une réponse, sans doute, à l'augmentation de la température de l'eau. C'est le comportement typique surtout des espèces ne supportant pas des températures élevées dites sténothermes d'eau froide qui se sont déplacées vers les sources et les secteurs plus froids pour trouver des biotopes très froids suite au réchauffement climatique. Par contre, les espèces plus thermophiles, comme *H. maroccana* et *H. pellucidula*, par exemple, elles se sont implantées dans les secteurs plus chauds et abondent dans les stations de basse altitude. Les espèces insensibles aux changements de température ou de débit dans le ruisseau ont plutôt choisi leur habitat en fonction du substrat (*Ecdyonurus* et *Rhithrogena*).

A l'intérieur d'une même famille ou d'un même groupe, les habitants des biotopes aquatiques ont tendance à se remplacer de l'amont vers l'aval dans une succession d'espèces bien connu et prévisible (Berthélemy 1966). Dans le Haut Sebou nous avons, par exemple, le cas très clair de la succession des deux Ephéméroptères (*E. Ifranensis* et *E. rothschildi*) et des deux Coléoptères (*L. intermedius* et *L. opacus*) et qui présentent une complémentarité de répartition.

Pour les espèces congénériques cohabitant dans les mêmes stations du Haut Sebou, le trio *B. pavidus*, *B. rhodani* et *B. maurus* cohabitent presque toutes les stations en 1981-85 (exception faite pour les deux sources AA et TZ et la station S18). Tandis qu'il ne cohabite que dans les trois sources TZ, SS et AT et dans S11 au cours de notre période d'étude ; où *B. maurus* plus exigeant que les autres n'a probablement pas supporté les changements subis par les stations et a marqué des disparitions dans quelques stations et des régressions dans d'autres. *O. skoura* et *O. skhounate* cohabitent toutes les stations de moyenne (S13 et S15) et basse altitude (S17 et S18) et la source SS où elles réalisent toutes les deux leurs optimum écologique en 1981-85, alors qu'elles ne cohabitent que dans S17 en 2015-17, *O. skoura* ne supporte pas les fortes fluctuations thermiques avec des maxima élevés des eaux a pratiquement disparu de toutes ces stations. Pour les trois Hydropsychés *H. maroccana*, *H. pellucidula* et *H. fezana*, elles marquent

une absence ou une rareté dans les sources et cohabitent S11 et S9 en 1981-85. Ces trois espèces ne cohabitent que S9 avec une forte régression des abondances et SS où elles marquent une forte prolifération et semble probablement occupé les biotopes des Oligoneuriidae en 2015-17

En réponse au ralentissement du courant suite à la réduction du courant et la profondeur de l'eau, ainsi qu'à l'augmentation de la température dans les stations étudiées en 2015-17, des biotopes nouveaux ont été créés, ce qui a attiré un éventail d'espèce comme *C. dipterum* lénitophile spécifique des zones calmes et à faible courant, et qui a étendu son territoire en descendant vers l'aval jusqu'à 1420 m d'altitude.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Bien que d'autres études aient précédemment été menées sur le bassin versant Haut Sebou au sujet du régime hydroclimatiques (Akdim et al. 2011, Qadem et al. 2018, Devos et al. 2000), de l'hydrologie (Sanchez Navaro et al. 2017), la physico-chimie de l'eau (Abboudi et al. 2014), des macroinvertébrés (Dakki 1979-1987, Nechad et al. 2018) et du réchauffement climatique (Nejjari et al. 2000) ; celle présentée ici, est la première à évaluer simultanément l'ensemble de ces facteurs, à en décrire les changements long-terme sur plus de trois décennies (1981-2017) et à analyser les relations existantes entre les tendances observées. Nos investigations illustrent comment le Haut Sebou une grande rivière qui draine une région bien arrosée du Moyen Atlas (Maroc) a été soumis aux stress multiples et progressifs au cours des récentes décennies.

Ce travail porte sur l'évaluation et la comparaison de la qualité physico-chimique, de l'état écologique, de la biodiversité et des traits biologiques des macroinvertébrés aquatiques du Haut Sebou et ce, à partir d'un suivi de 11 stations pendant cinq campagnes d'échantillonnages s'étalant entre décembre 2015 et avril 2017 et ceux étudiés plus de trois décennies avant entre 1981-85. Ces stations sont soumises d'une part aux altérations naturelles (réchauffements climatique, sécheresse) et d'autre part aux altérations anthropiques dérivant des conséquences de l'agriculture, des rejets domestiques et du pâturage...

➤ Etude mésologique :

L'évolution de la qualité physico-chimique des eaux du Haut Sebou, à partir de l'évaluation et la comparaison de 16 paramètres environnementaux (altitude, pente, largeur moyenne, section mouillée, débit, vitesse moyenne, température hivernale, température estivale, amplitude thermique, moyenne géométrique, conductivité électrique à 20°C, oxygène dissous, substrat grossier, phanérogames, bryophytes et périlithon) montre une réduction de la masse de l'eau qui se manifeste par un rétrécissement de la taille des cours d'eau (diminution de la largeur du lit et la section mouillée) et une réduction des débit et de la vitesse d'écoulement. De même, un réchauffement de l'eau qui se traduit par l'augmentation de la composante thermique, une augmentation de la conductivité électrique (minéralisation de l'eau) reflétée par les concentrations élevées en éléments minéraux (SDT) et reflète son origine puisqu'elle est issue du lessivage des terrains géologiques de nos bassins versants et une diminution de l'oxygène dissous.

Les paramètres signalant la pollution montrent des teneurs élevées en DBO₅, DCO, matière en suspension et importantes en nitrites témoignent d'une pollution organique intense. Ils sont dues principalement au rejet des eaux résiduaires (des déjections humaines, des matières organiques en décomposition, des lessives...) et des activités agricoles près de cette station (perte d'engrais phosphatés et ruissellement d'effluents agricoles, l'utilisation agricole intensive des sols et des apports excessifs en engrais...).

La variabilité spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques a été exprimée en détail, d'abord, par des histogrammes qui reflètent la répartition des concentrations des différents paramètres abiotiques dans les stations de prélèvement entre les deux périodes d'études. Ensuite, par le test non paramétrique de Wilcoxon en vue de chercher les différences significatives de nos mesures sur le plan temporel entre ces deux périodes d'étude. Cet analyse a permis de montrer une différence significatives ($P < 0,05$) des variables débit, largeur moyenne, section mouillée, température hivernale, estivale, moyenne géométrique, conductivité électrique, oxygène dissous et composante végétale bryophytes.

Par ailleurs, parmi le panel de méthodes possibles pour étudier ces changements, les techniques de classification et d'ordination ont montré leur pertinence, dans la mesure où elles ont permis de traiter plusieurs variables simultanément et de mettre en évidence des tendances.

Par le biais de ces paramètres environnementaux des stations d'étude, une typologie des cours d'eau pour chaque période et une typologie combinant les données anciennes (1981-85) et nouvelles (2015-17) ont été réalisées par l'AFCM. La fusion des données de ces deux périodes dans la même structure mésologique où chaque station occupe deux positions différentes révèle une migration de ces stations en aval de leurs positions initiales résultant du concours des facteurs hydrologiques et thermiques.

La baisse des débits et le réchauffement des eaux (en particulier en période chaude) sont liés à des prélèvements massifs d'eau (pompage des eaux de surface et souterraines, dérivations, etc.), justifiés par l'extension des zones urbaines et agricoles, qui ont gagné une grande surface dans le bassin. Cependant, ces changements couvrent pratiquement tout le Haut Sebou, y compris les sources, ce qui ne laisse aucun doute sur le fait que le réchauffement climatique influence directement les paramètres de l'eau, générant des déficits hydriques fréquents (sécheresses) et un réchauffement prolongé des eaux. Mais le climat a également un effet indirect sur les eaux courantes, puisqu'il a fortement favorisé l'intensification de l'occupation humaine de l'espace et, par conséquent, les pressions de prélèvement et de pollution de l'eau.

Bien que mesurés de manière discontinue et partielle, le débit (et ses variables associées, section mouillée, largeur, profondeur et minéralisation) et la température de l'eau (sous ses différentes formes) sont apparus comme des indicateurs pertinents des effets du réchauffement climatique sur les oueds. Un suivi plus régulier et plus serré de ces paramètres pourrait mieux préciser ces effets. Néanmoins, deux autres paramètres (la vitesse d'écoulement et la composition du substrat) qui peuvent jouer un certain rôle comme indicateurs de changement, mais ce rôle semble flou dans cette étude.

➤ Etude faunistique

L'étude taxonomique de 24 152 individus d'insectes aquatiques (Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères, Coléoptères, Odonates et Hémiptères), Mollusques (Gastéropodes et Bivalves) et Crustacés (Amphipodes et Décapodes), récoltés dans les 11 stations installées sur les principaux habitats du Haut Sebou, a permis de mettre en évidence la présence de 102 espèces réparties entre 44 familles.

En termes de richesse spécifique, les Coléoptères avec 32 espèces, s'avèrent l'ordre le plus diversifié, suivi par les Ephéméroptères (17 espèces) et les Gastéropodes (15 espèces).

L'analyse de la composition du peuplement benthique du Haut Sebou étudiée et basée sur les catégories chorologiques attribuées à chaque taxon en fonction de son aire d'occupation, montre qu'elle est constituée essentiellement d'éléments Méditerranéens (64%) et Paléarctiques (25%), alors que les éléments à large distribution constituent une minorité (11 %). Au sein du corotype Méditerranéen, il y a une nette prédominance des endémiques au sens large, en représentant 41% du total (soit presque la moitié des catégories du corotype), répartie entre les espèces Maghrébine (13%), endémique Marocaine (17%) et Ibéro-Maghrébine (11%) sur les autres catégories du corotype Méditerranéen.

En ce qui concerne l'étude de la variabilité spatio-temporelle des peuplements du Haut Sebou par des indicateurs de diversité, les valeurs obtenues des indices de Shannon-Wiener (H'), de l'Equitabilité (E) et de Simpson (D') montrent que l'échantillon récolté en 1981-85 est plus riche et plus diversifié en espèces

que l'échantillon récolté en 2015-17. De même, L'indice de similarité de Jaccard a dévoilé que les deux populations récoltées pour ces deux périodes sont hétérogènes et présentent seulement 47% de ressemblance. Les faibles indices de H' ont été calculés dans des stations qui coïncident avec la dominance nette de quelques espèces par rapport aux autres (*B. rhodani* à S8 et TZ ; *S. necteroibius* à AA ; *B. pavidus* à SS et *A. dolichopterus* à TZ). Alors que, les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les stations qui montrent des valeurs d'abondance plus ou moins proches de la moitié des espèces recensées et donc, montrent une très bonne représentation. Pour les deux périodes d'étude, la majorité des valeurs de D' sont proches de 1 que de 0, ce qui se traduit par une bonne homogénéité dans la répartition des espèces du peuplement.

➤ Etude Biotypologique

Les changements environnementaux génèrent de profondes modifications dans les communautés benthiques de ces écosystèmes, principalement dans les régions arides. Comme contribution à la connaissance de ces changements, cette étude élucide le modèle d'évolution de ces communautés dans le Haut Sebou. Elle a consisté à comparer deux séries de données d'échantillonnage du macrobenthos (Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères et Coléoptères Elmidae) recueillies dans cette rivière entre 1981-85 et 2015-17. Pour analyser les changements survenus au cours de ces 35 années, nous avons utilisé deux outils principaux : la richesse des communautés et leur schéma biotypologique.

Les quatre ordres d'insectes choisis pour cette étude ont révélé une perte remarquable de 52% de la richesse faunistique d'origine. Cette perte concerne tous les types d'habitats, mais elle est particulièrement élevée dans les oueds de moyenne montagne, car elle y'a eu éradication de la quasi-totalité des espèces polluosensibles et rhéophiles. Cependant, la perte de richesse est relativement faible dans certaines sources permanentes, où le débit est resté supérieur au seuil écologique létal. Ces changements peuvent être liés à l'abaissement sévère du débit dans plusieurs secteurs fluviaux, voire à leur tarissement total, que nous avons enregistré au moins une fois entre les deux périodes d'étude.

Ces pertes ont été partiellement récompensées par l'apparition, dans des secteurs particuliers, de quelques espèces thermophiles, installées dans la rivière entre les deux périodes d'étude. Il est clair que ces formes, pour la plupart limnophiles et largement distribuées dans la région paléarctique, ont bénéficié de l'abaissement du débit dans l'écosystème du Sebou et n'apportent aucune originalité à l'assemblage de ses invertébrés.

Les structures biotypologiques, établies en utilisant l'analyse des correspondances, ont révélé des changements majeurs dans les assemblages benthiques qui peuvent être définis comme des modèles écologiques ; le changement majeur est la migration de plusieurs espèces thermophiles vers les cours d'eau montagneux, ou même vers des sources fraîches. Cette ascension avait déjà été enregistrée en 1981 (Dakki 1987), en comparant les assemblages benthiques marocains à ceux de l'Europe, mais cette étude la rase comme conséquence du changement climatique.

La projection des densités spécifiques des espèces communes des deux études sur la structure mésologique combinée du plan F1-F2 montre la prolifération des espèces eurythermes et/ou thermophiles (*H. maroccana*, *H. pellucidula*, *B. rhodani*...), lénitophile (*C. dipterum*) et la disparition d'espèces sténothermes. Des espèces se sont déplacées vers l'amont (fuite vers le crénal) ou vers l'aval (extension de leur aire de répartition) en réponse au réchauffement climatique. D'autres espèces plus ou moins insensibles

au changement restées en place, bien que perturbées et/ou décimées ; alors que, des espèces sont complètement éradiquées de quelques stations du secteur étudiée.

Il est clair que cette étude ne vise pas à démontrer les impacts directs du réchauffement climatique sur les communautés benthiques, mais elle met en évidence que les assemblages biotiques des eaux courantes subissant de fortes pressions indirectes de ce réchauffement climatique dans les pays sud-méditerranéens. En effet, la baisse du débit des rivières et l'assèchement de nombre d'entre elles sont enregistrés comme une conséquence directe de la baisse des précipitations et de l'enneigement qui a été largement mise en évidence au Maroc. Cependant, cet abaissement a déclenché diverses réactions humaines, tant individuelles que collectives, qui ont consisté en une augmentation soudaine des prélèvements d'eau dans les réserves superficielles et souterraines. Cette "invasion", bien illustrée par la répartition de la population du Haut Sebou, a été générée par des sécheresses répétitives, qui rendent impossible une agriculture, voire la vie, loin des rives du fleuve. D'autre part, plusieurs institutions ont entrepris de grands aménagements hydrauliques qui ont radicalement changé les écosystèmes aquatiques et leurs communautés.

En dépit de la régression du milieu aquatique constaté au Haut Sebou, et de la diminution de la richesse spécifique qui en a découlé, l'habitat reste suffisamment adéquat pour permettre une recolonisation par un plus grand nombre d'espèces, à condition de limiter les perturbations, et que les activités anthropiques intègrent des mesures de préservation et de restauration de l'écosystème.

Plus largement, cette étude a également mis en évidence, d'une part, la nécessité cruciale de mener des études écologiques à long terme et des investigations supplémentaires pour une meilleure compréhension des réponses écologiques des invertébrés dans un contexte multi-stress. Et d'autre part, en termes de gestion préventive, de disposer d'un référentiel documenté et la prise en compte des tendances passées, afin de guider les futurs programmes de conservation et de gestion des ressources en eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbou F. & Fahde A. 2014. Structure et diversité taxonomique des peuplements de macroinvertébrés benthiques du réseau hydrographique du bassin du Sebou (Maroc). *International journal of biological and chemical sciences*, 11(4): 1785-1806.
- Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F., Benaabidate L. & Lahrach, A. 2014. Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. *European Scientific Journal*, 10 (23): 1857-7881.
- Abdaoui A., EL Alami M. & Ghamizi M. 2010. Diversité et distribution des Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) du parc National de Toubkal (Haut Atlas, Maroc). *Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie, Rabat*, 47: 1-5.
- Abdou A., Keith P. & Galzin R. 2015. Freshwater Nertidis (Mollusca: Gastropoda) of Tropical Islands, Amphidromy as a life cycle. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 70 (4): 387-397.
- Abellan P., Sanchez-Fernandez D., Velasco J. & Millan A. 2005. Assessing conservation priorities for insects: status of water beetles in southeast Spain. *Biological Conservation*, 121: 79-90.
- Aguesse P. 1968. Les Odonates de l'Europe Occidentale, du Nord de l'Afrique et des Iles Atlantiques. *Masson & Cie*, Paris, 258 pp.
- Aguesse P., Dakki M., Gheit A. & Ramdani M. 1982. Les Hétéroptères aquatiques du Maroc. Inventaire commenté. *Bulletin Institut Scientifique*, 6: 125-138.
- AHBS 2007. *State of the art of the Sebou basin in the frame of pilot establishment of WFD tools*. Science-Policy interfacing in support of the water framework directive implementation SPI-Water, contract no. 044357. Deliverable 20 b. Description of the Selected Non-EU River, Basin Sebou (Morocco). Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006).
- AHBS-Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS) 2011. *Etude d'actualisation du Plan Directeur d'Aménagements Intégrés des Ressources en Eau (PDAIRE) du bassin hydraulique de Sebou*.
- Akdim B., Sabaoui A., Amyay M., Louane M., Emmanuel G. & Obda K. 2011. Influence hydro karstique du système sourcier Aïn Sebou-Timedrine-Ouamender sur l'hydrologie de l'oued Sebou (Moyen atlas, Maroc). *Zeitschrift für geomorphologie*, 56(2): 165-181.
- Akdim B. & Sary M. 2001. La sécheresse hydrologique récente dans le bassin du Haut Sebou (Moyen Atlas, Maroc). *Mosella*, 25(3-4): 71-84.
- Alba-Tercedor J. 1983. Baetis maurus Kimmins, 1938 : (Ephemeroptera : Baetidae) en la Península Ibérica. Aportación al conocimiento morfológico de la ninfas. *Boletín Asociación Española Entomología*, 6: 173-178.
- 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.
- Alba-Tercedor, J. & Jaimez-Cuellar, P. 2003. *Checklist and historical evolution of the knowledge of Ephemeroptera in the Iberian Peninsula. Balearic and Canary Islands*. Research Update on Ephemeroptera & Plecoptera, E. Gaiño (Ed), University of Perugia. *Perugia*, Italy, 91-97.
- Alba-Tercedor, J. & Picazo-Muñoz, J. 1995. *Relationships between the distribution of mayfly nymphs and the water quality in the Guadalquivir river basin (Southern Spain)*. In: Current directions in research on

- Ephemeroptera: 41-54, L.D. Corkum and J.J.H. Coborowski (Eds.). Canadian Scholar'press inc. Toronto.
- Allan J.D., Palmer M. & Poff N.L. 2005. *Climate change and freshwater ecosystems*. In: Climate change and biodiversity. Yale University Press, New Haven.
- Amrani S. 2016. *Hydrodynamisme, hydrogéochimie et vulnérabilité de la nappe d'eau superficielle et leur relation avec la tectonique cassante dans la zone effondrée Timahdite-Almis Guigou (Moyen Atlas, Maroc)*. Thèse, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 191 pp.
- André M. 1943. Sur une crevette habitant nos eaux douces *Atyaephyra Desmaresti* Millet. *Bulletin Français Piscicole*, 129: 132-136.
- Angus R.B. 1973. Pleistocène *Helophorus* (Coleoptera, Hydrophilidae) from Borislav and Starunia in the western Ukraine, with a reinterpretation of Lomnick's species, description of a new Siberian species, and comparaison with British weichselian faunas. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Biological Sciences*, 265 (869): 299-326.
- Angus R.B. & Aouad N. 2009. A further chromosomally distinct sibling species of the *Helophorus minutus* complex from Morocco, with additional notes on Spanish *H. calpensis* Angus, 1988 (Coleoptera: Helophoridae). *Aquatic Insects: International Journal of Freshwater Entomology*, 31(4): 293-299.
- Annani F., Alfarhan A.H. & Samraoui B. 2012. Aquatic Hemiptera of northeastern Algeria: Distribution, phenology and conservation. *Revue Écologie (Terre Vie)*, 67: 423-435.
- Araujo R., Buckley D., Nagel K.O. & Machordom A. 2016. *Potomida littoralis* (Bivalvia, Unionidae) evolutionary history: slow evolution or recent speciation. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2016.
- Arnell N.W. 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 9: 5-23.
- Aukema B. & Rieger C. 1995. Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region. *The Netherlands Entomological Society*, 1-222.
- Azrina M.Z., Yap C.K., Rahim A.I., Ismail A. & Tan S.G. 2006. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 64: 337-347.
- Baali A. 1998. *Genèse et évolution au Plio-quaternaire de deux bassins inter-montagneux en domaine carbonaté méditerranéen : les bassins des Dayets Afourgah et Agoulmam (Moyen Atlas, Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, 326 pp.
- Bahin Yoli E., Haida S. & Probest J.L. 2017. Analyse de la variabilité hydroclimatique et impacts des barrages sur le régime hydrologique d'une rivière de zone semi-aride : Le Sebou Au Maroc. *European Scientific Journal*, 13: 1857- 7881.
- Barbault R. 1992. *Ecologie des peuplements : structure, dynamique et évolution*. Masson Ed., Paris, 273 pp.
- Barbour M.T., Plafkin J.L., Bradley B. P., Graves C.G. & Wisseman R.W. 1992. Evaluation of EPA's rapid bioassessment benthic metrics: metric redundancy and variability among reference stream sites. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 11: 437-449.
- Barkia H., Barkia A., Yacoubi R., El. Guamri Y., Tahiri M., El. Kharrim K. & Belghyti D. 2014. Distribution of Fresh-Water Mollusks of the Gharb Area (Morocco). *Environments*, 1: 4-13.

- Barlocher F., Seena S., Wilson K. P., Williams D.D. 2008. Raised water temperature lowers diversity of hyporheic aquatic hyphomycetes. *Freshwater Biology*, 53: 368-379.
- Bauernfeind E. & Soldan T. 2012. *The Mayflies of Europe (Ephemeroptera)*. Apollo Books, Ollerup, Denmark, 781 pp.
- Beak W.T., Griffing C.T. & Appleby A.G. 1973. *Use of Artificial Substrate Samplers to Assess Water Pollution*. In: Biological Methods for the Assessment of Water Quality, ed. J. Cairns and K. Dickson (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1973), 227-241.
- Bebba N., El Alami M., Arigue S. F. & Arab A. 2015. Etude mésologique et Biotypologique du peuplement des Ephéméroptères de l'oued Abdi (Algérie). *Journal of Materials and Environmental Science*, 6: 1164-1177.
- Ben Azzouz B. 1988. *Etude du cycle biologique et du polymorphisme larvaire et imaginal d'Ischnura graellsii (Rambur, 1842) (Odonata, Zygoptera) au Maroc*. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Mohammed V, Rabat, 183 pp.
- Ben Azzouz B. & Aguesse P. 1990. Morphologie externe du dernier stade larvaire et analyse du polychromatisme imaginal chez *Ischnura graellsii* (Rambur, 1842) au Maroc (Odonata, Coenagrionidae). *Nouvelle Revue Entomologique (N.S.)*, 7(4): 389-398.
- Ben Tayeb A. & Leclerc L. 1977. *Ressources en eau du Maroc. III. Domaine atlasique et sud atlasique*. Service géologique du Maroc, Rabat.
- Benamar L. 2015. *Les coléoptères aquatiques du Maroc : Atlas, Biogéographie et degré de vulnérabilité*. Thèse de doctorat, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté Des Sciences Tétouan, Maroc, 538 pp.
- Benamar L., Bennis N. & Millán A. 2011. Les coléoptères aquatiques du Parc National de Talassemtane (Nord-Ouest du Maroc) : Biodiversité, degré de vulnérabilité et état de conservation. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 49: 231-242.
- Benamar L., Bennis N., Belhaj A., Boulahfa N. & Millán A. 2021a. An updated checklist of Haliplidae, Gyrinidae, Noteridae, Hygrobiidae and Dytiscidae (Coleoptera : Adephaga) of Morocco, with notes on chorology. *Aquatic Insects*. <https://doi.org/10.1080/01650424.2021.1939884>.
- Benamar L., Bennis N., Hassun M. & Millán A. 2021b. Threatened endemic water beetles from Morocco. *Insect conservation and diversity*, 25: 465-477.
- Benamar L., Millán A., Sáinz Cantero C.L., Belhaj A. & Bennis N. 2021c. Annotated checklist of water scavenger beetles (Coleoptera: Polyphaga: Hydrophilidae) of Morocco. *Aquatic Insects*. [DOI: 10.1080/01650424.2021.1874422](https://doi.org/10.1080/01650424.2021.1874422).
- Benhoussa A., Aguesse P. & Dakki M. 1993. Microdistribution larvaire de trois populations de simules (Insecta, Diptera) de l'oued Bou Regreg (Maroc). *Vie et milieu*, 43 (4): 247-253.
- Bennis N. 2002. *Coléoptères aquatiques Polyphaga du Rif (Nord du Maroc) : Faunistique, Ecologie et Biogéographie*. Thèse de doctorat d'Etat. Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan. 383 pp.
- Bennis N., Sáinz-Cantero C.E. & Alba-Tercedor J. 1992. Datos preliminares para un estudio biogeográfico del Macizo Bético-Rifeño basado en Coleópteros acuáticos. *Zoologica Baetica*, 3: 167-180.
- Bennis N. & Sáinz-Cantero C.E. 2006. Coléoptères aquatiques Adephaga de la chaîne rifaine marocaine (Coleoptera Gyrinidae, Haliplidae, Noteridae, Hygrobiidae, Dytiscidae). *Memorie della Società Entomologica Italiana*, 85: 31-73.

- Bennas N. & Sáinz-Cantero C.E. 2007. Nouvelles données sur les Coléoptères aquatiques du Maroc : les Elmidae Curtis, 1830 et les Dryopidae Billberg, 1820 du Rif (Coleoptera). *Nouvelle Revue d'Entomologie*, 24(1): 61-79.
- Bennas N., Sáinz-Cantero C.E., Ouarour A. & Alba-Tercedor J. 2001. Nouvelles données sur les Coléoptères aquatiques du Maroc : Les Hydraenidae Mulsant, 1844 du Rif Faunistique & Biogéographie. *Zoologica Baetica*, 12: 135-168.
- Bennas N., L'Mohdi O., El Haissoufi M., Charfi F., Ghlala A. & El Alami M. 2018. New data on the aquatic insect fauna of Tunisia. *Transactions American Entomological Society*, 144: 575-592.
- Benslimane N., Chakri K., Haiahem D., Guelmami A., Samraoui F. & Samraoui B. 2019. Anthropogenic stressors are driving a steep decline of hemipteran diversity in dune ponds in northeastern Algeria. *Journal of Insect Conservation*, 23: 475-488.
- Benson R.H., Rakic-El Beid K. & Bonaduce G. 1991. An important current reversal influx in the Rifian Corridor (Morocco) at the Tortonian-Messinian boundary: in the end of the Tethys Ocean. *Paleoceanography*, 366: 115-199.
- Berrahou A. 1995. *Recherche sur la distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques : cas du Rhône français et des cours d'eau marocains*. Mémoire de Doctorat d'Etat, Université Mohamed I, Oujda, 211 pp.
- Berrahou A., Chavanon G. & Richoux P. 2000. Etudes sur la Basse Moulouya (Maroc oriental) : 6. Les Coléoptères aquatiques de l'oued Zegzel. *Bulletin mensuel de la société linéenne de Lyon*, 69(3): 44-50.
- Berrahou A., Cellot B. & Richoux P. 2001a. Distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques de la Moulouya et de ses principaux affluents (Maroc). *Annales de Limnologie*, 37(3): 223-235.
- Berrahou A., Chavanon G., Belloulali A. & Richoux P. 2001b. Etudes sur la Basse Moulouya (Maroc oriental) : 7 - Les Coléoptères aquatiques de l'oued Za. *Bulletin mensuel de la société linéenne de Lyon*, 70(5): 127-131.
- Berthélemy C. 1966. Recherches écologiques et biogéographiques sur les Plécoptères et Coléoptères d'eau courante (Hydraena et Elminthidae) des Pyrénées. *Annales de Limnologie*, 2(2): 227-458.
- Berthélemy C. 1979. Elmidae de la region Paléarctique occidentale : systématique et répartition (Coleoptera, Dryopoidea). *Annales de Limnologie*, 15: 1-102.
- Bertrand A. 1999. Notes sur la répartition des Hydrobiidae dans le sud de la France et en Catalogne. <https://www.researchgate.net/publication/321670150>.
- Blondel J. 1979. *Biogéographie et écologie*. Collection d'écologie 15, Masson Ed., Paris, 173 pp.
- Bonada N., Zamora-Muñoz C., El Alami M., Múrria C. & Prat N. 2008. New records of Trichoptera in reference mediterranean climate rivers of the Iberian Peninsula and north of Africa: Taxonomical, Faunistical and Ecological aspects. *Graellsia*, 64(2): 189-208.
- Bonada N., Múrria C., Zamora-Muñoz C., El Alami M., Poquet J., Punti T., Moreno J., Bennas N., Alba-Tercedor J., Ribera C & Prat N. 2009. Using community and population approaches to understand how contemporary and historical factors have shaped species distribution in river ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 18: 202-213.
- Bonada N., Zamora-Muñoz C., Rieradevall M & Prat N. 2004. Trichoptera (Insecta) collected in mediterranean river basins in Spain: taxonomic remarks and notes on ecology. *Graellsia*, 60(1): 41-69.

- Bouaicha, R., A. Benabdelfadel. 2010. Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc. *Sécheresse*, 21(1): 1-5.
- Boudot J.P. & De Knijf G. 2012. Nouvelles données sur les Odonates du Maroc oriental et méridional (Odonata). *Martinia*, 28(1): 1-23.
- Boukal D.S., Boukal M., Fikáček M., Hájek J., Klečka J., Skalický S., Štátn J. & Trávníček D. 2007. Catalogue of water beetles of the Czech Republic (Coleoptera : Sphaeriidae, Gyrinidae, Haliplidae, Noteridae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Helophoridae, Georissidae, Hydrochidae, Spercheidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Scirtidae, Elmidae, Dryopidae, Limnichidae, Heteroceridae, Psephenidae). *Klapalekiana*, 43: 1-289.
- Boulaassaffer K., Ghamizi M. & Delicado D. 2018. The genus *Mercuria* Boeters, 1971 in Morocco: First molecular phylogeny of the genus and description of two new species (Caenogastropoda, Truncatelloidea, Hydrobiidae). *ZooKeys*, 782: 95-128.
- Boulaassaffer K., Ghamizi M., Machordom A. & Delicado D. 2020. Phylogenetic relationships within *Pseudamnicola* Paulucci, 1878 (Caenogastropoda Truncatelloidea) indicate two independent dispersal events from different continents to the Balearic Islands. *Systematics and Biodiversity*, 0: 1-21.
- Boulaassaffer K., Ghamizi M., Machordom A., Albrecht C. & Delicado D. 2021. Hidden species diversity of *Corrosella* Boeters, 1970 (Caenogastropoda: Truncatelloidea) in the Moroccan Atlas reveals the ancient biogeographic link between North Africa and Iberia. *Organisms Diversity & Evolution*.
- Boulenger T., Nichols J.D., Sauer J.R., Hines J.E. & Pollock K.H. 1998. Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. *Ecology, the Ecological Society of America*, 73 (3): 1018-1028.
- Boumaiza, M. & Thomas A.G.B. 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.
- Bournaud M. & Keck G. 1980. Diversité spécifique et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques au long d'un cours d'eau : le Furans (Ain). *Acta Ecologica*, 1(2): 131-150.
- Bournaud M., Keck G. & Richoux P. 1980. Les prélèvements de macroinvertébrés benthiques en tant que révélateurs de la physionomie d'une rivière. *Annales de Limnologie*, 16 (1): 55-75.
- Bouzidi A. 1989. *Recherches hydrobiologiques sur les cours d'eau des massifs du Haut Atlas (Maroc). Bio-écologie des macroinvertébrés et distribution spatiale des peuplements*. Thèse de doctorat, University Cadi Ayyad, Marrakech.
- Bouzidi A. & Giudicelli J. 1994. Ecologie et distribution spatiale des Macro-invertébrés des eaux courantes du Haut-Atlas Marocain. *Revue de la Faculté des Sciences de Marrakech*, 8: 23-43.
- Brown D. 2005. *Freshwater Snails of Africa and their Medical Importance*. UK Taylor & Francis Ltd, 4 John St, London WC1N 2 ET.
- Brown L.E., Hannah D.M. & Milner A.M. 2007. Vulnerability of alpine stream biodiversity to shrinking glaciers and snowpacks. *Global Change Biology*, 13: 958-966.
- Buisson L., Thuiller W., Lek S., Lim P. & Grenouillet G. 2008. Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology*, 14: 2232-2248.

- Cairns J. & Pratt J.R. 1993. *A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates*. In: Rosenberg, D.M. et V.H. Resh. (1993) *Freshwater Biomonitoring and benthic Macroinvertebrates*. Kluwer Academic Publishers, 473 pp.
- Carpenter JH. 1969. A New Planarian from Utah, *Phagocata crenophila* n. sp. (Turbellaria, Tricladida). *Transactions of the American Microscopical Society*, 88 (2): 274-281.
- Castro A. & Delgado J.A. 1998. Notas sobre la presencia de *Hydrochus grandicolüs* Kiessenweter, 1870 en la Península Ibérica (Coleoptera, Hydrochidae). *Boletín de l'Asociación Española d'Entomología*, 22 (1-2): 145-149.
- C.E.I.B.M. Centre d'échange d'information sur la biodiversité du Maroc, Fiche technique sur la SIBE (source Tit Zill). http://ma.chm-cbd.net/manag_cons/esp_prot/sibe_ma/sibe_cont_hum/source-de-tit-zill-h20-./sibe_h20/
- Chakour R., L'Mohdi O., El Haissoufi M., Slimani M., Himmi O., El Agbani. M.A, Bennas N. 2017. Nouvelles données sur les insectes du bassin versant de Bouregreg (Plateau central Marocain) : Coleoptera, Hemiptera et Odonata. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 61: 306-322.
- Chaouche K., Neppel L., Dieulin C., Pujol N., Ladouche B., Martin E., Salas D. & Caballero Y. 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *C.R. Geoscience*, 342: 234-243.
- Chapman D. & Kimstach V. 1996. *Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*. Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon.
- Chardy P., Glemarc M. & Laurec A. 1976. Application of inertia methods to benthic marine ecology: practical implications of the basic options. *Estuarine and coastal marine Science*, 4: 176-205.
- Chardy P. & Glemarc M. 1977. *Evolution dans le temps des peuplements de sables envasés en baie de Concarneau (Bretagne)* ; in Keegan B.F., P.O. Ceidigh., P.J.S. Boaden (eds.) : *Biology of benthic organisms*. Pergamon Press., New York. 165-172.
- Charrière A. 1990. *Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intracontinentale : le Moyen Atlas au SE de Fès (Maroc)*. Thèse de doctorat d'Etat, Toulouse, 589 pp.
- Charroud M. 1990. *Evolution géodynamique de la partie sud-ouest du Moyen Atlas durant le passage jurassique-crétacé, le crétacé supérieur et le paléogène : un exemple d'évolution intraplaque*. Thèse 3^{ème} cycle, Rabat, 234 pp.
- Chavanon G., Berrahou A. & Millán A. 2004. Apport à la connaissance des Coléoptères et Hémiptères aquatiques du Maroc Oriental : Catalogue faunistique. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 35: 143-162.
- Chillasse L. & Dakki M. 2004. Potentialités et statuts de conservation des zones humides du Moyen-Atlas (Maroc), avec référence aux influences de la sécheresse. *Sécheresse*, 15 (4): 337-45.
- Choubert G. & Marçais J. 1956. *Les grands traits de la géologie du Maroc, introduction au lexique stratigraphique du Maroc*. Notes et Mémoires Service Géologie, Maroc, n° 134.
- Clavero M., Araujo R., Calzada J., Delibes M., Fernandez N., Gutierrez-Exposito C., Revilla E. & Romana J. 2012. The first invasive bivalve in African fresh waters: invasion portrait and management options. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 22: 277-280.

- Colloca F., Cardinale M., Belluscio A. & Ardizzone G. 2003. Pattern of distribution and diversity of demersal assemblages in the central Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56: 469-480.
- Colo G. 1961. *Contribution à l'étude du Moyen-Atlas septentrional*. Notes et Mémoires Services Géologie Maroc, Rabat, n°139, 226 p.
- Consiglio C. 1963. Plecotteri delle isole del Mediterraneo. *Monitore Zoologico Italiano*, 70(71): 147- 158.
- Correa A.C., Escobar J.S., Noya O., Velásquez L.V., González-Ramírez C., Hurtrez-Boussès S. & Pointier J.P. 2011. Morphological and molecular characterization of Neotropic Lymnaeidae (Gastropoda: Lymnaeoidea), vectors of fasciolosis. *Infection, Genetics and Evolution*, 11: 1978-1988.
- Cranston P.S., Fairweather P. & Clarke G. 1996. *Biological indicators of water quality*. In: Indicators of Catchment Health : a technical perspective. J. Walker and D.J. Reuter (eds.), CSIRO, Melbourne, 143-154.
- Croyle BT. 1997. *Population and community ecology of stream macroinvertebrates: The role of disturbance*. A thesis in zoology of the Requirements for the Degree of Master of science, Graduate Faculty of Texas Tech University, 77 pp.
- Cucherat X. 2003. *Les Mollusques continentaux de la region Nord-Pas-de-Calais. Liste des espèces, Echantillonnage et Base de Données*. Diplôme supérieur de recherche en Sciences Naturelles, Université des Sciences et Technologies de Lille-U.F.R. de biologie.
- Daget J. 1976. *Les modèles mathématiques en écologie*. Masson Ed., Paris, 172 pp.
- Daget D. 1998. *Catalogue raisonné des Mollusques bivalves d'eau douce africains*. Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands / Orstom, ISBN 90-73348-98-6.
- Dajoz R. 1985. *Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliqué*. 5ème édition. Gauthier Villard, Paris, 505 pp.
- Dakki M. 1979. *Recherches hydrobiologiques sur un cours d'eau du moyen Atlas (Maroc)*. Thèse de 3^{ème} cycle, Aix Marseille III, 126 pp.
- Dakki M. 1985. Sur le choix des données en biotypologie des eaux courantes par l'analyse factorielle des correspondances. *Bulletin d'écologie*, 16(4): 285-296.
- Dakki M. 1986a. *Recherches hydrobiologiques sur le haut Sebou (Moyen Atlas) ; une contribution à la connaissance faunistique, écologique et historique des eaux courantes sud-méditerranéennes*. Thèse es. Science. Rabat 181 pp.
- Dakki M. 1986b. Biotypologie et gradient thermique spatio-temporel, étude sur un cours d'eau du Moyen Atlas (Maroc). *Bulletin d'écologie*, 17 (2): 79-85.
- Dakki M. 1987. Ecosystème d'eau courante du haut Sebou (Moyen Atlas) ; Etudes typologiques et analyses écologiques et biogéographie des principaux peuplements entomologiques. *Travaux de l'Institut Scientifique, Serie Zoologie*, 42: 99.
- Dakki M. 1997. *Etude nationale sur la biodiversité. Biodiversité de la faune aquatique continentale (Invertébrés et poissons)*. Secrétariat d'Etat à l'Environnement. Rapport du projet GEF/6105-92, 117 pp.
- Dakki M. & El Agbani M.A. 1983. Ephéméroptères d'Afrique du Nord :3. Eléments pour la connaissance de la faune marocaine. *Bulletin Institut Scientifique, Rabat*, 7: 115-126.

- Dakki M. & Himmi O. 2008. *Bases stratégiques pour la conservation de la biodiversité des eaux douces du bassin du Sebou (Maroc) : Inventaire de la biodiversité et des cibles écologiques de conservation*. Rapport WWF/GREPOM, Maroc.
- Dakki M. & Thomas A.G.B. 1986. *Rhithrogena ayadi* n. sp. Ephéméroptère nouveau du Moyen Atlas marocain (Heptageniidae). *Annales de Limnologie*, 22 (1): 27-29.
- Damgaard J., Moreira F.F.F., Weir T.A & Zettel H. 2014. Molecular Phylogeny of the pond skaters (Gerrinae), discussion of the fossil record and a checklist of species assigned to the subfamily (Hemiptera: Heteroptera: Gerridae). *Insect Systematics and Evolution*, 45: 251-281.
- Daufresne M., Bady P. & Fruget J. F. 2007. Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia*, 151: 544-559.
- Daufresne M., Roger M.C., Capra H., Lamouroux N. 2004. Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhône River: effects of climatic factors. *Global Change Biology*, 10: 124-140.
- De Bello F., Leps J. & Sebastia M.T. 2007. Grazing effects on the species-area relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain. *Journal of Vegetation Science*, 18: 25-34.
- De Pauw N. & Vanhooren G. 1983. Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*, 100: 153-168.
- Debbiche Zerguine K. 2010. *Contribution à l'étude des Chironomidae (Diptera, Insecta) des mares temporaires de la Numidie Orientale. Aspect de Biologie, Ecologie et Systématique*. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 319 pp.
- Decamps H. 1971. *La vie dans les cours d'eau*. Press universitaires de France, Paris, 1452: 128 pp.
- Delicado D. & Ramos M.A. 2012. Morphological and molecular evidence for cryptic species of springsnails genus *Pseudamnicola* (Corrosella) (Mollusca, Caenogastropoda, Hydrobiidae). *Journal of Natural History*, 46(1-2): 25-89.
- Dethier M. 1985-1986. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Insectes. Hétéroptères aquatiques et ripicoles (genres et principales espèces). *Associations française de limnologie, Société Linnéenne de Lyon*, 54: 250-261.
- Devos A., Benjloul M. & Nejjar A. 2000. Les ressources en eau et leurs utilisations dans la plaine du Guigou (Moyen Atlas, Maroc). In *Mosella*, t.XXV, 3(4): 327-339.
- Devos A., & Nejjar A. 1998. Ressources et usages de l'eau dans le bassin supérieur de l'oued Guigou (Moyen Atlas-Maroc). Et. Géogr. Phys., n°XXVIII, 1999-Actes de colloque 'La montagne méditerranéenne', Aix-en-Provence.
- Dewson Z.S., James A.B.W. & Death R.G. 2007. A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 26: 401-415.
- Dhaouadi-Hassen S., Trilles J.P., Charmantier G. & Boumaiza M. 2004. Ecophysiology of a fresh water shrimp, *Atyaephyra desmarestii* (Millet, 1831) (Crustacea, Decapoda) in three Tunisian reservoirs: preliminary results. *Zoologica baetica*, 15: 175-183.
- Doledec S. & Chessel D. 1989. Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. II. Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique. *Acta Ecologica/ Ecologica Generalis*, 3: 207-232.

- Driouech F., Mahé G., Déqué M., Dieulin C., Heirech T., Milano M., Benabdelfadel A. & Rouche N. 2010. Evaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc. *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010). IAHS Publ. 340, 2010.
- Duart C. 2006. *Cambio global : Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra*. Colección Divulgación, CSIC, Madrid, 251 pp.
- Dudgeon D., Arthington A., Gessner M., Zen-Ichiro Kawabata Z., Knowler D., Lévêque C., Naiman R., Prieur-Richard A., Soto D., Stiassny M. & Sullivan C. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81: 163-182.
- Dumont H.J. 1972. Contribution à la connaissance des Odonates du Maroc. *Bulletin de la Société des Sciences naturelles et physiques du Maroc*, 52 (3-4): 149-179.
- Dupouy J., Abdelhak F. & Yazid F. 1980. Compétition interspécifique entre *Melanopsis praemorsa* L. (Prosobranchia : Thiariidae) et certains Basommatophores en Oranie et au Sahara Nord-Occidental. Perspective d'application à la lutte préventive contre la bilharziose. *Journal of Molluscan Studies*, 46 : 1-12.
- Durance I., Ormerod S.J. 2009. Trends in water quality and discharge confound long-term warming effects on river macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 54: 388-405.
- Durance I. & Ormerod S.J. 2010. Evidence for the role of climate in the local extinction of a cool water triclade. *Journal of the North American Benthological Society*, 29: 1367-1378.
- Echaubard M. & Neveu A. 1975. Perturbations qualitatives et quantitatives de la faune benthique d'un ruisseau à truites, la Couse Pavin (PUY- DE-DOME), dues aux pollutions agricoles et urbaines. *Laboratoire De Zoologie, Biologie animal et écologique*, INA-INRA : 24pp.
- El Agbani M.A. 1984. *Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Bou Regreg (plateau central marocain). Essai de biotypologie*. Thèse de 3ème cycle. Université de Claude Bernard, Lyon I. 147 pp.
- El Agbani M.A., Dakki M. & Bournaud M. 1992. Etude typologique du Bou Regreg (Maroc): Les milieux aquatiques et leurs peuplements en macroinvertébrés. *Bulletin d'écologie*, 23 (1-2): 103-113.
- El Ajhar L., El Khachine D., El Bakouri A., El Kharrim K. & Belghiti D. 2018. Evolution de la pluviométrie de 1960 à 2015 au Maroc. *International Journal of Research Science & Management*, 2349-5197.
- El Alami M. 1989. *Etude hydrobiologique d'un réseau hydrographique Nord Rifain, l'Oued Laou : Typologie, écologie et biogéographie des Ephéméroptères*. Thèse de 3ème cycle, Université Mohamed V, Rabat, 187 pp.
- EL Alami M. 2002. *Taxonomie, écologie et biogéographie des Éphéméroptères du Rif (Nord du Maroc)*. Thèse Doctorat d'Etat, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan, 402 pp.
- El Alami M. & Dakki M. 1998. Peuplements d'Ephéméroptères et de Trichoptères de l'oued Laou (Rif Occidentale, Maroc) : distribution longitudinale et biotypologie. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 21: 51.
- El Bazi R., El Alami M., Khadri O., Errochdi S., Slimani M. & Bennis N. 2017. Contribution à l'étude de la biodiversité aquatique des aires protégées du Maroc. Les Macroinvertébrés aquatiques du parc naturel de Bouhachem (Nord-Ouest du Maroc). I : Ephemeroptera, Plecoptera et Trichoptera. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 61: 55-66.

- El Fellah Idrissi B., Cherai B., Hinaje S. & Mehdi K. 2017. La variabilité climatique et son influence sur les ressources en eau dans la partie septentrionale du Moyen Atlas Marocain : cas des causses de Sefrou et de l'Anoœur. *Larhyss Journal*, 32 (2017): 155-179.
- El Haissoufi M. 2006. *Les odonates du Bassin versant du Laou et de la Région de Fifi (Rif occidental)*. Mémoire DESA, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan.
- El Haissoufi M. 2012. *Les odonates du Maroc : Atlas, état de conservation et outils de gestion*. Thèse de Doctorat, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté des Sciences, Tétouan, 303 pp.
- El Haissoufi M., L'Mohdi O., Bennas N., Mellado A. & Millan A. 2008. Les Odonates du bassin versant Laou (Rif occidental, Maroc). *Travaux de l'Institut Scientifique, série générale*, Rabat, 5: 47-59.
- El Haissoufi M., Knijf D.A., Vant Bosch J., Bennas N. & Millan A. 2015. Contribution to the knowledge of the Moroccan Odonata, with first records of *Orthetrum sabina*, and an overview of first and last dates for all species. *Odonatologica*, 44(3): 225-254.
- El Hamoumi R., Dakki M. & Thevenot M. 2007. Etude écologique des larves d'anoures du Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Vie*, Rabat, 29: 27-34.
- El Khalki Y. 1991. *Hydrologie et hydrochimie des eaux karstiques : le synclinal de Skoura (Moyen Atlas, Maroc)*. Travaux URA., 903, CNRS, n° XX, Aix-en-Provence, pp. 15-23.
- Elliott J.A., Jones I.D. & Thackeray S.J. 2006. Testing the sensitivity of phytoplankton communities to changes in water temperature and nutrient load, in a temperate lake. *Hydrobiologia*, 559: 401-411.
- Emberger L. 1930. La végétation de la région Méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue Générale de Botanique*, 42(641-662): 705-721.
- Emberger L. 1995. Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux des laboratoires de botanique, de géologie et zoologie. Faculté des Science de l'Université de Montpellier. *Série Botanique*, 7: 3-43.
- Eric M. 2015. *Mesures de la Biodiversité*. Master. Kourou, France. 2015.
- Errochdi S. 2015. *Biodiversité, Typologie et Qualité des Eaux de deux Réseaux Hydrographiques Nord Marocains Laou et Tahaddart et Taxonomie, Biogéographie et Atlas des Plécoptères du Maroc*. Thèse de doctorat Es Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté des Sciences, Tétouan, 446 pp.
- Errochdi S. & El Alami M. 2008. Contribution à la connaissance des Plécoptères (Insecta : Plecoptera) du réseau hydrographique Laou (Maroc nord-occidental). *Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série générale*, 5: 37-45.
- Errochdi S., Vinçon G. & El Alami M. 2014. Contribution to the Knowledge of the Rifan Stoneflies (Morocco). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 87: 25-40.
- Fadil F. 2002. *Les Gammaridés épigés des eaux continentales du Maroc (Crustacés, Amphipodes) : systématique, écologie, Biologie et intérêt écotoxilogique*. Thèse d'Etat, Université Moulay Ismail, Fac. Sci. Meknès, 148 pp.
- Fadil F. & Dakki M. 2001. Remarques sur la présence du genre *Gammarus* (Crustacés, Amphipodes) au Maroc avec description d'une nouvelle espèce. *Beaufortia*, 51: 153-162.
- Fadil F. & Dakki M. 2006. Deux espèces nouvelles du genre *Gammarus* (Crustacés, Amphipodes) du Maroc. *Bulletin Institut Scientifique*, Rabat, 28 pp.

- Fadil F. & Dakki M. 2009. Dynamique et cycle de reproduction de deux populations de *Gammarus gauthieri* Karaman (Crustacés, Amphipodes) du Moyen Atlas (Maroc). *Bulletin Institut Scientifique*, Rabat, 31(1): 27-32.
- Fagrouch A., Berrahou A. & El Halouani H. 2011. Impact d'un effluent urbain de la ville de Taourirt sur la structure des communautés de macroinvertébrés de l'oued Za (Maroc oriental). *Revue des Sciences de l'Eau*, 24(2): 87-101.
- Fayolle-Sanna S., Archambaud G., Breugnot C., Carrel G., Veslot J. Le Coarer Y. & Franquet E. 2012. Zoom sur les communautés phytoplanctoniques et sur la faune benthique d'un tronçon court-circuité du Bas-Rhône (espèces ordinaires ou invasives). *IS.RIVERS*, 2012.
- Fedan B. 1988. *Evolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochement : le Moyen Atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque*. Thèse doc. ès-Sciences, Université Mohammed V, Rabat, 338 pp.
- Fekhaoui M. & Baroudi M. 1993. Composition des peuplements, structure biotypologique et importance écologique des Oligochètes dans l'évaluation de l'impact de la ville de Fès sur l'Oued Sebou. *Bulletin Institut Scientifique*, Rabat, 17: 39-46.
- Fenehans M. & Young F.W. 1985. An analysis and synthesis of multiple correspondence analysis optimal scaling, dual scaling, homogeneity analysis and other methods for quantifying categorical multivariate data. *Psychometrika*, 50(1): 91-119.
- Fergani H. & Arab A. 2013. Utilisation des macroinvertébrés benthiques comme bioindicateurs de pollution d'oued El-Harrach. USTHB-FBS-International Congress of the populations & animal communities "Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems" CIPCA4 TAGHIT (Bechar)-ALGERIA).
- Fery H. & Brancucci M. 1997. A taxonomic revision of *Deronectes* Sharp, 1882 (Insecta: Coleoptera: Dytiscidae) (part I). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 99: 217-302.
- Floury M. 2013. *Analyse des tendances d'évolution de peuplements de Macroinvertébrés benthiques dans un contexte de réchauffement des eaux*. Thèse, Université Blaise Pascal, 276 pp.
- Floury M., Delattre C., Ormerod S.J. & Souchon Y. 2012. Global versus local change effects on a large European river. *Science of the Total Environment*, 441: 220-229.
- Floury M., Usseglio-Polatera P., Ferréol M., Delattre C. & Souchon Y. 2013. Global climate change in large European rivers: long-term effects on macroinvertebrate communities and potential local confounding factors. *Global Change Biology*, 19: 1085-1099.
- Fochetti R. & Tierno de Figueroa J.M. 2008. *Plecoptera. Fauna d'Italia*. 43, Bologna Ed. Calderini, Milano, 339 pp.
- Friberg N., Skriver J., Larsen S.E., Pedersen M.L. & Buffagni A. 2010. Stream macroinvertebrate occurrence along gradients in organic pollution and eutrophication. *Freshwater Biology*, 55: 1405-1419.
- Froufe E., Prié V., Faria J., Ghamizi M., Gonçalves D.V., Gurlek M.E., Karaouzas I. et al. 2016. Phylogeny, phylogeography, and evolution in the Mediterranean region: News from a freshwater mussel (Potomida, Unionida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 100: 322-332
- Gagneur J. & Thomas, A.G.B. 1988. Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie I. Répartition et écologie (1. Partie) (Insecta Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 124: 213-223.
- Gattolliat J.L. 2002. *Etude systématique, cladistique et biogéographique des Baetidae (Ephemeroptera) de Madagascar*. Thèse de doctorat, Université de Lausanne, 279 pp.

- Gaujous D. 1993. *La pollution dans les milieux aquatiques*. Aide-mémoire. Editions Technique et Documentation, 212 pp.
- Geffard A., Quéau H., Dedourge O., Biagianti-Risboug S. & Geffard O. 2007. : Influence of biotic and abiotic factors on metallothionein level in *Gammarus pulex*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C, Toxicology & Pharmacology*, 145(4): 632-640.
- Ghamizi M. 1998. *Les Mollusques des eaux continentales du Maroc : Systématique, Biogéographie et Malacologie Appliquée*. Thèse d'état Es-Sciences, Université Cadi Ayad, faculté des Sciences Semlalia Marrakech, 553 p.
- Ghamizi M., Mouahid G. & Vala J.C. 1997a. Chevauchement des habitats entre *Melanopsis praemorsa* Linné (Gastropoda ; Melanopsidae) et les autres mollusques des eaux douces des canaux d'irrigation du Haouz de Marrakech (Maroc...). *Revue faculté des sciences Marrakech*, 6: 21-31.
- Ghamizi M., Vala, J.C. & Bouka H. 1997b. Le genre *Pseudamnicola* au Maroc avec description de *Pseudamnicola pallaryi* n. sp. (Gastropoda : Hydrobiidae). *Haliotis, société Française de Malacologie*, 26: 33-49.
- Ghazali D. & Zaid A. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès, Maroc). *Larhyss Journal*, 12: 25-36.
- Gheit A. 1994. *Recherches sur la bio-écologie de la faune Hémiptérologique aquatique marocaine Hydrocorises et Amphibicorises peuplant des Hydrosystèmes supra- littoraux et continentaux*. Thèse Doctorat d'Etat, Université Mohammed V, Rabat, 247 pp.
- Gheit A. 1995. Catalogue des Hémiptères Hydrocorises et Amphibicorises des Provinces Nord Marocaines (1^{re} Note). *L'Entomologiste*, 51: 241-249.
- Gibon F.M., Elouard J.M. & Andrlamlliaja R. 1995. Biotypologie des cours d'eau aspects théoriques et développements actuels. *Bulletin de l'Académie Nationale Malgache, Numéro spécial*, 17-25.
- Gimenez-Casaldueiro F. 2001. *Biondicators. Tools for the impact assessment of aquaculture activities on the marine communities*. In: A. Uriarte and B. Basurco (Eds), *Environmental Impact Assessment of Mediterranean aquaculture farms*, pp.147-157. Zaragoza, Spain : CIHEAM-IAMZ. (Cahiers Options Méditerranéennes, v. 55).
- Giudicelli J. & Dakki M. 1980. Les Agapetus du Maroc. Description de deux espèces nouvelles (Trichoptera, Glossosomatidae). *Bijdragen Tot De Dierkunde*, 50(1): 227-234.
- Giudicelli J. & Dakki M. 1984. Les sources du Moyen Atlas et du Rif: faunistique (description de deux espèces nouvelles de Trichoptères), écologie, intérêt biogéographique. *Bijdragen Tot De Dierkunde*, 54(1): 83-100.
- Giudicelli J., Dakki M. & Dia A. 1985. Caractéristiques abiotiques et hydrobiologiques des eaux courantes méditerranéennes. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 22(4): 2094-2101.
- Glaubrecht M. 1993. Mapping the diversity: Geographical distribution of the freshwater snail *Melanopsis* (Gastropoda: Cerithioidea: Melanopsidae) with focus on its systematics in the Mediterranean Basin. *Mitteilungen aus den Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut Germany*, 90: 41-97.
- Glöer P. & Meier-Brook C. 2008. Redescription of *Anisus septemgyratus* (Rossmässler, 1835) and *Anisus leucostoma* (Millet, 1813) (Gastropoda: Planorbidae). *Mollusca*, 26 (1): 89-94.
- Gonzalez Del Tanago M. & Garcia de Jalon D. 1983. The Oligoneuriidae (Ephemeroptera) of the Duero Basin (Central North of Spain). *Archiv Fur Hydrobiologie*, 97(3): 395-405.

- Graf W., Murphy J., Dahl J., Zamora-Muñoz C. & López-Rodríguez M.J. 2008. *Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms*. Volume I. Trichoptera. Pensoft, Sofia, 388 pp.
- Grall J. & Coïc N. 2006. *Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier*. REF. Ifremer DYNECO/VIGIES/06-13/REBENT.
- Guignot F. 1946. Haliplides, Dytiscides et Gyrinides du Haut Atlas Marocain. *Revue Française d'Entomologie*, 13: 185-187.
- Haida S., Ait Fora A., Probst J.L. & Snoussi M. 1999. Hydrologie et fluctuations hydroclimatiques dans le bassin versant de Sebou entre 1940 et 1994. *Sècheresse*, 10(3): 221-6.
- Haidekker A. & Hering D. 2008. Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: A multivariate study. *Aquatic Ecology*, 42: 463-481.
- Hajji K. 2017. *Les Trichoptères du Maroc : Atlas, Biogéographie et Degré de Vulnérabilité*. Thèse de doctorat, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté Des Sciences Tétouan, Maroc, 309 pp.
- Hajji K., El Alami M., Bonada N. & Zamora-Muñoz C. 2013. Contribution à la connaissance des Trichoptères (Trichoptera) du Rif (Nord du Maroc). *Boletín de l'Asociación española d'Entomología*, 37(3-4): 181-216.
- Hajji K., Zamora-Muñoz C., Bonada N. & El Alami M. 2012. Quelques notes sur l'écologie et distribution des Rhyacophilidae du Rif (Nord du Maroc). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 50: 559-562.
- Hallouz F., Meddi M. & Mahé G. 2013. Modification du régime hydroclimatique dans le Bassin de l'oued Mina (Nord-Ouest d'Algérie). *Journal of Water Science*, 26(1): 33-38.
- Haouchine S. 2011. *Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie*. Mémoire de Magister en Sciences Biologiques, 157 pp.
- Hebauer F. & Ryndevich S.K. 2005. New data on the distribution of old world Hydrophilidae (Coleoptera). *Acta Coleopterologica*, 21: 43-51.
- Hébert S. & Légaré S. 2000. *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau*. Québec, Direction du suivi de l'état de l'Environnement, Ministère de l'Environnement, Enviro doq ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Heino J., Virkkala R. & Toivonen H. 2009. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews*, 84: 39-54.
- Hellawell J.M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Londres. Elsevier, 546 pp.
- Hellawell J.M. 2003. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. New York: Elsevier Applied Science; 1986. In *Ultramafic rocks: Their soils, vegetation and fauna; Proceedings of the Fourth International Conference on Serpentine Ecology*, 21-26 April 2003. Edited by Robert S.
- Hering D., Schmidt-Kloiber A., Murphy J., Lücke S., Zamora-Muñoz C., López-Rodríguez M. J., Huber T. & Graf W. 2009. Potential impact of climate change on aquatic insects: A sensitivity analysis for European caddisflies (Trichoptera) based on distribution patterns and ecological preferences. *Aquatic Sciences*, 71: 3-14.

- Hershey E.A. & Lamberti G.A. 2001. *Aquatic insect ecology. Dans: Ecology and classification of North America freshwater invertebrates*. Second edition. Academic Press. Thorp, H.I & A.P. Covish, Ed., 1056 pp.
- Hickling R., Roy D.B., Hill J.K., Fox R. & Thomas C.D. 2006. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding pole wards. *Global Change Biology*, 12: 450-455.
- Hill J.K., Thomas C.D., Fox R., Telfer M.G., Willis S.G., Asher J. & Huntley B. 2002. *Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges*. Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 269: 2163-2171.
- Hinaje S. 1991. *Evolution géodynamique Mésocène-Cénozoïque du Moyen Atlas (Maroc), l'exemple de la transversale Almis Guigou-Boulemane-Anjil*. D.E.A. Faculté des Sciences Tunis, 125pp.
- Hsü K.J. 1983. *The Mediterranean was a desert*. Princeton, University, Press 197 pp.
- Hsü K.J., Ryan W.B.F. & Cita M.B. 1973. *Late Miocene Desiccation of the Mediterranean*. Nature, 242: 240-244.
- Huguet D. 2015. Micromorphologie comparée de la pars molaris mandibulaire éthologie alimentaire en corrélation avec le mode de vie chez deux crevettes dulcicoles de la famille des Atyidés. *Bulletin de Société Zoologique de France*, 140(3): 199-215.
- Huttunen K.L., Mykrä H., Paavola R. & Muotka T. 2018. Estimates of benthic invertebrate community variability and its environmental determinants differ between snapshot and trajectory designs. *Freshwater Science*, 37(4): 769-779.
- Hynes, H.B.N. 1970. *The ecology of running waters*. Toronto: University of Toronto, 555 pp.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jackson J.K. & Fureder L. 2006. Long-term studies of freshwater macroinvertebrates: a review of the frequency, duration and ecological significance. *Freshwater Biology*, 51: 591-603.
- Jacquemin G. 1994. Les odonates du Rif. *Odonatologica*, 23(3): 217-237.
- Jacquemin G. & Boudot J.P. 1999. *Les Libellules (Odonates) du Maroc*. Société Française d'Odonatologie (édit.), 149 pp.
- Jennan L. 2004. *Le Moyen Atlas Central et ses bordures, mutations récentes et dynamiques rurales*. Ed Al Jawahir, Fès, 706 pp.
- Kabat A.R. & Hershler R. 1993. *The Prosobranch Snail Family Hydrobiidae (Gastropoda: Rissooidea): Review of Classification and Supraspecific Taxa*. Smithsonian Contributions to Zoology, N° 574.
- Kaboré I., Ouedrago I., Tampo L., Oueda A., Moog O., Guenda W. & Melcher H. 2016. Composition and dynamic of benthic macroinvertebrates community in semi-arid area rivers of Burkina Faso (West Africa). *International Journal of Biological and Chemical Science*, 10(4): 1542-1561.
- Kamler E. 1965. Thermal conditions in mountain waters and their influence on the distribution of Plecoptera and Ephemeroptera larvae. *Ekologia Polska Série A*, 13: 377-414.
- Karmouni A. 1989. *La forêt Marocaine : quelle place dans l'espace rural et quel avenir*. In Actes des journées d'étude 1988 : La forêt marocaine. Casablanca, 200 pp.
- Khadri O. 2018. *Etude de la biodiversité et l'écologie des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (Cl. Hexapoda) des cours d'eau de la région Ultramaïque de Béni Bousera et des sites adjacents (Maroc*

- Nord Occidental*). Thèse de doctorat, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté Des Sciences Tétouan, Maroc, 220 pp.
- Khalanski M., Carrel G., Desaint B., Fruget J.F., Olivier J.M., Poirel A. & Souchon Y. 2008. Etude thermique globale du Rhône-Impacts hydrobiologiques des échauffements cumulés. *Hydroécologie Appliquée*, 16: 53-108.
- Khalloufi N. & Boumaïza M. 2007. Première citation et description de quatre Pulmonés dulcicoles de Tunisie (Mollusca, Orthogastropoda). *Bulletin Société Zoologique de France*, 132 (3): 191-204.
- Kharboua M. 1988. *Ecologie des Mollusques Dulcicoles de la Meseta Côtière Marocaine*. Thèse de 3^{ème} Cycle. Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences Marrakech, 104 pp.
- Khomsî K., Mahé G., Trambalay Y., Sinan M. & Snoussi M. 2016. Regional impacts of global change: seasonal trends in extreme rainfall, run-off and temperature in two contrasting regions of Morocco. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16: 1079-1090
- Kinkumbi A., Bergaoui Z., Bourges J., Hubert P. & Kallel R. 2000. *Etude de l'évolution des séries pluviométriques de la Tunisie centrale*. In : Servat Eric (ED.). Hydrologie des régions méditerranéennes. Montpellier (FRA): UNESCO ; IRD, 2001, (51), p.341-350. (Documents Techniques en Hydrologie ; 51).
- Kluge N.J. 2004. *Mayflies (Ephemeroptera) of East European Plain*. www.insecta.bio.spbu.ru/z/faun-eur.htm
- Kocher L. 1958. Catalogue commenté des Coléoptères du Maroc (Hydrocanthares, Palpicornes, Brachelytres). *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien et de la faculté des Sciences, Série Zoologie*, 14(2): 1-246.
- Krijgsman W., Langereis C.G., Zachariase W.J., Boccaletti M., Moratti G., Iaccarino S., Papani G. & Villa G. 1999. Late Neogene evolution of the Taza-Guercif Basin (Rifian Corridor, Morocco) and implication for the Messinian salinity Crisis. *Marine Geology*, 153: 147-258.
- Kristensen T. 1985. *Guide pratique des Gasteropodes d'eau douce Africains. Espèces présentes en Afrique du Nord-Ouest*. Danish Bilharsiasis Laboratory, Charlottenlund, Denmark.
- Kuiper J.G.J. 1972. Pisidium du Moyen Atlas. Une récolte de Pisidium dans le Moyen Atlas. Résultats de la mission biologique au Maroc de l'Université de Gand, Belgique. *Basteria*, 36: 2-5.
- Kuiper J.G.J., Okland K.A., Knudsen J., Koli L. & Valorita I. 1989. Geographical distribution of the small mussels (Sphaeriidae) in North Europe (Denmark, Faroes, Finland, Norway and Sweden). *Annales Zoologici Fennici*, 26: 73-101.
- L'Mohdi O. 2006. *Les Hétéroptères aquatiques du bassin versant du Laou de la région de Fifi (Rif, Maroc)*. Mémoire de 3^{ème} cycle, Université Abdelmalek Essaâdi. 129 pp. inédite.
- L'Mohdi O. 2016. *Les Hémiptères aquatiques du Maroc : Atlas, biogéographie et degré de vulnérabilité*. Thèse de Doctorat, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté des Sciences, Tétouan, 263 pp.
- L'Mohdi O., El Haissofi M., Bennis N. & Millan A. 2008. Contribution à la connaissance des Hétéroptères aquatiques du bassin versant Laou. *Travaux de l'Institut Scientifique, série générale*, Rabat, 5: 67-74.
- La Greca M. 1964. Le categorie corologiche degli elementi faunistici Italiani. *Memorie della Società Entomologica Italiana*, 93: 147-165.
- La Greca M. 1975. La caratterizzazione degli elementi faunistici e le categorie corologiche nella ricerca zoogeografica/ Marcello La Greca. *Animalia Catania*, 2: 101-129.

- Labhar M. 1998. *Les milieux forestiers et Pré-Forestiers du Moyen Atlas central. Nord Occidental : approche géographique, phyto-écologique et dynamique*. Thèse en Science géographiques, ULB, Bruxelles, 404 pp.
- Lake P.S. 2000. Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of North American Benthological Society*, 19: 573-592.
- Lamri D., Hassouni T., Loukili A., Lamrioui D., Belghyti D. & Chahlaoui A. 2016. Contribution à la connaissance de la diversité faunistique du bassin versant de la Moulouya (Maroc). *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(6): 2034-2041.
- Lapchin L. & Neveu A. 1979. Ecologie des principaux invertébrés filtreurs de la basse Nivelle (Pyrenées-Atlantiques). II. Hydropsychidae (trichoptera). *Annales de Limnologie*, 15(2): 139-153.
- Lardici C., Galassi R. & Quagli E. 1992. Les peuplements de Polychètes dans le golfe de Follonica (Mer Méditerranée occidentale). *Cahier de Biologie Marine*, 33: 25-41.
- Lauzanne L. 1980. *Oligochètes. Flore et flore aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne*. Tome I.
- Lavandier P. 1979. *Ecologie d'un torrent Pyrénéen de haute montagne : l'Estaragne*. Thèse de doctorat d'Etat. Université Paul Sabatier Toulouse : 523p.
- Lebart L., Morineau A. & Tabard N. 1977. *Technique de la description statistique*. Bordas, Paris, 1-351.
- Lecerf A., Risnoveanu G., Popescu C., Gessner M.O., Chauvet E. 2007. Decomposition of diverse litter mixtures in streams. *Ecology*, 88: 219-227.
- Lecompte M. 1986. *Biogéographie de la montagne Marocaine : le Moyen Atlas central*. Mémoires et documents de géographie. Editions du CNRS, 220 pp.
- Lepoutre B., Martin J., Chamayou J. 1966. *Le Causse Moyen Atlasique. Les cahiers de la recherche agronomique*. N° 24, 1967, congrès de pédologie méditerranéenne, Madrid. Chap. IV, pp 207-226.
- Lévêque C., Balian E.V., & Martens K. 2005. An assesement of animal species diversity in continental waters. *Hydrobiologia*, 542: 39-67.
- Linnavuori R.E. 1971. Hemiptera of the Sudan, with remarks on some species of the adjacent countries: The aquatic and subaquatic families. *Annales Zoologici Fennici*, 8: 340-366.
- Löbl I. & Smetana A. 2004. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Hydrophiloidea-Histeroidea- Staphylinoidea*. Apollo Books, Volume II. Stenstrup, Danemark. 942 pp.
- López-Martínez N. 1989. *Tendencias en Paleobiogeografía. El futuro de la biogeografía del pasado*. 271-269. In: Aguirre, E (eds.): Paleotologia, nuevas tendencias. Consejo Superior d'Investigaciones Científicas, Madrid.
- Lounaci A., Brosse S., Thomas A.G.B. & LEK S. 2000. Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an Algerian stream: the Sébaou wadi. *Annales de Limnologie*, 36(2): 123-133.
- Mabrouki Y., Taybi A.F., Chavanon G., Vinçon G. & Berrahou A. 2016. Contribution à l'étude des plécoptères dans le Maroc Oriental et le bassin versant de la Moulouya et leur distribution en fonction des étages bioclimatiques. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(6): 2178-2193.
- Mabrouki Y., Taybi A.F., 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 Science*, 8(8): 2839-2859.

- Mabrouki Y., Taybi A.F., Chavanon G., Berrahou A. & Millán A. 2018. Distribution of aquatic beetles from the east of Morocco (Coleoptera, Polyphaga). *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 16: 185-211.
- Mabrouki Y., Taybi A.F., El Alami M., Wiggers R. & Berrahou A. 2020. New data on fauna of caddisflies (Insecta: Trichoptera) from northeastern Morocco with notes on chorology, *Aquatic Insects*.
- Maldonado A. 1989. *Evolucion de las cuencas mediterráneas y reconstruccion detallada de la Paleooceanografia Cenozoica*. In: Margalef R. (Eds.) *El mediterráneo Occidental*. Omega. Barcelona, pp: 18-61.
- Malicky H. 1980. Ein Beitrag zur Kenntnis der Verwandtschaft von *Stenophylax vibex* Curtis, 1834 (Trichoptera, Limnephilidae). *Entomofauna (Linz)*, 1(8): 95-102.
- Malicky H & Lounaci A. 1987. Beitrag zur Taxonomie und Faunistik der Köcherfliegen von Tunesien, Algerien und Marokko (Trichoptera). *Opuscula Zoologica Fluminensia*, 14: 1-20.
- Marazanof F. 1966. Contribution à l'étude écologique des Mollusques des eaux douces et saumâtres de Camargue. *Annales de Limnologie*, 5(3): 201-323.
- Marie V. 2005. *Etude de la réponse des métallothionéines chez les bivalves, Corbicula fluminea, Dreissena polymorpha et Crassostrea gigas, après exposition au cadmium et au zinc-Approches in situ et expérimentales*. Thèse, Université Bordeaux, 278 pp.
- Marković V., Tomović J., Ilić M., Kračun-Kolarević M., Novaković B., Paunović M. & Nikolić V. 2014. Distribution of the species of *Theodoxus* Montfort, 1810 (Gastropoda: Neritidae) in Serbia: an Overview. *Acta Zoologica Bulgarica*, 66(4): 477-484.
- Marlier G. 1981. *Trichoptères*. In *Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahelo-Soudanienne*. Editions ORSTOM 45(2): 521-552.
- Mart A., İncekara Ü. & Karaca H. 2010. Faunistic study of the aquatic beetles (Coleoptera: Helophoridae) in the Bayburt, Giresun, Gümüşhane, Ordu, and Trabzon provinces of Turkey. *Turkish journal of zoology*, 34: 509-521.
- Martin J. 1981. *Le Moyen Atlas central : étude géomorphologique*. Notes et mémoires du service géologique N° 258 bis.
- Martínez-Ortí A., Van Damme D. & Ghamizi M. 2013. *Melanopsis cariosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T155941A4871523.
- Martins D.S., Veitenheimer-Mendes I.L. & Faccioni-Heuser M.C. 2006. Morphological aspects and incubation in three species of *Corbicula* Mühlfeld, in Guaíba Lake, Rio Grande do Sul, Brazil (Bivalvia, Corbiculidae). *Biota Neotropica*, 6(2).
- Mary N. 2001. *Qualité biologique de l'eau des rivières de la Nouvelle-Calédonie, étiage 2000*. Direction de l'Economie Rurale (Observatoire de la Ressource en Eau). Nouméa, Nouvelle Calédonie. 85 pp.
- MATEE. 2006. Ministère chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Département de l'environnement. Direction des Etudes, de la Planification et de la Prospective. *Etude du cout de la dégradation de l'environnement dans le bassin de Sebou mission i : coût de la dégradation de l'environnement dans le bassin de Sebou a l'état actuel*. Rapport inédit, 299 pp.
- Mazumder D., Johansen M., Saintilan N., Iles J., Kobayashi T., Knowles L. & Wen L. 2012. Trophic shifts involving native and exotic fish during hydrologic recession in floodplain wetlands. *Wetlands*, 32: 267-275.

- MDDEFP, Ministère Du Développement Durable, De L'environnement, De La Faune Et Des Parcs (2013). *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec- Cours d'eau peu profonds, substrat grossier*, 2013. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69169-3.
- Meddi M., Boucefiane A. & Sadeuk Belabbes A. 2010. *Impact des changements climatiques sur les débits dans le bassin du Chéllif (Algérie)*. Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010). IAHS Publ. 340, 2010.
- Melhaoui M. & Boudot J.P. 2009. *Diagnostic de la biodiversité aquatique dans le Bassin Hydraulique de la Moulouya*. Projet UICN/ABHM. Rapport d'expertise. UICN Med, 113 pages.
- Meurisse-Génin M., Reydamas-Detollenaere A., Donatti O. & Micha J.C. 1985. Caractéristiques biologiques de la crevette d'eau douce *Atyaephyra desmaresti* Millet dans la Meuse. *Annales de Limnologie*, 21(2): 127-140.
- Meyer J.L., Sale M.J., Mulholland P.J. & Poff N.L. 1999. Impacts of climate change on aquatic ecosystem functioning and health. *Journal of the American Water Resources Association*, 35: 1373-1386.
- Michalet R. 1991. Nouvelle synthèse bioclimatique des milieux Méditerranéens. Application au Maroc septentrional. *Revue d'Ecologie Alpine Grenoble*, 1: 60-80.
- Michard A. 1976. *Elément de géologie Marocaine*. Notes et Mémoires. Service Géologie Maroc, 252, 408 p.
- Millán A., Félix P., Sánchez-Fernández D., Abellán P. & Ribera I. 2013. Los Coleópteros acuáticos amenazados (Coleoptera). *Asociación Española d'Entomología*, 442-456.
- Millán A., Sánchez-Fernández D., Abellán P., Picazo F., Carbonell J.A., Lobo J.M. & Ribera I. 2014. *Atlas de los Coleópteros Acuáticos de España Peninsular*. MAGRAMA. Madrid.
- Millán A., L'Mohdi O., Carbonell J.A., Taybi A.F. & Dakki M. 2016. A new species of *Aphelocheirus* (Hemiptera: Heteroptera: Aphelocheiridae) from Morocco. *Zootaxa* 4173 (6): 577-582.
- Moisan J. & Pelletier L. 2011. *Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble 2011*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-61166.
- Morghad F., Samraoui F., Touati L. & Samraoui B. 2019. The times they are a changin': impact of land-use shift and climate warming on the odonate community of a Mediterranean stream over a 25-year period. *Vie & Milieu-Life and Environment*, 69(1): 25-33.
- Navás S.L. 1922. Insectos de la excursión de D. Ascensio Cordina à Marruecos. *Trabajos del Museo de Ciencias Naturales de Barcelona*, 4: 119-127.
- NCDEQ 2016. *North Carolina Department of Environmental Quality: Standard Operating Procedures for the Collection and Analysis of Benthic Macroinvertebrates*. Division of Water Resources. Raleigh, North Carolina.
- Nechad I. 2016. *Sources du Moyen Atlas et du Saïss (Maroc) : Biodiversité faunistique, écologie et qualité de l'eau*. Thèse de doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 245 pp.
- Nechad I, Fadil F. & Dakki M. 2018. Changes in benthic communities in the Middle Atlas springs (Morocco) and their relationship with climate change. *Journal of Biological & Environmental Sciences*, 12(1): 96-108.

- Nejjari A. 2002. *La sécheresse, l'eau et l'homme dans le bassin du Haut Sebou (Moyen Atlas septentrional-Maroc)*. Thèse de Doctorat de l'Université de Metz, 304 pp.
- Nejjari A., Gille E., Francois D. 2000. Les longues séries pluviométriques et la caractérisation de la sécheresse récente du nord du Moyen Atlas (Maroc). *In Mosella*, t. XXV, 3(4) : 37-54.
- Nezzal F. & Iftini-Belaid Z. 2013. Variabilité climatique et impacts anthropiques sur la nappe alluviale de la Mitidja Orientale (Baie d'Alger). *Revue scientifique et technique*, 21(22): 56-64.
- Nicholas J.D., Bouludier T., Hines J.E., Pollack K.H. & Sauer J.R. 1998. Estimating rates of local species extinction, colonization and turnover in animal communities-Ecological applications. *Ecological Society of America*, 8(4): 1213-1225.
- Nicod J. 1993. *Impacts des déboisements et défrichements récents sur les plateaux et moyennes montagnes calcaires du domaine méditerranéen*. Actes du 116^{ème} Congrès national des sociétés savantes, Sc. Nat. Et Montagne, Paris, pp. 53-66.
- Nilsson A.N. 2001. *World catalogue of Insects, Vol. III. Dytiscidae*. Apollo Books, Stenstrup. 395 pp.
- Obda Kh. 2004. *Indigences extrêmes des écoulements des oueds méditerranéens : cas des oueds Nekor au Rif et du Haut Sebou au Moyen Atlas*. Thèse de doctorat d'Etat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès, Maroc, 422p.
- Occhipinti-Ambrogi A., Savani D. & Forni G. 2005. Changements structurels de la communauté de Macrobenthos au large de la côte de Cesenatico (Émilie-Romagne, nord de l'Adriatique), un programme de surveillance de six ans. *Science of the Total Environment*, 353(1-3): 317-28.
- Olsford F. & Gray J.S. 1995. A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 122: 277-306.
- Ouhamdouch S., Bahir M. & Carreira P.M. 2018. Impact du changement climatique sur la ressource en eau en milieu semi-aride : exemple du bassin d'Essaouira (Maroc). *Journal of Water Science*, 31 (1): 13-27.
- Paraense W.L. & Pointier J.P. 2003. *Physa acuta* Draparnaud, 1805 (Gastropoda: Physidae): a Study of Topotypic Specimens. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, 98(4): 513-517.
- Parmesan C. & Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37-42.
- Pattée E. 1970. Coefficients thermiques et écologie de quelques Planaires d'eau douce. 4.- Reproduction de *Dugesia Gonocephala*. *Annales de Limnologie*, 6(3): 293-304.
- Paturel J.E., Servat E., Kouame B., Lubes-Niel H., Ouedraogo M. & Masson J.M. 1997. Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part two : an integrated regional approach. *Journal de l'Hydrologie*, 191: 16-36.
- Pearson T. H. & Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review*, 16: 229-311
- Pescod M.B. 1985. *Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation*. Ed. Pescod and Arar, 93-114.
- Peyre C. 1979. *Recherche sur l'étagement de la végétation dans le massif du Bou Iblane (Moyen Atlas Oriental, Maroc)*. Thèse 3^{ème} cycle, Ecologie Méditerranéenne. Faculté des Sciences techniques Saint Jérôme/Aix-Marseille, 180 pp.

- Pialot D., Chessel D. & Auda Y. 1984. *Description du milieu et analyse factorielle des correspondances multiples*. Comptes des Séances de l'Académie des Sciences. Série 3, Sciences de la vie, 298(11): 309-314.
- Pictet F.J. 1843-45. *Histoire naturelle générale et particulière des Insectes Névroptères. Famille des Ephémérines*. Baillière édit., Paris (J. Kessmann et A. Cherbuliez) 300 pp.
- Pinkster S. 1971. Members of the Gammarus pulex-group (Crustacea, Amphipoda) from North Africa and Spain, with description of a new species from Morocco. *Bulletin Zoologisch Museum Universiteit Van Amsterdam*, 2(7): 45-61.
- Polhemus J.T. & Polhemus D.A. 2008. Global diversity of true bugs (Heteroptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595:379-391.
- Poisson R. 1938. Les Hémiptères aquatiques Sandaliorrhyncha de la faune Française (Micronectinae : étude systématique et biologique, principales espèces Paléarctiques). *Annales de la Société Entomologique de France*, 61: 107-119.
- Poisson R. 1957. *Hétéroptères aquatiques. Faune de la France*, vol. 61: 251 pp.
- Pujos A. 1966. *Les milieux de la Cédraie Marocaine. Etude d'une classification des Cédraie du Moyen Atlas et du Rif en fonction des facteurs du sol et du climat et de la régénération naturelle actuelle dans ces peuplements*. Annales de la recherche forestière, Maroc, Tome 8, 284 pp.
- Qadem A. 2015. *Quantification et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut Sebou*. Thèse de Doctorat de l'Université sidi Mohammed Ben Abdallah et l'Université de lorraine. 358 p.
- Qadem A., Lebaut S., Akdim B., Laaouane M. & Manceau L. 2018. Spatialisation des ressources en eau dans le bassin versant du Haut Sebou (Maroc). *Eau et climat au Maghreb*, 2014: 43-53.
- Qninba A.J., El Agbani M.A., Dakki M. & Benhoussa A. 1988. Evolution saisonnière de quelques peuplements d'invertébrés benthiques de l'Oued Bou Regreg (Maroc). *Bulletin Institut Scientifique*, Rabat, 12: 149-156.
- Quezel P. 1976. *Le dynamisme de la végétation en région Méditerranéenne*. Collane Verde, n° 39, pp. 37-51.
- Quintero-Galvis J. & Castro L. 2013. Molecular phylogeny of the Neritidae (Gastropoda: Neritimorpha) based on the mitochondrial genes cytochrome oxidase I (COI) and 16S rRNA. *Acta Biologica Colombiana*, 18(2): 307-318.
- Ramade F. 2003. *Elément d'écologie fondamentale*. Ed. Dunod, Paris, 690 p.
- Ramdani M., Dakki M., Kharboua M., El Agbani M.A. & Metge G. 1987. Les Gastéropodes dulcicoles du Maroc. Inventaire commenté. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 11: 135-140.
- Resh V.H., Brown A.V., Covich A.P., Gurtz M.E., Li H.W., Minshall G.W., Reice S.R., Sheldon A.L., Wallace J.B. & Wissmar R.C. 1988. The Role of Disturbance in Stream Ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 7(4): 433-455.
- Resh V.H., Myers M.J. & Hannaford M.J. 1996. *Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality*. In : Methods in Stream Ecology, Academic Press. 647-667.
- Revenga C. & Kura Y. 2003. *Status and Trends of Biodiversity of Inland Water Ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series no.11. 120 pp.

- Riservato E., Boudot J.P., Ferreira S., Jovic M., Kalkman V.J., Schneider W., Samraoui B. & Cuttelod A. 2009. *Statut de Conservation et Répartition Géographique des Libellules du Bassin Méditerranéen*. Gland, Suisse et Malaga, Espagne: UICN. viii + 34 pp.
- Robinson C.T. & Minshall G.W. 1986. Effects of disturbance frequency on stream benthic community structure in relation to canopy cover and season. *Journal of the North American Benthological Society*, 5 (3): 237-248.
- Rodier J.I. 2009. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer*. Dunod 9^{ème} Edition, Paris, 1824 pp.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi L. 2005. *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats*. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. & Pounds J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421: 57-60.
- Rosenbaum G., Lister G.S. & Duboz C. 2002. Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene. In: Rosenbaum, G. & Lister, G.S. (Ed.), *Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen*. *Journal of the Virtual Explorer*, 8: 107-130.
- Rosenberg R. 2001. Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. *Scientia Marina*, 62: 107-119.
- Rosenberg D.M. & Resh V.H. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Russier-Delolme R. 1972. Coefficients thermiques et écologie de quelques Planaires d'eau douce. 6.- *Dugesia tigrina*. *Annales de Limnologie*, 8(2): 119-140.
- Sabaoui A. 1998. *Rôles des inversions dans l'évolution Méso-Cénozoïque du Moyen Atlas septentrional(Maroc). L'exemple de la transversale El Menzel-Ribat AL Khayr-Bou Iblane*. Thèse Doctorat d'Etat, Rabat, 410 p.
- Samraoui B., Boudot J.P., Ferreira S., Riservato E., Jović M., Kalkman V.J. & Schneider W. 2010. Chapter 5. *The status and distribution of dragonflies*. In: Garcia N., Cuttelod A. & Abdul Malak D. (Eds), *The status and distribution of freshwater biodiversity in Northern Africa*: 51-70. IUCN, Gland, Cambridge, & Málaga.
- Sanchez-Fernandez D., Bilton D., ABELLAN P., Ribera I., Velasco J. & Millan A. 2008. Are the endemic water beetles of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands effectively protected. *Biological Conservation*, 141: 1612-1627.
- Sanchez Navaro R., Fekhaoui M., Himmi O., Yahyaoui A., Ibn Tattou M. & Chahlaoui A. 2017. *Débit écologique dans le Sebou : cas du barrage Allal El Fassi*. Rapport de WWF-AESVT-ABHS.
- Sánchez-Ortega A. & Azzouz M. 1998. Faunistique et phénologie des Plécoptères (Insecta, Plecoptera) du Rif marocain (Afrique du Nord). Relation avec autres aires de la région méditerranéenne occidentale. *Bulletin de la Société Entomologique de Suisse*, 71: 449-461.
- Sartori M. & Gattolliat J.L. 2001. *Ordre des Ephéméroptères*. <http://www.researchgate.net/publication/230673679>.
- Sary M. & Akdim B. 2000. La sécheresse hydrologique récente dans le bassin du Haut Sebou (Moyen Atlas, Maroc). In *Mosella*, 3(4): 121-138.

- Schaller Y., Chabot C. & Watson H. 2010. Seasonal movements of American horseshoe crabs *Limulus polyphemus* in the Great Bay Estuary, New Hampshire (USA). *Current Zoology*, 56(5): 587-598.
- Schlaepfer R. & Bütler R. 2004. Critères et indicateurs de la gestion des ressources forestières : prise en compte de la complexité et de l'approche écosystémique. *Revue forestière française*, 5: 431-444.
- Scrimgeour G.J., Prowse T.D., Culp J.M. & Chambers P.A. 1994. Ecological effects of river ice break-up: a review and perspective. *Freshwater biology*, 32: 261-275.
- Slimani M., Bennis N., El Haissoufi M., L'Mohdi O., Khadri O., El Bazi R. & El Alami M. 2016. Contribution à l'étude de la biodiversité aquatique des aires protégées du Maroc. Les Macroinvertébrés aquatiques du parc naturel de Bouhachem (Nord-Ouest du Maroc). I : Coleoptera, Hemiptera et Odonata. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 58: 168-180.
- Soldan T. & Thomas A.G.B. 1983. New and little-known species of mayflies (Ephemeroptera) from Algeria. *Acta Entomologica Bohemoslovaca*, 80: 356-376.
- Soro T.D., Soro N., Oga Y.M, Lasm T., Soro G., Ahoussi K.E. & Biemi J. 2011. La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Physio-Géo, Géographie Physique et Environnement*, 5: 55-73.
- Sowa R. 1975. Ecology and biogeography of mayflies (Ephemeroptera) of running in the polish part of Carpathians. 1. Distribution and quantitative analysis. *Acta Hydrobiologica*, 17 (3): 223-297.
- Staley E.H., Powers S.M. & Lottig N.R. 2010. The evolving legacy of disturbance in stream ecology: concepts, contributions, and coming challenges. *Emily, Journal of the North American Benthological Society*, 29(1): 67-83.
- Strong E., Gargominy O., Ponder W.F. & Bouchet P. 2008. Global diversity of Gastropods (Gastropoda: Mollusca) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595:149-166.
- Suhaila A.H. & Che Salmah M.R. 2014. Ecology of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (Insecta) in rivers of Gunung Jerai Forest Reserve: Diversity and distribution of functional feeding groups. *Life Science Tropical Research*, 25(1): 61-73.
- Tachet H., Bournaud M., Richoux Ph. & Usseglio-Polatera Ph. 2000. *Invertébrés des eaux douces : Systématique, Ecologie, Biologie*. Ed CNRS- Paris, 588 pp.
- Tachet H., Morse J.C. & Berly A. 2001. *The larva and pupa of Pseudoneureclipsis lusitanicus Malicky, 1980 (Trichoptera: Hydropsychoidea): description, ecological data and taxonomical considerations*. *Aquatic Insects*, 23: 93-106.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. 2006. *Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions, Paris
- Tachet H., Richoux P., Bournard M. & Usseglio-Polatera P. 2010. *Invertébrés d'Eau Douce, Systématique, Biologie, Ecologie*. Paris, Ed. CNRS, 588 pp.
- Tag B. 1996. Les potentialités de développement du Moyen Atlas oriental et leur appréciation par les acteurs locaux. *Revue de géographie Alpin*, 4: 51-60.
- Tag B. & Loew G. 2000. Eau, aménagement et société dans la cuvette de Skoura (Bassin du Haut Sebou, Maroc). In *Mosella*, t, XXV-3-4, pp. 37-54.
- Taglianti A.V., Audisio P.A., Belfiore C., Biondi M., Bologna M.A, Carpaneto G.M, De Biase A., De Felici S., Piattella E., Racheli T., Zapparoli M. & Zoia S. 1992. Riflessioni di gruppo sui corotipi fondamentali della fauna W-Palearctica ed in particolare italiana. *Biogeographia*, 16: 159-179.

- Taous A. 2005. *Géométrodynamique fluviale, processus morpho sédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléo environnements et mutations des espaces fluviaux*. Pub ; FLSH Sais Fès, série : thèse et monographies, n° 11, 425 pp.
- Taybi A. F., Mabrouki Y., Chavanon G., Berrahou A. & Millán A. 2017a. New data on the distribution of aquatic beetles from Morocco (Coleoptera, Adephaga: Gyrinidae, Haliplidae and Dytiscidae). *Baltic Journal of Coleopterology*, 17(1): 83-106.
- Taybi A.F., Mabrouki Y., Ghamizi M. & Berrahou A. 2017b. The freshwater malacological composition of Moulouya's watershed and Oriental Morocco. *Journal of materials and Environmental Sciences*, 8(4): 1401-1416.
- Taybi A.F., Mabrouki Y., Chavanon G., Berrahou A. & Millan A. 2018. New data on the distribution of aquatic bugs (Hemiptera) from eastern Morocco with notes on chorology. *Zootaxa*, 4459(1): 139-163.
- Taybi A.F., Mabrouki Y., Berrahou A., Sbaa M. & Brochard C. 2019. New data on the dragonfy fauna (Odonata) of the Moulouya River Basin and the Oriental Region, Morocco. *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 17: 85-108.
- Taylor D.W. 2003. Introduction to Physidae (Gastropoda: Hygrophila); biogeography, classification, morphology. *Revista de Biologia Tropical*, 51 (1): 1-287.
- Tayoub H. 1989. *Etude hydrobiologique d'un réseau hydrographique rifain, l'oued Laou : Typologie et Ecologie des Trichoptères*. Thèse Doctorat 3 ème cycle, Université Mohammed V, Rabat, 137 pp.
- Termier H. 1936. *Etudes géologiques sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional*. Notes et Mémoires du Services des Mines et cartes géologiques, N° 33, 1566 p.
- Thomas A.G.B. 1998. A provisional checklist of the mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle*, Toulouse, 134: 13-20.
- Thomas A.G.B. & Dakki M. 1979. Ephéméroptères d'Afrique du Nord : I. *Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929, description des imagos. *Annales de Limnologie*, 14 (3):197- 201.
- Thomas A.G.B. & Vitte, B. 1988. Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. Le genre *Choroterpes* Eaton, sensu stricto (Ephemeroptera). *Annales de Limnologie*, 24 (1): 61-65.
- Thomas A.G.B. & Sartori M. 1989. *Mayflies (Insecta, Ephemeroptera) of Saudia Arabia*. Fauna of Saudi Arabia. 10: 87-94
- Tobias D. & Tobias W. 2009. *Caddisflies of the West Palaearctic and Afrotropical regions of Africa-Working documents*. <http://trichoptera.insects-online.de/Trichoptera%20>
- Touabay M., Aouad N. & Mathieu J. 2002. Etude hydrobiologique d'un cours d'eau du Moyen-Atlas : l'Oued Tizguit (Maroc). *Annales de Limnologie*, 38: 65-80.
- Touaylia S., Bejaoui M., Boumaïza M. & Garrido J. 2009. New data on the Helophoridae Latreille, 1802 species from Tunisia (Coleoptera). *Nouvelle Revue d'Entomologie*, 25(4): 317-324.
- Touaylia S., Bejaoui M., Boumaiza M., Garrido J. 2010. Contribution à l'étude des Coléoptères aquatiques de Tunisie : Les Elmidae Curtis, 1830 et les Dryopidae Billberg, 1820 (Coleoptera). *Nouvelle Revue d'Entomologie*, 26(2): 167-176.
- Townsend C.R., Scarsbrook M.R. & Dolédec S. 1997. The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. *Limnology & Oceanography*, 42(5): 938-949.

- Tramblay Y., Badi W., Driouech F., El Adlouni S., Neppel L. & Servat E. 2012. Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco. *Global and Planetary change*, 82(83): 104-114.
- Tuffery G. 1980. *Incidences écologiques de la pollution des eaux courantes, révélateurs biologiques de la pollution*. In : Pesson P. (Ed.). La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques. Gauthier-Villars, 243-280.
- Umina P.A., Weeks A.R., Kearney M.R., McKechnie S.W. & Hoffmann A.A. 2005. A rapid shift in a classic clinal pattern in *Drosophila* reflecting climate change. *Science*, 308: 691-693.
- Valladares L.F. 1995. Los Palpicornia acuáticos de la provincia de León. III. Helophoridae, Hydrochidae e Hydrophilidae (Coleoptera). *Boletín de l'Asociación española d'Entomología*, 19 (12): 281-308.
- Van Damme D. & Ghamizi M. 2010. *Lymnaea maroccana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010.
- Vaudour J. 1984. *Les travertins de piémont : contribution à l'étude des géosystèmes Karstiques méditerranéens*. Colloque Montagnes et piémonts. Toulouse Hommage A F. Tailleur, pp 349-362.
- Velasco J., Suarez M.L. & Vidal-Abarca, M.R. 1998. Factores que determinan la colonización de insectos acuáticos en pequeños estanques. *Oecologia aquatica*, 11: 87-99.
- Verneaux J. & Faessel B. 1976. Larves du genre Hydropsychidae (Trichoptères Hydropsychidae) Taxonomie, données biologiques et écologiques. *Annales de Limnologie*, 12 (1): 7-16.
- Verneaux J. & Rezzouk M. 1974. Les structures d'un grand cours d'eau à Salmonidés : La Loue (Massif du Jura). Essai typologique et problèmes des relations entre espèces et milieu. *Annales de Limnologie*, 10: 131-162.
- Vignoles P. & Dreyfuss G. 2009. *Galba truncatula* (Gastropoda, Lymnaeidae): First findings on populations showing a single annual generation in lowland zones of central France. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 45: 51-54.
- Vinçon G. & Murányi D. 2009. Contribution to the knowledge of the *Protonemura corsicana* species group, with a revision of the North African species of the P. talboti subgroup (Plecoptera: Nemouridae). *Illiesia*, 5(7): 51-79.
- Vinçon G. & Thomas A.G.B. 1987. Etude hydrobiologique de la vallée d'Ossau (Pyrénées Atlantiques). I. Répartition et écologie des Ephéméroptères. *Annales de Limnologie*, 23: 95-113.
- Wallace J. B., Grubaugh J.W. & Whiles M.R. 1996. Biotic indices and stream ecosystem processes: results from an experimental study. *Ecological Applications* 6:140-151.
- Walther G. R. 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 365: 2019-2024.
- Walther G.R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J. M. & Hoegh- Guldberg O. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395.
- Wan Mohd Hafezul W., Che Salmah M.R., Suhaila A.H. & Salman A.S. 2016. Efficiency of different sampling gears for aquatic macroinvertebrates collections in Malaysian streams. *Tropical Life Sciences Research*, 27(1): 115-134.
- Webb B.W. 1996. Trends in stream and river temperature. *Hydrological Processes*, 10: 205-226.
- Wethington A. 2014. Family Physidae. [https:// www. researchgate. Net / publication / 242143007](https://www.researchgate.Net/publication/242143007).

- Whitehead P.G., Wilby R.L., Battarbee R.W., Kernan M. & Wade A.J. 2009. A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1): 101-123.
- Wiggins G.B. 2004. Caddisflies. The Underwater Architects, 1-291.
- Wilby R.L., Orr H., Watts G., Battarbee R.W., Berry P.M., Chadd R., Dugdale S.J. & Dunbar M. J. 2010. Evidence needed to manage freshwater ecosystems in a changing climate: Turning adaptation principles into practice. *Science of the Total Environment*, 408: 4150-4164.
- Wilson R.J., Gutierrez D., Gutierrez J., Martinez D., Agudo R., Monserrat V.J. 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters*, 8: 1138-1146.
- Zamora-Munoz C. & Alba-Tercedor J. 1992. *Caracterización y calidad de las aguas del rio Monachil (Sierra Nevada, Granada), Factores físico-químicos y comunidades de macroinvertebrados acuáticos*. Ed. Anel. A.M.A. Granada, 171 pp.
- Zrelli S., Gattolliat J.L., Boumaiza 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.
- Zuedzang Abessolo J.R., Yacoubi Khebiza M. & Messouli M. 2021. Response of benthic macroinvertebrates (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) to anthropogenic pressures in a context of climate change in the Ourika watershed (High Atlas of Morocco). *Hydroécologie Appliquée*, 21: 115-155

ANNEXES

Annexe I. Inventaire total de la faune benthique récoltée dans le Haut Sebou entre décembre 2015 et avril 2017 (chaque espèce est représentée par son abondance totale de tous les prélèvements).

Espèces \ stations	AA	S8	S9	TZ	S11	SS	S13	S15	AT	S17	S18	S3	Total
Trichoptères													
<i>Rhyacophila munda</i>	0	0	0	5	19	0	7	0	11	1	0	0	43
<i>Agapetus dolichopterus</i>	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	37
<i>Agapetus incertulus</i>	0	0	0	0	5	0	0	0	7	0	0	0	12
<i>Agapetus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
<i>Hydropsyche fezana</i>	0	40	12	0	88	89	0	0	0	0	0	0	229
<i>Hydropsyche maroccana</i>	0	0	50	0	26	112	12	54	42	126	197	274	893
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	0	0	3	0	0	469	333	150	116	20	0	0	1091
<i>Stenophylax nycterobius</i>	28	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Ephéméroptères													
<i>Baetis maurus</i>	0	0	0	20	172	13	0	0	10	0	0	0	215
<i>Baetis pavidus</i>	21	55	94	48	273	448	302	121	232	56	157	270	2077
<i>Baetis rhodani</i>	41	1410	203	153	243	65	30	64	241	0	0	0	2450
<i>Cloeon dipterum</i>	0	0	0	0	17	26	8	13	36	0	0	16	116
<i>Labiobaetis neglectus</i>	0	0	0	0	0	8	5	0	0	0	99	284	396
<i>Nigrobaetis numidicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	16
<i>Procleon</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Procleon Concinnum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
<i>Oligoneuriopsis skhounate</i>	0	0	0	0	0	14	0	7	0	30	52	12	115
<i>Oligoneuriella skoura</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8	0	13
<i>Ecdyonurus ifranensis</i>	0	60	29	6	0	0	0	0	0	0	0	0	95
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	0	50	16	0	0	31	24	43	0	308	41	126	639
<i>Rhitrogena</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	8	10	0	0	0	18
<i>Caenis luctuosa</i>	0	0	30	0	3	115	42	41	9	37	39	29	345
<i>Caenis pusilla</i>	0	0	0	0	0	37	14	14	0	4	8	13	90
<i>Choroterpes (Ch) atlas</i>	0	0	0	0	0	0	4	0	0	38	0	41	83
<i>Choroterpes (Ch.) volubilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30
<i>Ephoron virgo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9	8	20
Plécoptères													
<i>Nemoura</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
<i>Protonemura talboti</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Coléoptères													
<i>Aulonogyrus striatus</i>	0	0	0	0	0	0	46	41	36	23	19	32	197
<i>Agabus didymus</i>	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Agabus</i> sp.	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5
<i>Ilybius chalconatus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Colymbetes Schildknechti</i>	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Cybister (Cybister) lateralimarginalis laterimarginalis</i>	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Dytiscus pisanus</i>	5	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	11
<i>Deronectes fairmairei</i>	1	0	0	0	7	4	0	4	3	0	0	0	19
<i>Graptodytes atlantis</i>	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Hydroporus discretus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Hydroporus Lucasi</i>	2	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Nebrioporus ceresyi</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Nebrioporus clarkii</i>	3	2	0	5	2	7	0	1	2	0	0	0	22
<i>Strictionectes azruensis</i>	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Laccophilus Hyalinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	5	3	19
<i>Helophorus rufipes</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Helophorus oxygonus</i>	3	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Helophorus algiricus</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	6
<i>Helophorus atlantis</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Helophorus</i> sp.	0	3	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	8
<i>Hydrochus flavipennis</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Hydrochus grandicollis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Helochares lividus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Coelostoma hispanicum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	5	16
<i>Ochthebius quadrioveolatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Elmis aenea</i>	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
<i>Elmis maugetii velutina</i>	0	35	0	7	11	0	0	0	0	0	0	0	53

<i>Esolus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
<i>Limnius intermedius</i>	0	0	0	0	0	9	0	0	3	0	0	0	12
<i>Limnius opacus</i>	0	125	17	3	0	3	0	0	0	0	0	0	148
<i>Oulimnius fuscipes</i>	0	7	0	5	0	0	0	0	3	0	0	0	15
<i>Dryops gracilis</i>	0	3	0	0	0	0	3	0	3	0	0	12	21
<i>Dryops sulcipennis</i>	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Odonates													
<i>Caloptéryx haemorrhoidalis</i>	4	0	0	5	7	3	0	0	0	3	3	0	25
<i>Coenagrion cf. mercuriale</i>	5	2	4	0	0	0	0	0	0	2	3	7	23
<i>Ischnura graellsii</i>	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8
<i>Onychogomphus costae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	23	13	39
<i>Onychogomphus uncatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	15	0	0	0	18
<i>Orthetrum</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7
Hémiptères													
<i>Aphelocheirus pema</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9
<i>Corixa Affinis</i>	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
<i>Micronecta Minuscula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11
<i>Micronecta scholtzi</i>	4	7	0	0	0	10	0	0	0	0	3	5	29
<i>Aquarius cinereus</i>	0	8	9	0	0	17	21	11	0	0	0	8	74
<i>Gerris</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	8
<i>Mesovelgia vittigera</i>	1	0	0	0	3	0	0	0	11	1	3	2	21
<i>Naucoris maculatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	11	13
<i>Nepa cinerea</i>	5	4	10	0	8	0	0	0	0	0	0	0	27
<i>Notonecta maculata</i>	3	7	0	0	1	0	0	0	5	2	0	0	18
<i>Rhagovelia nigricans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
<i>Velia (Plesiovelia) noualhierii</i>	0	0	0	3	3	0	0	0	7	0	1	3	17
Décapodes													
<i>Atyaephyra Desmaresti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	116	13	221
<i>Potamon fluviatile</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	9	16
Amphipodes													
<i>Gammarus gauthieri</i>	2399	2954	1849	848	933	93	0	0	0	13	0	0	9089
<i>Gammarus maroccanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	11
<i>Gammarus rifatlantis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	251	0	0	0	251
Gastéropodes													
<i>Ancylus fluviatilis</i>	121	117	2	49	5	5	0	0	0	10	9	18	336
<i>Belgrandia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Corrosella nechadae</i>	0	0	0	0	0	0	0	21	277	0	0	0	298
<i>Mercuria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Pseudamnicola ramosae</i>	0	0	0	0	0	0	0	61	839	0	0	0	900
<i>Galba truncatula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	11
<i>Lymnaea maroccana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5
<i>Lymnaea palustris</i>	0	0	0	5	0	0	0	0	8	0	0	0	13
<i>Lymnaea peregra</i>	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Melanopsis Cariosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	285	579	864
<i>Melanopsis praemorsa</i>	0	0	0	0	0	0	0	103	628	0	0	0	731
<i>Theoduxus Fluvialilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	19
<i>Theoduxus numidicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	174	752	0	0	0	926
<i>Physella acuta</i>	0	0	20	5	3	8	0	3	130	5	1	3	178
<i>Anisus spirorpi</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Bivalves													
<i>Corbicula fluminea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	6	47
<i>Pisidium Casertanum</i>	33	13	11	0	4	0	0	0	0	0	0	0	61
<i>Pisidium Personatum</i>	0	3	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	13
<i>Potomida littoralis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	8

Abondance totale	2719	5020	2381	1212	1851	1594	851	946	3728	835	1161	1854	24152
-------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------	------------	-------------	------------	-------------	-------------	--------------

Annexe II. Inventaire de la faune recensée du Haut Sebou en 2015-17 avec leurs catégories chorologiques.

Espèces	Catégorie chorologique	Espèces	Catégorie chorologique
O. Trichoptères		O. Coléoptères	
<i>Rhyacophila munda</i>	Ouest-Paléarctique	<i>Aulonogyrus striatus</i>	Holo-Méditerranéenne
<i>Agapetus dolichopterus</i>	Marocaine	<i>Agabus didymus</i>	Européo-Méditerranéenne
<i>Agapetus incertulus</i>	Ouest-Méditerranéenne	<i>Ilybius chalconatus</i>	Européo-Méditerranéenne
<i>Hydropsyche fezana</i>	Maghrébine	<i>Colymbetes Schildknechti</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Hydropsyche maroccana</i>	Ouest-Paléarctique	<i>Cybister (Cybister) lateralimarginalis laterimarginalis</i>	Turanique-Européo-Méditerranéenne
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	Holo-Paléarctique	<i>Dytiscus pisanus</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Stenophylax nycterobius</i>	Ouest Paléarctique	<i>Deronectes fairmairei</i>	Ouest-Méditerranéenne
O. Ephéméroptères		<i>Graptodytes atlantis</i>	Endémique Marocaine
<i>Baetis maurus</i>	Ibéro-Maghrébine	<i>Hydroporus discretus</i>	Ouest-Paléarctique
<i>Baetis pavidus</i>	Holo-Méditerranéenne	<i>Hydroporus Lucasi</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Baetis rhodani</i>	Européo-Méditerranéen	<i>Nebrioporus ceresyi</i>	Holo-Méditerranéenne
<i>Cloeon dipterum</i>	Holarctique	<i>Nebrioporus clarkii</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Labiobaetis neglectus</i>	Ibéro-Maghrébine	<i>Strictionectes azruensis</i>	Endémique Marocaine
<i>Nigrobaetis numidicus</i>	Maghrébine	<i>Laccophilus Hyalinus</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Procleon sp.</i>	-	<i>Helophorus (Empleurus) rufipes</i>	Atlanto-Méditerranéenne
<i>Procleon Concinnum</i>	Ibéro-Maghrébine	<i>Helophorus (eutrichelophorus) oxygonus</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Oligoneuriopsis skhounate</i>	Ibéro-Maghrébine	<i>Helophorus (Rhopalohelophorus) algiricus</i>	Maghrébine
<i>Oligoneuriella skoura</i>	Maghrébine	<i>Helophorus (Rhopalohelophorus) atlantis</i>	Endémique Marocaine
<i>Rhitrogena sp.</i>	-	<i>Hydrochus flavipennis</i>	Atlanto-Méditerranéenne
<i>Ecdyonurus ifranensis</i>	Endémique Marocaine	<i>Hydrochus grandicollis</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	Ibéro-Maghrébine	<i>Helochares (Helochares) lividus</i>	Atlanto-Méditerranéenne
<i>Caenis luctuosa</i>	Paléarctique	<i>Coelostoma hispanicum</i>	Ouest-Méditerranéenne
<i>Caenis pusilla</i>	Ouest-Paléarctique	<i>Ochthebius (Ochthebius) quadrioveolatus</i>	Afrotropicale-Méditerranéenne
<i>Choroterpes Atlas</i>	Maghrébine	<i>Elmis aenea</i>	Européo-Méditerranéenne
<i>Choroterpes volubilis</i>	Endémique marocaine	<i>Elmis maugetii velutina</i>	Maghrébine
<i>Ephoron virgo</i>	Ouest-Paléarctique	<i>Esolus sp.</i>	-
O. Plécoptères		<i>Limnius intermedius</i>	Européo-Méditerranéenne
<i>Nemoura sp.</i>	-	<i>Limnius opacus</i>	Européo-Méditerranéenne
<i>Protonemura talboti</i>	Ouest- Maghrébine	<i>Oulimnius fuscipes</i>	Ibéro-Maghrébine
O. Odonates		<i>Dryops gracilis</i>	Afrotropicale-Méditerranéenne
<i>Onychogomphus uncatus</i>	Ouest-Méditerranéenne	<i>Dryops sulcipennis</i>	Holo-Méditerranéenne
<i>Onychogomphus costae</i>	Ibéro-Maghrébine	Classe Gastéropodes	
<i>Ischnura graellsii</i>	Ouest-Méditerranéenne	<i>Melanopsis praemorsa</i>	Holo-Méditerranéenne
<i>Coenagrion cf mercuriale</i>	Holo-Méditerranéenne	<i>Melanopsis Cariosa</i>	Ibéro-Maghrébine
<i>Orthetrum sp.</i>	Ouest-Méditerranéenne	<i>Theoduxus numidicus</i>	Maghrébine
<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	Atlanto-Méditerranéenne	<i>Theoduxus Fluvialilis</i>	Holarctique
O. Hémiptères		<i>Ancylus fluviatilis</i>	Paléarctique-Occidental
<i>Aphelocheirus pemaie</i>	Endémique Marocaine	<i>Physella acuta</i>	Holarctique
<i>Aquarius cinereus</i>	Méditerranéenne-Occidentale	<i>Pseudamnicola ramosae</i>	Marocaine
<i>Nepa cinerea</i>	Holo-Paléarctique	<i>Corrosella nechadae</i>	Marocaine
<i>Velia (Plesiovelia) noualhierii</i>	Maghrébine	<i>Mercuria sp.</i>	-
<i>Rhagozelia nigricans</i>	Afrotropicale-Paléarctique	<i>Belgrandia sp.</i>	-
<i>Corixa Affinis</i>	Paléarctique-Orientale	<i>Lymnaea peregra</i>	Holo-Paléarctique
<i>Micronecta (Dichaetonecta) scholtzi</i>	Européo-Maghrébine	<i>Lymnaea palustris</i>	Holo-Paléarctique
<i>Micronecta minuscula</i>	Ouest-Méditerranéenne	<i>Lymnaea maroccana</i>	Marocaine
<i>Naucoris maculatus</i>	Paléarctique	<i>Lymnaea (Galba) truncatula</i>	Holarctique
<i>Notonecta maculata</i>	Atlanto-Méditerranéenne	<i>Anisus spiroripis</i>	Holo-Paléarctique
<i>Mesovelia vittigera</i>	Sub-Cosmopolite	Classe Bivalves	
O. Décapodes		<i>Pisidium Casertanum</i>	Sub-Cosmopolite
<i>Atyaephyra Desmaresti</i>	Holo-Méditerranéenne	<i>Pisidium Personatum</i>	Paléarctique
<i>Potamon fluviatile</i>	Holo-Méditerranéenne	<i>Potomida littoralis</i>	Holo-Méditerranéenne
O. Amphipodes		<i>Corbicula fluminea</i>	Sub-Cosmopolite
<i>Gammarus gauthieri</i>	Ouest-Méditerranéenne		
<i>Gammarus rifatlantis</i>	Marocaine		
<i>Gammarus maroccanus</i>	Marocaine		

Annexe IV. Matrices des données brutes (33 espèces × 5 relevés × 11 stations) représentant la période 2015-17. (Chaque espèce est représentée par une densité rapportée à 0,15 m²).

	<i>Rhyacophila munda</i>	<i>Agapetus dolichopterus</i>	<i>Agapetus incertulus</i>	<i>Agapetus sp.</i>	<i>Hydropsyche fezana</i>	<i>Hydropsyche maroccana</i>	<i>Hydropsyche pellucidula</i>	<i>Stenophylax necteroibius</i>	<i>Baetis maurus</i>	<i>Pseudocloeon neglectus</i>	<i>Baetis pavidus</i>	<i>Baetis rhodani</i>	<i>Cloeon dipterum</i>	<i>Labiobaetis neglectus</i>	<i>Nigrobaetis gracilis</i>	<i>Procleon sp.</i>	<i>Oligoneuriopsis skhounate</i>	<i>Oligoneuriella skoura</i>	<i>Rhitrogena sp.</i>	<i>Ecdyonurus ifranensis</i>	<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	<i>Caenis luctuosa</i>	<i>Caenis pusilla</i>	<i>Choroterpes atlas</i>	<i>Choroterpes volubilis</i>	<i>Ephoron virgo</i>	<i>Nemoura sp</i>	<i>Protonemura talboti</i>	<i>Elmis maugetti</i>	<i>Esolus sp</i>	<i>Limnius opacus</i>	<i>Elmis aenea</i>	<i>Limnius intermedius</i>	<i>Oulimnius fuscipes</i>		
AA-Déc.	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AA-Avril	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	21	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AA-Juil.	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AA-Oct.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
AA-Mai	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S8-Déc.	0	0	0	0	8	0	0	30	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	19	0	32	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0		
S8-Avril	0	0	0	0	5	0	0	34	0	0	0	643	0	0	0	0	0	0	0	32	32	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	26	8	0		
S8-Juil.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0		
S8-Oct.	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0		
S8-Mai	0	0	0	0	9	0	0	8	0	0	0	644	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	34	0	7	
S9-Déc.	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S9-Avril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	44	0	0	0	0	0	0	0	16	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S9-Juil.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S9-Oct.	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S9-Mai	0	0	0	0	12	48	3	0	0	0	47	119	0	0	0	0	0	0	0	13	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	
TZ-Déc.	3	37	0	0	0	0	0	0	5	0	24	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	6	0	0	0		
TZ-Avril	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TZ-Juil.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	
TZ-Oct.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TZ-Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	24	60	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
S11-Déc.	8	0	0	0	62	6	0	0	155	0	115	165	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	
S11-Avril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S11-Juil.	0	0	5	0	11	20	0	0	7	0	17	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S11-Oct.	11	0	0	0	9	0	0	0	0	0	127	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
S11-Mai	0	0	0	0	6	0	0	0	10	0	14	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS-Déc.	0	0	0	0	10	22	86	0	13	0	110	7	9	0	0	0	0	0	0	0	20	19	23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Résumé

Les effets des changements globaux (changement climatique, pollution, impacts humains...) sur la biodiversité à l'échelle du globe sont maintenant sans équivoque. Parmi les écosystèmes affectés, les cours d'eau sont particulièrement vulnérables aux fluctuations du climat. Un nombre croissant d'études long-terme témoigne ainsi du réchauffement significatif (i.e. échauffements plus précoces, plus longs et maxima plus élevés) et de la saisonnalité exacerbée des régimes hydrauliques (i.e. crues et étiages plus fréquents) de nombreuses rivières dans le monde, tendance qui s'est accentuée au cours des dernières décennies. Les modifications de structure et de composition des communautés aquatiques constituent alors un signal intégrateur des réponses écologiques à ces changements environnementaux.

Le fonctionnement et la durabilité des écosystèmes lotiques dépendent en grande partie de leurs régimes thermique et hydrologique. En région méditerranéenne, ces facteurs sont très sensibles au climat et à l'anthropisation qui ont subi de profonds changements au cours des dernières décennies. Ayant constaté l'assèchement de nombreux cours d'eau permanents au Maroc, nous avons lancé en 2015-2017 une nouvelle étude dans le but d'analyser et d'évaluer les changements abiotiques et biotique dans le Haut Sebou (Moyen Atlas, Maroc), depuis une ancienne étude réalisée en 1981-1985 (Dakki 1987). En effet, au cours des dernières décennies, ce fleuve a été exposé à de multiples perturbations, dues à la fois à des sécheresses récurrentes et à des pressions humaines. Pour décrire et évaluer ces changements, nous avons utilisé 16 variables abiotiques qui ont été mesurées dans 11 écosystèmes le long du cours central de la rivière. La comparaison a été principalement réalisée à l'aide de l'analyse factorielle des correspondances multiples (MFCA), à travers une matrice ternaire " variables $\times$ stations $\times$ temps ", regroupant les anciennes et les nouvelles données dans la même structure mésologique. L'analyse a révélé l'ordre classique amont-aval des écosystèmes étudiés, où la plupart de ces écosystèmes ont enregistré une migration vers l'aval depuis leur position de 1981.

Les communautés d'invertébrés des eaux courantes sont connues pour être très sensibles aux perturbations environnementales et présentent donc un grand intérêt pour la bioévaluation. L'objectif de cette étude est de révéler aussi les tendances évolutives de ces communautés à travers la description et l'interprétation des changements subis par ces populations benthiques dans le fleuve étudié entre deux périodes (1981-1985 et 2015-2017). Ces changements sont principalement attestés par une forte diminution de la richesse spécifique, indiquant la disparition de plusieurs espèces rhéophiles et/ou sensibles à la pollution, notamment chez les Trichoptères et Plécoptères, et la régression de certains taxons face à la prolifération de formes thermophiles et/ou tolérantes à la pollution. La fusion des données des deux périodes, via une matrice ternaire 'espèces $\times$ stations $\times$ périodes' traitée par l'Analyse des Correspondances, a révélé l'ordination classique amont-aval des eaux étudiées, où la majorité des espèces enregistrent une migration vers l'aval par le temps. Dans cette perspective évolutive, cette étude fait intervenir des facteurs hydrologiques et thermiques, qui montrent principalement une réduction du débit et une légère augmentation de la température et de la minéralisation de l'eau, tant en été qu'en hiver. On suppose que les prélèvements d'eau, notamment pour l'irrigation, ainsi que les sécheresses climatiques dans la région, sont responsables de ces changements biotiques et abiotiques.

La projection des abondances maximales des espèces maintenues entre ces deux périodes d'études sur la structure mésologique combinée obtenue par l'AFCM, a permis de renseigner sur l'évolution de leur exigences écologiques où la majorité de ces espèces sont thermophiles inféodées aux cours moyens et inférieurs ; et a mis en évidence la remontée en altitude de certaines espèces en réponse aux réchauffements climatiques et l'abondances des espèces lénotrophes suite au ralentissement du courant et à la créations des nouveaux biotopes.

Mots-clés : Haut Sebou, régimes thermiques et hydrologiques, variables abiotiques, communautés benthiques, richesse spécifique, écologie, sécheresses récurrentes, anthropisation.