

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALE

N°...../SNV/2017

THÈSE

Présentée par

BEBBA Nadjat

En vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : **BIOLOGIE**

Spécialité : **BIOLOGIE ANIMALE**

THÈME

IMPACT DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX ET DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES EPHEMEROPTERES DANS LES OUEDS DE BISKRA ET BATNA

Soutenue le : 21 / 02 / 2017

DEVANT LE JURY :

Président: **DJIRAR Nacer**

Pr. Université Ferhat Abbas Sétif 1

Rapporteur: **ARAB Abdeslem**

Pr. USTHB Alger

Co-Rapporteur: **EL ALAMI Majida**

Pr. Université Abdelmalek Essaâdi

Faculté des Sciences de Tétouan-Maroc

Examineurs: **MOULAI Riadh**

Pr. Université Abderrahmane Mira de Béjaia

BENIA Farida

Pr. Université Ferhat Abbas Sétif 1

Remerciements

Avant toute chose, je remercie Dieu tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la Science.

Au terme de ce travail il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui m'ont apportées leur aide afin de ramener à bien cette étude.

*Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Madame **DEHAMNA Saliha**, professeur à l'université Ferhat Abbas Sétif 1, pour les facilités et les encouragements qui m'ont été offertes afin que cette thèse puisse être soutenue. Je la prie de croire en ma très haute considération et à ma profonde gratitude.*

*Je remercie en premier lieu mon directeur de thèse Monsieur **ARAB Abdeslem**, professeur à l'USTHB, de m'avoir accueillie dans son laboratoire et pour avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de ce travail. L'expression de ma profonde et sincère reconnaissance, pour tous ses efforts fournis à mon égard au cours de mon travail, son savoir, ses critiques constructives et sa confiance étaient pour moi d'un grand intérêt.*

*Aucun remerciement ne saurait être à la hauteur de toute l'aide et de tout le soutien que Madame **EL ALAMI Majida**, professeur d'enseignement supérieur à la faculté des Sciences de Tétouan, m'a apportés en co-dirigeante cette thèse. Je tiens à lui exprimer ma plus vive reconnaissance et ma très profonde estime. Elle m'a chaleureusement accueillie dans son laboratoire, et a su donner à nos échanges scientifiques et humains une qualité que j'ai énormément appréciée. Malgré ses nombreuses obligations, elle n'a jamais ménagé son temps pour m'apporter son aide dans l'identification des Ephéméroptères et ses précieux conseils. Ses encouragements et son soutien moral m'ont accompagnés tout le long de la réalisation de ce travail.*

*Ma très vive gratitude va à Monsieur **DJIRAR Nacer** professeur à l'université Ferhat Abbas Sétif 1, d'avoir eu la gentillesse de présider le jury de cette thèse.*

*Il m'est agréable aussi d'adresser un grand merci pour notre cher professeur Monsieur **MOULAI Riadh** de l'université de Béjaïa d'avoir examiné mon travail. Je lui reconnais ici tous les respects les plus sincères. Je tiens à l'assurer de la valeur que j'attache à son jugement.*

*Je voudrais également remercier Madame **BENIA Farida** professeur à l'université Ferhat Abbas Sétif 1, de sa participation au jury en tant qu'examinatrice. Je suis très heureuse qu'elle fasse partie de mon jury de thèse.*

*Je tiens à remercier mon cousin **BEBBA Mabrouk El Aich** pour son aide sur le terrain, son humour a toujours transformé nos dures missions de terrains en d'agréables et inoubliables moments.*

*Toute ma sympathie et mon amitié vont à ma collègue et ma compagne d'études, de terrain et de laboratoire, ma très chère amie **ARIGUE Soulef Farida** ; je ne pourrais oublier les moments forts que nous avons partagé au cours des innombrables missions dans les Aurès.*

*Il m'est très agréable d'adresser également ma reconnaissance à ma très chère amie **KHELLOU Meïada**, pour son aide, sa sympathie, son encouragement et son soutien moral permanents.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes collègues et amis du Département de Sciences de la Nature et de la Vie de Biskra qui n'ont pas cessé de m'encourager et de me soutenir moralement durant les périodes difficiles ; qu'ils trouvent ici l'assurance de mes sentiments dévoués et les plus cordiaux.

Je ne peux oublier l'amabilité, la disponibilité et l'accueil chaleureux des Professeurs et doctorants du laboratoire de Diversité et Conservation des Systèmes Biologiques de la Faculté des Sciences de Tétouan. Il m'est agréable de leur exprimer toute ma reconnaissance, ma gratitude et toute ma sympathie.

A tout ceux qui, de près ou loin, ont participé à la réalisation de ce travail ; je leur exprime ici le témoignage de toute ma reconnaissance et ma grande sympathie.

Nadjat

Dédicace

Je dédie ce travail à la mémoire de mes parents que je remercie pour leur soutien et la confiance permanente qu'ils m'ont accordés. Mon seul regret sera de ne pas leur avoir accordé le temps qu'ils méritent et de ne pas être présents pour voir leur rêve se réaliser en ma personne. Que dieu ait leur âme et les accepte à son vaste paradis. Amen ! ;

Cette thèse est avant tout la leur "ALLAH YARHAMHOUM".

Avec amour et affection, je voudrai dédier cette thèse aux membres de ma famille qui sans elle, je n'aurais pas pu mener à bien ce travail, et particulièrement à mon cher frère et mes chères sœurs les plus dévoués qui m'ont aidé et encouragé à terminer ce projet;

Je ne pourrais jamais les remercier assez et "BARAKA ALLAHOU FIKOUM".

*A mon cher mari, **Mohamed** "RABI YEKHALIK LIYA".*

ملخص

للمساهمة في التعرف على النوعية البيولوجية و الفيزيائى- كيميائية و كذا حفظ التنوع البيولوجي للثروة الحيوانية للمناطق الرطبة بالأوراس تحت تأثير العوامل البيئية، قمنا بالدراسة للثروة الحيوانية لليوميات خلال الفترة من يناير 2008 إلى ديسمبر 2009 في 16 محطة على امتداد 3 أودية من بين أهم الأودية بالأطلس الصحراوي : وادي الأبيض، واد الحي و وادي عبيدي. سمحت هذه الدراسة بتحليل التوزيع الطولي و العرضي لليوميات عبر قطاع شرق-غرب يمتد على ولايتي باتنة و بسكرة. سمحت لنا هذه الدراسة بجمع 60615 فرد وزعت على 12 نوع تنتمي إلى 4 عائلات: Baetidae، Caenidae، Leptophlebiidae و Heptageniidae. وتتميز ال Baetidae بتوزيع مكاني- زمني عالي، فهي العائلة الأكثر وفرة و الأكثر تنوعا ب 8 أنواع، حيث *Baetis pavidus* هي الأبرز ب 35676 فردا (58.86 %). هذا النوع سريع الرجوع للوسط بعد الاضطرابات الهيدرولوجية، حسب دراسة أثر الفيضانات. التنوع المعبر عنه بالعديد من المؤشرات البيئية الهيكلية يبدو بوضوح أنه بسيط، عاكسا بذلك التأثير السلبي للمناخ شبه الجاف إلى الصحراوي الذي يميز منطقة الدراسة. عموما المحطات الأكثر تنوعا هي M'ch، AvK و Bz بنسبة 80 %. التتابع المكاني-الزماني ل 19 عامل بيئي و فيزيائي- كيميائي لمياه لمستجمعات المياه لدينا يبدو عموما طبيعيا، بعيدا عن المحطة الشديدة التلوث بوادي الحي، AVT التي تستقبل تقريغ مفرط للنفايات السكنية لمدينة عين التوتة، و التي بذلك تعكس صورة للتلوث الحاد نسبيا بواد الحي مقارنة بالأودية الأخرى. الدراسة الإحصائية للعوامل اللاحيوية ب ACP والحيوية ب AFC أظهرت تقسيم واضح للمناطق من المنبع إلى المصب، 3 مجموعات حددت على التصاميم العاملة: تلك المناطق العليا التي تحتوي على الأنواع التي تفضل المرتفعات و التي تفضل المياه الباردة، تلك المناطق الوسطى التي تشمل أنواع بصفات بيئية كثيرة إلى قليلة الاختلاف (نادرة أو حصرية أو وسيعة المعاش)، وأخيرا محطات المناطق الدنيا التي تضم الأنواع المحبة للحرارة. نتائج ال ANOVA بينت أن التغير المكاني له أثر أكبر من التغير الزمني سواء للعوامل غير الحيوية أو الحيوية. لهذا، ال ACC التي تسلط الضوء على العلاقة بين الأنواع التي جمعناها،العوامل البيئية ومحطات دراستنا، قد تم تحديدها فقط في 9 عوامل اللاحيوية التي أشارت إلى اختلافات كبيرة على عتبة ال 5 %. النتائج المحصل عليها أكدت أن مجتمعنا يمكن تصنيفه إلى:أنواع تقتصر على الارتفاعات العالية و تفضل المحطات ذات درجة الحرارة الباردة، قليلة المواد المعدنية و التي تتحمل التيارات السريعة: *B. rhodani* et *B. sinespinosus* ؛ الأنواع التي تفضل الارتفاعات المنخفضة، المحبة للحرارة و التي تتحمل تراكيز كبيرة من المواد المعدنية: *C. (Ch) atlas*, *C. luctuosa*, *P. stagnicola*, *L. neglectus*, *C. dipterum* و *C.gr. simile* ؛ و أنواع واسعة النطاق في الانتشار و التي يستمر تواجدها بغض النظر عن الظروف البيئية *B. Pavidus*، أو أنواع نادرة و محدودة أو حصرية: *E. rothschildi*, *C. cf. Ch. dimorphicum* و *macrura*.

الكلمات المفتاحية : اليوميات، التنوع البيولوجي، وادي الأبيض، وادي الحي، وادي عبيدي، التصنيف الزمني-المكاني ، التصنيف الحيوي ، أثر الفيضانات.

Résumé

Pour contribuer à la connaissance de la qualité biologique et physico-chimique et à la conservation de la biodiversité faunistique des zones humides du massif des Aurès sous l'impact des paramètres environnementaux, une étude faunistique des Ephéméroptères a été entamée depuis janvier 2008 à décembre 2009 sur 16 stations réparties le long des 3 oueds parmi les plus importants de l'Atlas Saharien : oued El Abiod, oued El Hai et oued Abdi. Cette étude a permis d'analyser la distribution longitudino-transversale des Ephéméroptères suivant un transect Est-Ouest se prolongeant sur les wilayas de Batna et Biskra. L'étude faunistique nous a permis de recenser un total de 60615 individus répartis en 12 espèces appartenant à 4 familles : Baetidae, Caenidae, Heptageniidae et Leptophlebiidae. Les Baetidae se caractérisent par une grande répartition spatio-temporelle, ils constituent la famille la plus abondante et la plus diversifiée avec 8 espèces, dont *Baetis pavidus* est la plus dominante avec 35676 ind. (58,86 %). Cette espèce est rapidement réinstallée après les perturbations hydrologiques, selon l'étude d'impact des crues. La diversité spécifique, exprimée par plusieurs indices écologiques de structure, est nettement faible, témoignant de l'effet négatif du climat semi-aride à saharien de la région d'étude. En général, l'importance des espèces est marquée principalement dans les stations M'ch, AvK et Bz avec 80 %. Le suivi spatio-temporelle de 19 paramètres mésologiques et physico-chimiques des eaux de nos sous bassins versants paraît globalement normal, en dehors de la station très polluée de l'oued El Hai, AvT qui reçoit un déversement excessif des rejets domestiques de la ville d'Ain Touta et qui de ce fait fournit l'image d'une pollution relativement accentuée à cet oued par rapport aux autres cours d'eau prospectés. L'étude statistique des paramètres abiotiques par l'ACP et biotiques par l'AFC montrent une nette zonation de l'amont vers l'aval, 3 groupements repérés sur les plans factoriels : celles du cours supérieur qui renferment les espèces alticoles préfèrent les eaux fraîches, celles du cours moyen qui englobent des taxons à écologie plus ou moins différente (rares ou exclusives ou eurytopes), et enfin les stations du cours inférieur qui abritent les espèces thermophiles. Les résultats de l'ANOVA montrent une nette variabilité mais beaucoup plus spatiale que temporelle que ce soit pour les paramètres abiotiques ou biotiques. Pour cela, l'ACC menée, pour mettre en évidence la relation entre les espèces recensées, les facteurs environnementaux et les stations prospectées, a été limitée seulement à 9 paramètres abiotiques signalant des différences significatives au seuil 5 %. Les résultats obtenus confirment que notre peuplement peut être classé en : Espèces inféodées aux hautes altitudes et préfèrent les stations à température fraîche, peu minéralisée et supportent des courants rapides : *B. rhodani* et *B. sinuspinosus* ; espèces préférant les basses altitudes, thermophiles et supportent les grandes concentrations de minéralisation : *C. luctuosa*, *P. stagnicola*, *L. neglectus*, *C. (Ch) atlas*, *C. dipterum* et *C.gr. simile* ; et espèces à large répartition qui peuvent subsister quelque soit les conditions du milieu : *B. pavidus*, des espèces rares et limitées ou exclusives : *E. rothschildi*, *C. cf. macrura* et *Ch. dimorphicum*.

Mots clés : Ephéméroptères, Biodiversité, Oued El Abiod, Oued El Hai, Oued Abdi, Typologie spatio-temporelle, Biotypologie, Impact des crues.

Abstract

To contribute to the knowledge of the biological and physicochemical quality and faunal biodiversity conservation of the wetlands of the Aures massif under the impact of environmental parameters, a faunistic study of Ephemeroptera was started from January 2008 to December 2009 at 16 sites along 3 wadis among the most important of the Saharan Atlas: wadi El Abiod, wadi El Hai and wadi Abdi. This study has made it possible to carry out an analysis of the longitudinal and transvers distribution of Ephemeroptera following an East-West transect extending the wilaya of Batna and Biskra. The faunistic study enabled us to count a total of 60615 individuals in 12 species belonging to 4 families: Baetidae, Caenidae, Heptageniidae and Leptophlebiidae. The Baetidae are characterized by a high spatial and temporal distribution, they are the most abundant and most diverse family with 8 species, *Baetis pavidus* is the most dominant with 35676 ind. (58,86 %). This species is rapidly reinstalled after the hydrological disturbances, according to the impact of floods study. The specific diversity, expressed by several ecological indices of structure is significantly lower, reflecting the negative effect of the semi-arid and saharan climate of the study region. In general, the importance of species is marked mainly in the sites M'ch, AvK and Bz with 80%. The spatiotemporal tracking 19 of mesological and physico-chemical parameters of the waters of our watersheds generally seems normal, apart from the highly polluted site in Wadi El Hai, AVT, which receiving an excessive discharge of domestic waste from the city of Ain Touta and thereby provided the image of a relatively steep pollution in wadi El Hai compared to other wadis. The statistical study of abiotic parameters by CPA and biotic by FAC show a clear zonation from upstream to downstream, 3 groups identified on the factorial designs : those of the headwaters which contain the alticoles species preferring fresh waters, those of the middle course which included a taxa with more or less different ecology (rare or exclusive or eurytopic), and finally the sites of the lower which shelters the thermophilic species .The ANOVA results indicate that the spatial variation is greater than the temporal variation whatsoever for abiotic or biotic parameters. For this, the CCA conducted to highlight the relationship between our species recorded, our environmental factors and our stations surveyed, was limited only on 9 abiotic parameters indicating significant differences at 5 % threshold. The results confirm that our population can be classified into : Species restricted to high altitudes and prefer the sites with a fresh temperature, slightly mineralized and support the rapid current : *B. rhodani* et *B. sinespinosus* ; thermophilic species preferring low altitudes and support large concentrations of mineralization: *C. luctuosa*, *P. stagnicola*, *L. neglectus*, *C. (Ch) atlas*, *C. dipterum* et *C.gr. simile* ; and species with broad distribution which can remain whatever environmental conditions: *B. pavidus*, rare and limited or exclusive species: *E. rothschildi*, *C. cf. macrura* et *Ch. dimorphicum*.

Key words: Ephemeroptera, Biodiversity, wadi El Abiod, wadi El Hai, wadi Abdi, Typology spatio-temporal, Biotypology, Impact of floods.

Liste des travaux

PUBLICATIONS

BEBBA N., EL ALAMI M., ARAB A. & ARIGUE S. F. (2015).- **Etude mésologique et Biotypologique du peuplement des Ephéméroptères de l’oued Abdi (Algérie)** [Mesological and biotypological study of Mayflies populating in Abdi wadi (Algeria)]. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) (2015) 1164-1177

ARIGUE S. F., ADLER P. H., BELQAT B., BEBBA N. & ARAB A. (2016).- **Biodiversité des mouches noires (Diptera : Simuliidae) et qualité physico-chimique des eaux du bassin versant de l’oued El Haï (Aurès - Algérie)** [Biodiversity of the Black Flies (Diptera : Simuliidae) and physicochemical quality of watercourses of the oued El Haï basin (Aures - Algeria)]. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (12) (2016) 4839-4849

COMMUNICATIONS

BEBBA N., ARIGUE S. F., HAFIANE M. & ARAB A. (2009).- **BIODIVERSITE ET DISTRIBUTION DES LARVES D’EPHEMEROPTERES DANS L’OUED ABDI (BATNA, BISKRA)**. Communication orale au 3^{ème} congrès international des populations et des communautés aquatiques (CIPCA) du 3 au 6 octobre 2009 à El Goléa, Algérie.

BEBBA N., ARIGUE S. F., HAFIANE M. & ARAB A. (2010).- **ETUDE SAISONNIERE DES EPHEMEROPTERES D’OUED EL ABIOD (BISKRA-BATNA)**. Communication affichée au 21^{ème} Forum International des Sciences Biologiques du 15 au 18 Mars 2010 à Mahdia, Tunisie.

BEBBA N., ARIGUE S. F., HAFIANE M. & ARAB A. (2010).- **DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES LARVES D’EPHEMEROPTERES DANS L’OUED ABDI (BATNA, BISKRA)**. Communication orale au VII^{ème} Conférence Internationale Francophone d’Entomologie du 5 au 10 juillet 2010 à Louvain-la-Neuve, Belgique.

BEBBA N., ARIGUE S. F., HAFIANE M. & ARAB A. (2010).- **REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES DE L’OUED ABDI (ALGERIE)**. Communication orale au 1^{ère} Conférence Internationale Sur la “Biodiversité de l’Environnement aquatique: vers un monde divers et soutenable” du 13 au 15 Décembre 2010 à Hôtel Meridien, Lattakia, Syrie.

BEBBA N., ARIGUE S. F., HAFIANE M. & ARAB A. (2011).- **DETERMINATION OF THE WATER QUALITY OF WADI ABDI EFFECT FROM THE SPACE-TIME DISTRIBUTION OF BENTHIC MACROINVERTEBRATES, AND ANALYSIS PHYSICO-CHEMICAL (ALGERIA)**. Poster communication in The 2011

International Conference on Water, Energy and Environment November 14-17, 2011 – Sharjah, United Arab Emirates

ARIGUE S. F., BEBBA N., HAFIANE M. & ARAB A. (2011).– **A STUDY OF WATER QUALITY OF AN ALGERIAN STREAM WITH PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS.** Poster communication in The 2011 International Conference on Water, Energy and Environment November 14-17, 2011 – Sharjah, United Arab Emirates

BEBBA N., ARIGUE S. F., HAFIANE M. & ARAB A. (2013).– **DETERMINATION DE LA QUALITE D’EAU D’OUED EL ABIOD (ALGERIE) A PARTIR DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.** Communication affichée au 4^{ème} Edition du Congrès International : Eau, Déchets et Environnement. Agadir, 18- 20 Décembre 2013, Maroc.

ARIGUE S. F., BEBBA N., HAFIANE M. & ARAB A. (2013).– **ETUDE COMPARATIVE DE LA QUALITE D’EAU DES DEUX OUEDS DE LA REGION D’AURES EN 2009 (OUED EL HAÏ ET OUED ABIOD) ALGERIE.** Communication affichée au 4^{ème} Edition du Congrès International : Eau, Déchets et Environnement. Agadir, 18- 20 Décembre 2013, Maroc.

BEBBA N., ARIGUE S. F., ARAB A. (2014).- **EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE L’OUED EL ABIOD (ALGERIE).** Communication affichée au II^{ème} Congrès de l’AT-BVBR le 21 au 23 Mars 2014, Hôtel Itropika– Tabarka, Tunisie.

ARIGUE S. F., BEBBA N., ARAB A. (2014).- **QUALITE DES EAUX DES DEUX OUEDS APPARTIENNENT AU GRAND BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE CHOTT MELGHIR (ALGERIE).** Communication affichée au II^{ème} Congrès de l’AT-BVBR le 21 au 23 Mars 2014, Hôtel Itropika– Tabarka, Tunisie.

BEBBA N., ARIGUE S. F., ARAB A. & EL ALAMI M. (2014).- **EPHEMEROPTERES DES AURES (ALGERIE): TAXONOMIE, DIAGNOSE SYSTEMATIQUE, BIOGEOGRAPHIE ET ECOLOGIE** Communication orale au VIII^{ème} Conférence Internationale Francophone d’Entomologie du 23 au 27 juin 2014 à El Hammamet, Tunisie.

BEBBA N., ARIGUE S. F., ARAB A. & EL ALAMI M. (2015).- **WATER QUALITY OF THE WADI EL ABIOD (ALGERIA)** Oral presentation at the 2015 International Conference on Water, Energy and Environment (ICWEE 2015) taking place 24-26 March 2015, at the American University of Sharjah, Sharjah, UAE.

BEBBA N., EL ALAMI M., ARAB A. & ARIGUE S. F. (2015).- **BIODIVERSITY AND LONGITUDINAL DISTRIBUTION OF EPHEMEROPTERA (INSECTA) IN THE WADI ABDI (REGION OF AURES, ALGERIA)** Poster presentation at XVI International Conference on Ephemeroptera and XVIII International Symposium on Plecoptera 31/05-5/6/2015, Aberdeen, Scotland.

Sommaire

Remerciements	i
Dédicace	iii
ملخص	iv
Résumé	v
Abstract	vi
Liste des travaux	vii
Liste des figures	xiv
Liste des tableaux	xvii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES	5
1-Ecologie des éphémères	6
1-1-Classification des Ephéméroptères selon le type de biotope	6
1-1-1-Le type nageur	6
1-1-2-Le type agrippeur	7
1-1-3-Le type rampant	8
1-1-4-Le type grimpeur	8
1-1-5-Le type fouisseur	8
1-2-Classification des Ephéméroptères selon le mode de nutrition	8
1-2-1-Les brouteurs	8
1-2-2-Les filtreurs	8
1-2-3-Les collecteurs	9
1-2-4-Les prédateurs	9
2-Intérêt des paramètres physico-chimiques	9
2-1-Température et pH	9
2-2-Oxygène dissous et en saturation	9
2-3-Conductivité électrique et salinité	10
2-4-Ions majeurs (Chlorures, Sulfates, Calcium, Magnésium)	10
2-5-Bicarbonates	10
2-6-Matières en suspension (MES)	10
2-7-Sels nutritifs (Nitrates et Nitrites) et Phosphore	10
Chapitre II : ETUDE DU MILIEU	12
1-Présentation générale de la région d'étude	12
1-1-Limites géographiques.....	12
1-2-Le Relief	14
1-2-1-La chaîne de partage des eaux entre le versant saharien et la plaine des Sbakh	15
1-2-2-Le versant Saharien	15
1-2-3-Versant de la plaine des Sbakh	16
1-3-Le Réseau hydrographique	16

2-Zone d'étude	17
2-1-Cadre orographique et réseau hydrographique	17
2-1-1-Situation géographique	17
2-1-1-1-Le sous bassin versant de l'oued El Abiod	17
2-1-1-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai.....	18
2-1-1-3-Le sous bassin versant de l'oued Abdi.....	18
2-1-2-Relief	19
2-1-2-1-Le sous bassin versant de l'oued El Abiod	19
2-1-2-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai.....	19
2-1-2-3-Le sous bassin versant de l'oued Abdi.....	19
2-1-3-Les caractéristiques morphométriques	20
2-1-3-1-La superficie des sous bassins.....	20
2-1-3-2-Le réseau hydrographique	20
2-2-Cadre géologique	21
2-2-1-Secondaire	22
2-2-2-Tertiaire	23
2-2-3-Quaternaire	23
2-3-Cadre climatique.....	24
2-3-1-Données climatiques.....	24
2-3-1-1-Les températures	24
2-3-1-2-Les précipitations	25
2-3-1-3-L'humidité relative de l'air	27
2-3-1-4-Les vents.....	27
2-3-2-Synthèse climatique.....	28
2-3-2-1-Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	28
2-3-2-2-Le climagramme d'EMBERGER	29
2-4-Cadre édaphique et couvert végétal.....	30
2-4-1-La pédologie	30
2-4-1-1-Le sous bassin versant de l'oued El Abiod	30
2-4-1-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai.....	31
2-4-1-3-Le sous bassin versant de l'oued Abdi.....	32
2-4-2-Le couvert végétal	32
2-4-2-1-Le sous bassin versant de l'oued El Abiod	32
2-4-2-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai.....	33
2-4-2-3-Le sous bassin versant de l'oued Abdi.....	33

Chapitre III : MATERIEL ET METHODES 35

1-Choix et description des stations d'étude.....	35
2-Périodicité de prélèvement.....	40
3-Qualité physico-chimique et mésologique des cours d'eau étudiés.....	40
3-1-Méthodes de prélèvement et d'analyse.....	41
3-2-Données mésologiques	42
3-2-1-Largeur et Profondeur.....	42
3-2-2-Vitesse du courant	42
3-2-3-Régime de débit.....	43
3-3-Méthodes de traitement des données	43
3-3-1-Analyse de variance.....	43
3-3-2-Corrélation de Pearson (n).....	44
3-3-3-Analyses multivariées.....	44
3-3-3-1-L'analyse des composantes principales (ACP).....	44

3-3-3-2-Classification hiérarchique ascendante (CAH)	45
4-Matériel biologique	45
4-1-Techniques de prélèvement	45
4-2-Tri et détermination	46
4-3-Traitement des données faunistiques	46
4-3-1-Caractéristiques analytiques	46
4-3-1-1-La richesse spécifique	46
4-3-1-2-L'abondance absolue.....	47
4-3-1-3-La dominance (Abondance relative)	47
4-3-1-4-La fréquence.....	47
4-3-2-Indices de diversité	47
4-3-2-1-Indice de Shannon-Wiener H'	47
4-3-2-2-Indice d'Equitabilité de Piélou E	48
4-3-2-3-Indice de Simpson D	48
4-3-2-4-Indice de Similarité de Sorensen Is	48
4-3-3-Affinité cénotique entre les espèces	49
4-3-4-Traitement statistiques des données	49
4-3-4-1-Analyse de variance	49
4-3-4-2-Analyses multivariées	49

Chapitre IV : RESULTAS ET DISCUSSION-ETUDE MESOLOGIQUE 52

1-Résultats.....	52
1-1-Nature des eaux des sous bassins versant étudiés.....	52
1-1-1-Température et pH.....	52
1-1-2-Oxygène dissous et en saturation	53
1-1-3-Conductivité et salinité	53
1-1-4-MES et vitesse du courant	53
1-1-5-Calcium et Magnésium.....	54
1-1-6-Chlorures	54
1-1-7-Sulfates	54
1-1-8-Bicarbonates	54
1-1-9-Nitrites, Nitrates et Phosphores	55
1-2-Variabilités spatio-temporelles de la qualité physico-chimique.....	55
1-2-1-Température.....	55
1-2-2-Potentiel hydrogène pH	58
1-2-3-Conductivité électriques	60
1-2-4-Salinité.....	63
1-2-5-Oxygène dissous.....	65
1-2-6-Vitesse du courant	68
1-2-7-Matières en suspension (MES).....	71
1-2-8-Calcium.....	73
1-2-9-Magnésium	76
1-2-10-Chlorures	79
1-2-11-Sulfates	82
1-2-12-Bicarbonates	84
1-2-13-Nitrites	86
1-2-14-Nitrates	88
1-2-15-Phosphores.....	91
1-3-Traitement statistique des données	94
1-3-1-Corrélation de Pearson (n).....	94

1-3-2-Variabilité inter-spatiale et inter-temporelle de la qualité physico-chimique	96
1-3-3-Etude typologique du réseau hydrographique El Abiod, El Hai et Abdi	99
1-3-3-1-Etude typologique du réseau hydrographique El Abiod	99
1-3-3-1-1-Variabilité spatiale de la qualité physico-chimique	99
1-3-3-1-2-Classification des stations en fonction de leur qualité physico-chimique .	101
1-3-3-2- Etude typologique du réseau hydrographique El Hai	101
1-3-3-2-1-Variabilité spatiale de la qualité physico-chimique	101
1-3-3-2-2-Classification des stations en fonction de leur qualité physico-chimique .	103
1-3-3-3- Etude typologique du réseau hydrographique Abdi.....	104
1-3-3-3-1-Variabilité spatiale de la qualité physico-chimique	104
1-3-3-3-2-Classification des stations en fonction de leur qualité physico-chimique .	106
1-3-3-4-Typologie globale de la qualité physico-chimique	106
2-Discussion	111

Chapitre V : RESULTATS ET DISCUSSION-ETUDE FAUNISTIQUE 114

1-Résultats	114
1-1-Liste faunistique commentée	114
1-1-1-Famille de Baetidae	114
1-1-2-Famille de Caenidae	116
1-1-3-Famille de Heptageniidae	117
1-1-4-Famille de Leptophlebiidae	118
1-2-Composition globale du peuplement	118
1-2-1-Abondance des familles et des espèces recensées.....	119
1-2-2-Fréquence des espèces recensées.....	120
1-3-Analyse et distribution de la composition taxonomique par oued.....	121
1-3-1-Variabilité spatiale des caractéristiques de la faune	121
1-3-1-1-Richesse spécifique	121
1-3-1-2-Abondance et dominance des espèces.....	122
1-3-1-3-Fréquence des espèces.....	128
1-3-2-Variabilité temporelle des caractéristiques de la faune	128
1-3-2-1-Richesse spécifique	128
1-3-2-2-Abondance relative.....	129
1-4-Diversité générique et spécifique	130
1-4-1-Etude globale et particulière par oued de la diversité.....	130
1-4-2-Variation spatiale de la diversité	131
1-4-2-1-Indice de Shannon et Weaver (H').....	131
1-4-2-2-Indice d'Equitabilité de Pielou (E).....	132
1-4-2-3-Indice de Simpson (D')	132
1-4-2-4-Indice de similarité (Is)	134
1-4-3-Variation temporelle de la diversité	134
1-5-Affinité cénotique entre les espèces	136
1-5-1-L'affinité.....	136
1-5-1-1-Au seuil de probabilité 1% ($p < 0,01$)	136
1-5-1-2-Au seuil de probabilité 1‰ ($p < 0,001$)	137
1-5-2-L'incompatibilité	138
1-6-Biotypologie des peuplements des Ephéméroptères	139
1-6-1-Biotypologie particulière des différents sous bassins versants.....	139
1-6-1-1-Oued El Abiod.....	139
1-6-1-2-Oued El Hai.....	143
1-6-1-3-Oued Abdi	146

1-6-2-Biotypologie globale des Ephéméroptères	149
1-6-2-1-Noyau 1	149
1-6-2-2-Noyau 2	149
1-6-2-3-Noyau 3	151
1-7-Répartition spatio-temporelle des Ephéméroptères dans les oueds étudiés	151
1-7-1-Variation spatio-temporelle des espèces recensées dans l'oued El Abiod	151
1-7-2-Variation spatio-temporelle des espèces recensées dans l'oued El Hai	153
1-7-3-Variation spatio-temporelle des espèces recensées dans l'oued Abdi.....	155
1-8-Influence des paramètres abiotiques sur la répartition des Ephéméroptères	157
1-8-1-Impact de la crue	157
1-8-2-Influence des paramètres physico-chimiques	162
2-Discussion	164
Conclusion générale	170
Références bibliographiques	178

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1.1.	Quelques types des larves d'éphémères	7
Figure 2.1.	Situation géographique de la région des Aurès	13
Figure 2.2.	Orographie de la région des Aurès	14
Figure 2.3.	Localisation de la zone d'étude	18
Figure 2.4.	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Batna durant les deux années d'études	29
Figure 2.5.	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Biskra durant les deux années d'études	29
Figure 2.6.	Situation des régions de Batna et Biskra dans le climagramme d'EMBERGER (Données climatiques 1995-2008)	30
Figure 3.1.	Limite du grand bassin hydrographique de Chott Melghir en Algérie	35
Figure 3.2.	Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l'oued El Abiod	37
Figure 3.3.	Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l'oued El Hai	38
Figure 3.4.	Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l'oued Abdi	39
Figure 4.1.	Variation spatio-temporelle de la température des eaux des sous bassins versants étudiés	57
Figure 4.2.	Variation spatio-temporelle du pH des eaux des sous bassins versants étudiés	59
Figure 4.3.	Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique des eaux des sous bassins versants étudiés	62
Figure 4.4.	Variation spatio-temporelle de la salinité des eaux des sous bassins versants étudiés	64
Figure 4.5.	Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous des eaux des sous bassins versants étudiés	67
Figure 4.6.	Variation spatio-temporelle de la vitesse du courant des eaux des sous bassins versants étudiés	70
Figure 4.7.	Variation spatio-temporelle des MES des eaux des sous bassins versants étudiés	72
Figure 4.8.	Variation spatio-temporelle du calcium des eaux des sous bassins versants étudiés	75
Figure 4.9.	Variation spatio-temporelle du magnésium des eaux des sous bassins versants étudiés	78
Figure 4.10.	Variation spatio-temporelle des chlorures des eaux des sous bassins versants étudiés	81
Figure 4.11.	Variation spatio-temporelle des sulfates des eaux des sous bassins versants étudiés	83
Figure 4.12.	Variation spatio-temporelle des bicarbonates des eaux des sous bassins versants étudiés	85
Figure 4.13.	Variation spatio-temporelle des nitrites des eaux des sous bassins versants étudiés	87
Figure 4.14.	Variation spatio-temporelle des nitrates des eaux des sous bassins versants étudiés	90

Figure	Titre	Page
Figure 4.15.	Variation spatio-temporelle du phosphore des eaux des sous bassins versants étudiés	93
Figure 4.16.	Graphes des interactions des valeurs moyennes des mesures physico-chimiques	98
Figure 4.17a.	Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques de l'oued El Abiod dans le plan F1-F2 de l'ACP	99
Figure 4.17b.	Structure du nuage-stations de l'oued El Abiod dans le plan F1-F2 de l'ACP	100
Figure 4.18.	Classification hiérarchique des stations de l'oued El Abiod réalisée à partir des moyennes des paramètres physico-chimiques-mésologiques	101
Figure 4.19a.	Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques de l'oued El Hai dans le plan F1-F2 de l'ACP	102
Figure 4.19b.	Structure du nuage-stations de l'oued El Hai dans le plan F1-F2 de l'ACP	103
Figure 4.20.	Classification hiérarchique des stations de l'oued El Hai réalisée à partir des moyennes des paramètres physico-chimiques-mésologiques	104
Figure 4.21a.	Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques de l'oued Abdi dans le plan F1-F2 de l'ACP	105
Figure 4.21b.	Structure du nuage-stations de l'oued Abdi dans le plan F1-F2 de l'ACP	105
Figure 4.22.	Classification hiérarchique des stations de l'oued Abdi réalisée à partir des moyennes des paramètres physico-chimiques-mésologiques	106
Figure 4.23a.	Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques des oueds étudiés dans le plan F1-F2 de l'ACP	107
Figure 4.23b.	Structure du nuage-stations des oueds étudiés dans le plan F1-F2 de l'ACP	108
Figure 4.24.	Structure du nuage-stations des oueds étudiés dans le plan F1-F2 de l'ACP	109
Figure 4.25.	Résultats de la Classification ascendante hiérarchique des stations étudiées	110
Figure 5.1.	Répartition du peuplement des Ephéméroptères dans les 3 oueds étudiés	118
Figure 5.2a.	Répartition des familles des Ephéméroptères de la région des Aurès	119
Figure 5.2b.	Répartition des espèces des Ephéméroptères de la région des Aurès	119
Figure 5.3.	Classification écologique des espèces des Ephéméroptères recensées dans la région d'étude	121
Figure 5.4.	Répartition de la richesse spécifique des Ephéméroptères par oued	121
Figure 5.5.	Distribution spatiale de la richesse spécifique des Ephéméroptères par oued	122
Figure 5.6.	Distribution spatiale des abondances relatives des espèces des Ephéméroptères du sous bassin versant de l'oued El Abiod	125
Figure 5.7.	Distribution spatiale des abondances relatives des espèces des Ephéméroptères du sous bassin versant de l'oued El Hai	126
Figure 5.8.	Distribution spatiale des abondances relatives des espèces des Ephéméroptères du sous bassin versant de l'oued Abdi	127
Figure 5.9.	(a) Graphe des interactions des valeurs moyennes. (b) Test LSD de Fisher	129
Figure 5.10.	Graphe des interactions des valeurs moyennes	130

Figure	Titre	Page
Figure 5.11.	Importance des indices de diversité calculés dans la région d'étude et en fonction des différents oueds prospectés	131
Figure 5.12.	Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon-Wiener	133
Figure 5.13.	Variation spatiale de l'indice d'Equitabilité	133
Figure 5.14.	Variation spatiale de l'indice de Simpson	133
Figure 5.15.	Graphes des interactions des valeurs moyennes	135
Figure 5.16a.	Biotypologie de l'oued El Abiod : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC	141
Figure 5.16b.	Biotypologie de l'oued El Abiod : structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC	142
Figure 5.17a.	Biotypologie de l'oued El Hai : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC	144
Figure 5.17b.	Biotypologie de l'oued El Hai : structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC	145
Figure 5.18a.	Biotypologie de l'oued Abdi : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC	147
Figure 5.18b.	Biotypologie de l'oued Abdi : structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC	148
Figure 5.19a.	Biotypologie globale des Ephéméroptères : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC	150
Figure 5.19a.	Biotypologie globale des Ephéméroptères : structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC	150
Figure 5.20a.	Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Abiod (2008)	152
Figure 5.20b.	Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Abiod (2009)	153
Figure 5.21a.	Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Hai (2008)	154
Figure 5.21b.	Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Hai (2009)	155
Figure 5.22a.	Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued Abdi (2008)	156
Figure 5.22b.	Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued Abdi (2008)	157
Figure 5.23.	Plan F1-F2 de l'ACC : structure du nuage-stations-espèces-variables physico-chimiques-mésologiques des cours d'eaux des Aurès	163

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 2.1.	Caractéristiques morphométriques des sous bassins versants étudiés	20
Tableau 2.2.	Données climatiques enregistrées à Batna et à Biskra	26
Tableau 2.3.	Les valeurs de Q d'Emberger	29
Tableau 3.1.	Caractéristiques des stations prospectées à oued El Abiod	36
Tableau 3.2.	Caractéristiques des stations prospectées à oued El Hai	36
Tableau 3.3.	Caractéristiques des stations prospectées à oued Abdi	40
Tableau 3.4.	Méthodes d'analyses des paramètres physicochimiques	42
Tableau 3.5.	Classes de vitesse du courant selon l'échelle de berg	43
Tableau 4.1.	Valeurs moyennes des paramètres mesurés sur les différentes stations étudiées	52
Tableau 4.2.	Matrice de corrélation Pearson (n)	95
Tableau 4.3.	Résultats univariés de l'ANOVA 2 pour chaque paramètre mesuré	97
Tableau 4.4.	Test a posteriori de Newman & Keuls	98
Tableau 5.1.	Effectifs, Abondances relatives et Fréquences des Ephéméroptères récoltés	120
Tableau 5.2.	Importance de nombre d'individus (n_i), de l'abondance relative (AR%) et de la fréquence (F%) des espèces recensées par oued	124
Tableau 5.3.	Classement des espèces par oued en fonction de leur fréquence	128
Tableau 5.4.	Résultats de l'ANOVA 1 sur les richesses spécifiques mesurées sur les stations au cours des 8 saisons d'échantillonnage	129
Tableau 5.5.	Résultats de l'ANOVA 1 sur les abondances relatives mesurées sur les stations au cours des 8 saisons d'échantillonnage	129
Tableau 5.6.	Résultats de comparaison entre les stations en utilisant l'indice de Sorensen I_s	134
Tableau 5.7.	Résultats de l'ANOVA 1 sur les Indices de diversité mesurées à chaque oued au cours des 8 saisons d'échantillonnage	135
Tableau 5.8.	Matrice du carré moyen de contingence entre les 12 espèces	137
Tableau 5.9.	Structure des Ephéméroptères recensés avant et après les crues	159
Tableau 5.10.	Comparaison de la richesse spécifique (par genre) des Ephéméroptères des oueds étudiés à celles d'autres régions du Maghreb	165
Tableau 5.11a.	Comparaison de la répartition des espèces recensées des Ephéméroptères avec celles des autres bassins versants Maghrébins	166
Tableau 5.11b.	Références bibliographiques	167

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La qualité de l'eau de surface est une question très sensible. Le développement de l'exploitation des ressources hydriques et la détermination de la qualité des eaux de surface dans une région dépendent d'une part de processus naturels, tels que les caractéristiques hydrologiques, les changements climatiques, les précipitations et les perturbations hydrologiques, l'érosion, l'altération des matériaux de la croûte terrestre et d'autre part des influences anthropiques, à savoir, l'évacuation des eaux usées en milieu urbain, l'utilisation des terres agricoles et les activités industrielles (RAVICHANDRAN, 2003 ; GANTIDIS *et al.*, 2007 ; KUNDEWICZ *et al.*, 2007 ; ARAIN *et al.*, 2008 ; MUDULI et PANDA, 2010). En outre, l'évaluation des variations spatio-temporelles de la qualité de l'eau d'un bassin versant est devenue un aspect important pour la caractérisation physique, chimique (OUYANG *et al.*, 2006 ; SUNDARAY *et al.*, 2006) et biologique des milieux aquatiques.

Les cours d'eau sont parmi les écosystèmes les plus complexes et dynamiques (DYNESIUS et NILSSON, 1994). Ils jouent un rôle dans la conservation de la biodiversité, dans le fonctionnement des organismes, et dans le cycle de la matière organique. À l'aide des macroinvertébrés benthiques, on peut détecter des perturbations qui ont eu lieu même si elles ne sont plus apparentes au moment de l'échantillonnage (CHESSMAN, 1995). Cependant, les perturbations abiotiques sont considérées comme l'un des facteurs dominants qui contribuent fortement à la modification du modèle spatial et temporel de la structure des communautés benthiques dans les écosystèmes lotiques (SCRIMGEOUR *et al.*, 1994). Parmi ces perturbations, les crues sont décrites comme des forces essentielles qui régissent la structure de la communauté benthique dans les cours d'eaux (CROYLE, 1997 ; DEATH, 2009 ; GALLARDO, 2009). Elles peuvent changer soit la structure physique des cours d'eaux par la destruction ou la modification de leurs habitats, soit 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 ; EFFENBERGER *et al.*, 2009) ; elle peuvent avoir aussi de graves répercussions sur la structure de la communauté d'organismes dans les cours d'eaux (TOWNSEND *et al.*, 1997). En revanche, dans certains cas, les perturbations peuvent entraîner une augmentation de la densité de certains taxons, par la réduction de la prédation et/ou de la concurrence pour les ressources et par la création de nouveaux espaces (WHILES et WALLACE, 1992).

La gestion des écosystèmes aquatiques répond essentiellement à deux préoccupations : la protection de l'écosystème et de ses potentialités biologiques et la préservation des ressources hydriques. Ainsi, les études de la faune benthique et de son écologie, revêtent une importance primordiale dans la compréhension du fonctionnement des hydrosystèmes, l'évaluation de l'état de santé écologique et par conséquent dans leur gestion. Dans les milieux aquatiques, les observations biologiques sont complémentaires aux analyses physico-chimiques de l'eau et sont souvent plus discriminantes que ces dernières. 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 (AGENCES DE L'EAU, 1993 ; CAIRNS et PRATT, 1993 ; CRANSTON *et al.*, 1996 ; RESH *et al.*, 1996). Certaines méthodes de bioévaluation se fondent sur l'ensemble de la macrofaune des cours d'eau alors que d'autres se limitent à un seul groupe faunistique particulier tels que, les Mollusques (FOECKLER, 1991), les Diptères Chironomidae (VERMEULEN, 1995) ou les Oligochètes (SLEPUKHINA, 1984 ; AGENCES DE L'EAU, 1993).

Notre travail s'investit dans la problématique principale de la bioévaluation par l'utilisation des larves d'un groupe faunistique assez particulier, les Ephéméroptères. Cet ordre d'Insectes est l'un des plus anciens qui ont pu exister sur terre ; ils sont apparus au Carbonifère supérieur (HUBBARD, 1987). Ces Arthropodes sont l'un des principaux groupes de macroinvertébrés benthiques dans les écosystèmes lotiques (SALVIET *et al.*, 1987 ; BRITTAİN et SALVIET, 1989 ; STUDEMANN *et al.*, 1992). Leur importance réside dans le fait que leur abondance peut constituer jusqu'à 50% de la biomasse animale totale d'un cours d'eau et leur rang dans la chaîne trophique leur permet d'en former l'un des maillons les plus importants. De même, ils ont une grande capacité de conquérir et de repeupler les cours d'eau, soit par dérive pour coloniser les cours inférieurs et moyens, soit en remontant le courant pour atteindre les biotopes les plus hauts. Diverses études ont montré que ce groupe est 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 que ce groupe contient une forte proportion d'espèces ayant des exigences écologiques strictes (ALBA-TERCEDOR et PICAZO-MUNOZ, 1995 ; EL ALAMI, 2002).

Dans le monde, on compte environ 3200 espèces (BRITTAIN, 1982 ; MACADAM et BENNETT, 2010 ; BAUERNFEIND et SOLDAN, 2012 ; BARBER-JAMES *et al.*, 2013) réparties en 410 genres et 42 familles. 652 espèces se cantonnent dans les cours d'eau du continent nord-américain (WARD, 1992) et 369 en Europe (BAUERNFEIND et SOLDAN, 2012). Les 2179 espèces restantes se répartissent entre les continents asiatique, africain et sud-américain.

En Afrique du Nord, grâce aux travaux d'EATON (1899), LESTAGE (1925), GAUTHIER (1928), NAVAS (1913, 1922, 1929, 1935), KIMMINS (1938), une première liste faunistique comptant 17 espèces et deux sous-espèces fut dressée. Depuis, peu d'études ont été dédiées uniquement à ce groupe d'insectes. Les principaux inventaires faunistiques sont ceux réalisés par: DAKKI et ELAGBANI (1983) ; GAGNEUR *et al.*, (1985) ; THOMAS et BOUZIDI (1986) ; BOUMAIZA et THOMAS (1986) ; GAGNEUR et THOMAS (1988) ; EL ALAMI (1989) ; THOMAS *et al.* (1992) ; THOMAS et GAGNEUR (1994) ; BOUMAIZA et THOMAS (1995) ; EL ALAMI et DAKKI (1998) ; THOMAS (1998) qui a listé 69 espèces dans les trois pays du Maghreb. Les travaux les plus récents sont ceux réalisés par ALBA-TERCEDOR et EL ALAMI (1999), EL ALAMI *et al.* (2000), PERU et THOMAS (2001), EL ALAMI (2002), ZRELLI *et al.* (2006), ABDAOUI *et al.* (2010), ZRELLI *et al.* (2011a et b, 2012), BEN MOUSSA *et al.* (2014), ZRELLI (2014) et ZRELLI *et al.* (2015).

Des notes taxonomiques et des inventaires sont toutefois venus compléter nos connaissances sur cet ordre d'insectes en Algérie : SOLDAN et THOMAS (1983 a et b, 1985), GAGNEUR et THOMAS (1988), LOUNACI-DAOUDI (1996), THOMAS (1998), LOUNACI *et al.* (2000 a et b), MAQBOUL *et al.* (2001), MEBARKI (2001), ARAB (2004), ARAB *et al.* (2004), BELAIDI *et al.* (2004), LOUNACI (2005), HAFIANE (2009), HAMZAOUI (2009), YASRI (2009), ZOUGGAGHE et MOALI (2009), HAOUCHINE (2010), KARROUCH (2010), SEKHI (2010), ZOUGGAGHE (2010), HAFIANE *et al.* (2011), HAOUCHINE (2011), REZOUGUI (2012), ZOUGGAGHE et MOALI (2012), ZOUGGAGHE (2013) et ZOUGGAGHE *et al.* (2014).

Jusqu'à présent, la majorité des travaux algériens s'intéressent à la biodiversité, la biogéographie et les aspects écologiques de tous les macroinvertébrés benthiques et leur utilisation dans l'évaluation de la qualité biologique des eaux. Le présent travail se base sur l'analyse de la distribution longitudinale et transversale d'un seul groupe faunistique, les Ephéméroptères, dans trois principaux cours d'eau situés dans la région des Aurès.

Ainsi, nos principaux objectifs sont :

- Définir la qualité physico-chimique des eaux de trois cours d’eaux de l’Atlas Saharien algérien, oued El Abiod, oued El Hai et oued Abdi, se situant entre deux wilayas de la région des Aurès : Batna et Biskra.
- Contribuer à la connaissance approfondie d’un groupe d’insectes, les Ephéméroptères, de sa biodiversité, son écologie et l’analyse de sa distribution spatio-temporelle suivant un transect Nord Sud, et à l’étude de la typologie des eaux de ces trois oueds et leurs peuplements.
- Evaluer l’impact des paramètres environnementaux, à savoir les crues et la qualité physico-chimique des eaux, sur la structure et la répartition spatio-temporelle de nos communautés des Ephéméroptères.

Pour la réalisation de ces objectifs, nous avons subdivisé notre travail en 5 chapitres :

- * le 1^{er} chapitre donne un bref aperçu sur l’écologie des Ephéméroptères, en se basant sur des recueils bibliographiques, afin de donner une idée générale sur cet ordre d’insectes et son importance dans l’évaluation de la qualité d’eau.
- * le 2^{ème} chapitre est consacré à une analyse, en grande partie bibliographique, de l’environnement général de la région d’étude l’Aurès ; puis, à une exposition détaillée des caractéristiques géographiques, géologiques, pédologiques, hydrologiques et climatiques des trois oueds (oued El Abiod, oued El Hai et oued Abdi) comme cadre particulier d’étude.
- * le 3^{ème} chapitre représente 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 des Ephéméroptères, en plus, les diverses méthodes et tests statistiques employés pour le traitement des données.
- * le 4^{ème} chapitre définit les résultats de la qualité physico-chimique globale et détaillée des eaux des différentes stations d’étude et de sa variabilité spatio-temporelle avec une discussion de nos résultats aux travaux précédemment réalisés.
- * le 5^{ème} chapitre traite en détail la diversité biologique des Ephéméroptères, l’analyse de la variabilité spatio-temporelle, de l’écologie et de la biotypologie des peuplements faunistiques recueillis à chacune des stations de l’étude dans chaque oued. Ce chapitre examine aussi la relation entre la faune et son milieu en identifiant l’impact des crues sur la structure spécifique et l’influence des paramètres physico-chimiques sur la répartition de nos communautés ; et il se termine par une discussion de nos résultats.

Enfin, cette recherche sera finalisée par une conclusion générale et une gamme puissante des références bibliographiques.

CHAPITRE I

Chapitre I : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

Les Ephéméroptères ou « mouches de mai » sont ainsi appelés à cause de la brièveté de la vie de l'imago (insecte à l'état adulte) qui ne dure que quelques jours, voire quelques heures. Éphémère est un mot « ordinaire », usité depuis le Moyen Âge, d'abord en médecine, pour indiquer «qui ne vit qu'un jour». Leurs pièces buccales sont atrophiées et ne leur permettent pas de se nourrir. Leur courte vie aérienne n'est consacrée qu'à la reproduction (BRULIN, 2008).

Ce sont des insectes hémimétaboles dont les larves sont aquatiques et les adultes sont aériens. Les stades ailés se caractérisent par une durée de vie très brève variant entre quelques minutes à un mois. Par contre, le développement larvaire qui se déroule dans les eaux douces peut durer des mois, voire même des années, avant d'atteindre le stade imaginal. Ils sont considérés comme étant des insectes peu évolués ayant conservés des caractères primitifs telles que la présence : d'expansions trachéobranchiales au niveau de l'abdomen ; d'un stade intermédiaire (subimago) s'intercalant entre l'état larvaire et le stade adulte et qui est considéré comme un cas unique dans toute la classe des insectes (DESPAX, 1965) ; des ailes qui ne se rabattent pas sur le dos au repos (infraclasse des Paléoptères) (EL ALAMI, 2002).

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).

De l'amont vers l'aval, chaque cours d'eau présente un gradient longitudinal de conditions écologiques auquel correspond une succession spatiale de communautés faunistiques. Cette distribution des espèces est le résultat d'interactions complexes entre deux groupes de paramètres : la capacité d'adaptation des espèces vis-à-vis des facteurs du milieu (vitesse de courant, granulométrie du substrat, température de l'eau.....) et leurs exigences en matières de ressources trophiques (MARY, 1999).

Ainsi, ce chapitre portera, à partir d'un bref aperçu bibliographique, sur l'étude de l'écologie des Ephéméroptères et de l'intérêt des paramètres physico-chimiques comme des facteurs environnementaux peuvent déterminer l'absence et la présence de cette faune.

1-Ecologie des éphémères

Les larves d'Ephéméroptères sont strictement aquatiques ; elles sont inféodées à tous les types d'écosystèmes d'eau continentale, qu'ils soient d'eaux stagnantes ou d'eaux courantes. Ce sont des organismes benthiques puisqu'ils se cantonnent dans les zones les plus profondes des cours d'eaux, des marais ou des lacs. Certaines espèces dites lithophiles préfèrent vivre sur et/ou sous le substrat minéral (bloc, galets, cailloux, sables ou limon). D'autres espèces phytophiles préfèrent s'abriter dans la végétation aquatique ou dans les supports recouverts des débris organiques (EL ALAMI, 2002).

Par ailleurs, un cours d'eau peut héberger une multitude d'espèces montrant des adaptations morphologique, physiologique et comportementales en fonction des biotopes qu'elles occupent. Ainsi, les zones à courant très vif abritent des espèces rhéophiles (Oligoneuriidae, Hepatgeniidae) alors que les berges hébergent des espèces limnophiles (Caenidae, Leptophlebiidae) ; ces derniers taxons peuvent coloniser également les eaux stagnantes où ils constituent des communautés typiques (EL ALAMI, 2002).

Les éphémères sont très diversifiées à la fois sur le plan des habitats colonisés par les larves (eaux courantes, eaux stagnantes), des relations qu'elles entretiennent avec le substrat (comportement fouisseur, de reptation ou nageur) ainsi qu'au niveau des comportements alimentaires (broyeur détritivore, racleur de substrat ou filtreur) (SARTORI et BRITTAIN, 2015). Les larves d'Ephéméroptères peuvent être classées suivant leur morphologie, leur mode de déplacement et par conséquent suivant les types de biotopes qu'elles affectionnent. Nous avons adopté la classification donnée par STUDEMANN *et al.* (1992), sachant qu'elle est loin d'être définitive étant donné que certaines espèces peuvent changer d'habitat au cours de leur développement larvaire.

1-1-Classification des Ephéméroptères selon le type de biotope

Selon cette classification, nous distinguons les nageurs, les agrippeurs, les rampants, les grimpeurs et les fouisseurs (Fig.1.1) (STUDEMANN *et al.*, 1992).

1-1-1-Le type nageur

Se rencontre dans les eaux limniques. Les larves présentent un corps allongé et hydrodynamique se terminant par trois filaments caudaux frangés par de longues soies marginales (Baetidae à l'exception des genres *Acentrella* et *Baetis*) (STUDEMANN *et al.*, 1992). Elles se tiennent posées sur les pierres du fond et se déplacent brusquement en nageant, sans marcher (BRULIN, 2008).

1-1-2-Le type agrippeur

Regroupe surtout les espèces rhéophiles qui se rencontrent dans les eaux à courant vif et les torrents. Dans ces conditions, les larves restent en contact du substrat en s'y agrippant fortement. Ces organismes présentent certains caractères adaptatifs qui leur permettent de subsister dans de tels biotopes: aplatissement dorso-ventral du corps, position latérale des pattes...etc. De plus, leur forme permet à certaines espèces de se placer entre les pierres dans des endroits où la vitesse du courant est amortie (STUDEMANN *et al.*, 1992).

Chez les espèces du genre *Rhithrogena*, les branchies de la première paire qui sont assez développées se rejoignent ventralement pour former une sorte de coussinet « friction pads » d'après HYNES (1970a et b) qui bloque le passage de l'eau et de résister à l'entraînement par le courant et de se soustraire à son action.

En dépit de leur forme hydrodynamique, certains Baetidae rhéophiles s'agrippent au substrat par leur pattes, leur tête affrontant le courant et leur filaments caudaux servant de gouvernail (STUDEMANN *et al.*, 1992).

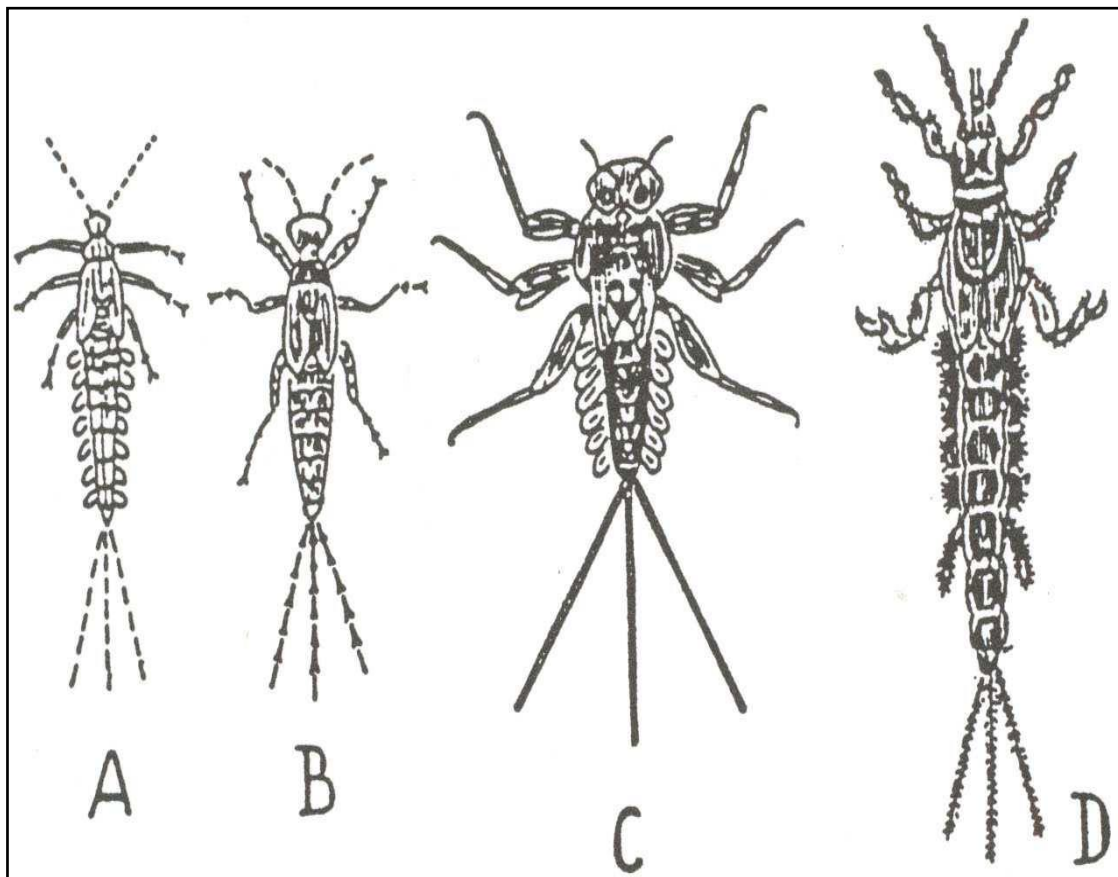


Figure 1.1. Quelques types des larves d'éphémères (BRULIN, 2008).

(A-Larve rampante de Baetidae ; B-Larve nageuse d'Ephemerellidae ; C-Larve plate *Ecdyonurus* genre de la famille Heptageniidae ; D-Larve fouisseuse d'Ephemeridae (mouche de mai (*Ephemera danica*))

1-1-3- Le type rampant

Se trouve chez les larves qui sont « mauvaise nageuses ». Habituellement, elles rampent au milieu des pierres ou des détritiques du fond pour se loger sous ou entre les pierres. Ces larves se caractérisent par une forme serpentiforme et des branchies souples (Pothamanthidae, Leptophlebiidae) ou un corps de petite taille portant des branchies protectrices (opercules) couvrant les autres qui la succèdent (Caenidae) (STUDEMANN *et al.*, 1992).

1-1-4- Le type grimpeur

Contient également des larves qui sont des nageuses médiocres (Ephemerellidae). Pour éviter les courants vifs, ces larves pénètrent à l'intérieur de la végétation aquatique (algues, mousses, macrophytes) ; leur corps est muni de petites protubérances qui leur permettent de s'accrocher à cette végétation (STUDEMANN *et al.*, 1992).

1-1-5- Le type fouisseur

Se retrouve chez les larves qui se cantonnent dans les lits à substrat meuble où elles creusent des galeries leur servant de refuges. Ces larves se distinguent par la présence de fortes mandibules à long prolongement externe leur servant de soc, et par des pattes antérieures robustes capables d'écarter les déblais. Les branchies se rabattent, généralement, sur la surface dorsale des larves (Polymitarcidae, Ephemeridae) (STUDEMANN *et al.*, 1992). Elles vivent dans la vase ou l'argile (BRULIN, 2008).

1-2-Classification des Ephéméroptères selon le mode de nutrition

En ce qui concerne la nutrition, les larves d'Ephéméroptères s'alimentent essentiellement de particules organiques inertes ou vivantes (périphyton, bactéries et champignons). Selon le type d'aliment consommé, nous distinguons deux types de larves : les détritivores se nourrissant de détritiques et les herbivores qui s'alimentent des algues et des champignons. Le mode de nutrition permet de repérer quatre catégories de larves (STUDEMANN *et al.*, 1992) :

1-2-1-Les brouteurs

Prélèvent les algues fixées sur le substrat à l'aide de leurs palpes maxillaires et labiaux bien développés (STUDEMANN *et al.*, 1992).

1-2-2-Les filtreurs

Se subdivisent à leur tour en deux sous-catégories (STUDEMANN *et al.*, 1992) :

* Les **filtreurs passifs** (Oligoneuriidae) qui recueillent les particules alimentaires par les longues soies natatoires frangeant leurs pattes antérieures ;

* Les **filtreurs actifs** (Polymitarcidae et Ephemeridae) qui creusent des galeries ouvertes aux deux extrémités ; à l'aide des battements de leur branchies, elles créent un courant d'eau à l'intérieur de leur terrier leur permettant de récupérer les détritiques et les bactéries en suspension.

1-2-3- Les collecteurs

Sont des larves « omnivores » très peu spécialisées se nourrissant de particules organiques, de bactéries et de champignons, qu'elles trouvent dans les interstices du substrat minéral tapissant le lit des cours d'eau (Caenidae, Potamanthidae et Baetidae) (STUDEMANN *et al.*, 1992) .

1-2-4- Les prédateurs

Sont peu communs parmi cet ordre d'Insecte. Ce sont des larves carnassières (*Raptobaetopus*, *Prosopistoma*) dépourvu de gnathobases et se nourrissant surtout des petits animaux tels que les larves des Chironomidae (STUDEMANN *et al.*, 1992) .

2-Intérêt des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques des eaux naturelles sont en relation avec le climat, la géologie, la biocénose et le temps (MAITLAND, 1990). Ces propriétés déterminent dans une large mesure la capacité auto épuratrice des cours d'eaux.

2-1-Température et pH

La température est un facteur important de la vie d'un cours d'eau, qui peut affecter les propriétés de l'eau et même sa qualité (COURT, 1987). Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés.

Les valeurs de la température et du pH conditionnent un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Par exemple, les températures élevées facilitent les réactions d'oxydation des dérivés de l'Azote (NH_4^+ , NO_2^-) et, par conséquent, entraînent une diminution du taux d'Oxygène dissous (BREMONT et VUICHARD, 1973). Le pH est influencé par les teneurs en CO_2 dissous et agit sur l'équilibre carbonique de l'eau (NISBET et VERNEAUX, 1970).

2-2-Oxygène dissous et en saturation

Le taux de l'oxygène dissous dans une eau détermine directement la nature de l'écosystème aquatique (BONTOUX, 1993). Dans les eaux courantes, la teneur en Oxygène dissous est directement liée à la température et à l'agitation de l'eau. L'Oxygène contribue de façon importante à l'autoépuration des charges polluantes : en milieu aérobie, sous l'effet des micro-organismes présents dans l'eau, les matières organiques issues des eaux résiduaires sont plus ou moins complètement minéralisées et donnent des produits finaux non nocifs (eau, nitrates, phosphates...) (LEYNAUD et VERREL, 1980).

2-3-Conductivité électrique et salinité

La salinité d'une eau est sa concentration en électrolytes, c'est-à-dire les anions et les cations dissous dans l'eau (LEVEQUE, 1996). La conductivité est proportionnelle à la quantité de sels ionisables et indique le degré de minéralisation d'une eau. D'une manière générale, elle croît progressivement de l'amont vers l'aval des rivières (NISBET et VERNEAUX, 1970).

2-4-Ions majeurs (Chlorures, Sulfates, Calcium, Magnésium)

Dans les eaux exemptes de pollution, les ions Chlorures, Sulfates, Calcium et Magnésium ont une origine naturelle. Leurs teneurs sont liées à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau et à l'érosion des roches superficielles. En effet, ces éléments sont des constituants majeurs de l'écorce terrestre (BREMOND et VUICHARD, 1973). Leurs teneurs peuvent indiquer le niveau d'eutrophisation des cours d'eau. En effet, des teneurs excessives sont le signe d'une pollution urbaine ou industrielle (NISBET et VERNEAUX, 1970).

2-5-Bicarbonates

La concentration en Bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau (ou alcalinité) dépend de la teneur en CO_2 , de la conductivité, du pH et de la température. L'équilibre chimique dans l'eau s'établit entre le CO_2 de l'air et une phase solide dépendant de la nature géologique du terrain (BREMOND et VUICHARD, 1973). Les concentrations en Bicarbonates peuvent donner des indications sur le degré d'oxydation des composés organiques dans des zones particulières comme les ruisseaux forestiers (NISBET et VERNEAUX, 1970). Le carbonate et le bicarbonate sont le résultat de la combinaison du carbone avec l'eau, il peut aussi provenir de la dissolution des roches dans l'eau (RODIER, 1996).

2-6-Matières en suspension (MES)

Les MES des eaux naturelles résultent de l'érosion naturelle des sols, elles peuvent être constituées de débris minéraux, de débris organiques végétaux et de plancton. Une quantité importante de MES peut être à l'origine d'une pollution mécanique et augmenter la turbidité des eaux (LEYNAUD et VERREL, 1980).

2-7-Sels nutritifs (Nitrates et Nitrites) et Phosphore

Les Nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'Azote organique. Facilement lessivés, ils proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur les terrains constitutifs du bassin versant : la nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence (BREMOND et VUICHARD, 1973). Les nitrates participent aux phénomènes d'eutrophisation ; en période de faible oxygénation (période estivale) les nitrates

peuvent jouer le rôle de donneurs d'oxygène et éviter l'anaérobiose (RODIER, 2009). Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniacque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant (RODIER, 2009). Les phosphores font partie des anions facilement fixés par le sol ; leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés (lessivage des minéraux) et à la décomposition de la matière organique (BREMONT et VUICHARD, 1973 ; RODIER, 2009).

CHAPITRE II

Chapitre II : ETUDE DU MILIEU

Tenons une carte d'Algérie, nous voyons deux lignes, brunes et sombres, représentant des reliefs montagneux. Ces deux lignes parallèles courent d'Ouest en Est pour se rejoindre en Tunisie, où elles forment l'équivalent d'une pointe de flèche qui vise Carthage.

- La ligne du Nord est appelée Atlas Tellien, est une chaîne de montagnes qui longe plus ou moins le littoral.

- La ligne du Sud, appelée Atlas Saharien, longe la limite nord du Sahara à qui elle semble servir de barrière.

Ces deux lignes constituent presque une sorte de longue muraille, l'une contre la mer et l'autre contre le désert et entre ces deux " murs " se développent de riches et vastes plaines ou plateaux, tels : la vallée du Chélif, la plaine de Sétif, la Mitidja, la vallée du Hodna, etc.... (CÔTE, 1974)

Au Sud- Est de l'Atlas Saharien, Un massif montagneux quelque peu curieux. Lorsqu'on vient de Constantine, il dresse avec une netteté rare au dessus des plaines une barrière haute, puissante et continue. Il prolonge les montagnes de la Tunisie centrale, égale en altitude au Djurdjura de Kabylie et présente un paysage de mise en valeur agricole dont on ne trouve de similarité que forte loin de notre pays, dans le Haut Atlas marocain. C'est le massif de l'Aurès (CÔTE, 2003).

On donne le nom général de massif de l'Aurès au vaste pâtre montagneux qui s'étend à l'Est de la dépression dans laquelle coule l'oued Kantara et longée par la route nationale et le chemin de fer reliant Batna à Biskra.

La signification du mot Aurès ou Aoures comme le prononce les autochtones n'a pu encore être déterminé ; c'est probablement un nom d'origine berbère, qui est donné, également, à d'autres montagnes algériennes, notamment djebel Aoures se trouvant près de Khenchela. Certains auteurs ont voulu faire dériver ce nom du mot hébreu "ARZOU " (cèdre), et les immenses forêts de cèdres qui ont recouvert autrefois et recouvrent encore une partie du massif prêteraient quelques vraisemblances à cette étymologie (DELARTIGUE, 1904 ; BALLAIS, 1981).

1- Présentation générale de la région d'étude

1-1-Limites géographiques

L'Aurès est un bourrelet transverse d'environ 7000 km². Il s'étend entre les parallèles 34° - 45' et 35° - 30' Nord et les longitudes 5° - 45' et 7° à l'Est du méridien international

(Fig.2.1) (MEHARZI, 2010). Le massif des Aurès proprement dit, est situé entre la ligne Batna Khenchela au Nord, la ligne Khenchela Sidi-Naji à l'Est et la ligne Batna Biskra à l'Ouest. Ses limites sont marqués à l'Ouest par l'oued Elkantara (le pont) et la voie romaine de Lambiridis (El-Biar) à Ad Miscinam (Biskra) qui la sépare des monts du Zab; au Sud par la steppe du Chott Melghir et la route de Biskra à Nègrine par Zéribet El Oued ; à l'Est par l'oued El Arab qui la sépare du Djebel Cherchar (Mont des cascades) ou Cherchar (Mont des cailloux) et qui est suivi par l'ancienne voie romaine de Badès (Ad Badias) à Khenchela; au Nord par la steppe de la Sebkha Djendli et de la Garaa El Tarf que suit en longeant parfois les premières pentes du massif Aurasien la route carrossable de Batna à Khenchela (DELARTIGUE, 1904 ; CÔTE, 1974).

Au Nord et au Sud de l'Aurès, se trouvent donc deux dépressions remplies de bassins salins. Celle du Nord reçoit les eaux venant du versant septentrional de l'Aurès ; elle est connue sous le nom de plaine des Sbakh ; son altitude moyenne est de 900 m. La dépression du Sud fait partie de la région des Chotts ; toutes les eaux de l'Aurès méridional et central s'écoulent dans le Chott Melghir dont l'altitude est à moins de 30 m au dessous du niveau de la mer (BENMESSAOUD, 2009).

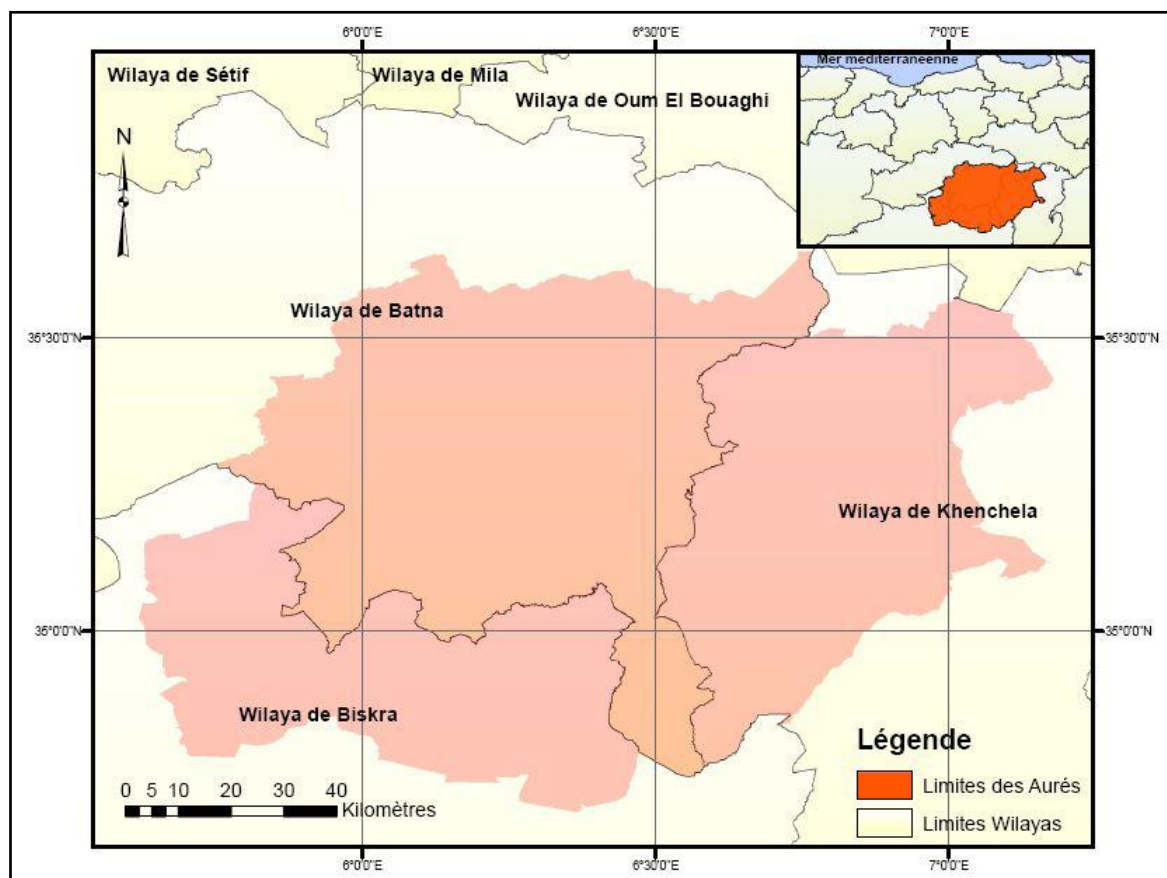


Figure 2.1. Situation géographique de la région des Aurès (BENMESSAOUD *et al.*, 2009)

1-2-Le Relief

A l'est de l'Atlas Saharien, les Aurès forment un ensemble de chaînes montagneuses au relief très contrasté, fortement exposées aux phénomènes de dégradation, notamment dans la partie sud en contact direct avec le Sahara (BENMESSAOUD *et al.*, 2009). Le massif est constitué d'une série de plis parallèles, orientés « Sud Ouest – Nord Est » qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres. Le relief est généralement très lourd, les sommets sont constitués par des dômes arrondis, sauf pour les plis de l'Ahmar Khaddou et Dj. Azreg (BENMESSAOUD, 2009).

La région est caractérisée par de fortes dénivellations sur de courtes distances, avec des altitudes qui varient de 2300 m (versant nord) à - 50 m (au sud) (Fig.2.2) (ANSAR, 2002). Vu dans son ensemble, le massif des Aurès se présente comme un puissant toit à double pentes dissymétriques, rides et parallèles. Cette série montagneuse orientée Nord- Est / Sud-Ouest (Orientation typique de la chaîne Atlasique), porte à 2200 - 2300 m ses crêtes sommitales (Mehmel, Chélia, Aidel). Au Nord de cette ligne de crêtes le retombé rapide en 10 ou 20 km établit la jonction avec les hautes plaines situées à 900 m d'altitude entre Batna et Khenchela. Au Sud, un long versant mène en 50 ou 60 km au piémont saharien, sis à 100 m d'altitude (CÔTE, 2003). Ces plis serrés dessinent de longues arêtes rectilignes, faites de crêtes étroites et séparées par de profondes vallées (BENMESSAOUD, 2009).

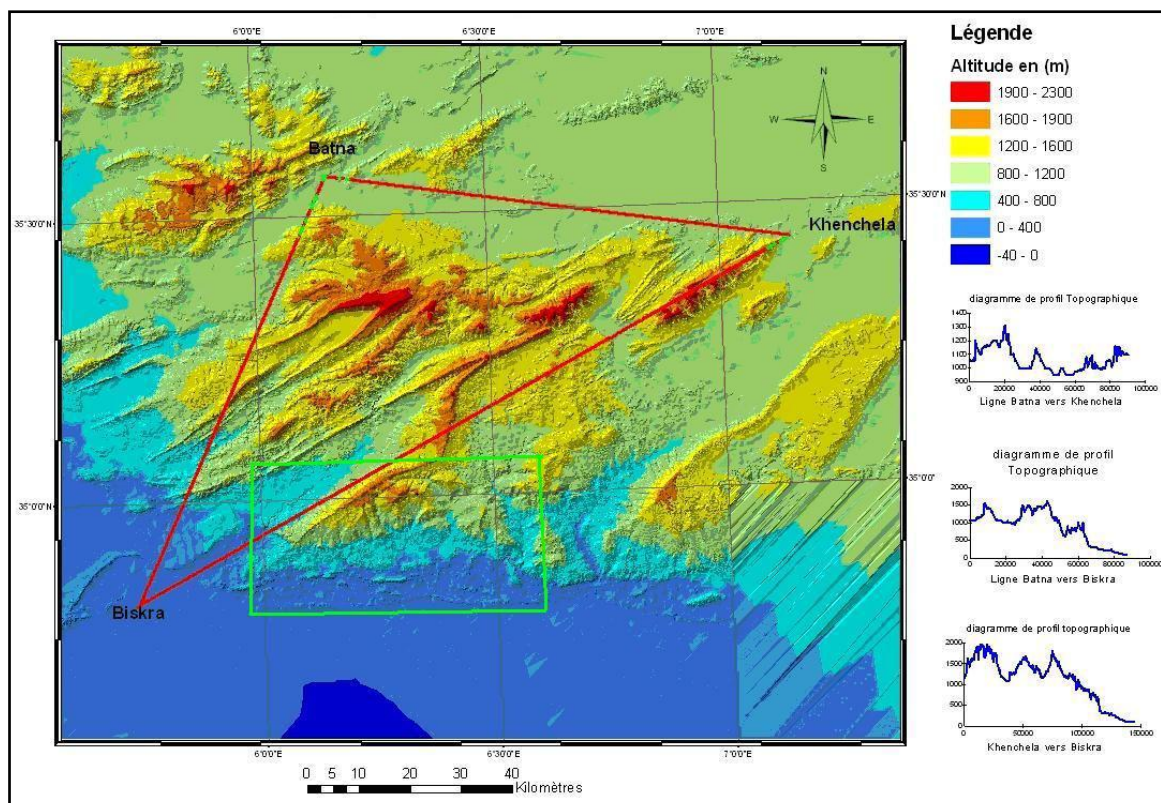


Figure 2.2. Orographie de la région des Aurès (BENMESSAOUD *et al.*, 2009)

1-2-1-La chaîne de partage des eaux entre le versant saharien et la plaine des Sbakh

Cette chaîne est marquée de l'Ouest vers l'Est par (BENMESSAOUD, 2009):

- Le djebel Ich Ali (1810 m) dont le sommet est à environ 7 km au Sud de Batna, le djebel Assière (1835 m), le Drâa Ben Chibane (1944 m) et le Ras Tafsart (1981 m).

- La partie du djebel Mahmel située au Nord d'Aïounet El -Amar (2214 m) continue sous le nom de Kef Mahmel, le djebel Iddert (1901 m) et le Ras El Kriane (1948 m).

- Le Theniet Aïn Youb et le Theniet El Kadir (1645 m) sentiers venant de Foug Toub dans la plaine de Médina et le djebel Tedfedjir (1715m).

- Le djebel Chéliah ou Chélia : Le soulèvement de ce massif important, le plus élevé de l'Algérie de Nord (2328 m) a eu lieu suivant un axe Ouest –Est. Son point le plus élevé est le Ras Kalthoum.

- La grande chaîne de partage se continue ensuite par : Le djebel Foural (1700 m) et le djebel Taferoust (1592 m).

- * Un col dont l'altitude ne dépasse pas 1250 m du Nord à Aïn Cheroui, celui du Sud à Henchir Etouan et fait communiquer la grande route de Batna à Khenchela avec Bou Hamama (vallée de Mellagou).

- * Le Kef Gâam (1656 m).

- * Le djebel Aourès (1551 m).

- * Le Chorf Nourris et le Tizzi Nourris où passe la route de Khenchela au col de Tizougarine par oued Tamza.

- * Le djebel Pharaoun (2094 m).

- * Le Kef Tifkressa (1947 m).

- * Le Ras Chabor (1216 m) qui domine Khenchela.

1-2-2-Le versant Saharien

Il s'agit des différentes chaînes de montagnes qui se détachent de la chaîne de partage et se séparent les unes des autres par différents cours d'eau du versant saharien. Ces chaînes sont (BENMESSAOUD, 2009) :

- Entre la haute vallée de oued El-Kantara et la haute vallée de l'oued Fedhala ; les chaînes de Titouguel (1583 m).

- Entre oued Fedhala et oued Larbâa : les monts des Ouled Fedhala.

- Entre oued Larbâa et Bouzina massif de Malou.

- Entre oued Bouzina et oued Abdi le massif du Mahmel 2321 m.

- Chaîne séparative entre oued Abdi et oued El Abiod : Cette chaîne prend naissance au Theniet Gabel Ressisse par le djebel Boutelegmine (2178 m).

- Entre oued El Abiod et la vallée de l'oued Cheneoura : le massif du Zellatou.
- Entre oued El Abiod et les affluents de l'oued El Arab le massif du djebel Ahmar Khaddou.
- Chaîne bordière d'El Guerguit. Cette chaîne porte le nom générique d'El Guerguit.

1-2-3-Versant de la plaine des Sbaks

Les principaux sommets sont (BENMESSAOUD, 2009) :

- Sur la rive gauche de l'oued Foum El Gueiss en partant du Theniet El Fedj : le Kef Mabrou, le Ras Ichoufertatou (1470 m), le Ras Ifertassine (1303 m), le Ras Tourna, le Kef Achachoua (1176 m)
- Entre oued Foum El Gueiss et oued Mouskettou, le djebel Tiskatine orienté Ouest Est formant à l'Ouest le défilé de Foum El Gueiss et à l'Est celui de Foum Tizout.
- Le prolongement Nord du djebel Aurès.
- Le djebel Pharaoun qui se prolonge par le Kef El Abiod (1815 m), le djebel Guelàa (1621 m) et le djebel Akar sur le Foum Tafist, dernier défilé à quelques kilomètres de Khenchela que traverse la route Batna- Khenchela. Il se prolonge de l'autre côté par la montagne isolée du djebel El Mennchar.

1-3-Le Réseau Hydrographique

Le réseau hydrographique est endoréique ou aréique pour l'ensemble du massif. Pour les oueds, certains sont sahariens, ils traversent le massif du Nord-Est vers le Sud-Ouest et constituent des subdivisions dans la structure géographique. Ils s'éteignent tous dans les chotts du sud et de l'Ouest (DELARTIGUE, 1904 ; BALLAIS, 1981 ; ABDESSEMED, 1984).

Quatre vallées creusent le massif de l'Aurès. Ce sont celles de l'oued El-Kantara; l'oued Abdi, affluent de l'oued El Kantara; l'oued El Abiod et l'oued El Arab (BENMESSAOUD, 2009) :

- Oued El-Kantara et son affluent principal oued Abdi : l'oued El-Kantara descend du col du Chlalâ, qu'il ouvre au pied du Djebel Touguert, une des plus hautes montagnes de l'Algérie (2094 m) située à quelques kilomètres à l'ouest de Batna.
- Oued El Abiod : l'oued El Abiod prend sa source dans le Chélia, à Ras Keltoum (2.328 m) d'où il descend sous le nom de l'oued Tiddart, puis un peu plus bas il porte le nom de l'oued Tadjernit.
- Oued El Arab : l'oued El Arab prend sa source à quelques kilomètres de Khenchela au Sud-Ouest, au djebel Tafrent. Il se sépare en deux bras ayant 25 à 30 km de longueur et qui l'isolent complètement du massif de l'Aurès.

Les principaux cours d'eau en partant de l'Ouest vers l'Est sont (BENMESSAOUD, 2009) :

- Oued EL-Madher : Cet oued descend par plusieurs bras et de fort belles sources du versant Nord du djebel Ech Ghaali et du djebel Assière.
- Oued Chemora. : Cette rivière est formée de 02 bras, le Chabet Ez Zoubia à l'Ouest et l'oued Reddam à l'Est.
- Oued Bou El Freiss : Cette rivière est des plus importantes ; elle est formée par la source Aîn Tetoufzed et ouvre un long couloir au Nord du Chélia en donnant passage à une assez bonne voie de communication avec la haute vallée de l'oued El Abiod (Plaine de Médina).
- Oued Foum El Gueiss : Cet oued ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il sort du Djebel Noughiss ou Nouriss. Sa source est opposée par le sommet à celle de l'oued Tamzat, affluent de l'oued Mellagou. L'oued traverse un massif montagneux très boisé et entre dans la plaine au défilé de Foum El Gueiss au moment où il est traversé par la route de Khenchela.
- Oued Menzel : Cet oued sort du massif boisé du djebel Akar et va se jeter dans la Gueraa El Tarf (chott El Mellah), presque à côté de l'oued Foum El Gueiss il reçoit à gauche l'oued Mouskettou qui sous le nom de Faïd Iskouène ouvre le défilé de Foum Tizourit.

Le réseau hydrographique des Aurès éparpillé en toute direction mais son allure générale ne cesse d'être du Sud Ouest au Nord Est, souvent l'orientation générale du complexe montagneux et la géomorphologie caractérisent le réseau en phase de jeunesse dont la mesure ou les cours d'eau continuent toujours de creuser leurs lits. Ils sont secs en été en se transformant en torrent dès la moindre averse (BENMESSAOUD, 2009).

2- Zone d'étude

La zone d'étude est partagée entre les deux wilayas de Batna et Biskra (Fig.2.3). Elle comprend 3 oueds appartenant aux principales vallées hydrogéologiques creusant le massif de l'Aurès et qui sont : oued El Abiod, oued El Hai et oued Abdi.

2-1-Cadre orographique et réseau hydrographique

2-1-1-Situation géographique

2-1-1-1-Le sous bassin versant de l'oued El Abiod : ce sous bassin se trouve dans zone constituée d'une succession de massifs montagneux, faisant partie des Aurès, et appartenant ainsi au domaine de l'Atlas Saharien. Il est annexé au bassin hydrologique de chott Melghir ; il s'étend de la ville de Arris au Nord –Est, appartenant à la wilaya de Batna jusqu'à la cuvette d'El-Outaya dans la partie Sud-Ouest qui fait partie de la Wilaya de Biskra.

Les coordonnées géographiques du sous bassin sont (HAMEL, 2009) :

Latitude : 35° 6'16'' et 35° 10'44'' Nord.

Longitude : 6° 55'39'' et 6° 92'75'' Est.

2-1-1-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai : il se situe dans le piedmont Sud des Aurès ; il fait partie également, du grand bassin hydrographique de Chott Melghir ; il est limité au Nord par le bassin versant des hauts plateaux constantinois ; à l'Est par le sous bassin versant de l'oued Abdi ; à l'Ouest par le grand bassin hydrographique de Chott El Hodna. Sa limite par rapport aux coordonnées géographiques est la suivante (RERBOUDJ, 2005) :
Latitude : 35°5'53'' et 35°35'21'' Nord.

Longitude : 5°30' et 6°17'36'' Est.

2-1-1-3-Le sous bassin versant de l'oued Abdi : il est localisé dans le piedmont Sud des Aurès; il fait partie du grand bassin hydrographique de Chott Melghir ; il est limité au Nord par le bassin versant des hauts plateaux constantinois ; à l'Est par le sous bassin versant de l'oued El Abiod ; à l'Ouest par le sous bassin versant de l'oued Al Hai. Le sous bassin est cadré par les coordonnées géographiques suivantes (BAALA, 2012) :

Latitude : 34° 92'39'' et 35° 35'81'' Nord.

Longitude : 5° 74'80'' et 6° 38'38'' Est.

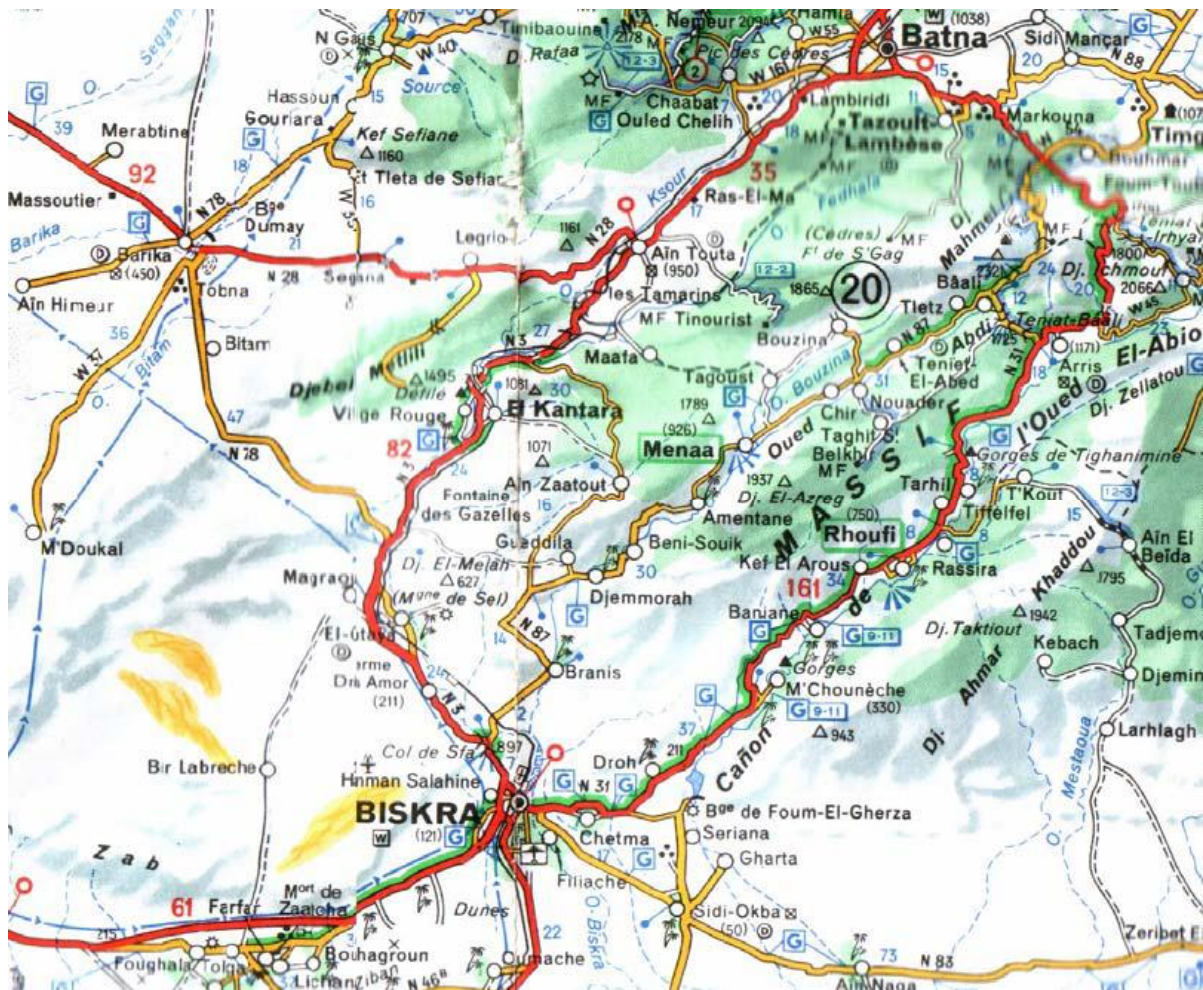


Figure 2.3. Localisation de la zone d'étude

2-1-2-Relief

C'est les différents paramètres topographiques qui renseignent souvent, sur la réponse du bassin versant vis-à-vis de la mobilité des matériaux et sur l'accélération de la pesanteur.

2-1-2-1-Le sous bassin versant de l'oued El Abiod : morphologiquement, le sous bassin qui est situé sur la bordure méridionale du domaine atlasique plissé, se présente comme une vallée allongée entre les grands reliefs de Dj. Azreg (1937 m) et Dj. Zellatou (1994 m) au Nord et Dj. Ahmar Khaddou au Sud. Le sous bassin prend naissance à Dj Chelia (2326 m) et s'achève à la région de Droh, selon un axe orienté NE-SW (HAMEL, 2009).

2-1-2-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai (RERBOUDJ, 2005) :

A. Les montagnes : caractérisées par un enchaînement des massifs ; d'une orientation générale NE-SO, avec une décroissance d'altitude du Nord vers le Sud. On peut citer :

- Les Monts de Belezma au Nord ; dans lesquelles l'altitude maximale atteint 2091 m (Dj. Tuggurt).
- Les Monts de Metlili dont le pique atteint 1496 m à l'Ouest
- Au Sud Dj. Bousse 1789 m, à l'Est Ras El Krouch 1508 m, Dj. El Malou 2091 m et Dj. El Rherah 1865 m.

B. Les piedmonts : constituent la plus grande partie de la zone d'étude, ils présentent en général un profil irrégulier en particulier l'exposition Nord et Nord-Ouest.

C. Les plaines : deux plaines se distinguent ; l'une située entre Batna et Ain Touta avec environ 36 km de longueur et une largeur variant entre 6 à 8 km, et l'autre se trouvant au Sud s'étalant d'El Kantara jusqu'au site du barrage des « fontaines des gazelles » et longe l'oued El Hai.

2-1-2-3- Le sous bassin versant de l'oued Abdi (BAALA, 2012) :

A. Les montagnes : la morphologie de surface de la vallée de l'oued Abdi est caractérisée par des terrains accidentés qui sont limité :

- Au Nord par Dj El Mahmel avec 2321 m d'altitude.
- A l'Est par Dj El Azreg à 1937 m d'altitude.
- A l'Ouest en trouve Dj Bousse avec 1789 m d'altitude.

B. Les piedmonts : s'installant entre les plaines et les montagnes, ce sont des surfaces d'accumulation à pente douce et régulière.

C. Les plaines : le sous bassin est caractérisé par une forme allongée, du Nord Est vers le Sud Ouest, c'est une plaine de montagne qui est entourée à l'Ouest par Dj. Kromet El Dib de 1000m d'altitude et à l'Est par le Dj. El Azreg à 1937 m.

2-1-3-Les caractéristiques morphométriques

Les différents paramètres morphométriques et le relief des sous bassins interviennent et souvent de façon combinée, dans les modalités de l'écoulement, donc il convient de les préciser en début de toute étude (BELAGOUNE, 2012).

2-1-3-1-La superficie des sous bassins : la surface d'un sous bassin ou bassin versant donnée en un point est l'aire limitée par le contour, à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point. C'est une dimension importante à connaître, car elle est la base de tous les calculs hydrologiques (bilan, module, débit spécifique ...etc). La mesure de cette surface suppose d'abord la délimitation du bassin ou sous bassin par la ligne de partage des eaux qui est matérialisée par les lignes de crêtes (BELAGOUNE, 2012). Généralement, la forme du sous bassin ou bassin versant se définit, en plus de la superficie, par la longueur, le périmètre et la pente moyenne. Toutes ces caractéristiques, concernant les sous bassins versants étudiés, sont résumées dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1. Caractéristiques morphométriques des sous bassins versants étudiés (RERBOUDJ, 2005 ; SEBIHI et SOUIDI, 2008 ; HAMEL, 2009 ; BAALA, 2012).

Sous bassin versant	Superficie (km ²)	Longueur (km)	Périmètre (km)	Pente moyenne (m/km)
Oued El Abiod	1300	85	211	22,74
Oued El Hai	1660	73,43	193	4,27
Oued Abdi	691	82,19	182	22,55

2-1-3-2-Le réseau hydrographique : le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, dans lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement puis converger vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire) (BELAGOUNE, 2012).

A. Le sous bassin versant de l'oued El Abiod : celui-ci naît à plus de 2300 m d'altitude c'est-à-dire dans le Djebel Chélia et se dirige dans une direction NE-SO vers le pré-Sahara. Son bassin est nettement circonscrit autrement dit les limites se superposent sur les contours du synclinal de Rhassira. Il couvre une superficie plus réduite que celle de l'oued El Arab qui est d'une superficie d'environ 2500 km². Son cours d'eau est arrivé dans un barrage appelé «Foum El Gherza» qui assure l'irrigation des plus belles Oasis des Ziban : Sérana et Sidi Okba (MEHARZI, 2010).

Le débit de l'oued reste néanmoins tributaire des précipitations. Il peut varier de 0,5 l/s en période d'étiage à 205 000 l/s (205 m³/s) en période de crue qui est un chiffre très élevé pour un oued dont la longueur ne dépasse guère les 150 km. Cela s'explique par l'altitude très

élevée de sa source et de ses principaux affluents dont la dénivellation est de 2100 m sur 150km (MEHARZI, 2010).

B. Le sous bassin versant de l'oued El Hai : les cours d'eau alimentant l'oued El Hai ont un caractère d'écoulement périodique, seul l'oued El Hai demeure relativement permanent car en périodes d'étiages, il se perd par endroit dans les dépôts de sable et de gravier de son lit. En aval de la station d'El Kantara il draine les massifs de Metlili, Mekrizane et Haouidja (BELAGOUNE, 2012).

L'origine de l'oued El Hai se situe sur les flancs de l'Atlas Saharien, et reçoit également les eaux de deux affluents principaux : oued Fedhala issue du djebel Ich Ali (1815m) et l'oued Tilatou qui descend des monts de Bellezma (2091 m) et coule dans la direction SE-NO (BELAGOUNE, 2012).

C. Le sous bassin versant de l'oued Abdi : L'oued Abdi prend sa source au pied du Djebel Mahmel qui culmine à 2321 m. Dans sa course, toujours vers le Sud, il s'agrandit par l'apport de nombreux petits oueds qui ne prennent leur véritable importance qu'au moment des grandes pluies. Mais son principal affluent reste l'oued Bouzina qui prend naissance dans le synclinal du même nom. Ensuite et après écoulement d'environ 35 km, il tourne vers l'Est pour se jeter dans l'oued Abdi au niveau de Menâa à environ 900 m d'altitude (MEHARZI, 2010).

Après une course très éprouvante au milieu de cette vallée très encaissée, il assure l'irrigation de nombreuses Oasis dont Amentene et Djemorah ; son parcours se termine aux portes du Sahara où il disparaît comme tant d'autres cours d'eau (MEHARZI, 2010).

2-2-Cadre géologique

La géologie des terrains influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement des surfaces. Dans ce dernier cas, l'étude géologique d'un bassin versant, dans le cadre d'un projet hydrologique, a surtout pour objet de déterminer la perméabilité des formations lithologiques. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume, ainsi que sur l'aggravation du phénomène d'inondation (BELAGOUNE, 2012).

D'après les travaux géologiques effectués dans la région des Aurès et les régions voisines (LAFFITTE, 1939 ; CORNET, 1951 ; BELLION, 1976 ; ALIMEN *et al.*, 1979 ; BALLAIS et VOGT, 1980 ; SONATRACH, 1999...) ; et selon l'analyse bibliographique de plusieurs travaux récemment menés en ce qui concerne la géologie du massif des Aurès et leurs vallées hydrogéologiques principales (oued El Hai, oued Abdi, oued El Abiod et oued El Arab) ainsi que leurs vallées secondaires (Bouzina, Taga, Beni Fedhala,) : RERBOUDJ

(2005), MENANI (2008), BENMESSAOUD (2009), HAMEL (2009) et BAALA (2012), une synthèse géologique et structurale a été proposée ci-dessous sur nos trois bassins versants. Pour étudier d'une façon à peu près exacte la constitution géologique d'une région, il faut l'examiner à 3 points de vue principaux : 1° disposition de la croûte primitive ; 2° disposition des masses sédimentaires ; 3° dislocations et soulèvements (phénomènes de dynamique interne et externe) (DELARTIGUE, 1904). Cette synthèse ne sera qu'une étude sommaire de chacun de ces points.

Les terrains primitifs qui affleurent sur les côtes algériennes n'apparaissent pas dans la région de Batna et le massif de l'Aurès est entièrement formé de couches sédimentaires plissées et disloquées.

Les bossellements de la croûte primitive correspondant nécessairement aux zones, où affluent les terrains stratifiés les plus anciens. Ceux-ci sont dans la région de Batna, les terrains secondaires (triasique, jurassique) qui affleurent dans le Chellalah, dans le Tarbent, à l'Est de Nara et à El Outaya.

Tous les autres terrains sont de formation plus récente et l'étage dominant est le crétacé auquel appartiennent en grande partie l'Aurès, le Chellalah, le Tarbent, le Kasserou, le Tafrent, le Metlili, le Chélia et le Fedjouj.

Les croupes et les contreforts de ces massifs sont de formation tertiaire, miocène inférieur et éocène inférieur, qui s'étendent en larges bandes, le premier à l'Est et à l'Ouest de Batna, le deuxième au Sud-Est de Batna (versant sud et nord de l'Aurès).

Enfin les plaines sont quaternaires.

Pour étudier ces différents terrains nous les énumérons en donnant pour chacun d'eux sa nature lithologique, ses principaux fossiles et enfin les principaux affleurements :

2-2-1- Secondaire

* Période jurassique : TRIAS (argiles bariolées couleur lie de vin, couches gypso-salines) pas de fossiles caractéristiques dans la région (région des lacs Mzouri, Tinslit, Metlili et El Outaya) ; LIAS (schistes avec intercalations de calcaires feuilletés) ammonites, belemnites (djebel Touguert) OXFORDIEN (calcaires saccharoïdes, marnes) oursins (djebel Tarbent) ; CORRALIEN (calcaires bleus siliceux, dolomitiques) oursins (Chellalah).

* Période supra-crétacé : NEOCOMIEN (marnes schisteuses avec grès) belemnites plates (Ravin des Ruines) ; APTIEN (marnes grès masses calcaires, calcaires à orbitolites (djebel Fedjouj) ; ALBIEN (schistes et calcaires feuilletés) radiolites nicaisés (Aurès).

* Période crétacé : CENOMADIEN (marnes et calcaires marneux) turrilites costatus (Aurès) ; SENOMIEN (marnes blanches), craies blanches marnes bitumeuses, calcaires à inocérames, scaphites micraster (Aurès).

2-2-2-Tertiaire

Ecocène, Suessonien : (Schistes et calcaires marneux. Lits de siles. Calcaires ocreux, phosphates) ostrea multicostat (environs de Khenchela) Nummulitique (calcaires marneux à nummulites) nummulites, planulata (environs de Khenchela) Oligocène (conglomérats gréseux, schistes marneux) marnes à huitres, cyrena convexa (environs de Chemora) ; Miocène Helvétien (marnes argiles près en couches minces calcaires jaunes) ostres crassissima (vallée d'El Kantara, poste optique de Selloum) ; Pliocène (marnes et grès lacustres avec gypses, poudingues calcaires) hélix tissoti (Nord du hodna, Sahara).

2-2-3-Quaternaire

(Alluvions et encroûtements calcaires ou gypseux, dunes du Sahara, silex taillés épars) ossements (Sahara, Sud de l'Aurès vallée d'El Kantara).

Des vallées parallèles à cette direction ont été creusées dans cette formation par des érosions puissantes qui ont donné à cette région l'aspect topographique qu'elle présente : une série de chaînes parallèles, le djebel Bouss, le djebel Mahmel, le djebel Krouma et le djebel Ahmar Khaddou séparés par des vallées de l'oued Bouzina, l'oued Abdi, l'oued El Abiod.

Les vallées formées par les érosions ont été comblées par des dépôts plus récents, éocène, oligocène. Ainsi s'explique l'apparence de la carte géologique de la région formée de bandes parallèles de direction Nord-Est Sud-Ouest de terrains tertiaires (oligocène, éocène) alternant avec des bandes crétacées.

Une coupe normale à la direction des plis pourrait être représentée par (crétacé inférieur, crétacé moyen, crétacé supérieur, éocène, oligocène, pliocène).

Terrains crétacés. Une série de ces terrains s'observe dans le massif des Amamras.

Terrains jurassiques des environs de Batna. A leur partie inférieure, ces terrains découverts avec discordance de stratification par couches néocomiennes nettement indiquées. Ces terrains affleurent dans le djebel Chellalah dont une coupe Nord-Est (marnes schisteuses, grès, calcaires gréseux, néocomien, jurassique, schistes, calcaires feuilletés, calcaires bleus dolomitiques, alternat marno-calcaire).

Terrains tertiaires et quaternaires. Nombreuses discordance de stratification composés la coupe vallée d'El Kantara jusqu'aux chotts (quaternaire ancien, diluvium des plateaux ; quaternaire récent, alluvium des lacs et chotts ; pliocène supérieur, couches à cardium édule ;

miox-pliocène à hélix tissoti ; miocène marin, ostrea crassissima ; éocène fluviolacustre, ostrea multicosta ; terrains du crétacé inférieur).

Particularités géologiques de la région ; montagne de sel d'El Outaya et lacs salés. On a vu dans l'énumération des terrains que le trias était composé d'argiles bariolées et de couches gypso-salines. C'est un lambeau de ce terrain qui affleure à El Outaya et met à découvert la couche de sel gemme qui a donné le nom à cette montagne. Le sel repose sur des couches gypseuses. Des gisements similaires sont exploités à Cheshire (Angleterre) et Saint-Cassian, (Tyrol). Les lacs salés doivent sans aucun doute leur richesse en sel au voisinage d'une formation gypso-saline, formation qui affleure d'ailleurs entre les 02 lacs Mzouri et Tinsilt (trias) ; leur radier boueux très perméable permet la saturation par capillarité.

Région désertique : le Sahara est un sol d'atterrissage d'origine détritique plus ou moins sablo-limoneux, dont la surface est plus ou moins endurcie en croûtes concrétionnées par un ciment calcaire comme une immense brique cuite au soleil. La surface générale est plus ou moins ondulée et semble au voyageur se prolonger à l'infini comme une mer largement houleuse et solidifiée. Ce vaste affaissement doit avoir une profondeur considérable parfois, à en juger par la hauteur des gours que de profondes dénudations ont laissé subsister. Tous ces immenses remblais détritiques proviennent croit-on en grande partie, de la dénudation de l'Atlas.

2-3-Cadre climatique

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau alimentant un bassin versant. Ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- Leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices des crues.
- Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques : la température, l'évapotranspiration, le vent et l'humidité aussi ; des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

2-3-1-Données climatiques

Pour caractériser le climat de la zone d'étude, nous avons exploité les données climatiques des 2 années d'études 2008 et 2009, émanant des stations météorologiques de Batna et Biskra.

2-3-1-1-Les températures : la température de l'air est un facteur très important qui régit les déperditions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration. L'étude

des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elle qui nous permette d'évaluer le déficit d'écoulement des bassins versants (AIDOU DI et SEBAA, 2008 ; BELAGOUNE, 2012).

A. Batna

Les températures enregistrées durant l'année 2008 montrent une température moyenne annuelle de 15,78°C. La température moyenne mensuelle minimale est observée au mois de décembre avec 5,6°C, tandis que la température moyenne mensuelle la plus maximale est enregistrée au mois de juillet avec 28,4°C (Tab.2.2).

En revanche, les températures moyennes mensuelles enregistrées durant l'année 2009 montrent une température moyenne annuelle de 15,5°C. La température moyenne mensuelle la plus basse est observée au mois de février avec 6,1°C, alors que la température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée au mois de juillet avec 29,6°C (Tab.2.2)

B. Biskra

La température annuelle moyenne enregistrée durant l'année 2008 est de 22,67°C, où la température moyenne mensuelle minimale est observée au mois de décembre avec 10,9°C, c'est le mois le plus froid ; tandis que, la température moyenne mensuelle maximale est enregistrée au mois de juillet avec 36,2°C (Tab.2.2).

En 2009, on constate que la température annuelle moyenne est de 22,4°C, où la température moyenne mensuelle la plus basse est observée au mois de janvier avec 12°C, c'est le mois le plus froid ; tandis que, la température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée au mois de juillet avec 36°C (Tab.2.2).

2-3-1-2-Les précipitations : l'origine des pluies en Algérie est plutôt orographique. En effet les paramètres climatiques varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagnes et de l'exposition. La hauteur pluviométrique est donc déterminée par la direction des axes montagneux par rapport à la mer et aux vents humides. En effet, ce sont les versants Nord, Nord-Ouest et leurs sommets qui reçoivent les précipitations les plus fortes; celles-ci diminuent vers le Sud au fur et à mesure que les vents s'épuisent.

Les précipitations en Aurès varient selon quatre paramètres (AIDOU DI et SEBAA, 2008) :

- ✓ La longitude : selon laquelle on note une diminution des précipitations d'Est vers l'Ouest
- ✓ La latitude : la pluviosité diminue du Nord vers le Sud.
- ✓ L'Altitude : les précipitations augmentent avec l'altitude.
- ✓ L'exposition : les versants Nord reçoivent des quantités des précipitations plus importantes que celle des versants Sud.

D'après les données de tableau 2.2 nous relevons que :

Tableau 2.2. Données climatiques enregistrées à Batna et à Biskra (ONM, 2012)

Températures moyennes mensuelles en (°C)														
Temps		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy.
Batna	2008	6,4	7,9	9,9	14,6	19,3	22,7	28,4	26,8	22,2	16,2	9,4	5,6	15,78
	2009	6,2	6,1	9,5	11	17,6	23,6	29,6	26,7	20,4	15,3	10,8	9,4	15,50
Biskra	2008	12,1	13,3	17,8	22,6	26,6	30,8	36,2	34,4	29,6	22,5	15,3	10,9	22,67
	2009	12	12,1	16,2	18,7	26,3	32,1	36	34,8	27,1	23	16,9	13,2	22,36
Précipitations moyennes mensuelles en (mm)														
Temps		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Batna	2008	6,1	1,02	35,3	9,4	8,13	10,79	19,05	17,76	39,9	26,43	22,1	16,25	212,23
	2009	66,55	13,45	33,27	75,18	51,56	0,25	6,36	14,22	45,22	22,61	3,05	5,33	337,05
Biskra	2008	3,05	0	1,02	0	9,15	0	0	0	19,3	22,35	17,02	28,2	100,09
	2009	38,1	7,12	13,21	8,89	15,24	0	3,56	0	32	0	0,25	15,24	133,61
Humidité relative moyenne mensuelle en (%)														
Temps		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy.
Batna	2008	68,8	58,9	56,6	48	51,9	52,2	39,6	42,3	51,3	70,2	65,4	71,9	56,42
	2009	75,4	63,6	61,8	64,6	57,7	38,3	31	41,3	63,9	63,1	56,8	60,3	56,48
Biskra	2008	50,8	45	37,4	29,3	31,8	28,6	23,3	29,7	38,7	59,8	58,7	69,6	41,89
	2009	66,3	50,9	45,9	41,9	30,7	24,7	24	26	50,5	44,9	45,9	60,2	42,65
Vitesse moyenne mensuelle de vent en (Km/h)														
Temps		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy.
Batna	2008	9,8	8,8	16,5	17,6	16,2	14,3	15,5	14,2	14,6	12,6	16,6	14,4	14,26
	2009	15,3	18,6	18,1	17,4	13	14,1	16,3	17,2	14,8	14,9	12,7	17,5	15,82
Biskra	2008	10,6	9,3	19,6	20	25,1	16	16,5	13,2	14	11,9	14,9	12,2	15,27
	2009	16,4	16,4	15,1	20,3	14,5	13,5	10,7	12,3	12,2	7,7	12,3	10,3	13,47

A. Batna

Durant l'année 2008, le mois de septembre enregistre une précipitation maximale de 39,9 mm contre une minimale de 1,02 mm au mois de février. La précipitation totale est de 212,23 mm. Le taux maximal des précipitations en 2009 est remarqué au mois d'avril avec 75,18 mm. Par contre, le taux minimal est observé au mois de juin avec seulement 0,25 mm. La précipitation totale est de 337,05 mm (Tab.2.2).

B. Biskra

Durant l'année 2008, le mois le plus pluvieux est le mois de décembre qui enregistre une précipitation maximale de 28,2 mm contre une minimale de 1,02 mm au mois de mars qui était le mois le moins pluvieux. Les précipitations nulles ont été enregistrées aux mois de

février, avril, juin, juillet et août. Cependant, la précipitation totale était de 100,09 mm. Les données de tableau 2.2 montrent que le maximum des précipitations au cours de l'année 2009 est observé au mois de janvier avec 38,1 mm contre un minimum de 0,25 mm au mois de novembre. Les précipitations nulles ont été enregistrées aux mois de juin, août et octobre. Alors que, la précipitation annuelle était de 133,61 mm (Tab.2.2).

2-3-1-3-L'humidité relative de l'air : elle exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa) à la pression de la vapeur saturante (Pr) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et de pression (AIDOU DI et SEBAA, 2008).

A. Batna

Concernant les données de l'humidité relative moyenne annuelle, elles sont de 56,42% en 2008 et de 56,48 % en 2009. Il paraît que les maximums de l'humidité, 71,9 et 75,4 %, ont été enregistrés respectivement au mois de décembre 2008 et au mois de janvier 2009. Par contre, les minimums de 39,6 et 31 %, sont respectivement enregistrés aux mois de juillet de 2008 et de 2009 (Tab.2.2).

B. Biskra

La valeur la plus élevée de l'humidité relative en 2008 a été enregistrée durant la période hivernale avec 69,6 % correspondant au mois de décembre. Tandis que, la valeur la plus basse a été relevée en été, en particulier en juillet (23,3 %). Cependant durant l'année 2009, le maximum de l'humidité relative a été enregistré au mois de janvier avec 66,3 % ; contre le minimum de 24 % au mois de juillet (Tab.2.2).

2-3-1-4-Les vents : généralement les vents chargés de pluies viennent du Nord-Ouest après qu'ils perdent une grande partie de l'humidité sur l'atlas tellien, ils soufflent pendant l'automne et l'hiver et une partie du printemps (REMINI, 2005).

Le sirocco est un vent sec et chaud provoquant une augmentation notable de la température et une chute brutale de l'humidité atmosphérique. Il peut s'observer à toutes les époques de l'année cependant son maximum de fréquence se situe en juillet et son minimum en décembre et janvier (REMINI, 2005). Selon les données des stations, on peut extraire les remarques suivantes :

A. Batna

Les vents sont généralement faibles à direction Sud-Ouest à Ouest, avec un passage du sirocco en été. La vitesse maximale du vent en 2008 a été enregistrée au mois d'avril (17,6km/h) et la minimale au mois de février (8,8 km/h) ; avec une vitesse moyenne annuelle de 14,26 km/h. En revanche durant l'année 2009, la vitesse maximale du vent a été notée au

mois de février (18,6 km/h) et la minimale au mois de novembre (12,7 km/h), avec une vitesse moyenne annuelle de 15,82 km/h.

B. Biskra

Les vents sont relativement fréquents. En période hivernale, les vents soufflent fréquemment avec une direction Nord-Ouest et ils sont relativement humides. Cependant, à la fin du printemps et en été, les vents deviennent très desséchants, en particulier, le sirocco venant de Sud-Ouest. Les vents de sable se manifestent notamment au printemps et en été.

D'après le tableau 2.2, nous remarquons que la vitesse du vent en 2008 a atteint un maximum de 25,1 km/h durant le mois de mai et un minimum de 9,3 km/h au mois de février, avec une moyenne annuelle de 15,27 km/h. En revanche, la vitesse du vent la plus élevée en 2009 est enregistrée au mois d'avril (20,3 km/h) et la plus basse a été observée au mois d'octobre (7,7 km/h), avec une moyenne annuelle de 13,47 km/h.

2-3-2-Synthèse climatique

De nombreux indices climatiques sont proposés. Les plus courants sont basés essentiellement sur la pluie et la température. C'est le cas du quotient pluviothermique d'EMBERGER (EMBERGER, 1930, 1955 ; SAUVAGE, 1963) et de l'indice xérothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1957) qui sont les plus utilisés.

2-3-2-1-Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN: Il s'agit de la représentation de deux courbes relatives à deux paramètres climatiques principaux qui sont la température et la précipitation. On utilise cette méthode pour déterminer la période sèche et la période humide. Pour Bagnouls et Gaussen, le climat sec est celui où la totalité des précipitations exprimée en (mm) est inférieure ou égale au double des températures moyennes. $P \text{ (mm)} \leq 2T \text{ (°C)}$, cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les précipitations sont portées à une échelle double des températures.

L'analyse de diagramme ombrothermique distingue deux périodes : sèche et humide

A. Batna: il présente une période sèche qui s'étale de janvier à la fin de février puis d'avril jusqu'à la fin d'octobre en 2008, et de juin jusqu'à la fin de décembre 2009. Alors qu'une période humide au mois du mars puis au début de novembre jusqu'à la fin de décembre en 2008, et de janvier jusqu'à la fin de mai 2009 (Fig.2.4).

B. Biskra : il présente une période sèche qui s'étale presque toute l'année en 2008 ou en 2009. Alors qu'une période humide qui s'étale seulement quelques jours du mois de décembre 2008, ou janvier 2009 (Fig.2.5).

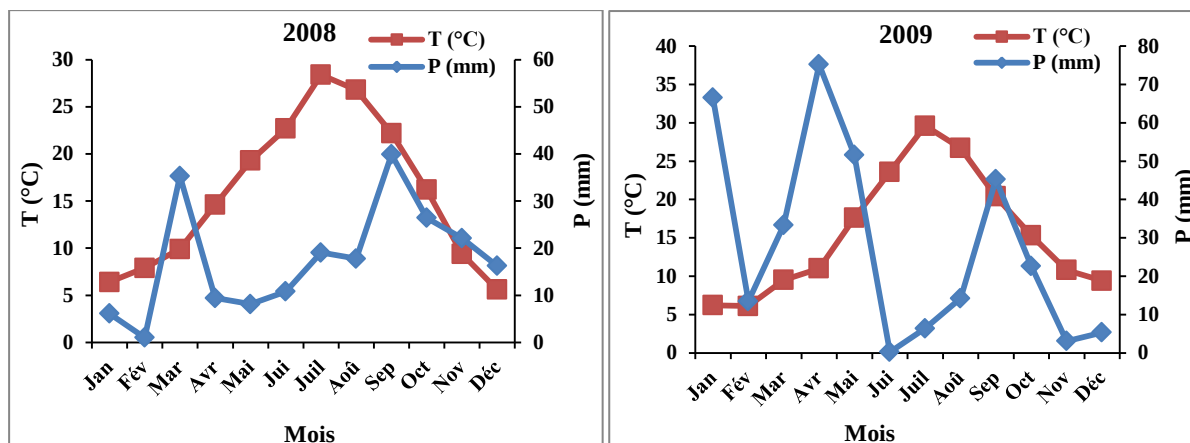


Figure 2.4. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Batna durant les deux années d'études

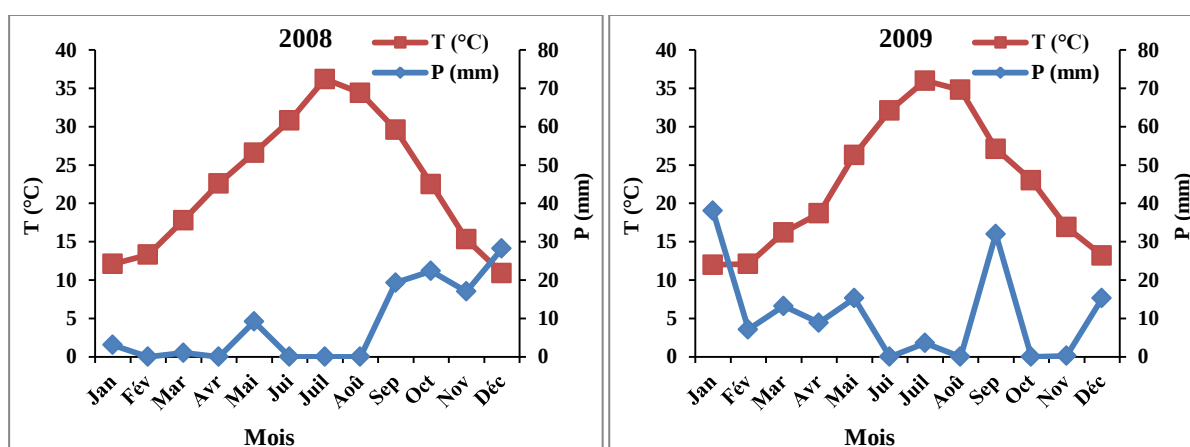


Figure 2.5. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Biskra durant les deux années d'études

2-3-2-2-Le climagramme d'EMBERGER : en 1932, Emberger proposa une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel, en tenant compte des précipitations et de la température. Cette formule s'écrit :

$$Q = 2000P/M^2 - m^2 \quad \text{dont } Q : \text{Quotient pluvio-thermique d'Emberger}$$

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

M : la moyenne des maxima de la T du mois le plus chaud en kelvin (°K)

m : la moyenne des minimal de la T du mois le plus froids en kelvin (°K)

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant (T en (°K) = T en (°C) + 273,2) :

Tableau 2.3. Les valeurs de Q d'Emberger

Zone d'étude	P (mm)	M		m		Q
		(°C)	(°K)	(°C)	(°K)	
Batna	354,68	36,82	310,02	-0,23	272,97	32,84
Biskra	129,5	41	314,2	6,84	280,04	12,76

En représentant ces valeurs sur le climagramme d'Emberger, nous constatons que :

A. Batna : appartient à l'étage bioclimatique semi aride à hiver froid.

B. Biskra: appartient à l'étage bioclimatique saharien à hiver doux.

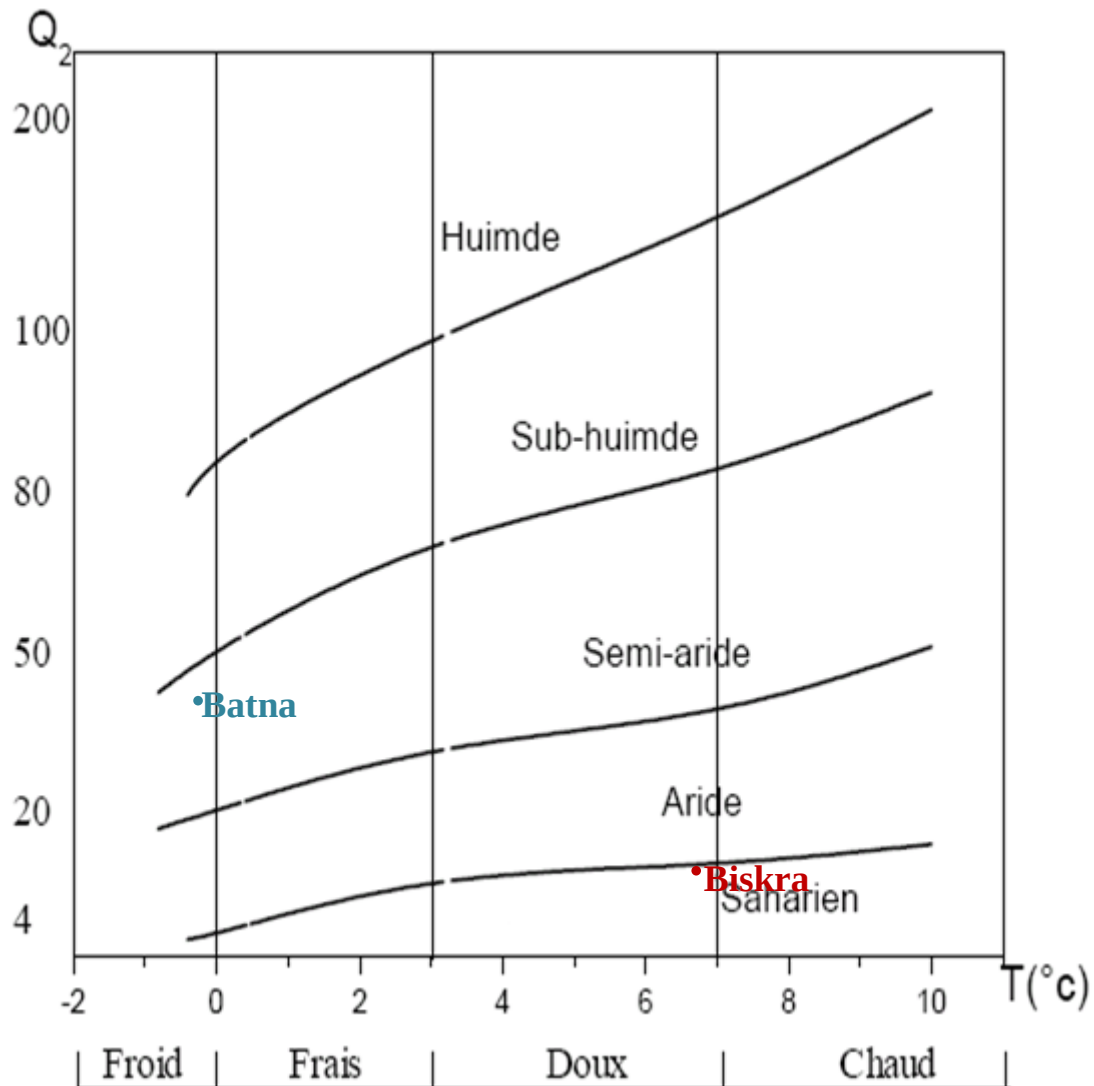


Figure 2.6. Situation des régions de Batna et Biskra dans le climagramme d'EMBERGER
(Données climatiques 1995-2008)

2-4-Cadre édaphique et couvert végétal

2-4-1-La pédologie

2-4-1-1-Le sous bassin versant de l'oued El Abiod : les sols du sous bassin versant de l'oued El Abiod précisément restent dans l'ensemble insuffisamment connus des pédologues. Compte tenu du caractère montagneux de la région, la zone d'étude est soumise à une érosion intense sur ces pentes. Les matériaux des sols évoluent très peu. C'est pourquoi les sols des Aurès se caractérisent par l'importance des matériaux grossières et, de ce fait,

évoluent lentement par des basses températures qui y sévissent, donc nous avons affaire à des sols non matures c'est-à-dire des sols jeunes (BENMESSAOUD, 2009).

Dans les endroits où le profil est très abrupt, les pentes sont en grandes parties dénudées et la roche mère apparaît de temps en temps à la surface. Dans les endroits où les pentes sont faibles, les sols résident dans des poches d'érosion ou bien ils couvrent les bas fonds des oueds. Dans les piémonts et plaines où domine l'agriculture, les matériaux arrachés à la montagne sont déposés ; et sont organisés par ordre de grandeur : Les plus gros se trouvent là où la pente commence à diminuer. Sur les piémonts, les sédiments les plus fins parviennent les plus fins, là où la pente devient faible particulièrement sur la vallée ou la plaine. Ce classement donne à la région un contraste frappant entre la montagne caractérisée par ses sols caillouteux et le piémont et la plaine où les sols sont graveleux-sableux ou du type argileux ou limoneux de teintes grises ou noires (BENMESSAOUD, 2009).

De point de vue physique et chimique, les sols des Aurès sont en général constitués de gros éléments ; cailloux, graviers de nature siliceuse, très faible en proportions de calcaire de phosphore et de chlore. Ces sols sont perméables malgré leur taux élevé en argile ; ils sont le plus souvent boueux en surface et durs après la sécheresse. Les terres arables des piémonts sont généralement silico-argileux à éléments grossiers, durs à labourer en été et la composition est très pauvre en acide phosphorique. Dans les vallées et plaines, les sols sont argilo-calcaires sans éléments grossiers. Ils contiennent de l'humus en raison de leur destination culturelle agricole, fourragère et même forestière (BENMESSAOUD, 2009).

2-4-1-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai : la répartition des sols du sous bassin versant de l'oued El Hai est comme suite (RERBOUDJ, 2005) :

A. Sols à minéraux bruts

A.1.Lithosols et régosols : c'est le type le plus fréquent (49,94 %) reposant sur un substratum généralement marno-calcaire, calcaire-marneux, calcaire massif ou marne ; et dans les hautes montagnes, caractérisé par une texture grossière, coupée par le ravinement.

A.2.Sols d'apports alluviales : se localisent le long du talweg principal ; avec une superficie de (7,67 %). La texture est grumeleuse ; la profondeur peut atteindre 2 m.

A.3.Sols d'apports éoliens : Ils couvrent une superficie de 9,05 % au Sud Ouest du bassin versant près du barrage fontaine des Gazelles, la profondeur est faible.

B. Sols peu évolués d'apport colluvial (Modaux, steppises, calcimorphes) : se situent sur la plaine de Ain Touta avec une bande allongée autour de l'oued Tilatou, représentant 9,45 % de la superficie totale, ils reposent sur les formations quaternaires où la pente est très faible.

C. Sols à encroûtement calcaire : ils se localisent en général sur les formations quaternaires dans les glacis autour des plaines, souvent recoupés par le ravinement. Ce type de sol est le plus érodé, car il se situe dans les pentes moyennes (4-12 %) et recouvrant une superficie de 23,89 %.

En conclusion, les sols du sous bassin versant de l'oued El Hai sont très pauvres en éléments nutritifs, ce qui abaisse leur cohésion et laisse le ravinement se développer.

2-4-1-3-Le sous bassin versant de l'oued Abdi : les différentes unités du sol sont décrites à partir de la carte du sol de l'Algérie «feuille Biskra et Tébessa» à échelle 1/500 000 dressée de 1948 à 1954 par M.J-H Durand (BAALA, 2012).

A. Les sols alluviaux basiques : ils se caractérisent par une profondeur importante, une charge caillouteuse moyenne (galets et caillou), une texture équilibrée sablo-limono-argileuse. Un pH légèrement alcalin, même calcaire sans aucun effet sur les cultures.

Ces sols représentent 12,52 km² soit 1,81 % de la surface, ils se localisent dans la partie Sud du sous bassin (Djemourah et Branis).

B. Les sols calcaires humifères : ces sols occupent une superficie importante de 439,8 km² soit 63,64 % de surface totale du sous bassin, ils se situent au niveau des montagnes sous couvert forestier. Ils se distinguent par une charge caillouteuse élevée (cailloux et pierres) rendant le travail du sol difficile sous la forêt.

C. Les sols insaturés humifères : ces sols se localisent dans la partie Est du sous bassin (Dj. Azreg, Nara), présentent une superficie de 67,40 km² soit 9,75 %.

Ils apparaissent au niveau de la zone montagneuse où le relief est accidenté. Ils se caractérisent par une texture limono- sablo- argileuse. Les carbonates y sont rares.

D. Les sols éoliens d'ablation : ils montrent une faible profondeur, une charge caillouteuse élevée et une structure moins favorable, compacte et moins aérée ce qui les rend asphyxiant.

Ils occupent une faible superficie au Sud du sous bassin égale à 4,70 km² soit 0,68 % de la surface totale.

E. La roche mère : la roche mère apparaît beaucoup plus dans la partie Sud de la vallée de l'oued Abdi, elle présente une superficie de 166,6 km² soit 24,10 % de la surface totale.

2-4-2- Le couvert végétal

Il est évident que les terrains occupés par une couverture végétale connaissent une dégradation moindre que les terrains nus.

2-4-2-1- Le sous bassin versant de l'oued El Abiod : le couvert végétal, est constitué principalement de forêts (Cèdre, Chêne vert, Pin d'Alep et Maquis), de vergers et jardins, de cultures céréalières, de cultures maraîchères de montagnes intermittentes. Ce couvert végétal,

allié à la géologie et à la topographie influencent et accentuent la rapidité du ruissellement des eaux, l'évapotranspiration et la capacité de rétention du bassin. Sur les affleurements rocheux et les sols très érodés, la végétation est maigre voire absente. Les parcours des terres improductives sont constitués de grandes étendues d'Alfa et de prairies (HAMEL, 2009).

L'arboriculture, spécialement la culture du pommier et l'abricotier est la principale activité de la population de la région pour sa rentabilité économique et les conditions pédologiques et climatiques favorables (HAMEL, 2009).

2-4-2-2-Le sous bassin versant de l'oued El Hai : nous avons regroupée l'occupation de l'espace en 4 classes, selon l'état de dégradation de la végétation (RERBOUDJ, 2005) :

A. Couverture dense (forêt) : au Nord-Est du sous bassin versant dans Ich Ali et à l'Est de Dj. Elmalou et Res Geddslane, ainsi que Dj. Bous et Dj. Tuggurt , la forêt est en bon état pour divers raisons. Le couvert forestier est en général constitué de Cèdre, Pin l'Alep, Chêne vert et Genévrier.

Cette végétation assure une bonne couverture du sol contre l'agressivité pluviale et les écoulements superficiels, mais malheureusement la superficie de la forêt est relativement réduite (13 %) par rapport à la superficie du sous bassin versant.

B. Etat dégradé : couvre une surface de 963,58 km² (58,06 %), constituée principalement des Maquis, Alfa et parcours.

C. Etat très dégradé à sol nu : sur 185,12 km² (11,18 %), il forme des parcours sahariens, Alfa et affleurement rocheux.

D. Culture annuelle : formée essentiellement des céréales dans la plaine d'Ain Touta et d'arboriculture autour de l'oued principal, des tamarins et dans quelques parcelles au fond de la forêt, avec une superficie de 280,33 km² (16,89 %).

Ainsi, le sous bassin versant de l'oued El Hai est occupé dans sa plus grande partie par une couverture arbustive dégradée à très dégradée, avec un taux de couverture faible, ce qui lui donne une bonne exposition des sols à l'érosion pluviale et au ruissellement.

2-4-2-3-Le sous bassin versant de l'oued Abdi : la végétation est l'un des facteurs physiques qui a une influence directe sur l'écoulement pluvial et l'érosion hydrique des sols. En effet plus le couvert végétal est dense plus la résistance au ruissellement est importante. Toutefois, il constitue une ressource naturelle qui subisse le plus d'impact anthropique. A partir des différentes visites de terrain, BAALA (2012) a pu conclure que :

* Dans les monts de Dj. Azreg où le micro climat est subhumide nous trouvons les forêts de Cèdre et de Pin d'Alep, tandis que les versants de Dj. Mahmel sont caractérisés par les forêts de Chêne vert aux abords de la région de Menaa.

- * La densité du couvert végétal diminue du Nord vers le Sud en fonction de l'altitude et de l'exposition topographique.
- * A l'aval du sous bassin versant on trouve une végétation steppique représentée par l'Armoise et le genévrier de Phénicie.

CHAPITRE III

Chapitre III : MATERIEL ET METHODES

L'étude des Ephéméroptères des cours d'eau des Aurès, de leur distributions longitudinale et transversale suivant un transect Nord-Sud et de leur répartition en fonction des différents facteurs du milieu, ont été réalisées sur les réseaux hydrographiques drainant trois sous bassins versants : l'oued El Abiod, l'oued El Hai et l'oued El Abdi. D'après le découpage hydrographique en vigueur de l'Algérie, les trois sous bassins sont attribués au grand bassin hydrographique de Chott Melghir (Fig.3.1).

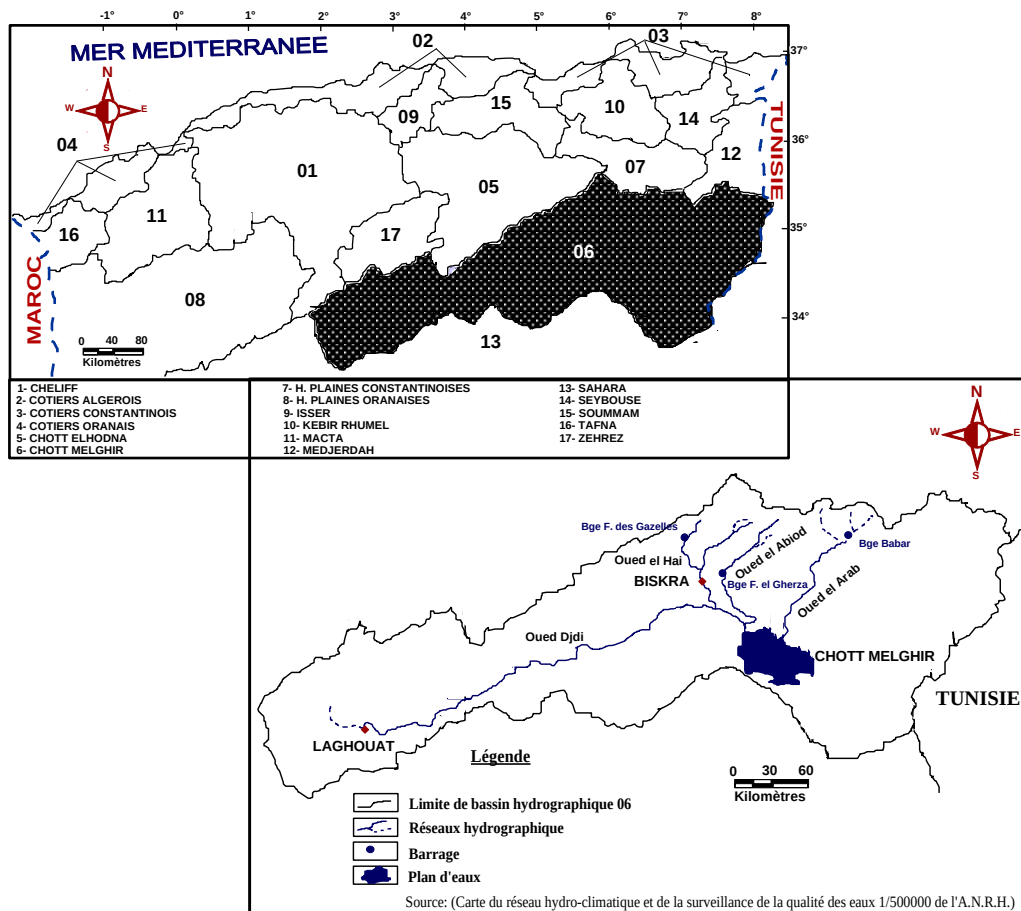


Figure 3.1. Limite du grand bassin hydrographique de Chott Melghir en Algérie

1-Choix et description des stations d'étude

Il était nécessaire d'avoir un nombre de stations de prélèvement suffisamment élevé pour mieux contribuer à la connaissance de la biodiversité, l'écologie et la distribution des Ephéméroptères sous l'effet des variations des différents caractéristiques du milieu. Cependant, des contraintes matérielles et logistiques (temps de travail, accessibilité des sites) ont également influencé le choix et l'emplacement des stations d'étude. Un total de 16 stations a été retenu: 6 sur le sous bassin de l'oued El Abiod (Fig.3.2), 5 sur le sous bassin de

l'oued El Hai (Fig.3.3) et 5 sur le sous bassin de l'oued Abdi (Fig.3.4). 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. Les tableaux 3.1, 3.2 et 3.3 résument les caractéristiques générales de nos stations.

Tableau 3.1. Caractéristiques des stations prospectées à oued El Abiod

Alt. Altitude ; Lat. Latitude ; Long. Longitude ; Lar. Largeur ; Pr. Profondeur ; Vég. Végétation ; Sub. Substrat ; Vit. Vitesse du courant.

Stations	Inoughissene	Arris	Tifelfel	Ghoufi	M'chounche	Foum El Gherza
Code	In.	Ar.	Tf.	Gh.	M'ch.	Fg.
Alt. (m)	1360	1080	761	617	323	125
Lat.	35°16'50 N	35°14'21 N	35°06'17 N	35°03'04 N	34°57'20 N	34°50'55 N
Long.	06°31'52 E	06°20'50 E	06°15'41 E	06°09'51 E	06°00'26 E	05°55'04 E
Lar. (m)	0,6 à 10,75	3 à 10,5	3,65 à 15	3,3 à 9,2	4,75 à 14,85	1,55 à 18,10
Pr. (cm)	2,6 à 55	9,5 à 37,5	8 à 33,5	21,25 à 60	16,5 à 52	13 à 43
Vég.	Ripisylve	Ripisylve (herbacés), arbustes	Ripisylve, arbres fruitiers, palmiers, arbustes	Ripisylve, arbres, palmiers	Palmiers, oranges, grenadiers	Ripisylve (herbacées)
Sub.	Graviers, galets, pierres, blocs	Vase, galets, sablo-limons, graviers, pierres	Blocs, pierres, galets, graviers	Sablo-limons, graviers, galets, pierres, blocs, roches	Graviers, galets, pierres	Pierres, blocs, galets, graviers
Vit (cm/s)	9,23 à 170,2	16,01 à 116,1	12,78 à 99,4	36,1 à 125,8	32,92 à 92,1	23,01 à 156,3

Tableau 3.2. Caractéristiques des stations prospectées à oued El Hai

Alt. Altitude ; Lat. Latitude ; Long. Longitude ; Lar. Largeur ; Pr. Profondeur ; Vég. Végétation ; Sub. Substrat ; Vit. Vitesse du courant.

Stations	Avant Aïn Touta	Fedhala 2	Fedhala 1	Après Kantara	Avant Kantara
Code	AvT.	Fd2.	Fd1.	ApK.	AvK.
Alt. (m)	930	720	600	530	250
Lat.	35°33'40 N	35°33'02 N	35°32'51 N	35°16'51 N	35°13'07 N
Long.	06°00'44 E	06°00'22 E	06°00'15 E	05°47'42 E	05°42'36 E
Lar. (m)	3,1 à 12,5	2,6 à 7,05	2 à 13,5	3 à 23	3,4 à 16
Pr. (cm)	8 à 38,5	5,5 à 42,5	13 à 31	22,5 à 54	5,5 à 37
Vég.	Arbres fruitiers, lauriers roses	Lauriers roses, autres arbustes	Lauriers roses, autres arbustes, terrains agricoles	Lauriers roses, palmiers	Roseaux arbustes
Sub.	Dalles, pierres, cailloux	Blocs, pierres	Dalles, pierres, graviers, sable	Blocs, pierres, cailloux, sable, graviers, dalles	Pierres, graviers, cailloux, limons, sable
Vit (cm/s)	8,97 à 79,36	0 à 75,64	0 à 142,86	0 à 94,34	9,24 à 120,48

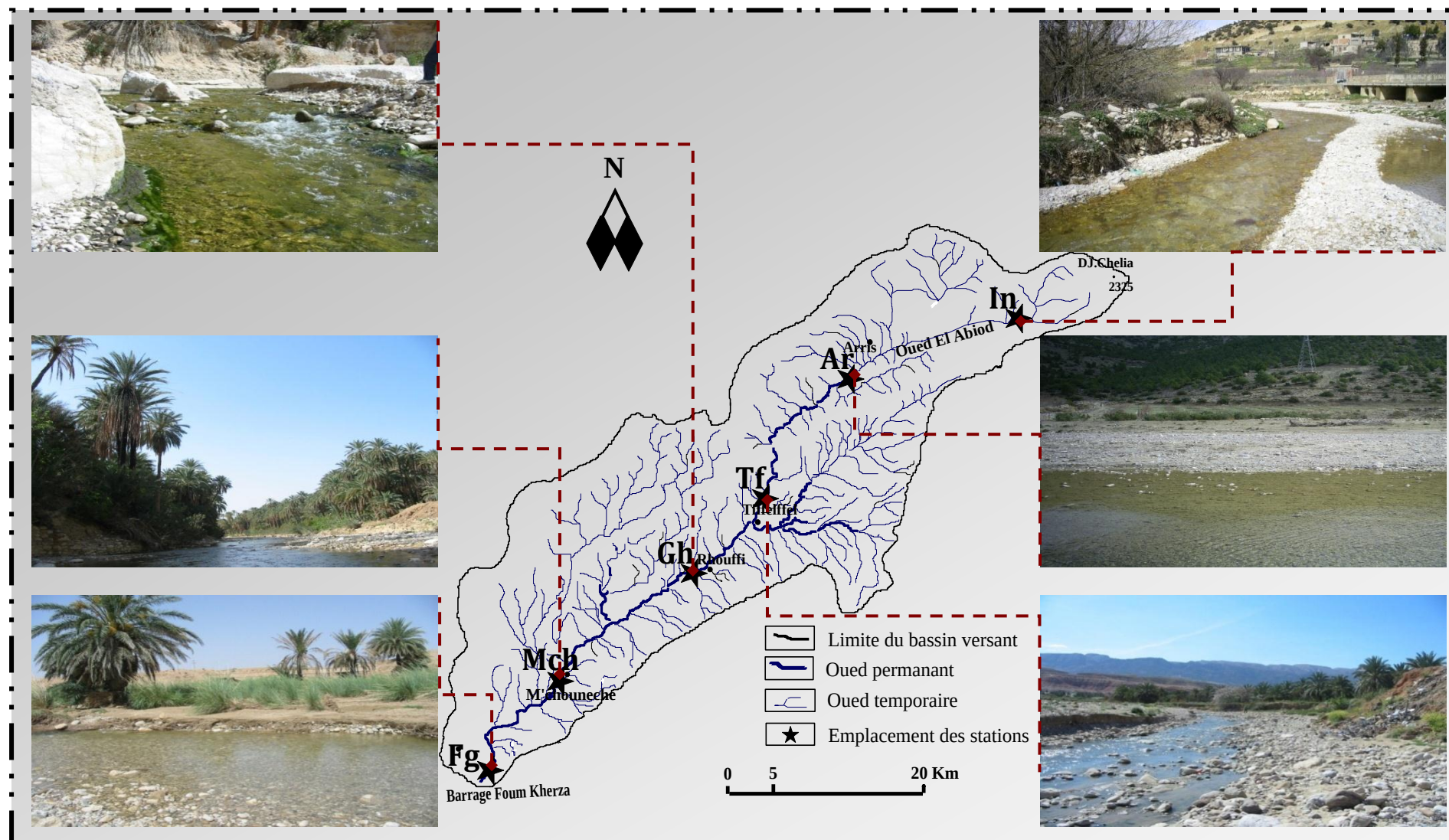


Figure 3.2. Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l’oued El Abiod

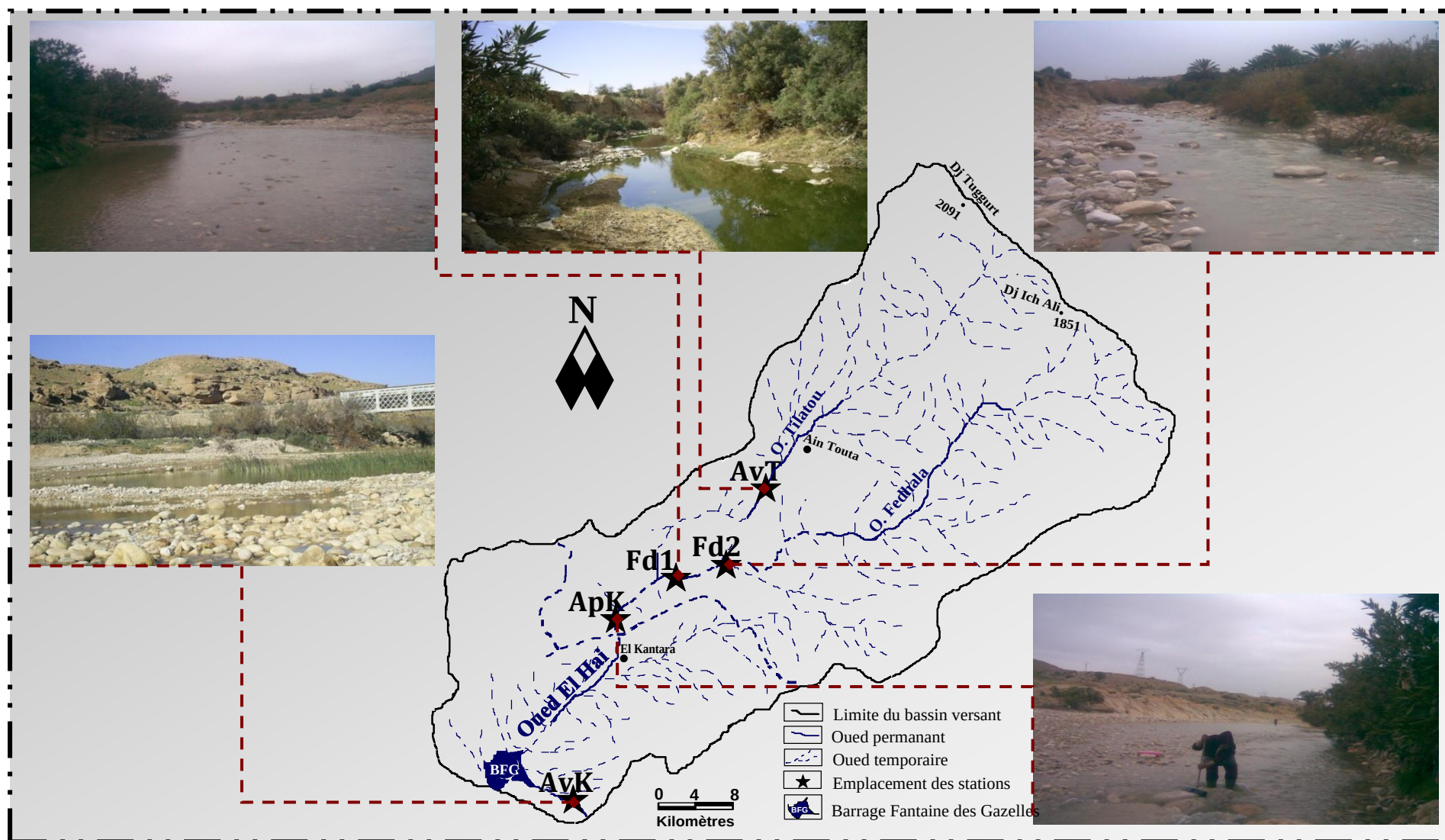


Figure 3.3. Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l'oued El Hai

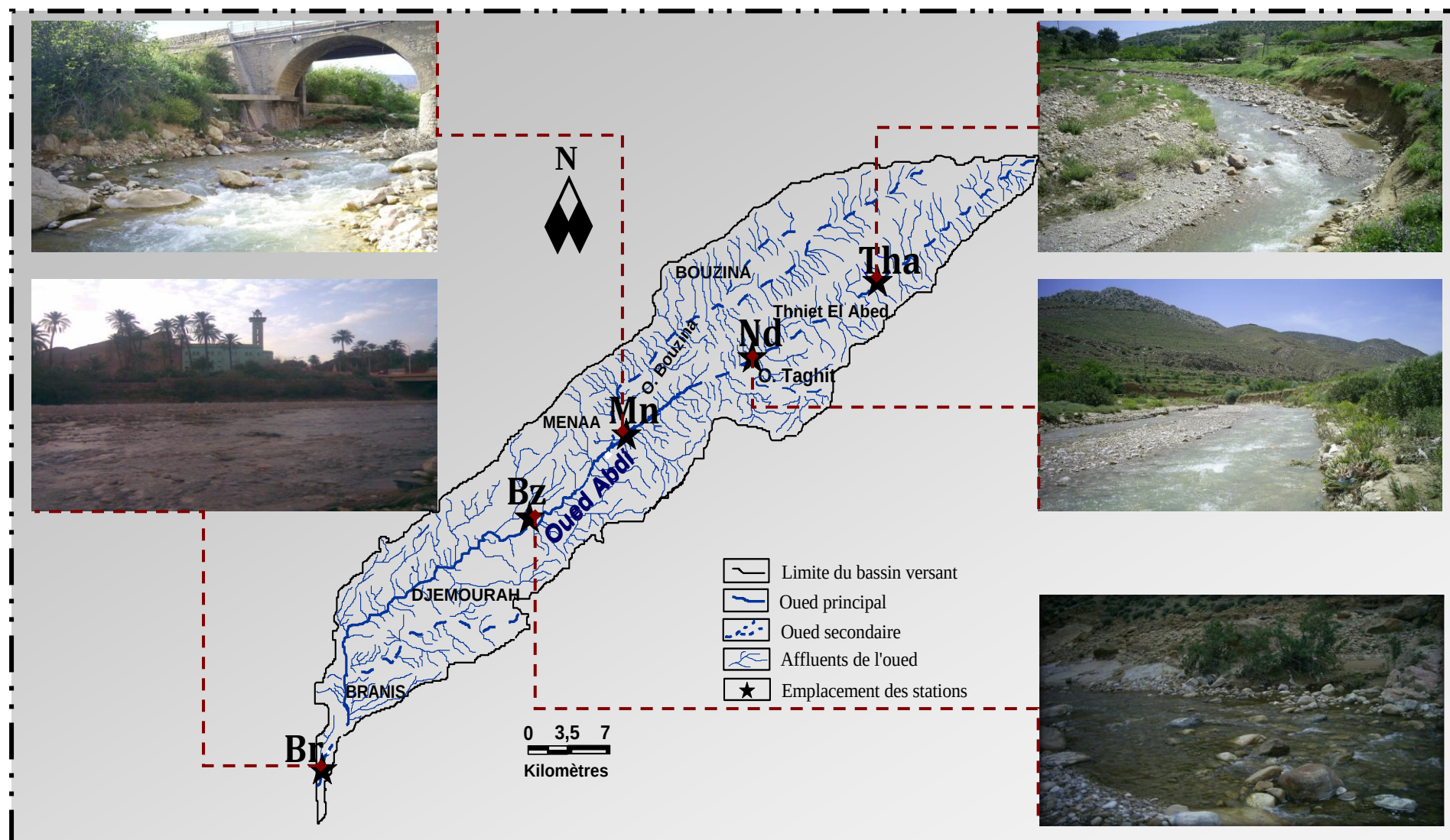


Figure 3.4. Localisation et représentation photographique des stations prospectées dans le sous bassin versant de l'oued Abdi

Tableau 3.3. Caractéristiques des stations prospectées à oued Abdi

Alt. Altitude ; Lat. Latitude ; Long. Longitude ; Lar. Largeur ; Pr. Profondeur ; Vég. Végétation ; Sub. Substrat ;
Vit. Vitesse du courant.

Stations	Theniet El Abed	Nouader	Menaa	Bouzina	Branis
Code	Tha.	Nd.	Mn.	Bz.	Br.
Alt. (m)	1434	1043	990	712	50
Lat.	35°17'34 N	35°13'06 N	35°12'11 N	35°10'44 N	34°59'42 N
Long.	06°16'19 E	06°06'57 E	06°04'05 E	05°59'22 E	05°46'16 E
Lar. (m)	1,2 à 6	1,4 à 8,5	2,1 à 10,8	3,9 à 10,5	0,8 à 16
Pr. (cm)	7,5 à 31	4,5 à 28	15 à 55	15 à 41,5	3 à 38,5
Vég.	Arbres fruitiers, terrains agricoles	Lauriers roses, arbres fruitiers, terrains agricoles	Arbres fruitiers, lauriers roses	Lauriers roses	Palmiers, terrains agricoles, figuier de Barbarie
Sub.	Cailloux, sable, pierres, limons.	Graviers, cailloux, sable	Graviers, cailloux, sable grossier, blocs. Dalles	Graviers, cailloux, blocs, pierres, sable, Dalles	Gravier, cailloux, qlq. pierres, sable.
Vit (cm/s)	15 à 145	9 à 143	15 à 216	18 à 137	0 à 136

2-Périodicité des prélèvements

La périodicité des prélèvements dans cette étude dépendait des contraintes du temps et des changements climatiques que connaît les Aurès. Ainsi, nous avons pu réaliser deux cycles de prospection mensuelle qui s'étalaient entre janvier 2008 et janvier 2010, d'où un total de 24 campagnes de prélèvements a été effectué. En cas de crue importante, il était préférable de retarder l'échantillonnage de 2 et 3 semaines de façon à permettre la réinstallation de la faune avant tout prélèvement. Ce cas s'est présenté en octobre 2008 et février 2009 : périodes des intenses crues qui ont affectés les différents bassins versants étudiés.

Pour le régime hydrologique de nos cours d'eau, l'étiage est situé entre la fin du printemps et le début d'automne. Cette période se caractérise par un débit minimal et une température maximale des eaux et les composantes chimiques de l'eau sont concentrées et plus facilement décelables. La faune prélevée, à cette période, témoigne de la qualité de l'oued sous ses aspects les plus défavorables. Certaines de nos stations étaient caractérisées par un assèchement de plus de six mois par ans (Br, Nd et Ar), c'est le résultat d'une faible pluviosité et d'un pompage intensif par les agriculteurs. D'autres stations recevaient des rejets urbains des agglomérations avoisinantes et la pollution y était très intense (AvT).

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

Dans les études hydrobiologiques d'un écosystème limnique, en plus des prélèvements des facteurs biotiques (récolte du macrofaune), il s'avère nécessaire de faire également

plusieurs prélèvements concernant des paramètres abiotiques (mésologiques et physico-chimiques). En effet, la nature physico-chimique des eaux et les caractéristiques mésologiques des cours d'eau expliqueraient la présence ou l'absence de certaines espèces animales ou végétales et conditionneraient leur développement (TUFFERY, 1980). Ceci nécessiterait, en premier lieu, d'avoir une bonne connaissance de la variabilité spatio-temporelle des paramètres caractérisant leur biotope.

3-1-Méthodes de prélèvement et d'analyse

A chaque prospection d'une station ont été notés les paramètres mésologiques sur une fiche technique de terrain : vitesse du courant qui est sous l'influence de la morphologie du cours d'eau (coordonnées GPS (X, Y) et pente), nature du substrat qui compose le lit du cours d'eau, profondeur, largeur du lit et la composition chimique des eaux qui est à la fois directement influencée par la nature des terrains traversés par les eaux et par l'activité anthropozoïque. En outre, nous enregistrons des remarques d'ordre général tels que : la turbidité de l'eau, degré de pollution, nouvelles activités humaines près de nos stations...etc).

Les mesures de la température de l'air et de l'eau, du potentiel hydrogène (pH), du potentiel redox, de l'oxygène dissous, de son taux de saturation, de la salinité et de la conductivité électrique ont été faites *in situ* à l'aide d'un analyseur multiparamètre de type WTW 340i. La vitesse du courant a été estimée à l'aide d'un chronomètre, en mesurant le temps mis par un flotteur pour parcourir une distance de 10 mètres.

D'autres paramètres nécessitaient des prélèvements de l'eau dans des bouteilles d'une capacité d'un (01) litre, pour chaque station et qui ont été conservées dans une glacière afin de maintenir une température fraîche et d'éviter la lumière. Le prélèvement d'un échantillon d'eau était une opération délicate à laquelle le plus grand soin a été apporté car il conditionnait le résultat analytique et l'interprétation de la répartition et de l'écologie de la faune étudiée.

L'échantillon devait être homogène, représentatif et obtenu sans pour autant modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Pour cela, l'eau a été analysée au laboratoire de Dynamique et Biodiversité dans les 24 heures qui ont suivi le prélèvement. Parmi les éléments qui ont été dosés, les ions majeurs (Chlorures, Sulfates, Calcium, Magnésium) ; l'alcalinité représentée par les ions Bicarbonates ; les matières en suspension (MES) ; les sels nutritifs (Nitrates, Nitrites) et les Phosphores.

Le tableau 3.4 résume les méthodes et matériel utilisés pour la réalisation de ces analyses physico-chimiques.

Tableau 3.4. Méthodes d'analyses des paramètres physicochimiques

Paramètres	Unité	Méthode d'analyse
Température	°C	mesurés in situ par un analyseur multiparamètre de type WTW multi 340i
Potentiel hydrogène	-	
Oxygène dissous	mg/l	
Taux de saturation	%	
Conductivité	µS/cm	
Salinité	-	
Nitrates	mg/l	Dosage par la méthode spectrophotométrique aux réactifs de Salicylate de Sodium, Acide Sulfurique et solution d'Hydroxyde de Sodium et de Tartrate double de Sodium et de Potassium
Nitrites	mg/l	Dosage par la méthode spectrophotométrique aux réactifs de Zambelli et Ammoniaque pure
Phosphores	mg/l	Dosage par la méthode spectrophotométrique aux réactifs de Paramolybdate d'Ammonium, Acide Sulfurique, Acide Ascorbique et Oxotartrate de Potassium et d'Antimoine
Calcium	mg/l	Dosage par la méthode de titrage molaire aux réactifs d'Hydroxyde de Sodium, EDTA et Murexide
Magnésium	mg/l	Dosage par la méthode de titrage molaire aux réactifs d'Hydroxyde d'Ammonium, EDTA et noir Eriochrome
Chlorures	mg/l	Dosage par la méthode volumétrique aux réactifs de Nitrate d'Argent et K ₂ CrO ₄
Bicarbonates	mg/l	Dosage par la méthode de titration au réactif d'Acide Chlorhydrique
Sulfates	mg/l	Dosage par la méthode gravimétrique aux réactifs d'Acide Acétique concentré et Chlorure de Baryum
Matières en suspension	mg/l	Méthode de filtration sur papier filtre en fibres de verre

3-2-Données mésologiques

Sur chaque station, quelques mesures permettant de définir les conditions environnementales de la faune ont été relevées ou estimées visuellement : l'altitude mesurée sur le terrain, la largeur moyenne et la profondeur moyenne, la vitesse du courant, la granulométrie dominante.

3-2-1-Largeur et Profondeur

La largeur a été mesurée à l'aide d'un décimètre et la profondeur a été appréciée par une règle graduée.

3-2-2-Vitesse du courant

Le courant est un facteur écologique essentiel qui conditionne les possibilités d'existence des organismes en fonction de leurs limites de tolérance (CHAMPOUX et CLAUD, 1993). La vitesse du courant dépend du débit, du substrat du fond et de la largeur du

lit, de la pente, des précipitations (périodiques) et de la fonte des neiges qui en provoquent de grandes variations (LOUNACI, 1987).

La vitesse du courant a été mesurée par une méthode simple, à l'aide d'un pilulier lancé dans le sens du courant en même temps que le déclenchement du chronomètre. Le temps mis par le pilulier pour parcourir une distance de 10 mètres donne une estimation de la vitesse du courant selon la formule suivante :

$$V = d/t$$

V : vitesse du courant (m/s).

d : distance de 10 mètres (m).

t : temps de parcours (s).

Pour évaluer la vitesse de courant, après la conversion de son unité en cm/s, nous avons adopté la classification de berg (Tab.3.5) (DECAMPS, 1971).

Tableau 3.5. Classes de vitesse du courant selon l'échelle de berg (DECAMPS, 1971)

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

3-2-3-Débit

Les mesures des débits des nos stations ont été effectuées sur le terrain pour chaque mois pendant toute la période d'étude. L'estimation de la section mouillée se faisait par la mesure de la largeur moyenne L et de la profondeur moyenne P. Le calcul de la section (S) a été fait d'une manière approximative et de la façon suivante (FAGROUCH *et al.*, 2010):

$$S = L * P$$

S : Section mouillée (m²)

Le débit est donc calculé par la formule (FAGROUCH *et al.*, 2010) :

$$Q = S * V$$

Q : Débit (m³/s)

3-3-Méthodes de traitement des données

3-3-1- Analyse de variance

La variabilité spatio-temporelle de la qualité physico-chimique des eaux a donc été étudiée à l'aide d'ANOVA à deux facteurs (le temps et l'espace). Celle-ci a permis de savoir si les mesures physico-chimiques variaient de façon significative dans l'espace entre les stations d'un sous bassin versant à l'autre, et dans le temps d'une année à l'autre. L'analyse a été effectuée à l'aide de logiciel Statistica 6.

3-3-2-Corrélation de Pearson (n)

Cette méthode a pour but la simplification, l'ordination et la coordination des données initiales, en exprimant la trame complexe dans des inter-relations entre variables par un plus petit nombre de facteurs (PEARSON et ROSENBER, 1978).

Le test de PEARSON calcule et élabore des matrices de coefficients « r » ainsi que des covariances pour toutes les paires de variables d'une liste (option de matrice carrée) ou pour chaque paire de variables formée en prenant une variable de chacune de deux listes de variables (option de matrice rectangulaire). Le coefficient de corrélation de Pearson indique le degré de relation linéaire entre les deux séries de données (HELD, 2010).

Il peut prendre les valeurs -1 à 1. Une valeur de (+1) montre que les variables sont parfaitement linéaires liées par une relation de plus en plus croissante ; une valeur de (-1) montre que les variables sont parfaitement linéaires liées par une relation décroissante, et une valeur de 0 montre que les variables ne sont pas linéaires entre elles. Il est considéré comme forte corrélation si le coefficient est supérieur à 0,8 et une faible corrélation si le coefficient est inférieur à 0,5 (BOLBAPOCĂ et JÄNTSCHI, 2006). Ce coefficient a été effectué, à l'aide de logiciel Statistica 6, afin d'étudier les interrelations entre nos paramètres physico-chimiques.

3-3-3- Analyses multivariées

Toutes les analyses multivariées ont été effectuées à l'aide des logiciels Statistica 6.

3-3-3-1-L'analyse des composantes principales (ACP) : l'ACP permet de décrire de façon simplifiée des tableaux de données quantitatives du type (n observations X p variables). Le principe de cette analyse est de créer, à partir de combinaisons linéaires des variables initiales, de nouvelles variables synthétiques non corrélées entre elles et de variance décroissante appelées composantes principales (LEGENDRE et LEGENDRE, 1984). Cette méthode permet de visualiser les ressemblances entre les observations et les liaisons entre les variables. Elle est couramment utilisée pour le traitement de données physico-chimiques (FEUILLADE, 1972 ; CARREL *et al.*, 1986 ; DOLEDEC et CHESSEL, 1987 ; SANCHEZ-PEREZ *et al.*, 1991).

L'étude de la typologie de chaque sous bassin versant étudié, a été réalisée par le biais d'une analyse en composantes principales (ACP) de trois matrices dont chacune se différencient par le nombre des stations (6 à oued El Abiod , 5 à oued El Hai et 5 à oued Abdi) et les 19 variables mésologiques et physico-chimiques (l'altitude, la largeur moyenne du lit, la profondeur moyenne, la vitesse moyenne du courant, le débit, la température, le pH, la salinité, la conductivité, l'oxygène dissous, les sulfates, les nitrates, les nitrites, les

bicarbonates, les chlorures, le phosphore, les MES, la dureté calcique et la dureté magnésienne).

Afin de connaître la typologie globale des eaux de surfaces des trois sous bassins de l'oued El Abiod, de l'oued El Hai et de l'oued El Abdi, l'étude de la structure mésologique-physico-chimique a été effectuée, de même, par une analyse en composantes principales (ACP) d'une matrice mésologique de 16 stations et les 19 paramètres cités déjà ci-dessus.

3-3-3-2-Classification hiérarchique ascendante : afin de compléter l'interprétation de l'ACP, une classification hiérarchique ascendante des stations de la zone d'étude a été réalisée. La technique utilisée est une technique d'agrégation selon la variance ou méthode de Ward basée sur le calcul des distances euclidiennes entre les relevés. Les techniques d'agrégation selon la variance cherchent à optimiser, selon des critères liés à des calculs d'inertie, la partition obtenue par agrégation de deux éléments (LEBART *et al.*, 1997). La classification a été appliquée sur les données centrées réduites.

4-Matériel biologique

Les variations des paramètres physico-chimiques et hydro-morphologiques exercent plus ou moins une pression sur les organismes vivants (macroinvertébrés benthiques) et peuvent être responsables de changements des communautés faunistiques. L'un des groupes des macroinvertébrés benthiques, qui revêt une importance primordiale dans l'évaluation de l'état de santé écologique des hydrosystèmes est l'ordre des Ephéméroptères. En Algérie et précisément à notre région d'étude, cette faune est peu connue. En effet, depuis les travaux anciens d'EATON (1899), de NAVAS (1922, 1929) et de LESTAGE (1925), seulement quelques études a été particulièrement axées sur les Ephéméroptères. La majorité des travaux mentionnent les taxons de cet ordre à côté d'autres insectes aquatiques.

Afin de mieux connaître ce groupe d'insectes, nous avons tenu à étudier leur écologie, la distribution spatio-temporelle et à suivre leur interaction avec les fluctuations naturelle et anthropique du milieu. L'étude des stades larvaires était le moyen le plus sûr pour étudier la qualité d'eau, parce que les adultes peuvent se déplacer loin de leur lieu d'éclosion.

4-1-Techniques de prélèvement

Les prélèvements de la faune des Ephéméroptères sont effectués, de façon qualitative et semi-quantitative, à l'aide d'un échantillonneur de type « Haveneau » selon une fréquence mensuelle entre les années 2008 et 2009. Cet échantillonneur est monté sur une armature métallique 30 x 25 cm qui est équipée d'un filet d'ouverture de maille de 250 µm environ et longueur de poche de 30 cm.

Le filet est déposé sur le fond du cours d'eau à contre courant. Les pierres et galets de la surface échantillonnée ont été retournés et nettoyés à l'ouverture du filet pour arracher les espèces fixées ainsi que celles agrippées au substrat. Les échantillons récoltés sont mis dans des piluliers en plastiques, puis fixés par le formol à 10 % sur place (ZOUGGAGHE et MOALI, 2009). Huit échantillons par station, sont réalisés dans les milieux lotiques et lentiques et sur les différents substrats, afin d'avoir une richesse taxonomique la plus représentative.

4-2-Tri et détermination

Sur le terrain, en fonction du temps disponible, les éléments les plus grossiers (cailloux, gravier végétaux) peuvent être éliminés. Tout ce qui est récupéré dans le filet est ramené au laboratoire et placé dans des bacs pour le tri préliminaire. Un tri plus fin a été réalisé pendant lequel le reste des échantillons a été examiné sous une loupe binoculaire et tous les spécimens étaient récupérés et conservés dans de l'alcool 75°.

La détermination se faisant sous une loupe binoculaire, en séparant les Ephéméroptères de toute autre faune benthique, à l'aide des clés de BELFIORE (1983), MACAN (1961) et TACHET *et al.* (2006). Pour un travail de détermination à l'ordre spécifique les organismes sont observés sous un microscope optique plus puissant avec des grossissements plus forts à l'aide des clés encore plus précises : MALZACHER (1984), MÜLLER-LIEBENAU (1969), ALBA-TERCEDOR et ZAMORA MUÑOZ (1993), EL ALAMI (2002) et GATTOLLIAT et SARTORI (2008).

En cas de nécessité, des dissections des spécimens ont été réalisés et les pièces servant à l'identification des espèces (pièces buccales, tergites, pattes...) ont été montées à l'aide de pinces fines et d'aiguilles entre lame et lamelles dans le liquide de Hoyer (ALBA-TERCEDOR, 1988) et observées au microscope optique.

4-3-Traitement des données faunistiques

4-3-1-Caractéristiques analytiques

Ces caractéristiques renseignent sur l'importance, la place et l'influence d'une espèce au sein d'un peuplement. Plusieurs descripteurs classiques sont utilisés à cet effet.

4-3-1-1-La richesse spécifique : c'est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré et qui est effectivement présent sur le site d'étude et à un moment donné (BOULINIER *et al.*, 1998). La richesse spécifique est fréquemment utilisée comme une variable reflétant l'état d'un système et intervenant souvent dans les efforts de gestion et de conservation de la biodiversité ainsi que dans l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la biodiversité (NICHOLAS *et al.*, 1998).

4-3-1-2-L'abondance absolue : c'est le nombre d'individus d'une espèce récoltés dans le prélèvement considéré ou d'une population donnée présent par unité de surface ou de volume (RAMADE, 2003).

4-3-1-3-La dominance (Abondance relative) : c'est l'abondance d'une espèce par rapport à l'abondance totale des individus de toutes les espèces du prélèvement. La dominance est calculée comme suite et exprimée en pourcentage :

$$AR \% = (n_i / N) * 100$$

AR%: Dominance de l'espèce i.

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

N: Nombre total des individus de toutes les espèces.

4-3-1-4-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 :

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

F%: Fréquence de l'espèce i.

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) :

F = 100% espèces omniprésentes

F = [100- 75[espèces constantes

F = [75- 50[espèces fréquentes

F = [50- 25[espèces communes

F = [25- 5[espèces accessoires

F ≤ 5% espèces rares.

4-3-2-Indices de diversité

Selon COSTELLO *et al.* (2004), les indices de diversité les plus utilisés sont l'indice de richesse spécifique de Margalef suivi par l'indice de diversité de Shannon- Wiener (SALAS *et al.*, 2006). Pour WARWICK et CLARKE (1998), ROGERS *et al.* (1999) ces indices sont susceptibles d'être fortement influencés par différentes dimensions de l'échantillon (effort d'échantillonnage, type d'habitat ou sa complexité). Pour ces auteurs les variations de ces indices ne peuvent pas être exclusivement liées à la réponse des espèces et du peuplement, mais aussi à la perturbation de l'écosystème.

4-3-2-1-Indice de Shannon-Wiener H' : permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu et d'observer son évolution au cours du temps (DAGET, 1976 ; BLONDEL, 1979 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1979 ; BARBAULT, 1992). Cet indice a

l'avantage de n'être subordonné à aucune hypothèse préalable sur la distribution des espèces et des individus (CHARDY et GLEMARC, 1977).

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i$$

où $P_i = n_i / N$

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

N : Nombre total des individus de la collection.

D'après LEGENDRE et LEGENDRE (1984), les valeurs de l'indice de Shannon exprimés en bits sont nulles lorsque l'échantillon ne contient qu'une seule espèce. Les valeurs les plus élevées de H' correspondent à un prélèvement équilibré et diversifié. Dans notre cas, c'est le logarithme de base 2 qui a été utilisé tel que préconisé par LEGENDRE et LEGENDRE (1984). Cet indice est largement utilisé en écologie benthique (GRAY *et al.*, 1992 ; GLEMAREC, 2003 ; SIMBOURA *et al.*, 2007 ; GRALL et NOLWENN, 2005). H' varie de 0 lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce vers un nombre positif plus ou moins grand lorsque les individus sont répartis entre différentes espèces. Pour une même richesse spécifique, H' croît lorsque l'équitabilité augmente.

4-3-2-2-Indice d'Équitabilité de Pielou E : accompagne l'indice de Shannon, appelé également indice d'équi-répartition (BLONDEL, 1979) ou de régularité (FRONTIER, 1976). Cet indice permet d'estimer la répartition des individus entre les espèces d'un même milieu. L'indice d'équitabilité de Pielou (1977) cité par LARDICI *et al.* (1992) est donné par la formule :

$$E = H' / \log_2 S$$

H' : Indice de Shannon-Weaver.

$\log_2 S$: Diversité maximale ($H'_{\max}$).

S : nombre d'espèces présentes 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 (une ou deux espèces dominantes), elle est de l'ordre de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance.

4-3-2-3-Indice de Simpson D' : est essentiellement lié aux variations d'abondance entre espèces dominantes. La formule de cet indice est la suivante :

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

n_i : nombre d'individus de l'espèce donnée.

N : nombre total d'individus.

Cet indice tend vers une valeur de 0 pour indiquer le maximum de diversité, et une valeur de 1 pour indiquer le minimum de diversité.

4-3-2-4-Indice de Similarité de Sorensen I_s : afin d'évaluer les ressemblances entre les populations des différentes stations, nous avons comparé leurs peuplements deux à deux en utilisant l'indice de similarité de Sorensen (I_s) (MOUBAYED, 1986) :

$$I_s = (2 \cdot C) / (A + B)$$

I_s : Indice de similarité.

C : nombre de taxa communs aux deux stations.

A et B : nombre de taxa de chaque station.

Cet indice varie entre 0 et 1 ; il tend vers 0 lorsque les deux biocénoses considérées n'ont aucune espèce commune et vers 1, quand les deux biotopes présentent des biocénoses identiques.

4-3-3-Affinité cénotique entre les espèces

Les affinités cénotiques entre les espèces ont été étudiées sur la base du carré moyen de contingence (BONNET, 1965 et 1966). Ce coefficient d'association (carré moyen de contingence) se calcule par l'équation suivante :

$$\phi F = [(C - P)N - N/2] / \sqrt{A(N - A)B(N - B)}$$

A et B : les nombres des stations colonisées respectivement par les deux espèces comparées ;

C : le nombre des stations où ces deux espèces coexistent ;

N : le nombre total des stations étudiées ;

P : la probabilité de rencontrer simultanément les deux espèces dans une station, ($P = AB/N$).

Ce coefficient varie de -1 (incompatibilité), 0 (indifférence) à +1 (Affinité). La signification de valeurs obtenues peut être évaluée à un seuil de probabilité de 1% et 1‰.

4-3-4-Traitement statistiques des données

4-3-4-1-Analyse de variance : l'ANOVA1 nous a permis d'étudier la variabilité spatio-temporelle des peuplements faunistiques des Ephéméroptères. A travers cette analyse, on peut savoir si l'abondance relative et la richesse spécifique obtenues par station et les indices de diversité obtenus par oued, varient de façon significative d'une saison à l'autre. L'analyse a été effectuée à l'aide de logiciel Statistica 6.

4-3-4-2- Analyses multivariées :

A. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) : l'analyse factorielle des correspondances (AFC) est une méthode couramment utilisée dans les études biologiques (HOTELLING, 1933 et 1936 ; CHARDY *et al.*, 1976 ; DESPREZ, 1981 ; HILY, 1984 ; LE BRIS, 1988 ; EL ALAMI, 2002 ; HAOUCHINE, 2011 ; BOUKLI-HACENE, 2012). Elle permet un traitement synthétique des données multivariées et a pour but la simplification, l'ordination et la coordination des données initiales, en exprimant la trame complexe dans des inter-relations entre variables par un plus petit nombre de facteurs. Ces facteurs sont représentés par des axes perpendiculaires qui délimitent les plans.

Elle s'applique par excellence aux tableaux de contingence qui utilise la distance Chi-2 pour comparer les variables ou les individus entre eux. Cette distance est un coefficient de ressemblance asymétrique (DAGET, 1976 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1984) qui confère une sensibilité plus importante aux espèces de faibles abondances et permet une analyse symétrique sur les lignes et les colonnes du tableau de données.

Afin d'étudier la structure spatiale des Ephéméroptères et les affinités entre leurs peuplements dans nos différents bassins versants, nous avons utilisé l'analyse Factorielle des Correspondances (AFC). Les tableaux des données faunistiques que nous avons utilisés sont des matrices binaires de « nombre des espèces recensées (x) X nombre des stations prospectées (y) », où chaque espèce est représentée dans chaque station par une valeur correspondant à son abondance maximale, sans tenir compte de la saison où elle a été relevée. L'utilisation de l'abondance maximale annuelle des espèces dans la biotypologie, proposée par DAKKI (1985), est devenue assez courante ; pour l'étude de la typologie. En effet, il exprime l'optimum écologique de ce taxon dans les différents biotopes qu'il côtoie. En outre, cette méthode permet de traiter ensemble les peuplements des cours d'eau temporaires et permanents et d'atténuer le problème des irrégularités des campagnes de prélèvement et la rigueur de la méthode utilisée dans la collecte de la faune (DAKKI, 1985, 1986b, 1987 ; EL ALAMI, 2002). Ceci justifie son utilité dans le cas de nos cours d'eau où les stations semi temporaires à temporaires sont les plus fréquentes.

A travers cette méthode, nous avons essayé d'effectuer une biotypologie des peuplements des Ephéméroptères de chaque cours d'eau étudié, puis de l'ensemble des réseaux hydrographiques étudiés, en considérant les données totales des trois bassins versants. L'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été réalisée par le logiciel Statistica version 6.

B. Analyse Canonique des Correspondances (ACC): l'Analyse Canonique des Correspondances ou ACC (Canonical Correspondence Analysis ou CCA) (TER BRAAK, 1986, 1987 ; CHESSEL *et al.*, 1987), ou Analyse Factorielle des Correspondances sur Variables Instrumentales (AECVI) (LEBRETON *et al.*, 1988), a été développée dans le but de permettre aux écologues de relier les abondances des espèces à des variables environnementales (TER BRAAK, 1986). Elle permet de trouver, d'une manière qui semble particulièrement appropriée à l'étude des relations espèces-milieus en utilisant deux tableaux de données (LEBRETON *et al.*, 1988) :

- Le premier est formé des effectifs ou des fréquences (ou des notes d'abondance, avec à l'extrême présence-absence) de t espèces (en colonnes) dans n relevés (en lignes) ; nous noterons X ce tableau ramené à une somme de termes égales à 1 ;
- Le second, que nous noterons Z , est formé des valeurs de p variables de milieu (en colonnes) dans les mêmes n relevés (en lignes).

Autrement, pour pouvoir utiliser une analyse canonique des correspondances il est nécessaire de disposer :

- D'un tableau $T1$ de contingence correspondant d'une série d'objets (en écologie, des espèces) mesurés dans plusieurs sites (n).
- Un tableau $T2$ de variables descriptives correspondant aux mesures dans les mêmes n sites de q variables quantitatives et/ou qualitatives.

L'analyse canonique des correspondances permet d'analyser la relation entre $T1$ et $T2$ ou X et Z , et d'obtenir une représentation simultanée des sites ou relevés, des objets (espèces), et des variables en deux ou trois dimensions, optimale pour un critère de variance (TER BRAAK, 1986 ; CHESSEL *et al.*, 1987).

Dans notre étude, nous avons choisis d'effectuer l'analyse canonique des correspondances (ACC) sur 2 tableaux de type $T1$, $T2$, c'est-à-dire produire une représentation graphique où sont à la fois affichés, les objets (Espèces recensées des Ephéméroptères), les sites (Stations prospectées dans les 3 oueds étudiés) et les variables (Paramètres physico-chimiques des eaux des ces oueds), en utilisant le logiciel Statistica version 6.

CHAPITRE IV

Chapitre IV : RESULTAS ET DISCUSSION-ETUDE MESOLOGIQUE

1-Résultats

1-1-Nature des eaux des sous bassins versant étudiés

L'étude d'un écosystème limnique, nécessite plusieurs prélèvements concernant les facteurs abiotiques (physico-chimiques) et biotiques (biologiques). Pour cela, il nous a paru intéressant de bien connaître la qualité physico-chimique des eaux de l'Aurès, avant de passer à l'étude du matériel biologique collectés. Le tableau 4.1 représente les valeurs moyennes obtenues des données physico-chimiques recueillies dans les 22 à 23 campagnes de prélèvement (des campagnes sont exclues du fait des fortes crues) sur les 16 stations étudiées.

Tableau 4.1. Valeurs moyennes des paramètres mesurés sur les différentes stations étudiées

Les paramètres mesurés : T°C. Température de l'eau ; pH. potentiel hydrogène ; Sal. Salinité ; EC.

Conductivité électrique ; O₂diss. Oxygène dissous ; O₂%. Taux de saturation d'Oxygène ; Vm : Vitesse du courant moyenne ; MES. Matières en suspension ; Ca²⁺. Calcium ; Mg²⁺. Magnésium ; Cl⁻. Chlorures ; SO₄²⁻.

Sulfates ; HCO₃⁻. Bicarbonates ; NO₂⁻. Nitrites ; NO₃⁻. Nitrates ; PO₄⁻. Phosphores.

Les stations étudiées : In. Inoughissene; Ar. Arris; Tf. Tifelfel; Gh. Ghoufi; M'ch. M'chouneche; Fg. Foug El Gherza ; AvT. Amont d'Ain Touta ; Fd2. Fedhala 2 ; Fd1. Fedhala1; ApK. Aval de Kantara; AvK. Amont de Kantara; Tha. Theniet El Abed; Nd. Nouader; Mn. Mena; Bz. Bouzina; Br. Branis

	T°C	pH	EC	Sal	O ₂ diss	O ₂ %	Vm	MES	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻
In	14,11	8,23	588,7	0,06	7,40	82,17	81,04	0,032	59,53	68,59	67,60	0,281	221,12	0,149	2,008	0,101
Ar	17,04	8,29	945,5	0,24	7,49	92,24	60,83	0,044	67,89	93,31	134,90	0,479	190,66	0,271	2,714	0,326
Tf	16,92	8,54	1512,8	0,58	9,00	100,35	58,48	0,044	112,67	138,60	207,23	0,608	197,41	0,650	2,959	0,227
Gh	16,56	8,35	1646,7	0,64	8,05	91,25	80,37	0,065	134,34	158,18	200,89	0,886	215,32	0,435	2,764	0,294
M'ch	19,34	7,94	1344,3	0,48	6,73	75,45	60,37	0,037	89,13	134,36	198,84	0,662	204,00	0,382	2,372	0,191
Fg	19,79	7,95	1381,8	0,50	6,26	68,25	70,13	0,022	145,86	163,19	202,16	0,838	139,75	0,191	1,308	0,074
AvT	16,46	8,03	2506,1	1,18	2,08	21,21	29,67	0,051	80,10	132,24	284,89	0,717	570,03	1,854	4,230	3,069
Fd2	15,01	8,41	2308,2	0,96	9,21	96,56	47,91	0,073	168,55	200,63	182,02	1,156	179,56	0,331	2,062	0,194
Fd1	18,39	8,29	2446,6	1,08	8,90	100,87	47,38	0,026	163,19	212,63	199,19	1,114	197,52	0,660	2,371	0,282
ApK	18,59	8,62	2193,5	0,98	9,01	103,14	45,78	0,056	162,88	192,10	204,65	1,047	150,37	0,727	2,550	0,332
AvK	20,56	8,04	4475,5	2,35	7,45	83,93	44,22	0,039	282,24	281,54	777,62	1,517	137,90	0,157	1,521	0,070
Tha	14,35	8,33	706,3	0,10	8,69	98,30	56,20	0,054	54,20	60,26	68,54	0,311	184,52	0,318	3,098	0,129
Nd	16,57	8,63	962,9	0,25	8,73	100,70	66,35	0,036	59,06	78,98	104,56	0,382	182,92	0,744	5,366	0,183
Mn	17,36	8,01	1188,3	0,39	7,84	87,72	79,52	0,037	77,63	101,22	95,85	0,602	211,04	0,181	2,875	0,121
Bz	18,71	8,26	2410,3	1,16	8,65	96,33	77,13	0,039	143,66	166,17	435,07	0,825	168,24	0,239	2,066	0,203
Br	15,84	8,66	1800,9	0,74	9,32	96,48	68,71	0,023	115,63	141,91	261,81	0,745	117,64	0,480	3,293	0,106

1-1-1-Température et pH

La température moyenne de l'ensemble des stations prospectées varie entre 14°C (station d'In à 1360 m d'altitude et station de Tha à 1434 m d'altitude) et 20°C (station

d'AvK à 250 m d'altitude). Généralement ces valeurs augmentent de l'amont vers l'aval en prenant en considération l'heure de prise des mesures. Les écarts thermiques à chaque oued sont de l'ordre de 4 à 5°C environ. Les eaux des différentes stations étudiées sont basiques, leurs pH varient de 7,94 à 8,66. Ceci peut être justifié par la nature géologique (calcaire-marneux) des lits de nos sous bassins versants et par conséquent la richesse des eaux des Aurès en bicarbonates.

1-1-2-Oxygène dissous et en saturation

La concentration en oxygène dissous dépend de l'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. Les teneurs moyennes des différentes stations sont supérieures à 65% allant de 6 mg/l (stations de M'ch et Fg) à 9 mg/l (stations d'ApK, Br, Fd2, Tf), à part la station d'AvT qui représente une valeur de 2 mg/l (21%) indiquant sa forte pollution. Les résultats des autres stations signalent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense.

1-1-3-Conductivité et salinité

La conductivité est directement proportionnelle à la quantité des sels minéraux dissous dans l'eau. Donc, elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation, c'est-à-dire la quantité de substances dissoutes ionisées présentes. Les stations les plus minéralisées sont celles du sous bassin versant de l'oued El Hai (AvT, Fd2, Fd1, ApK et AvK) et la station de Bz. Elles représentent une conductivité supérieure à 2100 $\mu\text{S/cm}$, ce qui traduit la présence d'une importante pollution provenant essentiellement du déversement de fortes quantités d'eaux usées bien minéralisées. Parmi ces stations, celle qui a montré la plus forte valeur de conductivité est la station du cours inférieur AvK avec 4475,5 $\mu\text{S/cm}$. Celle-ci peut être expliquée par l'enrichissement naturel du sous bassin versant en nutriments de l'amont vers l'aval et des pollutions agricoles, ainsi que la présence des substrats géologiques particuliers tels que le gypse. Les stations moyennement minéralisées dans notre étude (1100 à 1800 $\mu\text{S/cm}$) sont : Tf, Gh, M'ch, Fg, Mn et Br. Celles qui sont faiblement minéralisées (580 à 960 $\mu\text{S/cm}$) sont les stations du cours supérieur (Tha, Nd, In et Ar).

1-1-4-MES et vitesse du courant

Les teneurs moyennes en MES sont toutes très faibles et ne dépassent pas 0,1 mg/l. Ces valeurs sont négligeables et ne modifient pas la transparence des eaux en dehors des périodes des crues et dans les stations à fort degrés de pollution. Selon l'échelle de berg, la vitesse du courant est généralement rapide le long des stations des oueds El Abiod et Abdi, à titre d'exemple : 80,37, 71,13, 79,52 et 68,71 cm/s respectivement aux stations de Gh, Fg, Mn

et Br. Cependant, elle est moyenne dans toutes les stations de l'oued El Hai. Elle est presque lente à la station d'AvT qui enregistre la valeur la plus faible 29,67 cm/s du fait de l'agrandissement de la surface mouillée par rapport au débit d'écoulement.

1-1-5-Calcium et Magnésium

Ces composants de la dureté de l'eau présentent des écarts supérieurs à 100 mg/l. Les valeurs minimales de calcium et de magnésium ont été enregistrées à la station Tha et varient entre 54,20 et 60,26 mg/l. Les valeurs maximales (282,24 et 281,54 mg/l) ont été relevées à AvK. Ces oscillations peuvent être expliquées par la nature géologique du substrat traversé par les eaux des différents oueds de la région.

1-1-6-Chlorures

Les plus faibles teneurs moyennes en chlorures sont enregistrées dans le cours supérieurs des oueds El Abiod et Abdi (In, Tha, Mn, Nd et Ar) dont les valeurs varient entre 70 et 135 mg/l. Les concentrations des stations du cours moyen (Tf, Gh, M'ch, Fg, Fd2, Fd1 et ApK) représentent des valeurs moyennes s'échelonnant entre 180 et 210 mg/l. Les stations d'AvT, Br et Bz représentent des concentrations supérieures à 260 mg/l et qui arrivent jusqu'à 430 mg/l à Bz. Ce sont toutes des stations urbaines qui sont sous l'impact des effets anthropiques.

Comme les résultats de la conductivité, la station d'AvK représente la concentration la plus élevée en chlorure avec une valeur dépassant 700 mg/l. Ceci est justifié par la nature géologique du terrain traversé et par les travaux de construction d'un pont dans cette région durant l'année 2009.

1-1-7-Sulfates

La plupart des stations représentent des concentrations moyennes en sulfates inférieures à 1 mg/l dont les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans le cours supérieur des oueds El Abiod et Abdi : In (0,281 mg/l), Ar (0,479 mg/l), Tha (0,311 mg/l) et Nd (0,382 mg/l). Les concentrations moyennes supérieures à 1 mg/l sont principalement mentionnées aux stations du cours moyen et inférieur de l'oued El Hai où la valeur la plus élevée est enregistrée dans la station exposée aux activités humaines (construction du pont) en plus de l'influence de la nature du substrat du lit traversé.

1-1-8-Bicarbonates

Toutes les valeurs de la concentration moyenne en bicarbonates sont supérieures à 100mg/l, du fait de la nature géologique des roches calcaires qui sont à l'origine de la formation des bicarbonates dissous. La valeur la plus faible a été observée à la station de Br

avec 117,64 mg/l, alors que, la concentration la plus élevée a été enregistrée à la station d'AvT avec 570,03 mg/l. Ceci vient de la forte pollution de cette station par les eaux usées de la ville d'Aïn Touta, en plus de la nature des substrats du terrain traversé.

1-1-9-Nitrites, Nitrates et Phosphores

Les concentrations moyennes en nitrites sont inférieures à 1 mg/l, à l'exception de la station d'AvT (1,854 mg/l). Les valeurs moyennes maximales sont enregistrées aux stations de Nd (0,744 mg/l) et ApK (0,727 mg/l) dont les rives sont formées de terrains agricoles qui pourraient être à l'origine de ces valeurs assez élevées de nitrates provenant des engrais utilisées. Cependant, la concentration moyenne minimale est enregistrée à la station d'In (0,149 mg/l) qui est dû probablement à l'autoépuration de l'eau. La valeur de la station d'AvT est probablement due à la grande pollution par les effluents domestiques.

Les concentrations moyennes en nitrates varient entre 1,308 mg/l (Fg) et 5,366 mg/l (Nd). Ces résultats peuvent être probablement traduits par une utilisation agricole intensive des sols, des apports excessifs en engrais ou d'importants déversements d'eaux usées.

A l'exception de la station d'AvT qui représente la plus grande concentration du phosphore avec 3,069 mg/l, les concentrations moyennes de toutes les autres stations sont faibles, oscillant entre 0,07 mg/l (AvK et Fg) et 0,332 mg/l (ApK). La concentration d'AvT provient principalement des rejets d'eaux résiduaires (des déjections humaines, des matières organiques en décomposition, des lessives...) et des activités agricoles des terrains riverains à cette station (perte d'engrais phosphatés et ruissellement d'effluents agricoles).

1-2-Variabilités spatio-temporelles de la qualité physico-chimique

Les résultats, de la mesure des paramètres physico-chimiques des eaux des oueds de la région de Biskra et Batna, sont exprimés à l'aide des histogrammes représentant à chaque fois les variations temporelles d'un paramètre sur les différentes stations prospectées le long du cours d'eau durant notre période d'étude. Ces paramètres n'ont pas été toujours mesurés, du fait que les stations présentaient durant certaines saisons des crues considérables qui rendaient l'eau très trouble, ou bien du fait que les stations se trouvaient à sec.

1-2-1-Température

La température de l'eau est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Les valeurs maximales de température des eaux de l'oued El Abiod ont été enregistrées aux mois de juin ou juillet, à l'exception des stations de Gh et Fg dont les valeurs ont été notées respectivement aux mois d'avril 2008 (28,4°C) et mai 2008 (30°C). Dans toutes les stations prospectées, les valeurs minimales ont été notées aux mois de

novembre, décembre et janvier à l'exception de la station de Fg où le minima a été relevé au mois de février 2009 (10,5°C) (Fig.4.1).

Si on considère la variation en fonction des stations, le minimum et le maximum de la température sont observées au niveau de la même station Gh avec respectivement 4°C au mois de décembre 2008 et 30°C au mois d'avril 2008. Ces différences concordent avec la situation géographique des stations en amont où les températures sont basses, ou à l'aval où elles augmentent peu à peu ; l'heure de l'analyse joue également un rôle important (Fig.4.1).

Dans les eaux de l'oued El Hai, les températures enregistrées oscillent entre 5,5°C au mois de janvier 2009 à la station d'AvT et 31,6°C au mois de juin 2008 en amont, à la station de Fd1 et entre 7,5°C au mois de novembre 2008 à la station d'AvK et 34,5°C au mois de juin 2008 à la même station située en aval (Fig.4.1).

Si nous considérons la variation temporelle, les températures mensuelles de l'année 2008 sont plus élevées que celles de l'année 2009. En 2008, les maximas variaient entre 25,9°C au mois d'avril et 34,5°C au mois de juin respectivement dans les stations de Fd2 et ApK ; et en 2009, entre 21,6 et 31,5°C au mois de juin respectivement dans les stations d'AvT et AvK. Alors que les minimas ont été enregistrées en décembre 2008 allant de 6,3°C à la station de Fd2 jusqu'à 14°C à la station d'AvK ; en janvier 2009 elle a fluctué entre 5,5°C à la station d'AvT et 12,2°C à la station d'AvK (Fig.4.1).

Dans notre étude, la température minimale enregistrée le long des stations de l'oued Abdi est de 3,9°C (janvier 2008) et la maximale qui est de 33,1°C (juillet 2008) enregistrées toutes les deux à la station de Bz. Les valeurs maximales de température des eaux de l'oued Abdi ont été enregistrées généralement durant la saison estivale, particulièrement en juillet. Elles variaient entre 23,4°C en 2009 à la station de l'amont (Tha) et 33,1°C en 2008 à la station permanente de l'aval (Bz). Dans certaines stations, les températures maximales pouvaient s'étendre jusqu'en début d'automne 2009 (Tha, 24,8°C ; Nd, 26°C ; Br, 27,5°C). Ceci semble être lié à la temporalité de ces stations et à la réalisation des mesures à des moments différents de la journée avec la différence de la situation géographique et le climat. De ces mêmes raisons, les valeurs minimales dans toutes les stations sont observées durant la saison hivernale entre 3,9°C (Bz, 2008) et 12,5°C aux stations de Br en janvier 2009 et de Mn en novembre 2009 (Fig.4.1).

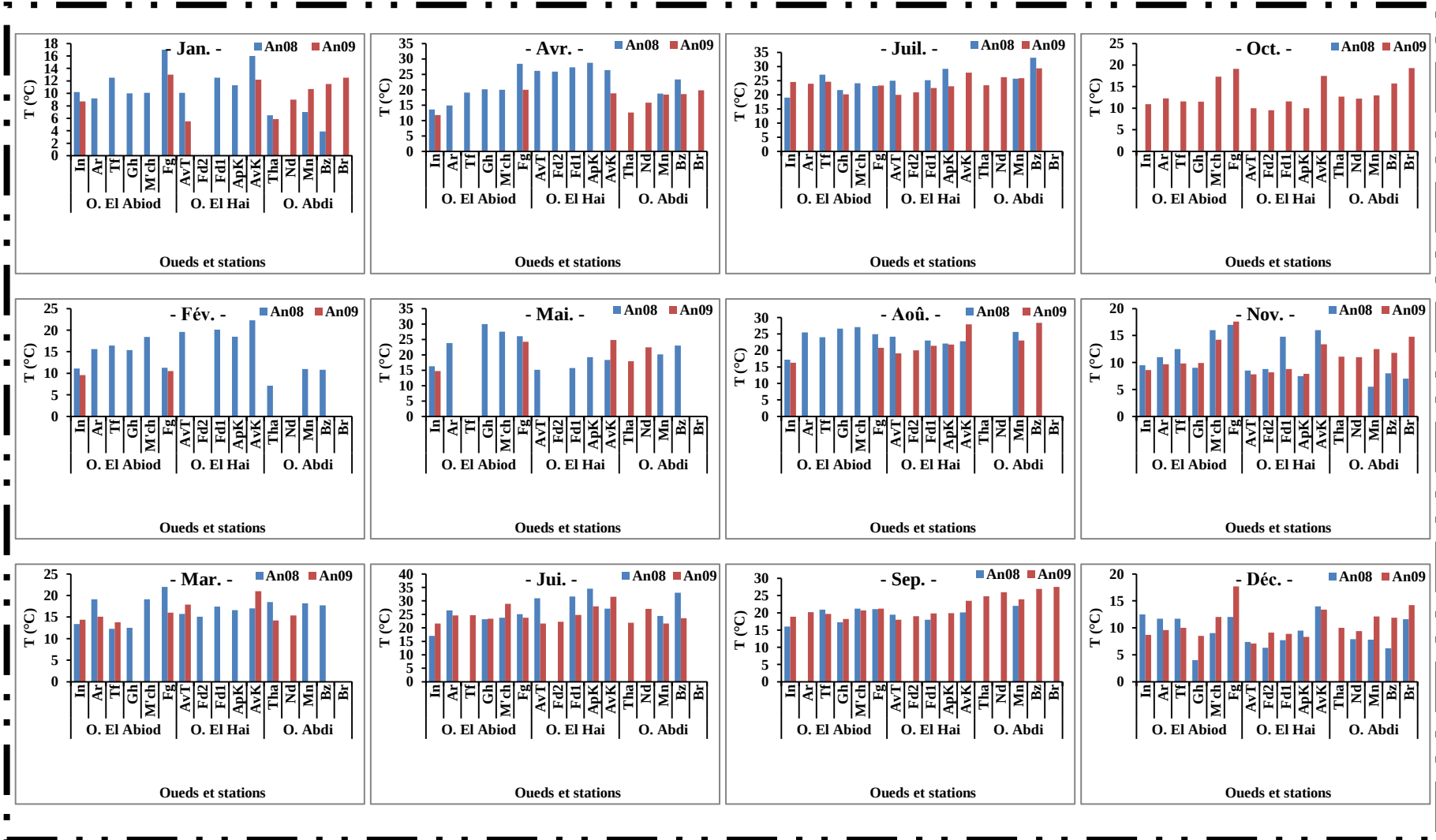


Figure 4.1. Variation spatio-temporelle de la température des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-2-Potentiel hydrogène pH

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il dépend de l'origine des eaux, de la nature géologiques du substrat et du bassin versant traversé (DUSSART, 1966 ; BERMOND et VUICHARD, 1973). Le pH au niveau de toutes les stations de l'oued El Abiod et durant toute la période d'étude, variait entre 7,21 à la station d'In au mois de juillet 2008 et 8,99 à la station de Fg au mois d'avril 2009. Ces valeurs indiquent que les eaux de notre cours d'eau sont d'une alcalinité faible à moyenne, selon NISBET et VERENAUX (1970) (Fig.4.2).

Durant notre période d'étude, les valeurs observées indiquaient que le pH est alcalin dans toutes les stations de l'oued El Hai, il variait entre 7,14 à la station d'AvK en juin 2008 et 8,96 à la station de Fd2 en mars 2008. Quelques valeurs révèlent que notre cours d'eau est d'une forte alcalinité. Ce sont les valeurs mesurées à la station d'ApK aux mois de février (9,07), avril (9,28) et mai (9,06) de l'année 2008. Cependant, une seule valeur proche de la neutralité est la valeur minimale de 7,14 signalée à la station d'AvK en juin 2008. Cette diminution de pH peut également être liée aux rejets de produits toxiques résiduels (Fig.4.2).

La majorité des valeurs de pH dans les stations de l'oued Abdi oscillaient entre 7,33 à la station de Mn (avril et juillet 2008) et 8,97 à la station de Nd (juin 2009). D'après NISBET et VERENAUX (1970), ces limites indiquent que les eaux de ce cours d'eau sont d'une alcalinité faible à moyenne. Quelques valeurs mesurées durant l'année 2009, reflètent l'alcalinité mensuelle forte à deux stations : Nd aux mois d'avril (9,06), septembre (9,39) et octobre (9,12) et Br aux mois d'avril (9,03) et septembre (9,08), ce qui peut se justifier par une augmentation des concentrations de matériaux carbonatés du terrain traversé (Fig.4.2).

D'après NISBET et VERENAUX (1970), on peut classer l'alcalinité des eaux, en fonction de l'ensemble des stations prospectées, comme suite :

- La station d'In : alcalinité faible à moyenne ;
- Les autres stations de l'oued El Abiod : alcalinité moyenne ;
- Les stations d'AvT et d'AvK : alcalinité faible à moyenne ;
- Les stations de Fd1 et Fd2 : alcalinité moyenne ;
- La station d'ApK : alcalinité moyenne à forte ;
- Les stations de Tha, Mn et Bz : alcalinité faible à moyenne ;
- Les stations de Nd et Br : alcalinité faible à forte.

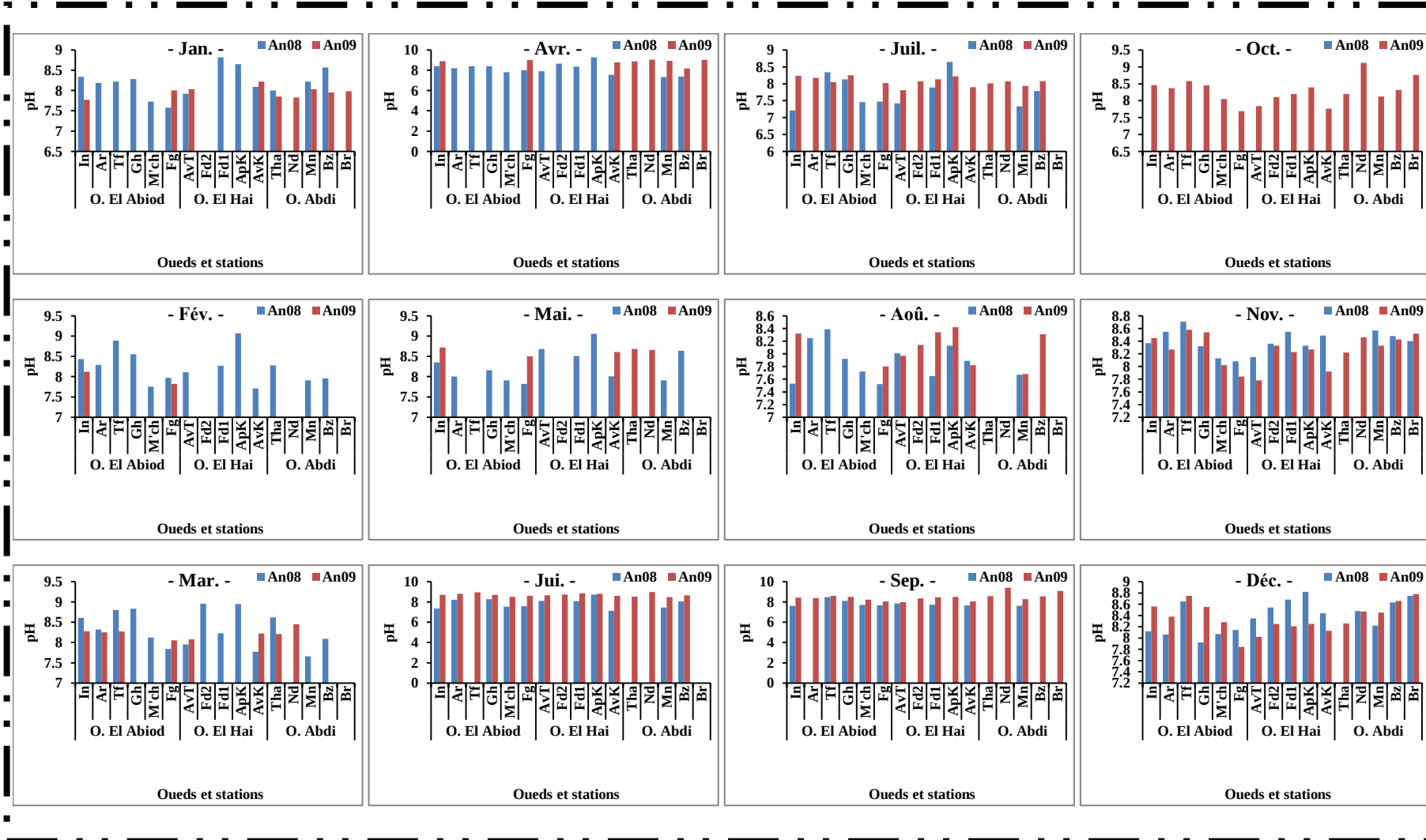


Figure 4.2. Variation spatio-temporelle du pH des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-3-Conductivité électrique

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. La conductivité électrique de l'oued El Abiod variait entre un minimum de 334 $\mu\text{S/cm}$ mesuré au mois d'août 2008, dans la station d'Ar, et un maximum de 1980 $\mu\text{S/cm}$ au mois de mars 2008, dans la station de Gh. Ainsi, nous avons généralement noté que la conductivité s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983). Les valeurs minimales de 334, 414, 422 et 424 $\mu\text{S/cm}$ ont été signalées aux stations du cours supérieur Ar et In respectivement aux mois de février 2008, février, mars et janvier 2009. Alors que, les valeurs mensuelles maximales de 1908 et 1980 $\mu\text{S/cm}$ ont été enregistrées aux mois de juin et mars 2008 respectivement aux stations du cours inférieur Fg et Gh (Fig.4.3).

Les valeurs mensuelles enregistrées dans les eaux de l'oued El Hai montraient des fluctuations très importantes. Elles variaient, en dehors de la station d'AvK, entre 973 $\mu\text{S/cm}$ en décembre 2008 et 4020 $\mu\text{S/cm}$ en avril 2008 à la station de Fd2. En ce qui concerne la station AvK, dernière station de l'aval du cours d'eau, 71 % des valeurs de la conductivité étaient supérieures à 4000 $\mu\text{S/cm}$, atteignant 4180 $\mu\text{S/cm}$ en septembre 2009 et 6160 $\mu\text{S/cm}$ en juin 2008 (Fig.4.3). Ces valeurs très importantes indiquent en général une minéralisation excessive des eaux de l'oued El Hai et plus particulièrement la station d'AvK. Elles semblent être la conséquence des apports naturels de l'oued alliés au lessivage des terrains qui entraînent la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux. En outre, ce cours d'eau est très affecté par les activités anthropiques (eaux usées d'origine urbaine, travaux agricoles et de construction, pompages et lavages des voitures, pâturages et abreuvoirs pour les bétails). D'une manière générale, la conductivité croît progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau. Toutefois, cette augmentation de la minéralisation n'est ni systématique ni régulière et de nombreux cours d'eau présentent des variations concordantes avec un certain nombre de paramètres en relation soit avec des ruptures brusques de la pente, soit avec des confluences ou des afférences souterraines (NISBET et VERNEAUX, 1970). Ceci concorde avec les résultats de l'oued El Hai qui subit de brusques chutes de la minéralisation du fait des apports d'eaux peu minéralisées des oueds Fedhala et Tilatou.

La conductivité des eaux de l'oued Abdi variait généralement entre 475 $\mu\text{S/cm}$ signalé en mars 2009, dans la station de Tha et 2960 $\mu\text{S/cm}$ mesuré en avril 2008 dans la station de Bz. Certaines valeurs excessives ont été enregistrées à la station de Bz durant les périodes estivales : 4170, 4690 et 3220 $\mu\text{S/cm}$ respectivement aux mois de mai, juin et juillet

de l'année 2008 et 3140 et 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux mois de juillet et août de l'année 2009. En général, la minéralisation des eaux de l'oued Abdi suit un gradient longitudinal amont-aval, à l'exception des valeurs excessives signalées à l'avant dernière station de l'aval, et qui peuvent être liées principalement à l'augmentation de la température durant la saison estivale qui induit l'évaporation des eaux, la réduction du débit et par conséquent, l'augmentation de la concentration des ions ce qui a entraîné la forte minéralisation de l'eau. En outre, la nature géologique du sous bassin traversé qui se caractérise par la présence de marnes, de gypse et de sel gemme, ont fait augmenter la concentration des ions par érosion et lessivage des roches superficielles par le courant des eaux (Fig.4.3).

La minéralisation de chaque station étudiée a été classée selon RODIER (2009), comme suite :

- La station d'In : minéralisation moyenne accentué ;
- La station d'Ar : minéralisation importante ;
- Les autres stations de l'oued El Abiod : minéralisation élevée ;
- Toutes les stations de l'oued El Hai : minéralisation élevée ;
- Les stations de Tha et Nd : minéralisation importante ;
- Les autres stations de l'oued Abdi : minéralisation élevée.

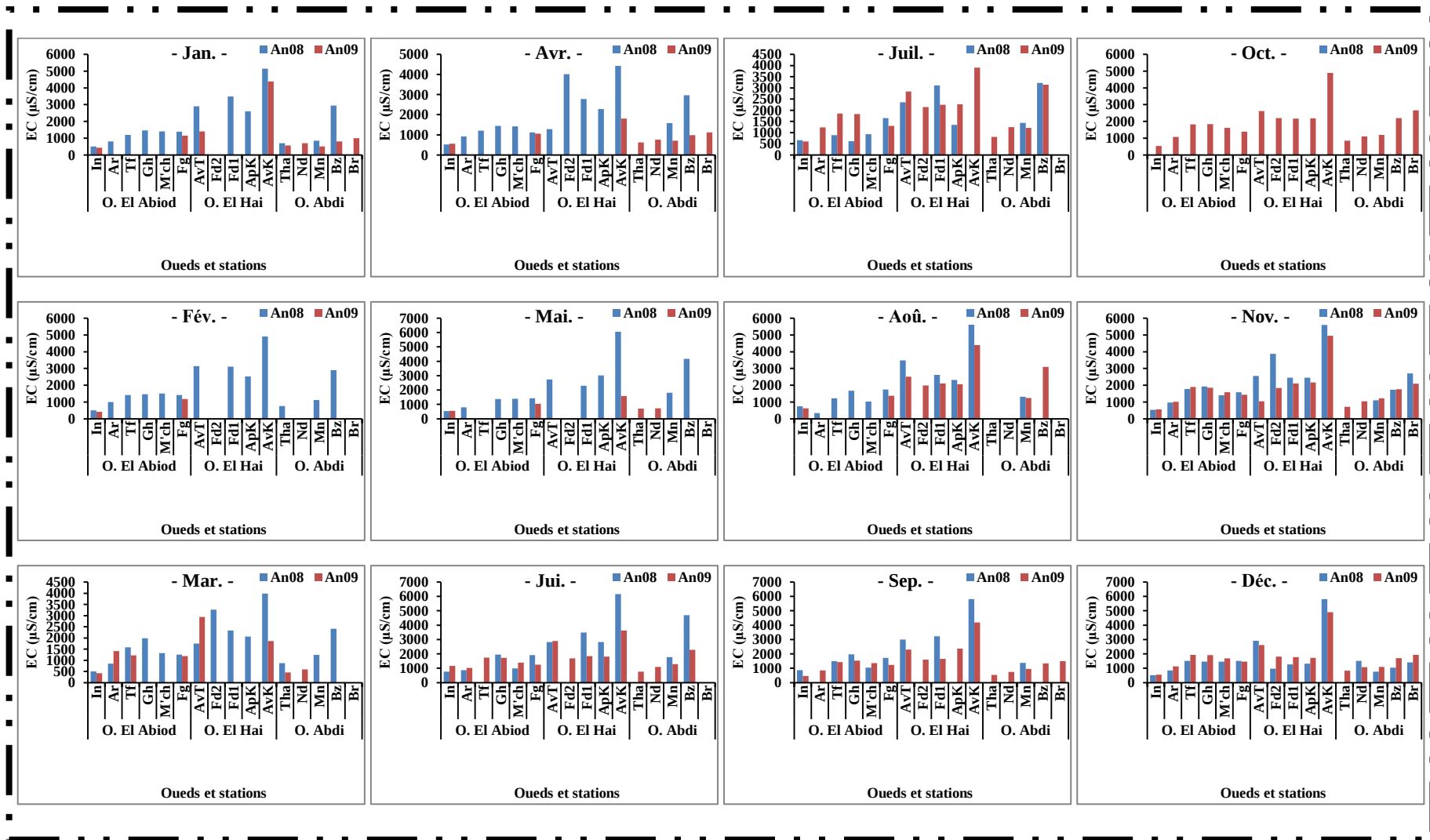


Figure 4.3. Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-4-Salinité

La salinité d'une eau indique sa teneur en sel. Les variations de celle-ci suivent celles de la conductivité, du fait de leurs relations communes liées à la concentration des eaux en sels minéraux. Sa concentration dans les eaux de l'oued El Abiod variait entre 0 (stations d'In, Ar et Gh) et 0,8 (stations de Tf, Gh et Fg) (Fig.4.4). On note que pour la station In, la salinité était de l'ordre de 0 presque durant toute la période d'étude, à l'exception du mois de juin 2009, où la salinité s'est élevée jusqu'à atteindre 0,67 suite aux activités humaines (construction). La salinité a atteint son maximum 0,8 dans la station de Gh durant les mois de mars, juin, septembre et novembre en 2008 et les mois de juillet et décembre en 2009 ; dans la station de Tf durant les mois de juillet, novembre et décembre de l'année 2009 et dans la station de Fg au mois de juin 2008 (Fig.4.4).

L'analyse des données indique que la salinité des eaux de l'oued El Hai variait entre 0,2 à la station de Fd2 en décembre 2008 et 3,3 à la station d'AvK en juin 2008. Ces variations sont en relation directe avec les fluctuations de la conductivité électrique, par conséquent, l'explication des variations de ces deux paramètres se justifie par les mêmes causes naturelles et anthropiques (Fig.4.4).

La salinité des eaux de l'oued Abdi oscillait entre un minimum de 0 principalement observé dans la station Tha et un maximum de 2,5 mesuré à la station de Bz. Notons que la valeur nulle a été enregistré durant plusieurs mois à la première station (Tha), au mois de mars 2009 à la station de Nd et au mois de janvier 2009 à la station de Mn. La majorité des valeurs de la salinité était inférieure à 1 dans toutes les stations. Toutefois, les valeurs maximales ont été signalées dans les stations aval, principalement à la station de Bz avec des teneurs allant de 1 à 2,5 et à la station de Br avec 1,2 aux mois de novembre 2008 et octobre 2009. Ceci peut être justifié par les mêmes causes de l'augmentation de la conductivité dans ces deux stations (Fig.4.4).

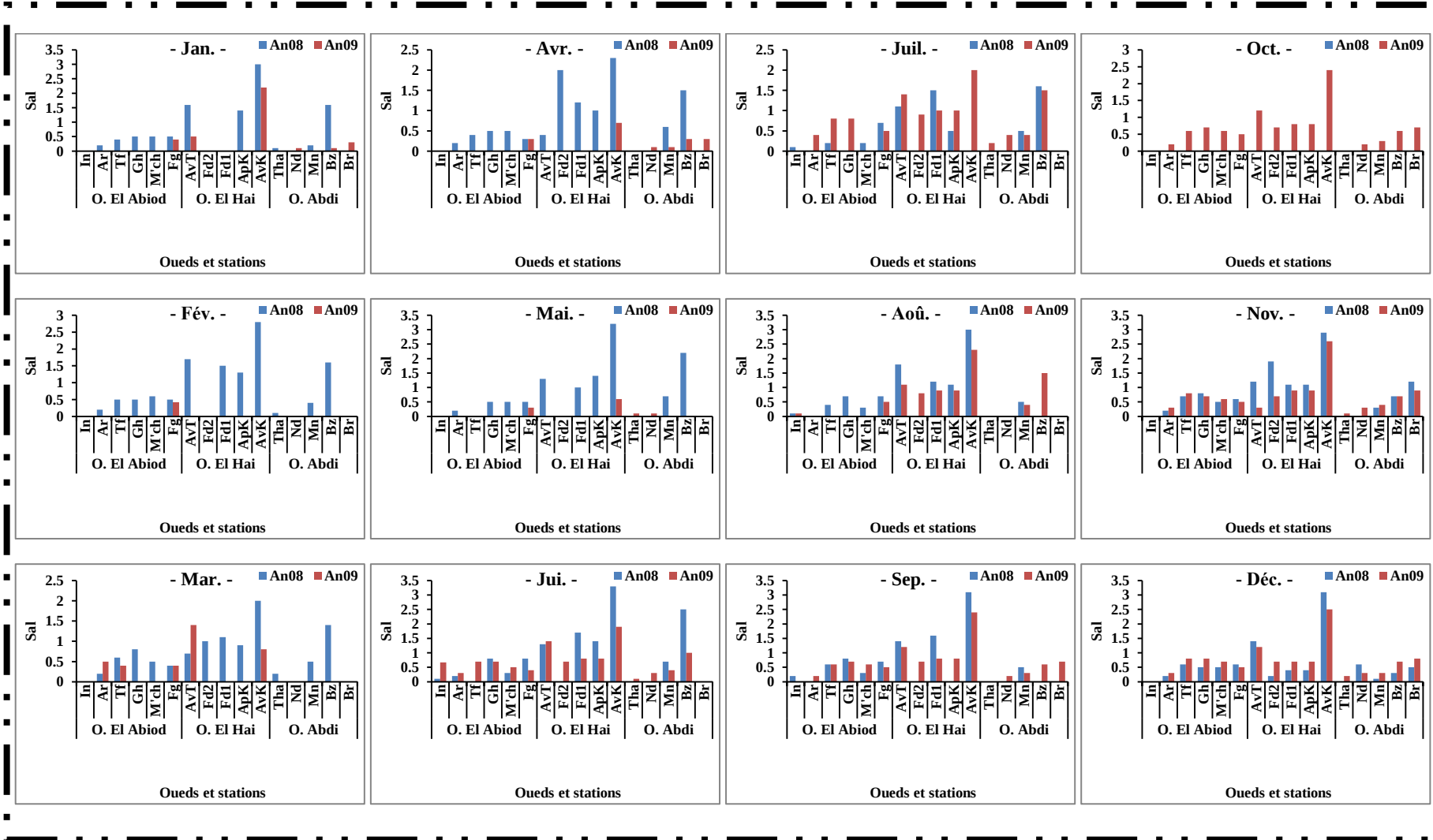


Figure 4.4. Variation spatio-temporelle de la salinité des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-5-L'oxygène dissous

D'après les résultats obtenus, le taux d'oxygène dissous des eaux de l'oued El Abiod variait de 1,96 mg/l (23,6 %) au mois de juillet 2008 à 14,41 mg/l (180,3 %) au mois de juin 2008 dans la station d'In. Cette diminution de la concentration de ce paramètre des mois de juin et juillet ont entraîné une eutrophisation accélérée dans cette station, résultant des rejets de substances nutritives dans ce cours d'eau et la forte prolifération des algues vertes signalées durant cette période. Les données de la concentration de l'oxygène dissous sont variables d'une station à l'autre et d'un prélèvement à l'autre. On a noté la présence de quelques valeurs inférieures à 5 mg/l qui sont dues soit à une pollution naturelle ou anthropique, soit à l'augmentation de la température durant les périodes estivales : 3,61 mg/l en août 2008 et 4,81mg/l en août 2009 dans la station d'In ; 2,67 mg/l en août 2008 et 4,92 mg/l en mai 2008 dans la station d'Ar ; 4,9 mg/l en août 2008 dans la station de Gh ; 3,83, 3,56 et 3,45 mg/l durant la saison estivale de l'année 2008 dans la station de M'ch ; 4,86, 4,19, 4,23 mg/l en été 2008, 4,51 mg/l en décembre 2008 et 3,75 mg/l en août 2009 dans la station de Fg. Les autres valeurs allant de 5,04 mg/l en avril 2008 à la station d'Ar, jusqu'à 13,63 mg/l au mois de décembre 2009 à la station de Tf. Donc, la situation générale des eaux de l'oued El Abiod présente une bonne à très bonne oxygénation (Fig.4.5).

L'évolution du taux de l'oxygène dissous des eaux de l'oued El Hai montre des valeurs très faibles dues principalement à sa pollution. En effet, l'oxygène est l'un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau. Les teneurs en oxygène dissous dans les stations étudiées varient entre 0,03 mg/l en juin 2009 dans la station d'AvT et 16,25 mg/l en avril 2008 dans la station de Fd1. Toutes les valeurs mesurées au dessous de 1mg/l, s'observent seulement à la station d'AvT du fait de sa réception des eaux usées urbaines de la ville Ain Touta. Cette dernière est très polluée, pour cela elle a une situation létale selon NISBET et VERNEAUX (1970). Concernant les concentrations d'oxygène dissous des autres stations, elles diffèrent d'une station à l'autre et d'un prélèvement à l'autre. Les valeurs inférieures à 5 mg/l apparaissent durant la période estivale plus particulièrement au mois d'août aux stations Fd2 (4,61 mg/l), Fd1 (4,64 et 4,11 mg/l), ApK (4,01 et 3,75 mg/l) et AvK (4,52 et 4,29 mg/l). C'est le réchauffement de l'eau et le faible débit de l'oued durant la période estivale qui provoquent une diminution de la dissolution de l'oxygène dissous. Les autres valeurs allant de 5,11 mg/l sont enregistrée au mois de septembre 2009 à la station d'AvK, jusqu'à 16,25 mg/l au mois d'avril à la station de Fd1. Donc, les eaux de l'oued El Hai possèdent une bonne à très bonne oxygénation (F.4.5).

La présence de l'oxygène dissous dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, l'activité photosynthétique de la flore, l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau (BELGHITI *et al.*, 2013). Pour l'ensemble des concentrations, l'oxygène dissous des eaux de l'oued Abdi manifeste des écarts très importants qui variaient entre 5,19 mg/l à la station de Mn (août 2009) et 13,97 mg/l à la station de Nd (octobre 2009). Par conséquent, les stations de l'oued Abdi présentent, généralement, une bonne à très bonne oxygénation. Des valeurs minimales témoignant de la mauvaise qualité d'oxygénation enregistrées dans les stations de Mn (0,96mg/l en août 2008) et Bz (4,87 mg/l en juillet 2008) sont dues probablement à la présence d'une pollution anthropique provenant de la charge organique des rejets urbains arrivant des villes de Mn et Bz et d'une pollution naturelle due à l'augmentation de la température durant les périodes estivales. En effet, durant la saison estivale, le réchauffement de l'eau et le faible débit de l'oued provoquent une diminution de la dissolution de l'oxygène dissous, aggravée par une augmentation de la consommation de l'oxygène par les organismes vivants et l'activité bactérienne lors de la décomposition de la matière organique de l'oued Abdi. Toutefois, des valeurs maximales ont été signalées à la station de Br en octobre 2009 avec 15,49 mg/l, et à la station de Mn en juin 2008 avec 18,87 mg/l (Fig.4.5). Ces fortes teneurs dans certaines stations (Br et Mn) sont liées à l'abondance de la végétation immergée qui augmentent l'activité photosynthétique.

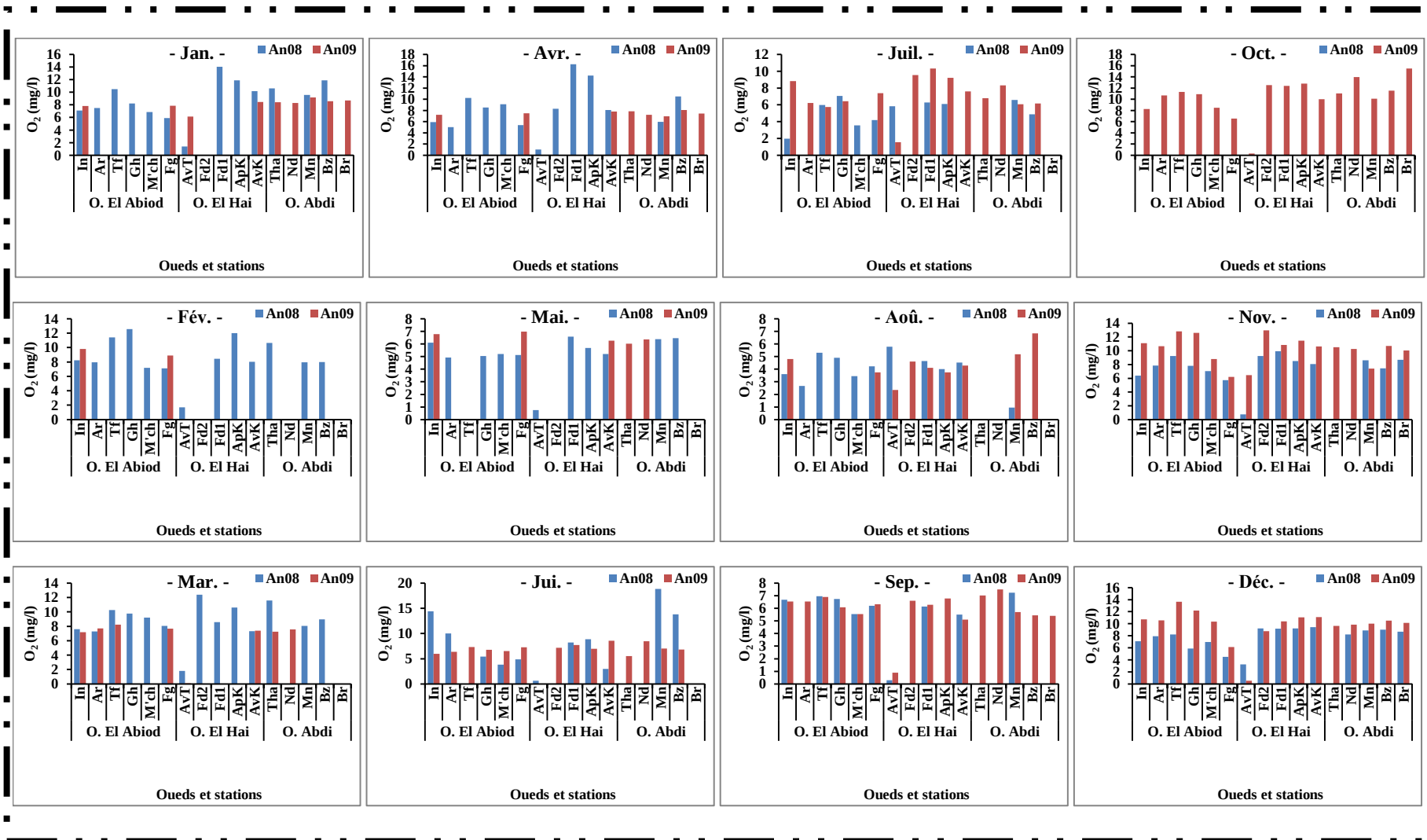


Figure 4.5. Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-6-Vitesse du courant

La vitesse du courant dépend du débit, du substrat et de la largeur du lit. Elle augmente avec la profondeur et la pente. Selon l'échelle de berg (Chapitre III), la vitesse du courant a subi des fluctuations plus importantes durant l'année 2008 que l'année 2009. Elle était moyenne à rapide durant la plupart des mois de l'année 2008 et dans toutes les stations. Cependant, quelques vitesses lentes ont été enregistrées aux mois de décembre (23,01 cm/s) à la station de Fg, juin (21,44 cm/s) à la station d'Ar, juillet (12,78 et 23,26 cm/s) respectivement aux stations de Tf et Fg, août (16,01 et 21,49 cm/s) respectivement aux stations d'Ar et In, et enfin septembre (19,46 et 22,65 cm/s) respectivement aux stations d'In et Tf. Les autres vitesses relevées ont été très rapides : 110,54 cm/s au mois de janvier et 125,41 cm/s au mois d'avril à la station de Gh, et 170,23 cm/s au mois d'avril et 141,45 cm/s au mois de mai à la station d'In. Le seul relevé qui a fait l'exception a été signalé à la station d'In au mois du juin durant lequel la vitesse était très lente (9,23 cm/s). Concernant l'année 2009, la vitesse du courant était souvent rapide à très rapide dans toutes les stations. Elle a varié entre 52,03 cm/s enregistrée en novembre et 156,25 cm/s observée en janvier dans la station de Fg. Cependant certaines vitesses relevées étaient moyennes dans les stations de Tf (48,40 cm/s en novembre et 44,72 cm/s en décembre) et d'In avec 49,63 cm/s au mois de décembre (Fig.4.6).

Les vitesses du courant de l'oued El Hai sont plus instables durant l'année 2008 que l'année 2009. Elles sont lentes à moyennes en 2008 au niveau de toutes les stations, à l'exception de la station de Fd1 au mois décembre qui paraissent avoir une vitesse très rapide, et les stations d'AvK au mois de février, Fd2 et ApK qui possédaient une vitesse rapide au mois de décembre. Quelques vitesses très lentes ont été enregistrées aux mois de janvier, mai, juin et décembre à la station d'AvT, de novembre à la station de Fd2 et de mai et juin à la station d'ApK. Notons que nous avons quatre vitesses nulles aux stations de Fd2, Fd1 et ApK. En ce qui concerne l'année 2009, la vitesse du courant était rapide aux stations de Fd2, Fd1 et ApK, allant d'une valeur minimale de 50,81 cm/s enregistrée au mois d'août à la station de Fd2 à une valeur maximale de 94,34 cm/s observée au mois d'octobre à la station d'ApK. La vitesse du courant était généralement moyenne à rapide à la station d'AvT, à l'exception d'une lente au mois de mars et une autre très lente au mois de janvier. Alors que, la vitesse de la station d'AvK était très variable. Elle est souvent moyenne à très rapide. En outre, nous avons signalé une vitesse rapide au mois de janvier, une lente au mois de juin et deux très lentes aux mois de juillet et août (Fig.4.6).

En considération à l'assèchement de la plupart des stations de l'oued Abdi avant la crue d'octobre 2008, la vitesse du courant paraissait notable. Elle a été plus élevée durant l'année 2009 que l'année 2008. La vitesse est généralement (65 %) moyenne à rapide durant l'année 2008, elle variait entre 25 cm/s à la station de Br et 98,23 cm/s à la station de Bz (novembre 2008). 31 % du total des vitesses enregistrées étaient faibles et seulement une seule vitesse qualifiée de très rapide (194 cm/s) a été signalée à la station de Mn au mois de décembre. Durant l'année 2009, la vitesse du courant était variable, elle était le plus souvent très rapide (43%) a atteint un maximum de 215,3 cm/s en janvier à la station de Mn. 25 % des vitesses paraissaient moyennes alors que 20 % étaient rapides. Le reste se partageait entre une vitesse nulle signalée à la station de Br en octobre, une très lente à la station de Nd en juillet (8,97 cm/s) et trois lentes notées en juillet aux stations de Tha (14,32 cm/s) et Mn (14,29 cm/s) et en août à la station de Mn (19,2 cm/s) (Fig.4.6).

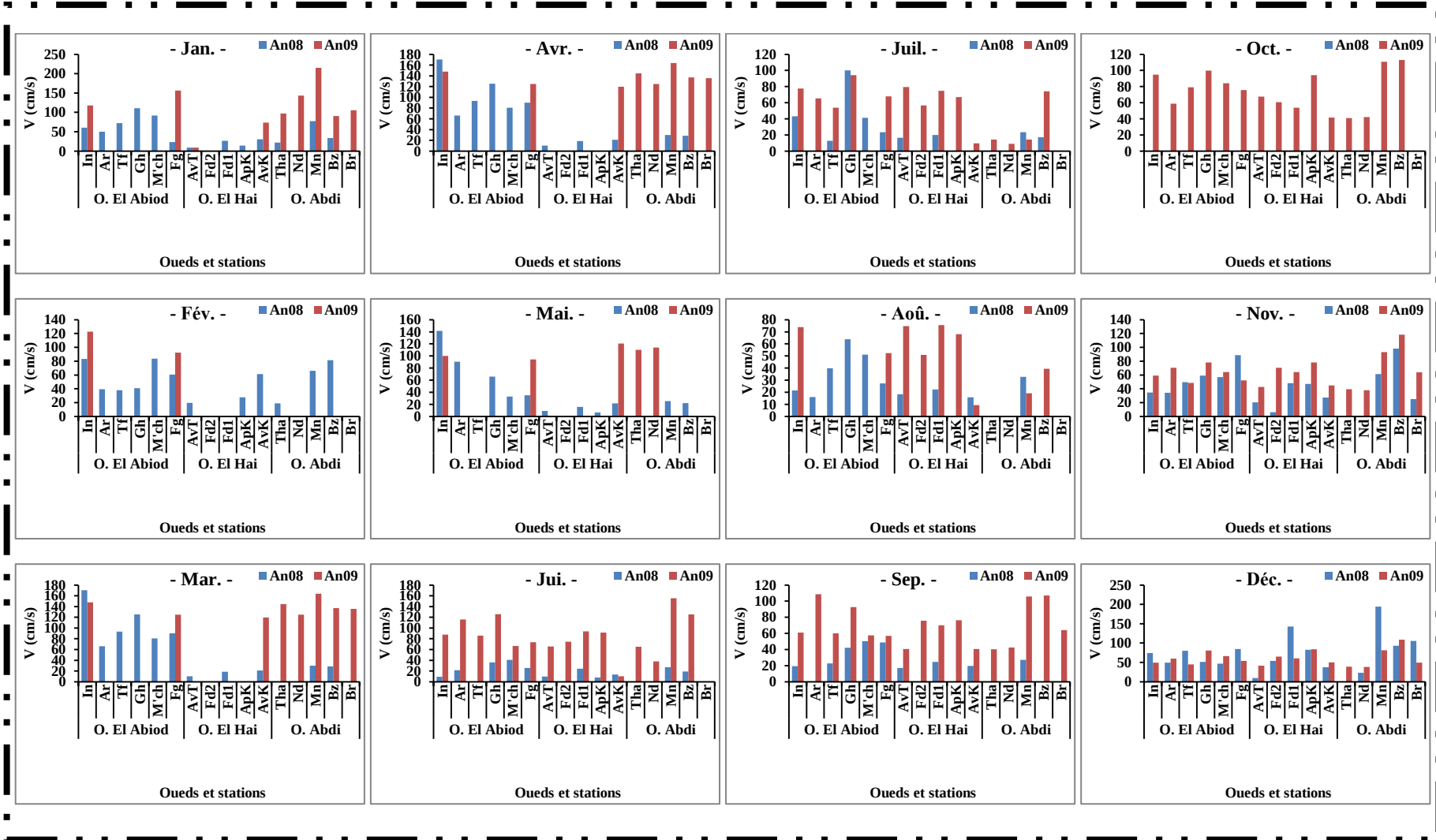


Figure 4.6. Variation spatio-temporelle de la vitesse du courant des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-7-Matières en suspension (MES)

Les MES représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (RODIER, 1984). En fait, tous les cours d'eau qui contiennent des teneurs de quelques mg/l des MES ne posent pas de problèmes majeurs. Cependant, des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration de la lumière, réduire l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique (RODIER, 2009). Nos concentrations de MES de l'oued El Abiod sont fréquemment très faibles dans toutes les stations durant notre période d'étude. Elles variaient entre 0,01 mg/l signalée aux stations d'In, Ar et Fg respectivement durant les mois de décembre 2008 et décembre, mars, juin et août 2009, et 0,09 mg/l enregistrée à la station d'Ar en janvier 2008. Certaines valeurs sont de l'ordre des millièmes allant de 0,001 mg/l enregistrée aux stations d'In et Fg respectivement aux mois d'avril 2008 et février 2009, jusqu'à 0,008 mg/l marquée à la station d'In en novembre 2009. Par contre, les restes des valeurs sont de l'ordre des dixièmes : 0,11 mg/l à la station de M'ch en août et décembre 2008 ; 0,22, 0,19 et 0,21 mg/l à la station de Gh en 2008 respectivement durant les mois de juillet, août et décembre ; et enfin 0,120 mg/l à la station de Tf aux mois d'août 2008 et juin 2009 (Fig.4.7).

Les valeurs des MES sont fréquemment très faibles dans toutes les stations de l'oued El Hai durant notre période d'étude. La plupart des valeurs variaient entre un minimum de 0,01 mg/l signalé dans toutes les stations, à un maximum de 0,094 mg/l dans la station d'AvK en mars 2008. Certaines valeurs étaient de l'ordre des millièmes oscillant entre 0,001 mg/l enregistrée dans les stations d'ApK et Fd1 respectivement aux mois de mai 2008 et décembre 2009 et 0,006 mg/l à la station d'AvK durant le mois de novembre 2009. Cependant, plusieurs valeurs de l'ordre des dixièmes ont été marquées dans toutes les stations allant de 0,1 mg/l à la station d'AvK en novembre, à 0,24 mg/l dans la station d'ApK en juin 2009 (Fig.4.7).

En fait, tous nos cours d'eau contiennent des teneurs en MES très faibles. La majorité des valeurs de l'oued Abdi (81 %) montrent un minimum de 0,01 mg/l signalé aux stations de Br, Mn et Tha, Bz et Nd respectivement en octobre, novembre et décembre 2009 et un maximum de 0,086 mg/l à la station de Mn durant le mois de février 2008. 14 % des valeurs sont de l'ordre des millièmes allant de 0,003 mg/l marquée aux stations de Mn et Br respectivement aux mois d'août et novembre 2009 jusqu'à 0,009 mg/l mentionnée à la station de Mn durant le mois d'août 2008. Deux valeurs de l'ordre des dixièmes ont été notées durant le mois de juin 2009 dans les stations de Bz avec 0,13 mg/l et Tha avec 0,1 mg/l ; et une valeur nulle enregistrée au mois de décembre 2008 à la station de Br (Fig.4.7).

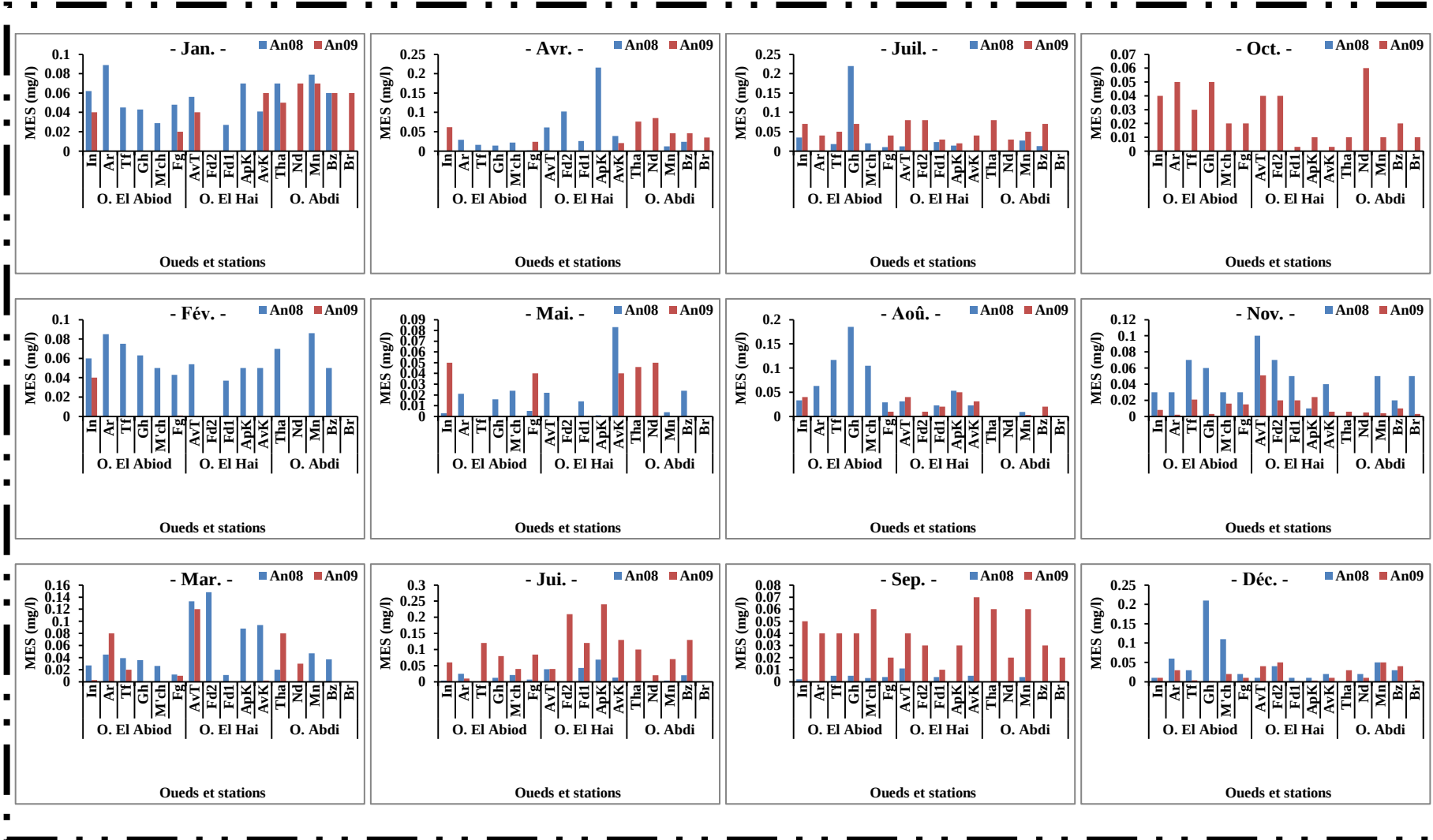


Figure 4.7. Variation spatio-temporelle des MES des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-8-Calcium

Dans les eaux courantes, la concentration en calcium varie de 1 à 150 mg/l essentiellement selon la nature des terrains traversés (NISBET et VERNEAUX, 1970). Ce composant majeur des eaux naturelles, provient principalement des roches, de drainage, des eaux usées etc. Les teneurs en calcium des eaux de l'oued El Abiod sont très élevés, oscillant entre 10,42 mg/l enregistrée en août 2008 à la station de Tf et 395,10 mg/l relevée en février 2008 à la station de Fg. Celles-ci ont liées principalement à la nature géologique des terrains traversés par notre cours d'eau. Les stations de hautes altitudes, In (1360 m) et Ar (1080 m), ont représenté des teneurs mensuelles en calcium inférieures à 150 mg/l à l'exception de la valeur signalée à la station d'In au mois de février 2008 qui était de 161,92 mg/l. Cette augmentation peut être due à l'accroissement d'érosion des roches superficielles par les précipitations de la période hivernale. En effet, ces concentrations ont passé de 16,03 mg/l enregistré en décembre à un maximum de 127,45 mg/l relevée au mois de janvier de la même année (2008) et à la même station, In. Les teneurs en calcium des autres stations de l'oued El Abiod sont nettement plus élevées, elles varient entre 41,68 et 295,79 mg/l, ce qui est expliqué par la prédominance des terrains calcaires et marneux drainés par ces eaux. Les valeurs les plus fortes dépassant 340 mg/l, ont été observées respectivement aux stations de Tf, Fg au mois de février 2008 et Gh au mois de janvier 2008. Par contre, les plus faibles concentrations ont été mesurées dans la station de Tf durant les mois d'août 2008, et de mars et juin 2009, et à la station de M'ch durant les mois de juin, août et décembre de l'année 2008 (Fig.4.8).

Les eaux de l'oued El Hai manifestent de grandes fluctuations en calcium. Sa concentration varie entre un minimum de 18,84 mg/l enregistré au mois de juin 2008 à la station d'AvT et un maximum de 440,88 mg/l au mois de septembre 2008 à la station d'AvK. La moitié de nos teneurs en calcium paraissent inférieure à 150 mg/l. L'autre moitié représente les fortes concentrations trouvées principalement au niveau de toutes les stations prospectées (Fig.4.8) ; ce qui pourrait être justifiées par la nature des roches sédimentaires traversées par les eaux et les ruissellements.

Les teneurs en calcium des eaux de l'oued Abdi ne présente pas de grandes variations par rapport aux autres oueds étudiés. Dans la majorité des stations, les concentrations de calcium étaient dans les normes puisqu'elles étaient inférieures à 150 mg/l. Ainsi, 84 % des concentrations variaient entre 13,63 mg/l enregistrée aux mois d'août et décembre 2008 à la station de Mn et 140,28 mg/l trouvée en mai 2008 à la même station. Toutefois, 16 % des

concentrations étaient supérieures à 150 mg/l, fluctuant entre 153,91 mg/l notée en novembre 2008 à la station de Br et 270,14 mg/l signalée en avril 2008 à la station de Bz. Cette augmentation pourrait être expliquée principalement par la nature des roches calcaires sur lesquelles l'eau s'écoule. En outre, les rejets des eaux usées urbains de la ville des Mn et Bz peuvent contribuer partiellement aux fortes teneurs de calcium (Fig.4.8).

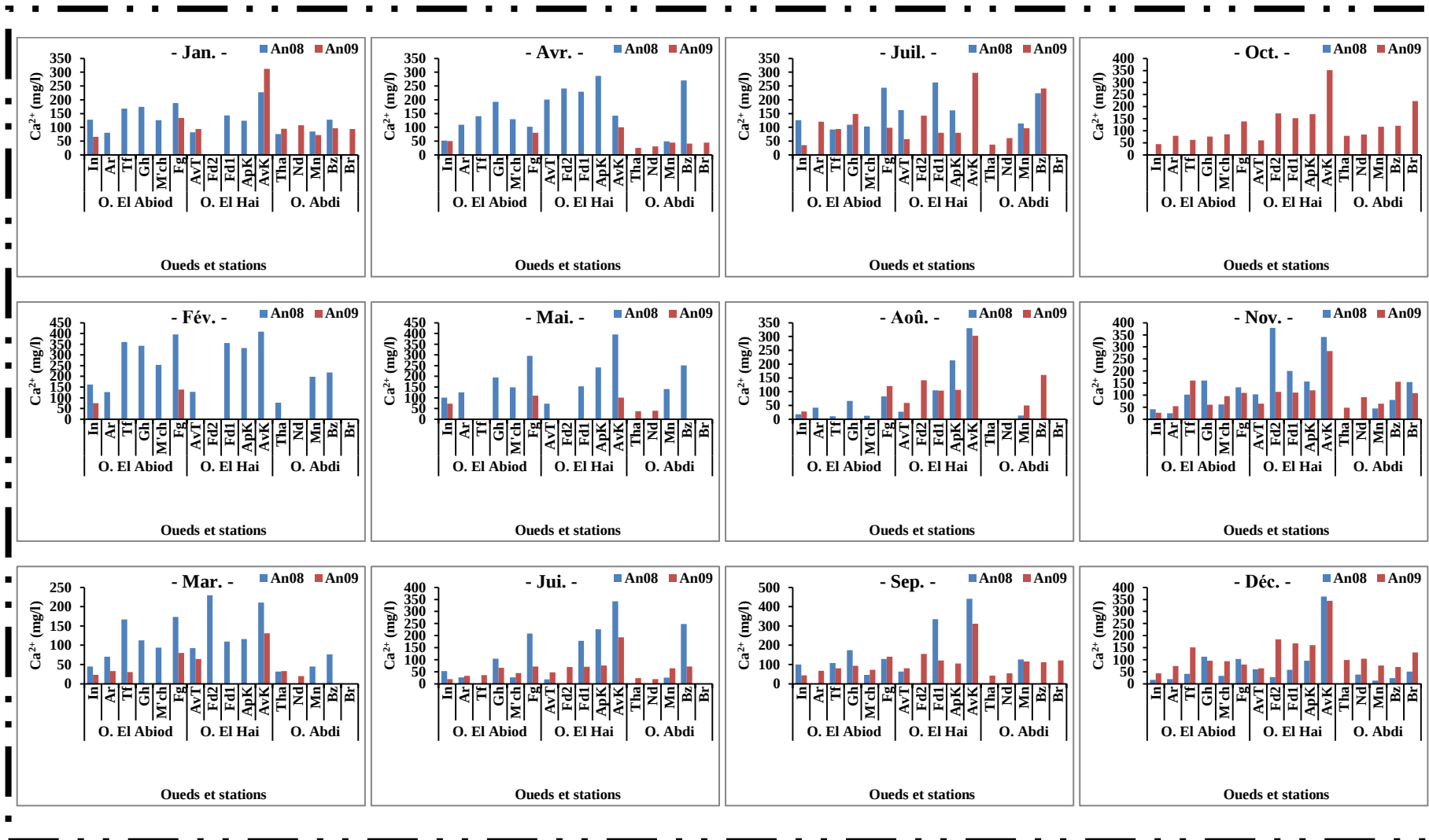


Figure 4.8. Variation spatio-temporelle du calcium des eaux des sous bassins versants étudiés

2-1-9-Magnésium

La teneur en magnésium dépend, comme celle du calcium, de la composition des roches sédimentaires traversées par l'eau et qui est due à la présence de calcaires dolomitiques ou de dolomies du jurassique ou du Trias moyen (NISBET et VERNEAUX, 1970). Les concentrations en magnésium des eaux de l'oued El Abiod sont plus élevées que celles du calcium. La majorité des valeurs trouvées étaient supérieures à 60 mg/l et augmentaient jusqu'à 401,44 mg/l à la station de Fg au mois de février 2008. Les valeurs inférieures à 60mg/l ont été observées aux stations du cours supérieur, In et Ar, pour enregistrer une valeur de 41,31 mg/l durant les mois de mars et septembre 2009 à la station d'In. En se basant sur toutes les valeurs enregistrées et selon les propositions de NISBET et VERNEAUX (1970), oued El Abiod draine des terrains dolomitiques et calcaro-dolomitiques du Jurassique et du Trias moyen. 67 % des teneurs en magnésium fluctuent entre 91,37 mg/l à la station de Fg en décembre 2009 et 243,97 mg/l à la station de Tf en mars 2008 (Fig.4.9).

Généralement, les valeurs de la concentration en magnésium des eaux de l'oued El Hai sont nettement fortes, témoignant de la nature des terrains de dolomie et dolomie calcaire. Les valeurs les plus élevées ont été observées aux stations de Fd2 (417,96 mg/l, novembre 2008), Fd1 (435 mg/l, février 2008), ApK (419,9 mg/l, avril 2008) et AvK (445,18 mg/l, mai 2008 ; 425,25 mg/l, août 2008 ; 405,81 mg/l, septembre 2008). Cependant, les valeurs les plus basses, inférieures à 100 mg/l, ont été enregistrées à la station d'AvT avec 90,88, 97,2 et 48,6mg/l respectivement les mois de janvier 2008, août et novembre 2009, à la station de Fd2 avec 60,75 mg/l et à la station d'ApK avec 89,91 mg/l au mois de décembre 2008. Le reste des valeurs varie entre 112,75 mg/l en octobre 2009 à la station d'AvT et 385,88 mg/l en juillet 2008 à la station de Fd1 (Fig.4.9).

Les concentrations en magnésium des eaux de l'oued Abdi, d'une façon générale, diffèrent de l'amont vers l'aval. Elles représentent toutes des valeurs supérieures à 30 mg/l, donc l'eau traverse lors de son écoulement des roches sédimentaires magnésiennes constituées de dolomies et des calcaires dolomitiques selon le classement de NISBET et VERNEAUX (1970). A l'exception de la concentration relevée au mois de juillet 2009 à la station de Nd (105,46 mg/l), le reste des teneurs du cours supérieur sont inférieures à 100mg/l, oscillant entre un minimum de 39,85 mg/l signalé à la station de Tha (mars 2008) et un maximum de 97,2 mg/l noté à la station de Nd dans les trois derniers prélèvements de 2009. Par contre, les concentrations magnésiennes des cours moyen et inférieur marquent des valeurs plus élevées. Elles fluctuent entre un minimum de 48,6 mg/l enregistré en décembre

2008 à la station de Mn et un maximum de 370,82 mg/l enregistré en juillet 2008 à la station de Bz. Les teneurs excessives des ces ions peuvent être en relation avec la pollution de notre cours d'eau par les rejets des eaux usées domestiques des différentes communes et villages riverains. La dureté de l'oued Abdi a montré une évolution de l'amont vers l'aval (Fig.4.9).

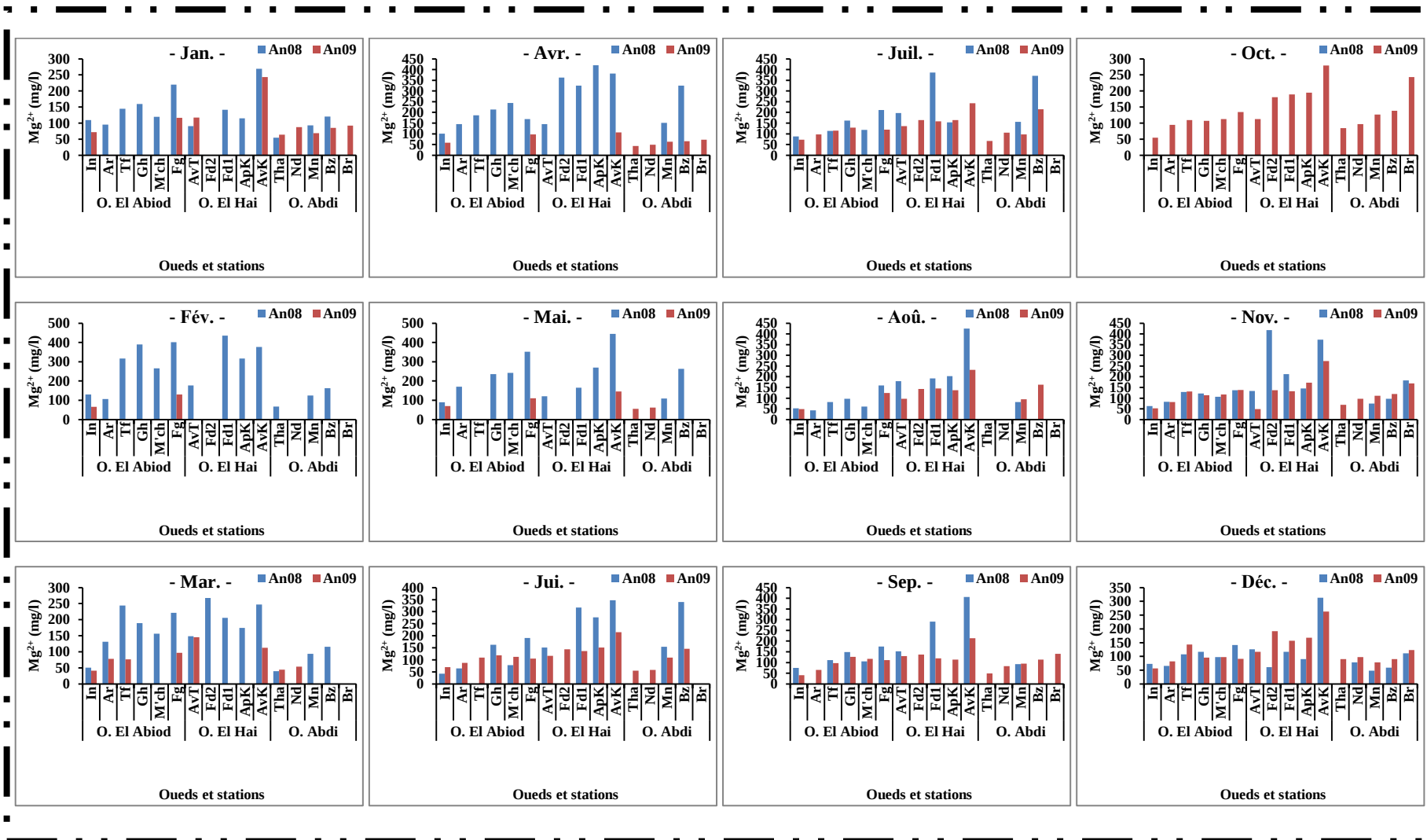


Figure 4.9. Variation spatio-temporelle du magnésium des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-10-Chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution dans l'évaluation de la qualité des eaux (MAKHOUKH *et al.*, 2011). Selon RODIER (2009), les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/l. Les teneurs en chlorures enregistrées à oued El Abiod étaient très élevées, ce qui exprime l'influence réelle de la pollution d'origine anthropique sur les eaux des stations prospectées. Les concentrations se sont limitées à 355 mg/l signalées à la station de Gh en décembre 2009 et 42,6 mg/l enregistrée à la station d'In en août et novembre 2008. Les valeurs les plus faibles ont été trouvées dans les stations d'In aux mois d'octobre (35,5 mg/l), février et novembre (28,4mg/l), juillet (21,3 mg/l) et juin 2009 (14,2 mg/l) ; d'Ar en août 2008 et de Tf en janvier 2008 (35,5 mg/l) ; et de Gh et M'ch (28,4 mg/l) et Ar (21,3 mg/l) encore en janvier 2008. Des concentrations excessives en chlorures ont été enregistrées et qui ont dépassées les 900 mg/l ont été mesurée à la station de Fg au mois d'avril 2008. En général, il a été noté que les teneurs en chlorures augmentent de l'amont vers l'aval. Ces valeurs sont dues aux déversements des eaux polluées d'origine urbaine plus qu'industrielle (rejets des eaux domestiques, rejets organiques des animaux arrivant du pâturage (Gh et Fg), des abattoirs (Tf) et d'élevage de volailles (Ar)) (Fig.4.10).

Les teneurs en chlorures des eaux de l'oued El Hai s'échelonnent entre 106,5 mg/l, relevée dans plusieurs stations, durant plusieurs mois de l'année 2009, (Fd2 et ApK en juin ; Fd1 en juillet, septembre et octobre) et 994 mg/l enregistrée en août 2008 dans la station AvK. Les valeurs les plus faibles ont été détectées principalement en 2008 au mois de janvier pour les stations d'AvT (35,5 mg/l), Fd1 (28,4 mg/l), ApK et AvK avec respectivement 35,5, 28,4, 21,3 et 85,2 mg/l, et au mois de décembre (85,2 mg/l). En revanche, des concentrations excessives en chlorures ont été mesurées uniquement à la station d'AvK en 2008, qui ont atteint 1050,8 mg/l au mois de novembre à 1341,9 mg/l au mois de février. Cette augmentation reflète l'effet de la pollution d'origine anthropique sur les eaux de l'oued El Hai (les rejets des eaux usées urbaines (AvT), rejets organiques des bétails en pâturage (Fd2, Fd1, ApK et AvK), pompages (Fd2 et Fd1) (Fig.4.10).

La concentration des chlorures dans l'eau dépend de la nature géologique du terrain traversé par les cours d'eaux et des impacts anthropiques. Sur la base des résultats obtenus, les teneurs en chlorures des eaux de l'oued Abdi sont généralement très élevées. Dans les

stations de hautes altitudes, les teneurs variaient entre un minimum de 24,85 mg/l (janvier 2008) et un maximum de 198,8 mg/l enregistré en septembre 2008 à la station de Mn. Alors qu'aux stations de moyenne et basse altitudes, nous avons enregistrées des valeurs plus fortes allant de 102,9 mg/l au mois de janvier 2009 à 1022,4 mg/l au mois de juin 2008 à la station de Bz. Une seule valeur faible a été notée dans cette même station en janvier 2008 et qui était équivalente à 49,7 mg/l. En réalité, les concentrations excessives en chlorures marquées dans la partie aval confirment la présence d'un impact anthropique néfaste pour les eaux des stations de Bz et Br (les rejets des eaux usées domestiques, rejets organiques des animaux arrivent du pâturage, rejets industriels des mécaniciens). En suppose que la nature géologique des terrains traversés par de l'oued Bz, l'un des principaux affluents de l'oued Abdi dont la confluence se situe à une faible distance en avant la station de Bz, contribue à l'augmentation des teneurs en chlorures des stations situées en aval (Fig.4.10).

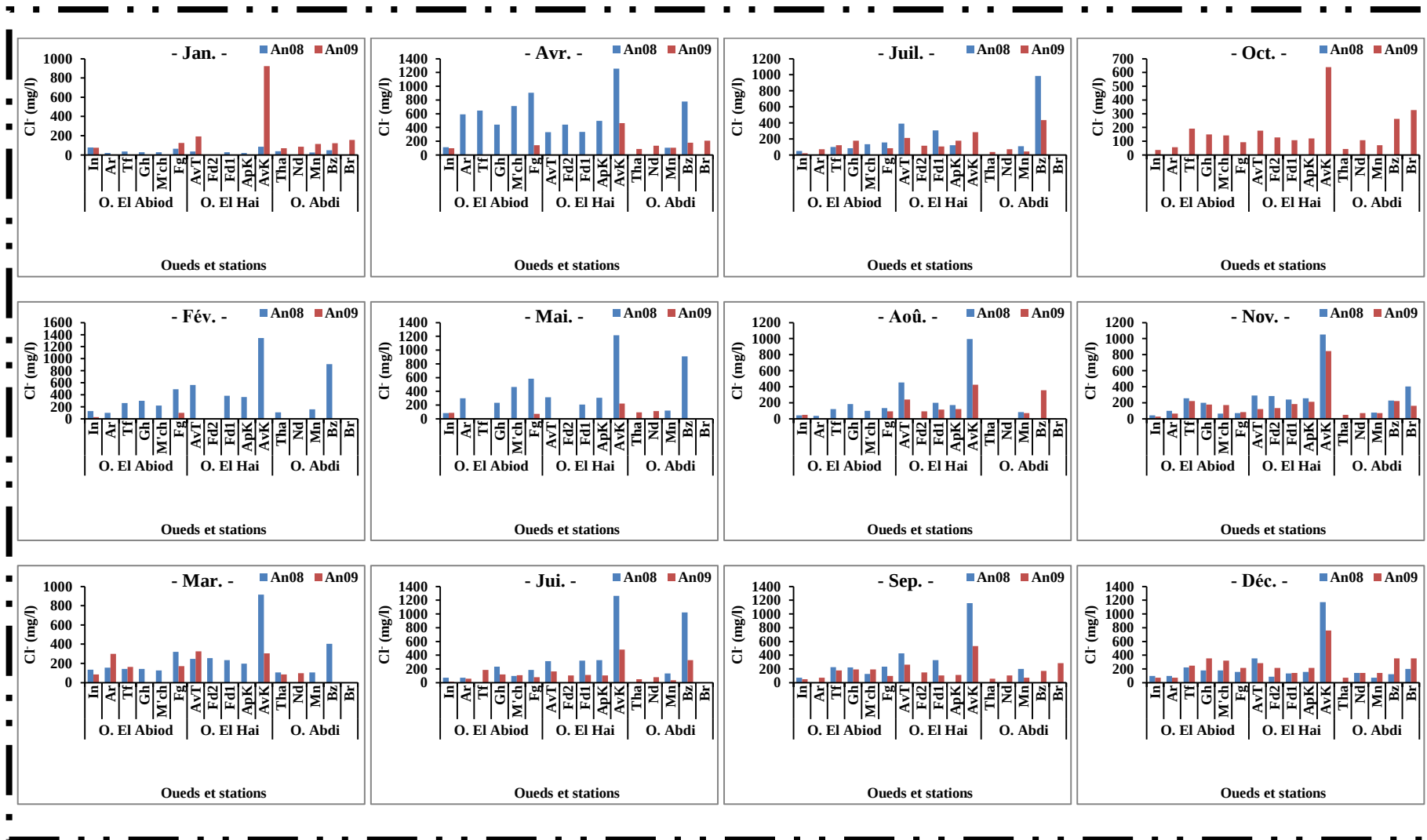


Figure 4.10. Variation spatio-temporelle des chlorures des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-11-Sulfates

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé (RODIER, 2009). NISBET et VERNEAUX (1970) qualifient de « normales » les eaux présentant une concentration en sulfates inférieure à 20 mg/l et de « particulières, plus ou moins séléniteuses ou polluées » les eaux de concentrations comprise entre 20 et 120 mg/l. La quasi-totalité de nos teneurs sont très faibles, inférieures à 1 mg/l, dans les eaux de l'oued El Abiod. Elles varient entre 0,135 mg/l enregistrées à la station d'In en janvier 2008 et 0,972 mg/l marquées à la station de Fg en avril 2008. Nous avons noté des valeurs supérieures à 1 mg/l dans la zone avale durant l'année 2008 : 2,389, 1,866 et 1,092 mg/l relevées à la station de Gh au printemps, 1,137 et 2,089 mg/l à M'ch respectivement en mars et en avril et 2,274, 2,039, 1,125 et 1,062 mg/l à Fg durant la saison printanière et durant le premier mois d'été. Selon NISBET et VERNEAUX (1970), notre cours d'eau a en général une situation normale (Fig.4.11).

Les concentrations en sulfates enregistrées au cours de notre période d'étude pour les eaux de l'oued El Hai sont comprises entre 0,198 et 2,33 mg/l. La teneur minimale est observée à la station d'AvT (février 2008) et à la station d'ApK (janvier 2008) et la teneur maximale est signalée à la station d'AvK (juin 2008). Nos valeurs sont très faibles, inférieures à 2,5 mg/l, ce qui classe notre cours d'eau dans les eaux normales d'après NISBET et VERNEAUX (1970) (Fig.4.11).

Les sulfates proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. 86 % des concentrations en sulfates des eaux de l'oued Abdi montrent des valeurs inférieures à 1 mg/l, fluctuant entre 0,148 mg/l enregistrées à la station de Mn (février 2008) et 0,994 mg/l notées à la station de Bz (août 2009). Cependant, 14 % des concentrations étaient supérieures à 1 mg/l variant entre 1,029 et 1,773 mg/l. Les deux valeurs ont été observées à la station Bz en juin 2008 et juin 2009 (Fig.4.11). D'une manière générale, les concentrations en sulfates étaient très faibles et par conséquent normales puisqu'elles n'atteignaient pas un seuil anormal qui pourrait indiquer la présence d'une pollution selon la classification de NISBET et VERNEAUX (1970).

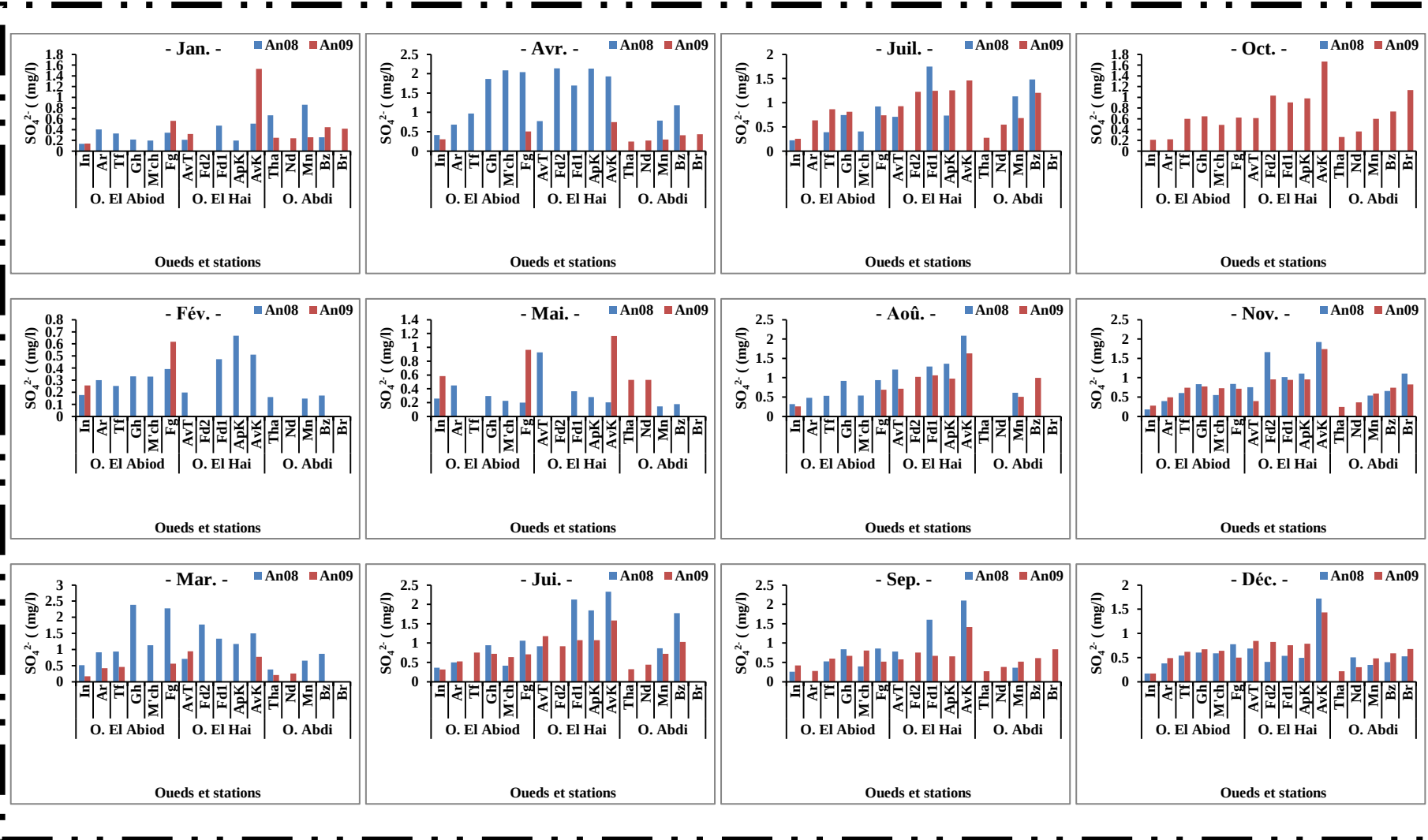


Figure 4.11. Variation spatio-temporelle des sulfates des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-12-Bicarbonates

Dans les milieux naturels, l'alcalinité exprimée en HCO_3^- varie de 10 à 350 mg/l (RODIER, 2009). Dans les eaux de l'oued El Abiod, nos concentrations en bicarbonates sont majoritairement supérieures à 100 mg/l. Elles varient entre 102 mg/l à la station de Tf (septembre 2009) et 402 mg/l à la station de Gh (août 2008). Seulement, certaines valeurs mesurées étaient faibles et ont atteint 61 mg/l en septembre 2009, 91,5 et 97,6 mg/l durant le mois de décembre 2008 et décembre 2009 à la station de Fg, 90 et 97,6 durant le mois de septembre 2009 respectivement aux stations de Gh et Ar. En traversant des terrains marno-calcaires, les eaux de l'oued El Abiod acquièrent cette alcalinité importante. En outre, la prolifération des algues (élévation de CO_2) à la station d'In durant le mois de mai 2008 et le lessivage du sol de la station de Gh suite à une forte pluie en août 2008, pourraient être à l'origine de l'augmentation de leurs teneurs respectivement en HCO_3^- qui ont atteint 390 à 402 mg/l (Fig.4.12).

Les concentrations en bicarbonates varient le long des stations de l'oued El Hai, entre 67,1 mg/l trouvé aux stations AvK (mars 2008) et Fd2 (septembre 2009) et 344,65 mg/l à la station de Fd1 (juillet 2008). Cependant les valeurs les plus fortes sont enregistrées à la station d'AvT, fluctuant entre 176,9 mg/l au mois de novembre 2009 et 902,8 mg/l en février 2008. Cette très forte alcalinité peut être justifiée par la forte pollution de cette station par les rejets des eaux usées domestiques (Fig.4.12).

Selon les propositions de NISBET et VERNEAUX (1970), les concentrations en HCO_3^- des eaux de l'oued Abdi, varient entre une limite d'alcalinité très faible de 42 mg/l en septembre 2009 à la station de Br et une autre d'alcalinité très forte équivalente à 375,15 mg/l enregistrée en mai 2008 à la station de Mn. Entre ces limites, 83 % des concentrations de l'oued Abdi représentent une alcalinité moyenne témoignant de la nature calcaro-marneuse des terrains drainés par ses eaux ; 7% présente une alcalinité faible ; alors que 7% reflète une alcalinité forte. En effet, toutes les valeurs fortes allant de 256,2 à 375 mg/l sont observées à la station de Mn de la fin du printemps jusqu'au début d'automne 2008. Ceci peut s'expliquer par l'effet de l'augmentation des températures qui font évaporer les eaux et l'amplification de la dissolution des composants riches en bicarbonates et/ou l'accélération des réactions chimiques produisant des teneurs additionnelles de cet élément. Les rejets des eaux usées urbains de la ville de Mn, ainsi que les différents apports d'origine anthropique de la pollution contribuent à l'augmentation de l'alcalinité des eaux de l'oued Abdi (Fig.4.12).

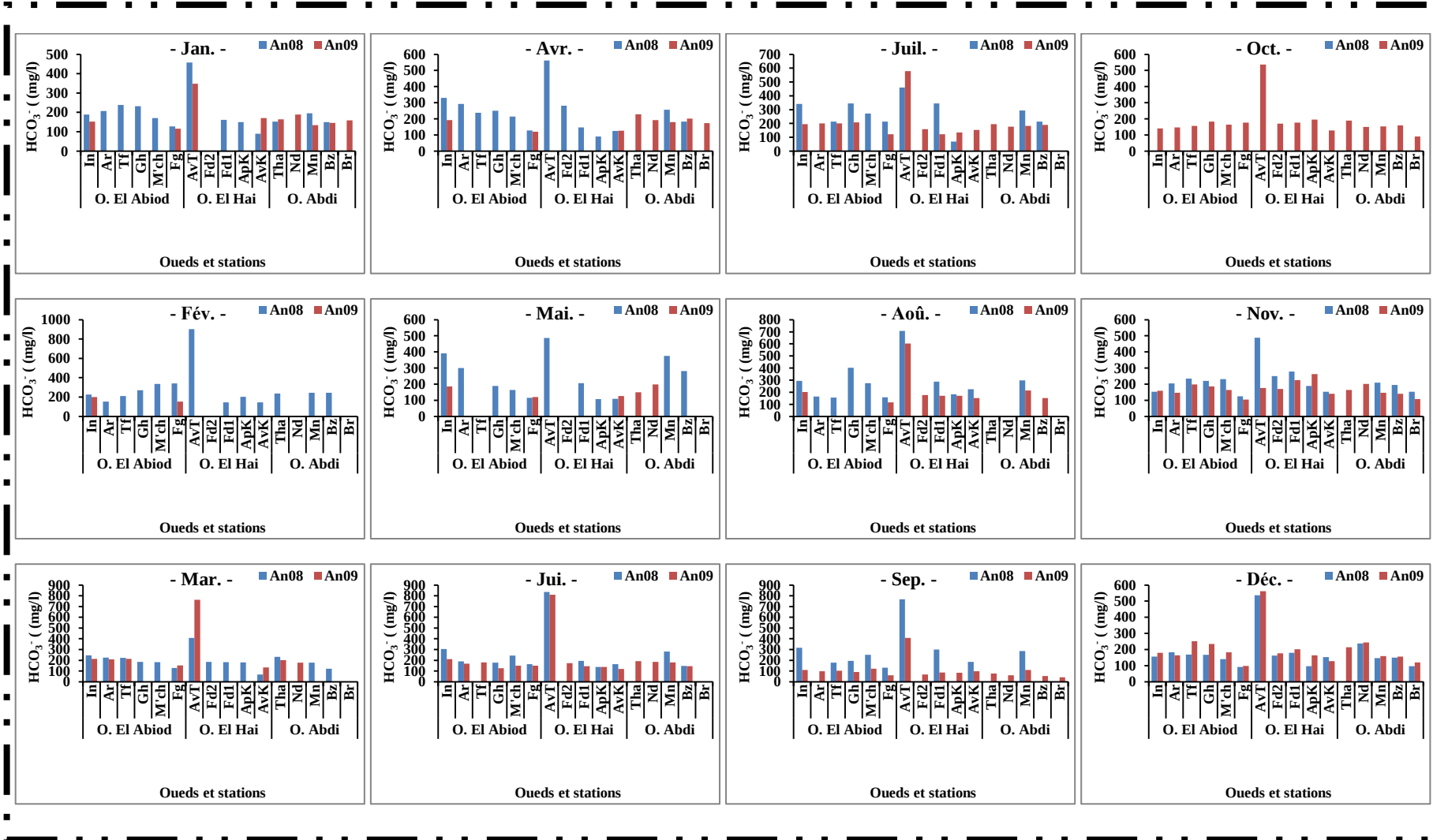


Figure 4.12. Variation spatio-temporelle des bicarbonates des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-13-Nitrites

Les nitrites peuvent être rencontrés dans les eaux, mais généralement à des doses faibles. Ils sont présentés à des niveaux bien moindres que les nitrates. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs, elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac. Les teneurs en nitrites dans les eaux de l'oued El Abiod se maintiennent à des niveaux inférieurs à 1 mg/l dans presque tous les prélèvements effectués à nos stations étudiées, à l'exception de quelques valeurs : 1,025, 1,221, 1,021 et 1,05 mg/l enregistrées à la station de Tf respectivement les mois d'août, novembre 2008 et juin, septembre 2009, et 1,211 mg/l signalée à la station de M'ch au mois d'août 2008. Les autres valeurs fluctuent entre 0,019 mg/l mesuré dans la station de Fg au mois de septembre 2008 et 0,989 mg/l trouvée durant le mois de décembre 2008 dans la station de Gh (Fig.4.13).

Les teneurs en nitrites au niveaux de toutes les stations de l'oued El Hai, en dehors de la station d'AvT, sont comprises entre 0,017 mg/l (AvK, juin 2008) et 3,558 mg/l (ApK, octobre 2009). Au niveau de la station la plus polluée d'AvT, les concentrations oscillent entre 0,203mg/l (juillet 2009) et 7,168 mg/l (juillet 2008). Ces fortes teneurs en nitrites des eaux de l'oued El Hai sont probablement dues à une perturbation du cycle de l'azote, du fait que cette forme s'oxyde en nitrates par les bactéries en présence d'oxygène (Fig.4.13).

La pollution azotée peut être estimée par le dosage des nitrites, des nitrates et des ions ammonium. Les nitrites représentant une forme moins oxygénée et moins stable, ne se maintiennent que lorsque le milieu n'est pas suffisamment oxydant et leur présence indique un état critique de pollution organique. La majorité des teneurs en nitrites (86%) des eaux de l'oued Abdi est de l'ordre des dixièmes, varient entre 0,101 mg/l enregistré aux stations Bz (mars 2008) et Mn (août 2008) et 0,991 mg/l à la station de Nd en novembre 2009. Ces valeurs indiquent une sensible pollution, selon la classification de NISBET et VERNEAUX (1970). Le reste des valeurs est reparti entre des concentrations inférieures à 0,1 mg/l (11%) et qui s'abaissent encore plus pour atteindre 0,0065 mg/l signalée dans les stations de Bz (juillet 2008) et Mn (juin 2008). Ces résultats indiquent à la présence d'une pollution insidieuse ou une perturbation du cycle de l'azote ; par contre, les concentrations supérieures ou égales à 1 mg/l, indiquent une situation à état de pollution critique. Ces fortes concentrations sont notées à la station de Nd en 2009 aux mois de septembre (1,875 mg/l) et octobre (2,524 mg/l) (Fig.4.13). Cette augmentation provient des activités humaines affectant cette station (pâturages, élevages des volailles et rejets des eaux usées domestiques).

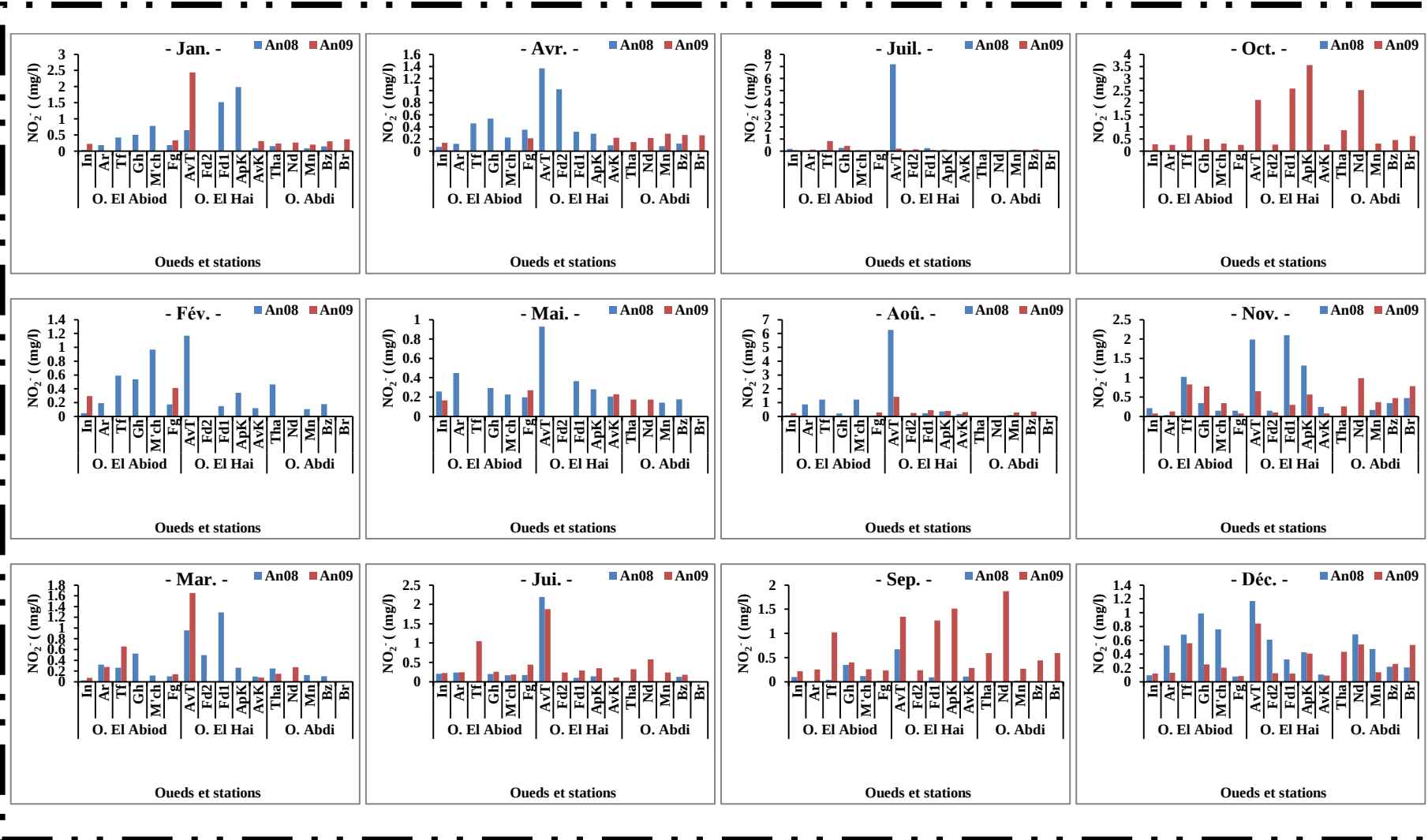


Figure 4.13. Variation spatio-temporelle des nitrites des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-14-Nitrates

Dans les eaux naturelles non polluées, le taux des nitrates varie selon la saison et l'origine des eaux. Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau ; en période de faible oxygénation (période estivale) les nitrates peuvent jouer le rôle de donneurs d'oxygène. Selon NISBET et VERNEAUX (1970), le taux des nitrates dans les eaux naturelles non polluées peut varier de 1 à 15 mg/l. Les concentrations en nitrates des eaux de l'oued El Abiod paraissent normales, puisqu'elles fluctuent dans les normes données par NISBET et VERNEAUX (1970) (de 1 à 15 mg/l). 22% des stations ont enregistré des valeurs supérieures à 3 mg/l et atteignent un pic de 6,151 mg/l en décembre 2008 au site de Gh. Ces fortes valeurs sont notées plus particulièrement à la fin de l'automne et en hiver. On peut expliquer cette augmentation par le lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles situés sur les rives de l'oued. Cependant, 15 % des concentrations s'abaissent au dessous de 1 mg/l jusqu'à un minimum de 0,417 mg/l en juillet 2008 à la station de Fg. Les restes des concentrations (63 %) oscillent entre 1,04 mg/l au mois d'août 2009 à la station de Fg et 3,06 mg/l en décembre 2009 à la station de Gh (Fig.4.14).

Les limites des concentrations en nitrates de NISBET et VERNEAUX (1970) paraissent comparables à la majorité de celles des eaux de l'oued Hai qui varient entre 1,013mg/l enregistré à la station d'AvT au mois de janvier 2009 et 12,16 mg/l observé à la station de Fd1 au mois de novembre 2008. Une seule valeur dépassant les 18 mg/l a été enregistrée à la station d'AvT en août 2008, témoignant de la pollution remarquable de cette station que l'on a constaté par l'odeur, la couleur de l'eau et la mousse qui se trouvait à sa surface. Cependant, presque 22% des concentrations s'abaissent au dessous de 1 mg/l jusqu'à un minimum de 0,339 noté à la station de Fd2 en février 2008 et à la station d'ApK en mai 2008 (Fig.4.14).

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 (EL OUALI LALAMI *et al.*, 2011). C'est exactement le cas de nos stations de l'oued Abdi qui sont soit situées très proches des terrains strictement agricoles et reçoivent, par conséquent, d'importants déversements des eaux usées, soit se trouvant dans des zones de pâturage des ovins et des bovins. De ce fait, nous avons notés des teneurs en

nitrate supérieures à 3 mg/l dans la plupart des stations étudiées de l'oued Abdi, 40%, oscillant entre 3,036 mg/l à la station de Tha (novembre 2009) et 6,32 mg/l à la station de Nd (juin 2009) qui a enregistré également, la valeur la plus élevée de 17,16 mg/l marquant la présence d'un fort impact anthropique subi par cette station. Cependant, 59% des concentrations oscillant entre 2,953 mg/l (novembre 2008) et 0,751 mg/l (avril 2008) consignée à la station de Bz (Fig.4.14).

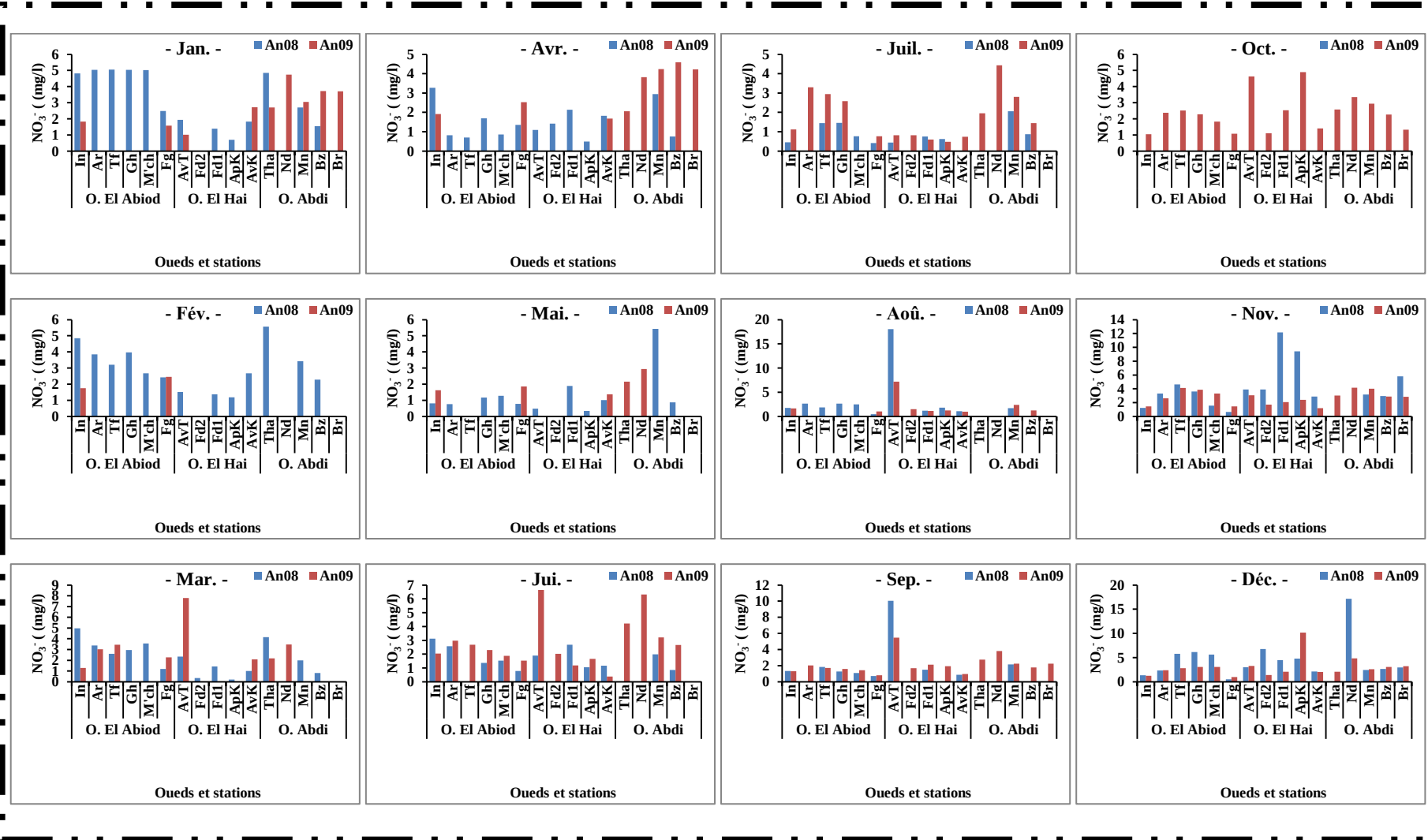


Figure 4.14. Variation spatio-temporelle des nitrates des eaux des sous bassins versants étudiés

1-2-15-Phosphores

Le phosphore fait partie des ions facilement fixés par le sol, sa présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains et à la décomposition de la matière organique (RODIER, 2009). Il représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Sa teneur élevée dans les eaux de surface peut entraîner leur eutrophisation. Dans toutes les stations prospectées à oued El Abiod et durant toute la période d'étude, la majorité des teneurs en phosphores sont inférieures à 1 mg/l à l'exception de quelques valeurs maximales enregistrées en juillet et août 2008 à la station Gh avec respectivement 1,24 et 1,23 mg/l, et à la station d'Ar en août 2008 avec 2,42 mg/l. Ces fortes valeurs sont probablement liées aux rejets urbains des agglomérations avoisinantes et à l'usage abusif d'engrais phosphatés dans les terrains agricoles s'étendant sur les bordures de l'oued. 70% des teneurs en phosphores enregistrées le long des stations de l'oued El Abiod, varient entre 0,03 mg/l aux mois de mars 2008 et février 2009 à la station de Fg et 0,099 mg/l au mois de mars 2009 à la station d'Ar. Seulement 23 % des concentrations sont de l'ordre des dixièmes allant de 0,102 mg/l au mois de mars 2009 à la station de Tf jusqu'à 0,96 mg/l au mois d'août 2008 aux stations de Tf et M'ch. Alors que les teneurs minimales en phosphores ont été enregistrées à la station de Fg avec 0,008 mg/l aux mois de septembre 2008 et mars 2009 (Fig.4.15).

A l'exception de la station d'AvT qui a montré les teneurs les plus élevées en phosphores et qui a atteint 5,79 mg/l au mois de décembre 2009, 75% des concentrations des eaux de l'oued El Hai sont inférieures à 1 mg/l durant toute notre période d'étude. 2 autres valeurs supérieures à 1 mg/l : 1,22 et 1,33 mg/l ont été marquées respectivement au mois de décembre 2009 à la station d'ApK et en novembre à la station 2008 à la station de Fd1. Les fortes valeurs sont probablement liées aux rejets urbains des agglomérations avoisinantes et à l'usage abusif d'engrais phosphatés dans les terrains agricoles situés sur les rives de l'oued. Les valeurs les plus basses des teneurs en phosphores sont observées à la station de Fd1 en septembre 2008 avec 0,009 mg/l et à la station d'ApK en mai 2008 avec 0,007 mg/l (Fig.4.15).

La majorité des teneurs en phosphores sont inférieures à 1 mg/l dans toutes les stations de l'oued Abdi durant notre période d'étude, à l'exception de la valeur maximale enregistrée à la station de Bz (1,216 mg/l) aux mois de janvier et mai 2008. L'élévation de la concentration des phosphores dans cette station peut être liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique des rejets urbains provenant des agglomérations avoisinantes situées sur les bords de l'oued. 69% des teneurs en phosphores enregistrées le

long des stations de l'oued Abdi, présentent des valeurs oscillant entre 0,013mg/l relevée à la station de Mn en septembre 2008 et 0,092 mg/l en mars de la même année. Seulement 27% des concentrations sont de l'ordre des dixièmes allant de 0,101 mg/l au mois de septembre 2009 à la station de Br jusqu'à 0,537 mg/l enregistré en décembre 2009 à la station de Tha. Alors que, la valeur minimale des teneurs en phosphores a été relevée à la station de Tha avec 0,005 mg/l en mars 2009 (Fig.4.15).

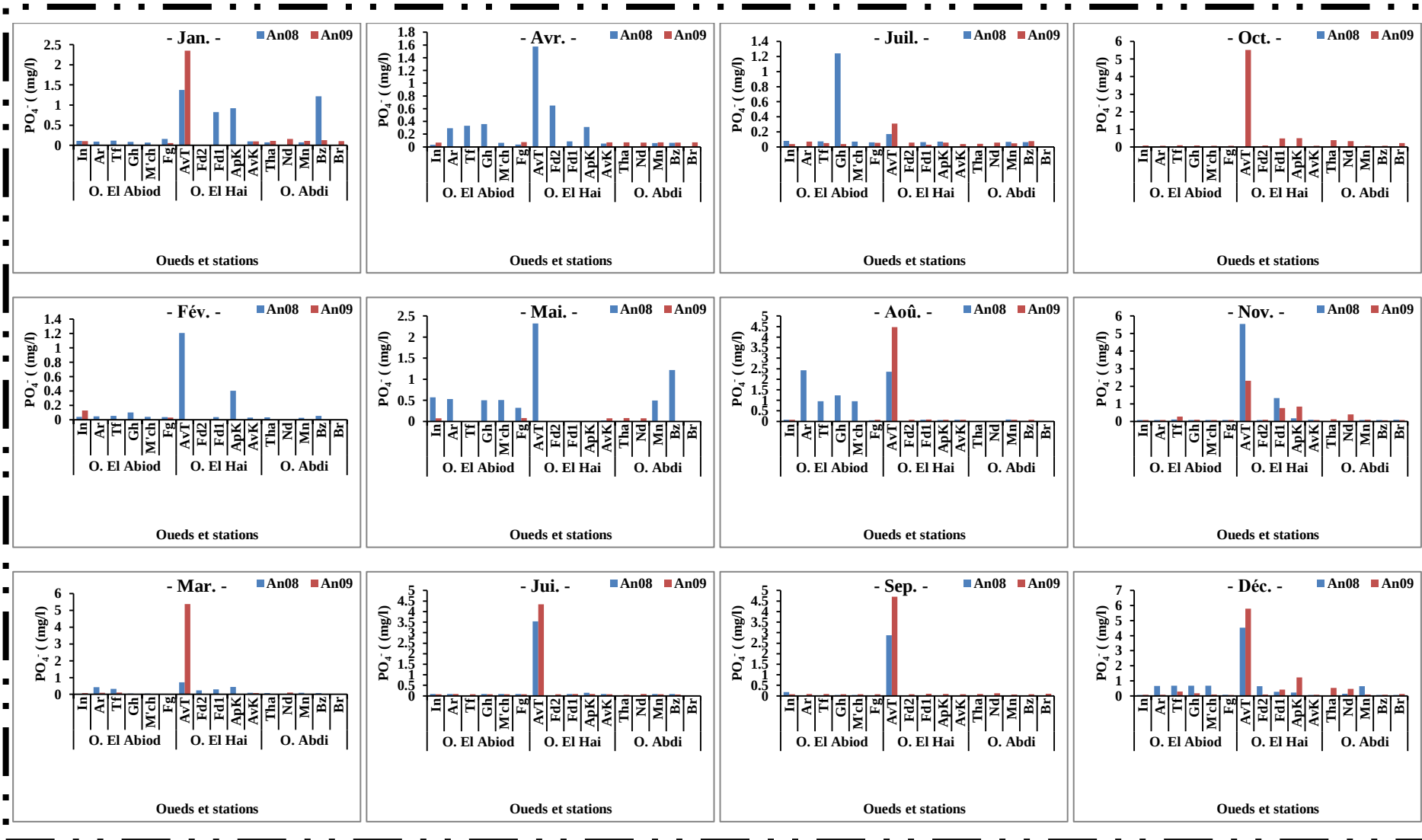


Figure 4.15. Variation spatio-temporelle du phosphore des eaux des sous bassins versants étudiés

1-3-Traitement statistique des données

1-3-1-Corrélation de Pearson (n)

Les inter-relations entre les différents paramètres physico-chimiques, en calculant leurs moyennes, ont été déterminées à partir de la matrice de corrélation (Pearson (n)). L'analyse de cette matrice a révélé que les divers variables sont inter corrélées significativement entre elles. Les corrélations les plus significatives sont (Tab.4.2) :

* La minéralisation exprimée par la conductivité électrique et la salinité, a montré une corrélation hautement positive avec les différents ions majeurs dosés. De même ces derniers sont fortement corrélés par une relation croissante entre eux. Ce qui reflète l'influence de la nature géologique des terrains traversés sur les eaux de l'Aurès. Leurs coefficients de corrélation sont hautement significatifs : Sa/EC ($r= 0.999$), Sa/Ca²⁺ ($r=0,882$), Sa/Mg²⁺ ($r=0,895$), Sa/SO₄²⁻ ($r= 0,885$), Sa/Cl⁻ ($r= 0,921$), EC/Ca²⁺ ($r=0,891$), EC/Mg²⁺ ($r=0,909$), EC/SO₄²⁻ ($r=0,902$), EC/Cl⁻ ($r=0,905$), Ca²⁺/Mg²⁺ ($r=0,970$), Ca²⁺/SO₄²⁻ ($r= 0,955$), Ca²⁺/Cl⁻ ($r= 0,816$), Mg²⁺/SO₄²⁻ ($r=0,988$), Mg²⁺/Cl⁻ ($r=0,769$) et SO₄²⁻/Cl⁻ ($r=0,731$).

* Une corrélation fortement positive a été observée entre les paramètres indicateurs d'une pollution d'origine anthropique provenant essentiellement des eaux usées urbaines des agglomérations ou des engrais utilisés dans les terrains agricoles avoisinants les cours d'eaux étudiés. Ainsi, nous avons remarqué des corrélations significatives entre NO₂⁻/PO₄⁻ ($r= 0,899$), NO₂⁻/HCO₃⁻ ($r= 0,830$) et PO₄⁻/HCO₃⁻ ($r= 0,960$).

* Une relation fortement décroissante, mentionnée par des coefficients de corrélation négatifs hautement significatifs, a été signalée entre Al/Lm ($r= -0,812$), Od/PO₄⁻ ($r= -0,831$) et Od/HCO₃⁻ ($r= -0,839$). Cependant, la relation croissante entre la température moyenne et la largeur moyenne a un coefficient de corrélation positif égal à 0,705.

* Autres coefficients de corrélation, paraissent en gras dans le tableau de la matrice, sont moyennement significatifs ($r \geq 0,5$ ou $r \leq -0,5$) et indiquent que les paramètres considérés sont moyennement corrélés par une relation croissante ou décroissante telles que : Al/Tm ($r= -0,670$), Tm/Mg²⁺ ($r= 0,638$), EC/Vm ($r= -0,547$) et Lm/SO₄²⁻ ($r= 0,512$).

Les niveaux de liaisons des restes des paramètres sont généralement faibles et ne présentent pas de corrélations significatives entre elles.

Tableau 4.2. Matrice de corrélation Pearson (n)

	Al	Lm	Pr	Q	Tm	pH	Sa	EC	Od	Vm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	MES	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Al	1																		
Lm	-0,812	1																	
Pr	-0,261	0,363	1																
Q	-0,556	0,510	0,680	1															
Tm	-0,670	0,705	0,417	0,467	1														
pH	0,083	-0,111	-0,237	-0,141	-0,421	1													
Sa	-0,525	0,480	0,199	-0,009	0,568	-0,173	1												
EC	-0,532	0,474	0,189	-0,025	0,555	-0,158	0,999	1											
Od	-0,044	-0,062	-0,051	0,159	-0,127	0,650	-0,128	-0,110	1										
Vm	0,100	-0,249	0,175	0,556	-0,154	0,019	-0,533	-0,547	0,348	1									
Ca ²⁺	-0,648	0,499	0,255	0,191	0,610	-0,094	0,882	0,891	0,168	-0,331	1								
Mg ²⁺	-0,697	0,579	0,292	0,159	0,638	-0,110	0,895	0,909	0,087	-0,433	0,970	1							
SO ₄ ²⁻	-0,668	0,512	0,333	0,151	0,590	-0,119	0,885	0,902	0,075	-0,442	0,955	0,988	1						
NO ₂ ⁻	0,077	0,070	-0,115	-0,425	-0,106	0,103	0,155	0,156	-0,594	-0,627	-0,188	-0,032	-0,025	1					
NO ₃ ⁻	0,371	-0,307	-0,365	-0,413	-0,393	0,436	-0,303	-0,303	-0,131	-0,127	-0,568	-0,511	-0,483	0,627	1				
PO ₄ ⁻	0,149	-0,034	-0,028	-0,413	-0,103	-0,229	0,202	0,195	-0,831	-0,569	-0,185	-0,051	-0,027	0,899	0,420	1			
MES	0,296	-0,344	0,245	-0,364	-0,338	0,199	0,078	0,097	0,035	-0,289	0,067	0,083	0,162	0,184	0,083	0,211	1		
Cl ⁻	-0,527	0,483	0,143	0,096	0,615	-0,236	0,921	0,905	-0,118	-0,313	0,816	0,769	0,731	-0,037	-0,347	0,062	-0,072	1	
HCO ₃ ⁻	0,321	-0,167	-0,043	-0,457	-0,210	-0,319	0,058	0,051	-0,839	-0,443	-0,321	-0,193	-0,168	0,830	0,425	0,960	0,228	-0,070	1

1-3-2-Variabilité inter-spatiale et inter-temporelle de la qualité physico-chimique

Pour connaître si les diverses mesures physico-chimiques diffèrent significativement en fonction de l'espace et du temps, nous avons adopté une analyse de variance à deux facteurs pour détecter la différence des paramètres mesurés entre les stations de nos 3 oueds et entre les 2 années d'étude.

Les résultats de l'ANOVA2, exposés ci-dessous, sur l'ensemble des valeurs moyennes des 19 paramètres physico-chimiques mesurés pour chaque oued étudiés durant 2 ans d'étude montrent une différence spatiale plus marquée significativement que la différence temporelle. Les valeurs de p concernant six paramètres, Sa, EC, Vm, Ca^{2+} , Mg^{2+} et SO_4^{2-} , sont inférieures au seuil de signification 0,05. Donc, nous rejetons l'hypothèse nulle (H_0 : pas de différence significative entre les échantillons). La comparaison des taux de ces paramètres mesurés dans chaque station prospectée le long des 3 oueds, présente une différence spatiale significative avec un risque d'erreur de 5 %. En comparant les 2 années d'étude, seulement 3 paramètres (Q, Vm et Mg^{2+}) manifestent des différences temporelles significatives avec un seuil de signification de 5% (Tab.4.3).

En ce qui concerne l'interaction entre les 2 facteurs, oueds et années, seul le paramètre Tm a une interaction significative au seuil de signification avec une valeur de p égale à 0,013766 (Tab.4.3).

Puisque l'ANOVA a détecté des différences significatives parmi les moyennes des paramètres (Fig.4.16) des deux facteurs et leur interaction, nous avons procédé à une analyse plus poussée en réalisant le test de Newman & Keuls. Les conclusions de ce test signalent qu'oued El Hai présente des moyennes significativement différentes des deux autres oueds ; et que la moyenne de température de l'oued Abdi en 2008 diffère significativement de l'autre année 2009 et diffère aussi des autres oueds durant les 2 années de travail (Tab.4.4).

Tableau 4.3. Résultats univariés de l'ANOVA 2 pour chaque paramètre mesuré
(Les valeurs de p en gras italique indiquent les différences significatives)

Paramètres	Comparaison	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	Valeur de F	Valeur de P
Altitude (Al)	Années	0	1	0	0,00000	1,000000
	Oueds	289185	2	144593	0,79312	0,463075
	Années*Oueds	0	2	0	0,00000	1,000000
Largeur moyenne (Lm)	Années	36,032	1	36,032	4,1552	0,051797
	Oueds	22,523	2	11,262	1,2987	0,290003
	Années*Oueds	6,998	2	3,499	0,4035	0,672067
Profondeur Moyenne (Pr)	Années	2,88	1	2,88	0,0449	0,833834
	Oueds	76,06	2	38,03	0,5920	0,560509
	Années*Oueds	127,80	2	63,90	0,9947	0,383490
Débit (Q)	Années	4,77579	1	4,77579	5,74335	0,024035
	Oueds	0,56730	2	0,28365	0,34112	0,714109
	Années*Oueds	0,72879	2	0,36439	0,43822	0,649861
Température Moyenne (Tm)	Années	6,266	1	6,266	0,880	0,356896
	Oueds	36,627	2	18,313	2,571	0,095731
	Années*Oueds	72,312	2	36,156	5,076	0,013766
potentiel hydrogène (pH)	Années	0,120	1	0,120	1,79	0,193025
	Oueds	0,089	2	0,045	0,66	0,523915
	Années*Oueds	0,145	2	0,072	1,07	0,356969
Salinité (Sa)	Années	0,35446	1	0,35446	1,81916	0,189044
	Oueds	4,78088	2	2,39044	12,26824	0,000177
	Années*Oueds	0,42123	2	0,21061	1,08091	0,354049
Conductivité électrique (EC)	Années	1127967	1	1127967	2,1344	0,156010
	Oueds	14574416	2	7287208	13,7891	0,000083
	Années*Oueds	1244524	2	622262	1,1775	0,323953
Oxygène dissous (Od)	Années	0,505	1	0,505	0,1422	0,709146
	Oueds	10,630	2	5,315	1,4962	0,242632
	Années*Oueds	5,565	2	2,783	0,7834	0,467345
Vitesse du courant moyenne	Années	9598,5	1	9598,5	47,2712	0,000000
	Oueds	3867,4	2	1933,7	9,5231	0,000789
	Années*Oueds	542,5	2	271,2	1,3358	0,280389
Calcium (Ca²⁺)	Années	10942,5	1	10942,5	3,9278	0,058159
	Oueds	40890,3	2	20445,2	7,3387	0,002972
	Années*Oueds	5047,7	2	2523,9	0,9059	0,416547
Magnésium (Mg²⁺)	Années	22441,0	1	22441,0	9,2277	0,005370
	Oueds	53281,1	2	26640,5	10,9545	0,000354
	Années*Oueds	7121,1	2	3560,5	1,4641	0,249737
Sulfates (SO₄²⁻)	Années	0,20855	1	0,20855	3,2110	0,084792
	Oueds	1,78547	2	0,89274	13,7453	0,000085
	Années*Oueds	0,02894	2	0,01447	0,2228	0,801798
Nitrites (NO₂⁻)	Années	0,000091	1	0,000091	0,00052	0,981935
	Oueds	1,104590	2	0,552295	3,17726	0,058277
	Années*Oueds	0,068023	2	0,034011	0,19566	0,823490
Nitrates (NO₃⁻)	Années	10,9883	1	10,9883	1,62282	0,213970
	Oueds	31,8938	2	15,9469	2,35514	0,114806
	Années*Oueds	13,6932	2	6,8466	1,01115	0,377663
Phosphores (PO₄⁻)	Années	0,00189	1	0,001888	0,003299	0,954637
	Oueds	2,94229	2	1,471143	2,570116	0,095823
	Années*Oueds	0,29140	2	0,145700	0,254542	0,777181
Matières en suspension (MES)	Années	0,000018	1	0,000018	0,0680	0,796394
	Oueds	0,001028	2	0,000514	1,9574	0,161490
	Années*Oueds	0,000343	2	0,000172	0,6533	0,528673
Chlorures (Cl⁻)	Années	106140	1	106140	3,17764	0,086334
	Oueds	156252	2	78126	2,33896	0,116391
	Années*Oueds	26599	2	13299	0,39816	0,675579
Bicarbonates (HCO₃⁻)	Années	16287	1	16287	1,4890	0,233317
	Oueds	27103	2	13552	1,2390	0,306220
	Années*Oueds	531	2	265	0,0243	0,976059

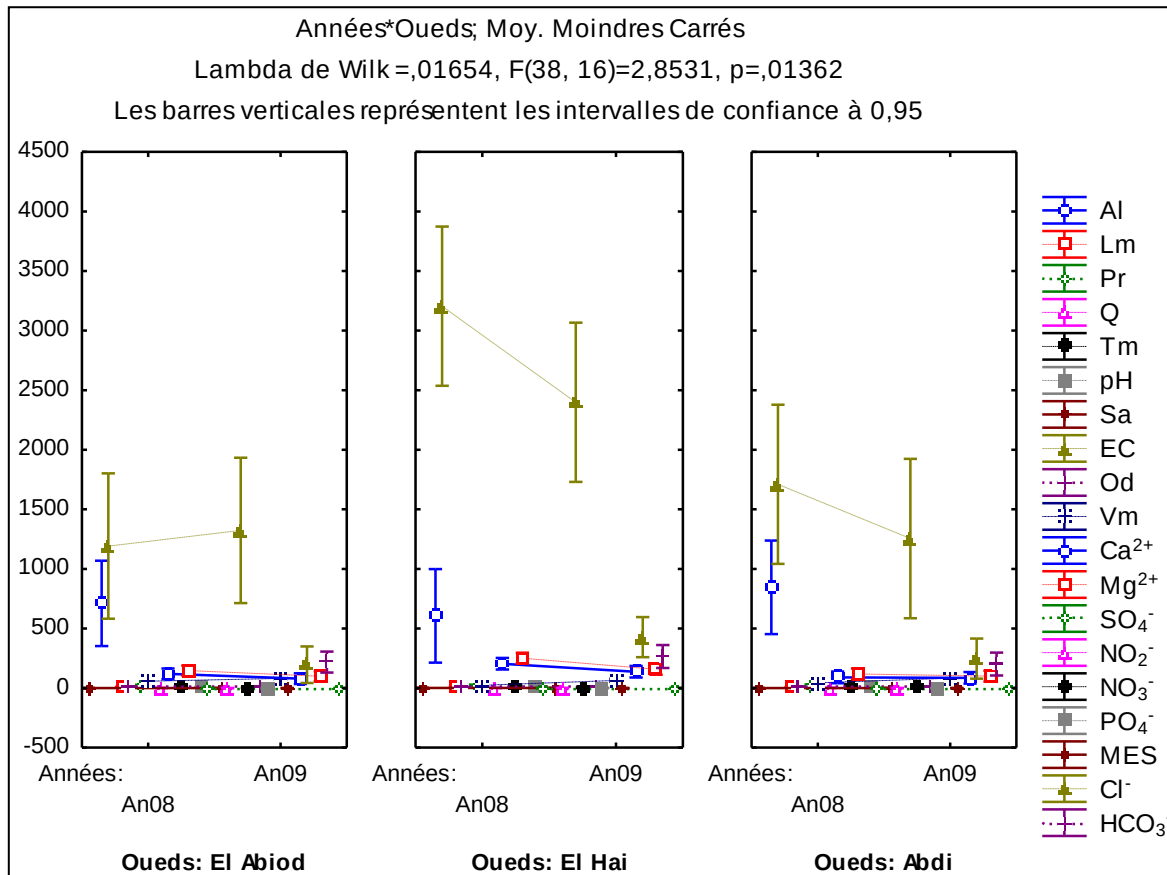


Figure 4.16. Graphes des interactions des valeurs moyennes des mesures physico-chimiques

Tableau 4.4. Test a posteriori de Newman & Keuls (Les valeurs de p en gras italique indiquent les différences significatives entre les 2 observations comparées)

Effet oueds	Sa	EC	Vm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
O. El Abiod /O. El Hai	<i>0,000374</i>	<i>0,000244</i>	<i>0,000924</i>	<i>0,004722</i>	<i>0,000965</i>	<i>0,000266</i>
O. El Abiod /O. Abdi	0,482794	0,482518	0,312436	0,620896	0,528468	0,809270
O. El Hai /O. Abdi	<i>0,000714</i>	<i>0,000426</i>	<i>0,004182</i>	<i>0,003688</i>	<i>0,000555</i>	<i>0,000308</i>
Effet années	Q		Vm		Mg ²⁺	
An08/An09	<i>0,027887</i>		<i>0,000146</i>		<i>0,005626</i>	
Effet années*oueds				Tm		
An08 O. El Abiod/An08 O. El Hai				0,752176		
An08 O. El Abiod/An08 O. Abdi				<i>0,026023</i>		
An08 O. El Abiod/An09 O. El Abiod				0,892941		
An08 O. El Abiod/An09 O. El Hai				0,858270		
An08 O. El Abiod/An09 O. Abdi				0,968662		
An08 O. El Hai/An08 O. Abdi				<i>0,017243</i>		
An08 O. El Hai/An09 O. El Abiod				0,840351		
An08 O. El Hai/An09 O. El Hai				0,831269		
An08 O. El Hai/An09 O. Abdi				0,931647		
An08 O. Abdi/An09 O. El Abiod				<i>0,018681</i>		
An08 O. Abdi/An09 O. El Hai				<i>0,031905</i>		
An08 O. Abdi/An09 O. Abdi				<i>0,018673</i>		
An09 O. El Abiod/An09 O. El Hai				0,858679		
An09 O. El Abiod/An09 O. Abdi				0,783693		
An09 O. El Hai/An09 O. Abdi				0,629385		

1-3-3-Etude typologique des réseaux hydrographiques El Abiod, El Hai et Abdi.

1-3-3-1-Etude typologique du réseau hydrographique El Abiod

1-3-3-1-1-Variabilité spatiale de la qualité physico-chimique : l'analyse en composantes principales des paramètres mésologiques et physico-chimiques, dans les différentes stations prospectées, montre que les deux premiers axes F1 et F2 détiennent l'essentiel de l'information puisqu'ils présentent 74,09% de l'inertie totale. L'examen des corrélations entre les axes et les différentes composantes mésologiques et physico-chimiques permet d'expliquer la signification de chaque axe dans la répartition structurée du nuage des stations et la relation entre la structure typologique et les variables du milieu. L'axe F1 (43,05% de l'inertie totale) est corrélé surtout avec l'altitude, les sulfates, les duretés calcique et magnésienne, les chlorures, la température moyenne et la minéralisation. L'axe F2 (31,04% de l'inertie totale) s'explique principalement par les nitrates et nitrites, l'oxygène dissous, les matières en suspension, le pH et le phosphore (Fig.4.17a).

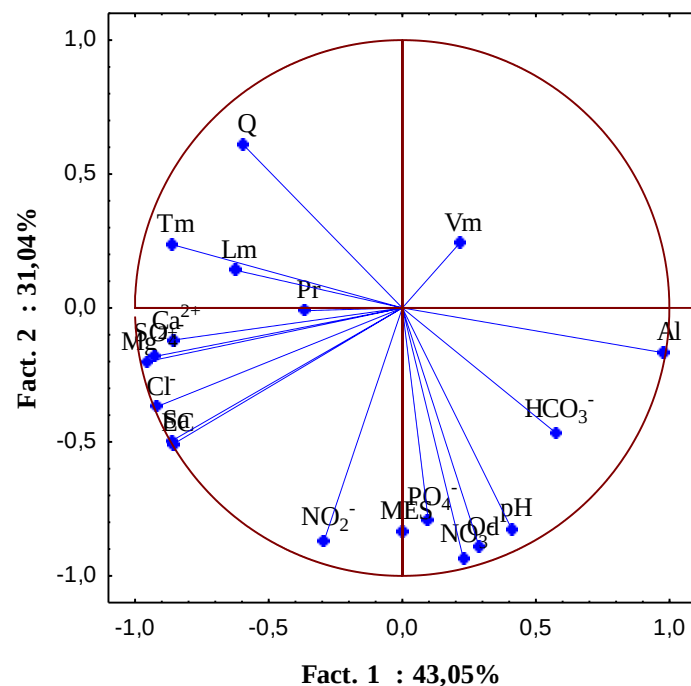


Figure 4.17a. Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques de l'oued El Abiod dans le plan F1-F2 de l'ACP

Ainsi, le plan F1-F2 permet de discriminer trois groupements de stations (Fig.4.17b) :

* Groupe I renferme deux stations du cours supérieur à hautes altitudes, une permanente (In) et l'autre temporaire (Ar), caractérisées par une faible largeur (5,17 et 5,45 m), des eaux fraîches durant les périodes hivernale et printanière (14,11 et 17,04°C), une minéralisation faible (588,74 et 945,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), peu chargées en matières en suspension et présentant une

faible dureté calcique (59,53 et 67,89 mg/l) et magnésienne (68,59 et 93,31 mg/l). La station d'Ar se caractérise par des teneurs additionnelles en nitrates et phosphores provenant des activités de pâturage et de l'élevage des volailles au voisinage.

* Groupe II constitué de deux stations semi permanentes du cours moyen à moyenne altitude dont l'une (Tf) avec une faible profondeur (14,63 cm) et une dureté calcique et magnésienne moyenne (112,67 et 138,60 mg/l) ; et l'autre station (Gh) est profonde (32,89 cm) avec une dureté calcique et magnésienne plus élevée (134,34 et 158,18 mg/l). Elles représentent une forte minéralisation (1512,8 et 1646,71 $\mu\text{S/cm}$), une forte alcalinité en ions bicarbonates (197,41 et 215,32 mg/l), des teneurs importantes en chlorures, sulfates, nitrites, nitrates, en matières organiques et en phosphores ce qui entraîne le développement excessif des algues. Ces derniers augmentent l'activité photosynthétique qui se traduit par une bonne oxygénation des eaux de ces stations (9 et 8,05 mg/l) qui sont entourées par des terrains agricoles et des hautes montagnes et sont sous l'influence de plusieurs activités humaines (Ex : pâturage) entraînant, par conséquent, l'augmentation des concentrations des différents ions Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- .

*Groupe III se compose de deux stations permanentes du cours inférieur à basses altitudes (M'ch et Fg) se caractérisant par un débit élevé (1,69 et 1,96 m^3/s), une minéralisation assez forte (1344,31 et 1381,83 $\mu\text{S/cm}$), une dureté calcique (89,13 et 145,86 mg/l) et magnésienne assez importante (134,36 et 163,19 mg/l) et une faible concentration en oxygène dissous (6,73 et 6,26 mg/l). L'augmentation des températures dans ces stations, accélère l'évaporation des eaux, réduit le taux d'oxygène et fait élever généralement les concentrations des ions.

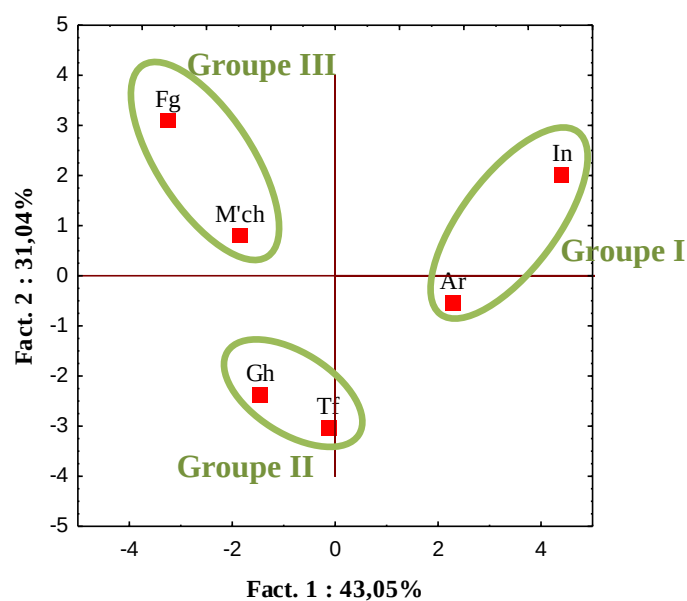


Figure 4.17b. Structure du nuage-stations de l'oued El Abiod dans le plan F1-F2 de l'ACP

1-3-3-1-2-Classification des stations en fonction de leur qualité physico-chimique: une classification ascendante hiérarchique a été effectuée sur les données physico-chimiques et mésologiques des 6 stations prospectées afin de compléter les résultats de l'ACP. La classification a été réalisée sur les valeurs moyennes des stations calculées à partir des données des différentes campagnes de prélèvement. Cette analyse nous a permis de distinguer 3 groupements de stations, les mêmes que ceux de l'ACP, en fonction de l'altitude, des influences anthropiques auxquelles elles sont soumises, de leur localisation et/ou du substrat géologique du sous bassin versant (Fig.4.18) : Groupe des stations du cours supérieur de haute altitude, une permanente (In) et l'autre temporaire (Ar) soumises à l'impact d'importantes activités anthropiques ; groupe des stations semi permanentes du cours moyen de moyenne altitude, Tf et Gh qui sont entourées par un paysage montagneux et le groupe des stations permanentes du cours inférieur de basse altitude (M'ch et Fg).

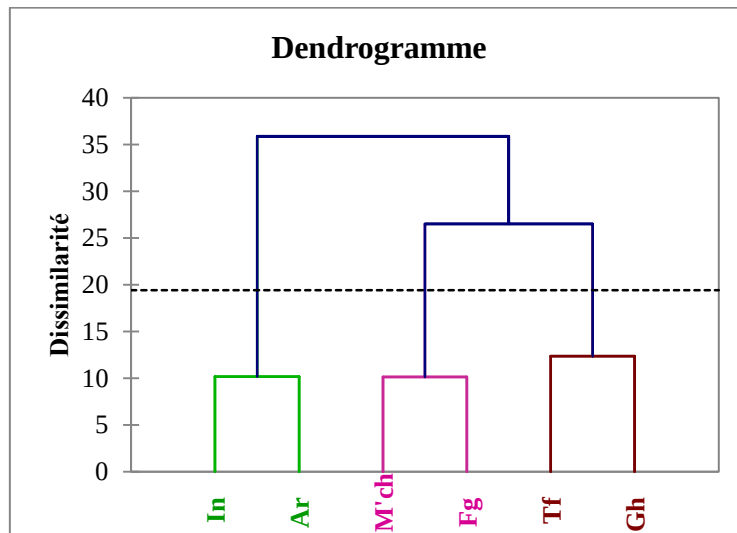


Figure 4.18. Classification hiérarchique des stations de l'oued El Abiod réalisée à partir des moyennes des paramètres physico-chimiques-mésologiques.

1-3-3-2-Etude typologique du réseau hydrographique El Hai

1-3-3-2-1-Variabilité spatiale de la qualité physico-chimique : une analyse en composantes principales a été réalisée sur une matrice des moyennes des 19 paramètres mésologiques et physico-chimiques des cinq stations prospectées à oued El Hai. Les deux premiers axes F1 et F2 représentent l'essentiel de l'information avec 74,09% de l'inertie totale. La projection de cercle des corrélations entre les axes et les différentes composantes mésologiques et physico-chimiques étudiées indique que l'axe F1, avec 55,22% de l'inertie totale, présente de fortes corrélations avec l'altitude, la dureté calcique et magnésienne, les sulfates, les nitrates et nitrites, les bicarbonates et le phosphore. L'axe F2 (25,29% de l'inertie totale), prend en compte le pH, la minéralisation et les chlorures (Fig.4.19a).

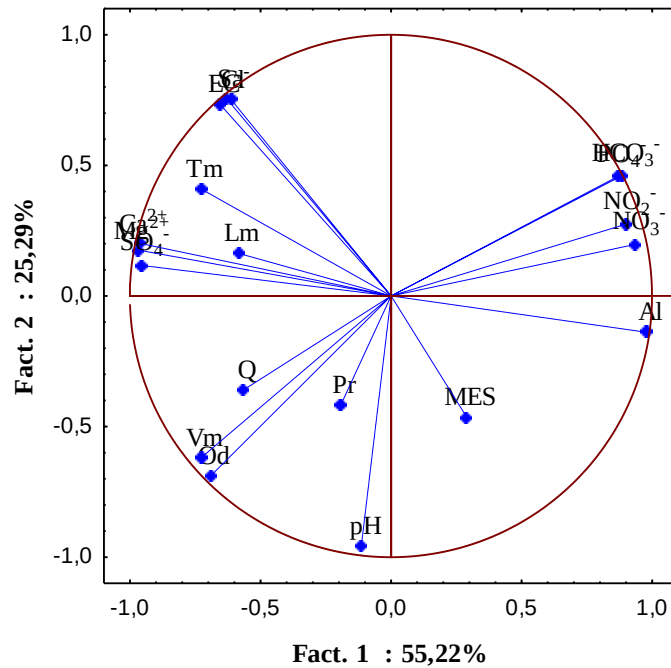


Figure 4.19a. Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques de l'oued El Hai dans le plan F1-F2 de l'ACP

Trois groupements de stations s'individualisent sur le plan factoriel F1-F2 (Fig.4.19b):

* Groupe I formé d'une station semi permanente du cours supérieur (AvT) à haute altitude qui se caractérise par une faible oxygénation (2,08 mg/l), une faible dureté calcique et magnésienne (80,09 et 132,24 mg/l) et de fortes teneurs en bicarbonates (570,03 mg/l), en nitrites (1,85 mg/l), en nitrates (4,23 mg/l) et en phosphores (3,07 mg/l) résultant de la nature des terrains drainés par les eaux et de la forte pollution provenant des eaux usées domestiques de la ville d'Ain Touta.

* Groupe II contenant trois stations du cours moyen à moyenne altitude dont l'une (Fd2) est temporaire, et les deux autres (Fd1 et ApK) sont semi permanentes. Elles possèdent de forts pH (8,41, 8,29 et 8,62), la meilleure oxygénation (9,21, 8,90 et 9,01 mg/l), des vitesses du courant assez rapides (47,91, 47,38 et 45,78 cm/s), une dureté calcique (168,55, 163,19 et 162,88 mg/l) et magnésienne moyenne (200,63, 212,63 et 192,1 mg/l) et une alcalinité moyenne en ions bicarbonates (179,56, 197,52 et 150,37 mg/l). Les stations Fd1 et Fd2 se repartissent sur l'un des affluents de l'oued El Hai, oued Fedhala, ce qui pourrait être à l'origine de l'amélioration de leur qualité et de la modération de la concentration de leurs différents composants chimiques.

*Groupe III constitué d'une station permanente du cours inférieur (AvK) qui se situe à une basse altitude (250 m) et possède une très forte minéralisation (4475,52 mg/l) avec des

duretés calcique et magnésienne élevées (283,24 et 281,54 mg/l). Elle est caractérisée également, par de fortes teneurs en chlorures et sulfates (777,62 et 281,54 mg/l) et des températures élevées (20,56°C). Ces caractéristiques sont liées principalement à la nature géologique des terrains traversés et à l'érosion des roches superficielles de cette station, en plus, des activités anthropiques.

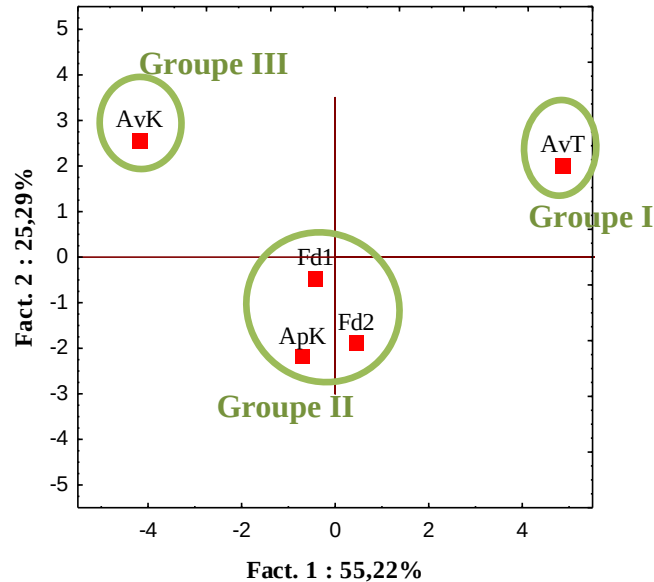


Figure 4.19b. Structure du nuage-stations de l'oued El Hai dans le plan F1-F2 de l'ACP

1-3-3-2-2-Classification des stations en fonction de leur qualité physico-chimique: la situation au sous bassin versant de l'oued El Hai se distingue principalement par trois ensembles de stations identiques aux résultats de l'ACP (Fig.4.20) :

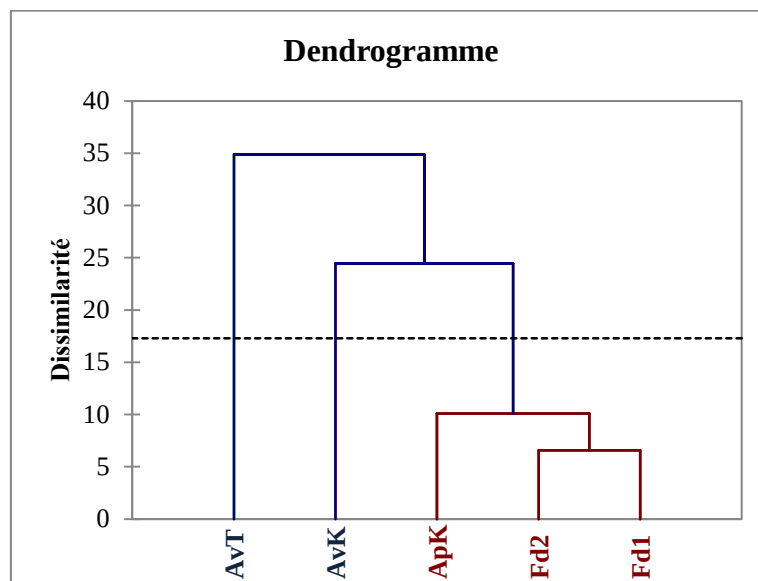


Figure 4.20. Classification hiérarchique des stations de l'oued El Hai réalisée par les moyennes des paramètres physico-chimiques-mésologiques

Un premier ensemble constitué par la station permanente de l'amont (AvT) qui est caractérisée par une importante pollution due aux eaux usées urbaines de la ville d'Ain Touta ; le second ensemble est formé par la station permanente de l'aval (AvK) qui se trouve sous l'influence des différents facteurs naturels et anthropiques et le troisième ensemble du cours moyen est constitué par une station semi permanente qui fait partie du lit principal de l'oued El Hai, et deux autres stations semi permanente et temporaire qui appartiennent à l'un de ses affluents, oued Fedhala.

1-3-3-3-Etude typologique du réseau hydrographique Abdi

1-3-3-3-1-Variabilité spatiale de la qualité physico-chimique: l'analyse en composantes principales effectuée par le biais des mêmes paramètres mésologiques et physico-chimiques appliqués dans les autres bassins versant indique que les deux premiers facteurs F1 et F2 évoquent 81,16% de l'inertie totale. Plusieurs paramètres, à savoir les sulfates, la dureté calcique et magnésienne, la minéralisation, les chlorures, le débit, la largeur moyenne et l'altitude, sont corrélés essentiellement avec l'axe F1 (53,93% de l'inertie totale). L'axe F2 (27,23% de l'inertie totale), s'explique principalement par le pH, l'oxygène dissous, les bicarbonates, les nitrites et la profondeur moyenne (Fig.4.21a).

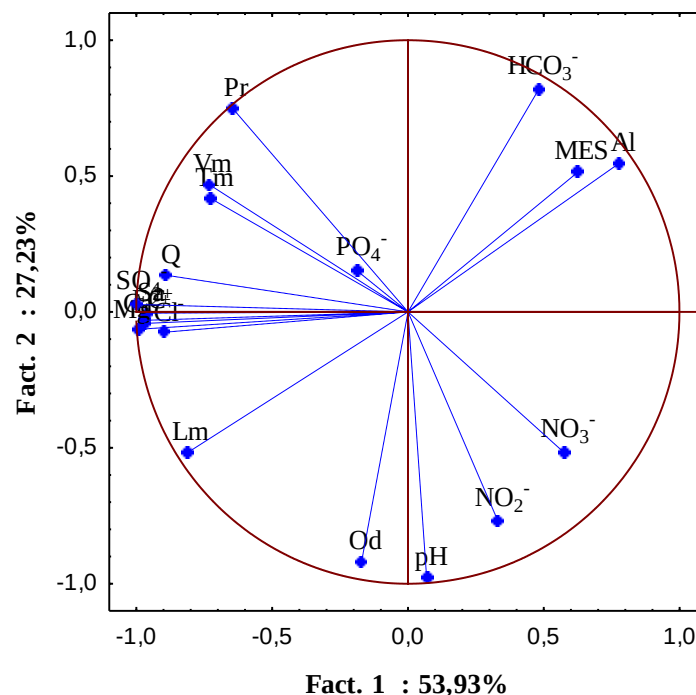


Figure 4.21a. Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques de l'oued Abdi dans le plan F1-F2 de l'ACP

La carte factorielle F1-F2 des stations montre leur association en trois groupements (Fig.4.21b) :

* Groupe I formé de deux stations semi permanentes du cours supérieur (Tha et Nd) qui sont localisées à de hautes altitudes et sont caractérisées par une faible largeur (3,26 et 4,85 m), des eaux fraîches durant les périodes hivernale et printanière (5,9 et 14,35°C), une minéralisation faible (706,31 et 962,91 $\mu\text{S}/\text{cm}$), peu chargées en matières organiques et présentant une faible dureté calcique (63,33 et 61,72 mg/l) et magnésienne (77,03 et 64,88 mg/l).

* Groupe II constitué de deux stations permanentes du cours moyen dont l'une (Mn) est de haute altitude (990 m), profonde (29,79 cm) et présente une minéralisation moyenne (1188,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$), une dureté calcique et magnésienne moyenne (77,63 et 101,20 mg/l) et une forte alcalinité due aux ions carbonates (211,04 mg/l) provenant des terrains traversés par le cours d'eau et des eaux usées domestiques. L'autre station (Bz) se situe à une altitude moyenne (712 m), profonde (28,72 cm) et possède une très forte minéralisation (2410,33 mg/l) avec une dureté calcique et magnésienne plus élevée (143,66 et 166,17 mg/l). Elle se caractérise également par de fortes teneurs en phosphores, chlorures et sulfates et en matières organiques ce qui entraîne le développement excessif des algues. Cette station (Bz) qui semble recevoir des effluents provenant des régions amont, est délimitée par de hautes montagnes.

*Groupe III comprenant une station du cours inférieur (Br) qui se caractérise par une basse altitude (50 m), une profondeur moyenne (17,41 cm), une minéralisation élevée (1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), une dureté calcique et magnésienne assez forte (115, 63 et 141,91 mg/l) et une faible concentration en matières organiques.

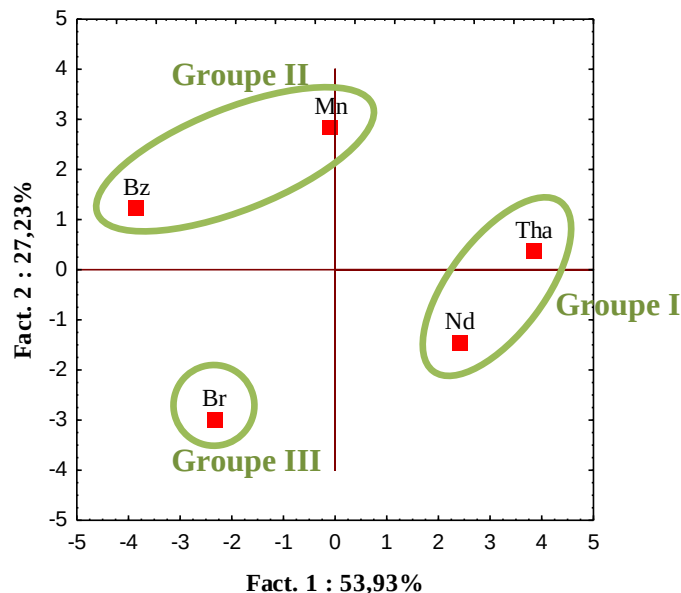


Figure 4.21b. Structure du nuage-stations de l'oued Abdi dans le plan F1-F2 de l'ACP

1-3-3-3-2-Classification des stations en fonction de leur qualité physico-chimique: le dendrogramme du bassin versant de l'oued Abdi traduit le même assemblage des stations en 3

groupes (Fig.4.22) : Groupe constitué des stations semi permanentes du cours supérieur de haute altitude (Tha et Nd) ; groupe des stations permanentes du cours moyen et qui comprend une station urbaine de haute altitude (Mn) et une autre périurbaine de moyenne altitude délimitée par des hautes montagnes (Bz) et enfin le groupe formé par la station temporaire la plus basse de la région avale (Br).

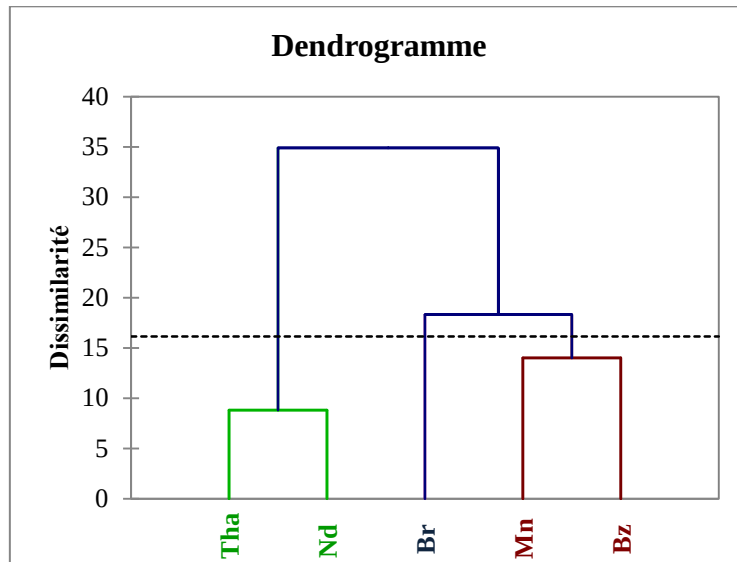


Figure 4.22. Classification hiérarchique des stations de l'oued Abdi réalisée par les moyennes paramètres physico-chimiques-mésologiques

1-3-3-4-Typologie globale de la qualité physico-chimique

L'étude globale des facteurs mésologiques et physico-chimiques mesurés sur l'ensemble des 3 oueds au cours de notre période d'étude a également été réalisée par l'analyse des composantes principales. L'ACP a été effectué sur une matrice binaire des données constituées de 19 paramètres mésologiques et physico-chimiques et 16 stations. Le cercle de corrélation formé par les axes F1 et F2 donnent 63,85% de l'information totale, dont l'axe 1 montre 39,5 % de l'inertie totale. Il s'explique par la minéralisation des eaux, riches en divers ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} et Cl^-), par l'altitude, les nitrates, la température moyenne et la largeur moyenne. L'axe 2 (24,36%) se définit principalement par les variables PO_4^- , NO_2^- et HCO_3^- qui sont des indicateurs d'une pollution anthropique provenant soit du déversement des eaux usées domestiques, soit d'une pollution diffuse provenant de l'excès des engrais utilisés dans les terrains agricoles riverains. Ces variables de pollution s'opposent à l'oxygène dissous, à la vitesse moyenne du courant et au débit (Fig.4.23a).

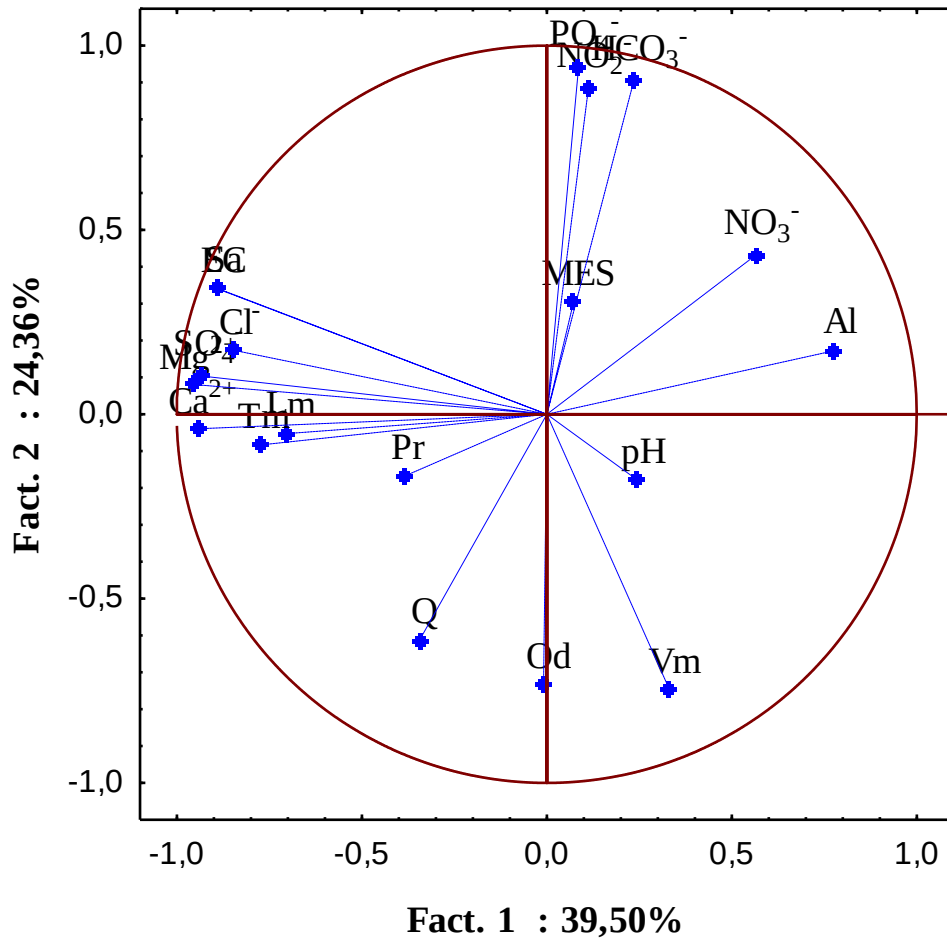


Figure 4.23a. Structure du nuage-paramètres physico-chimiques et mésologiques des oueds étudiés dans le plan F1-F2 de l'ACP

En ce qui concerne le plan factoriel représentatif des stations, la structure du nuage a montré, à première vue, deux stations très particulières et chacune est bien distinctes des autres stations, à cause de leurs caractéristiques exceptionnelles dues à la forte pollution pour la première station, AvT, et à la minéralisation excessive pour la deuxième, AvK (Fig.4.23b). Dans une deuxième étape, nous avons réduit les limites des axes pour bien visualiser le plan factoriel représentant la structure des nuages des points des stations. Ainsi, nous avons pu déterminer 3 autres association des des stations (Fig.4.23b) : III (Fd2, Fd1, ApK et Bz), IV (Tf, Gh, M'ch, Fg et Br) et V (In, Tha, Ar, Nd et Mn).

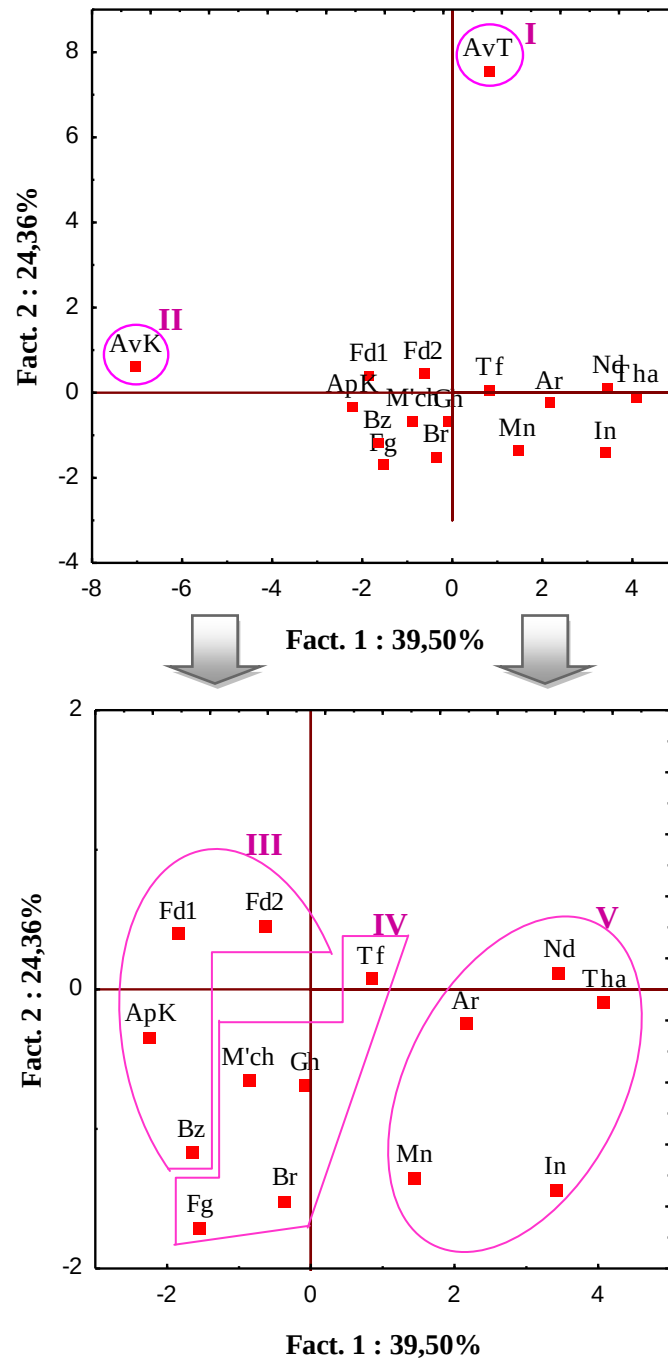


Figure 4.23b. Structure du nuage-stations des oueds étudiés dans le plan F1-F2 de l'ACP

La typologie globale donc, nous a permis d'individualiser 5 groupes de stations (Fig.4.24) :

* Le groupe I représenté par la station du cours supérieur de haute altitude (AvT) située en amont et montre une forte pollution domestique s'exprimant par des teneurs élevées en sels nutritifs (1,85 mg/l de NO_2^- et 4,23 mg/l de NO_3^-) et en phosphores (3,07 mg/l) et une forte alcalinité (570 mg/l de HCO_3^-). Ceci conduit à une chute d'oxygénation (2,08 mg/l d'oxygène dissous) et un ralentissement de la vitesse du courant (29,67 cm/s).

* Le groupe II qui comprend une seule station du cours inférieur de basse altitude (AvK) située en aval de la région d'étude. C'est la station la plus minéralisée (4475,52 $\mu\text{S/cm}$), la plus riche en sels (2,35), en calcium (282,24 mg/l), en magnésium (281,54 mg/l), en sulfates (1,52 mg/l) et en chlorures (777,62 mg/l). La pollution, liée aux eaux usées urbaines et les travaux de construction d'un pont sur le cours d'eau, alliée à la nature calcaire et marneuse salifères des substrats géologiques traversés et à la plus forte température moyenne enregistrée à cette station (20,56°C) pourraient justifier la minéralisation excessive de cette station.

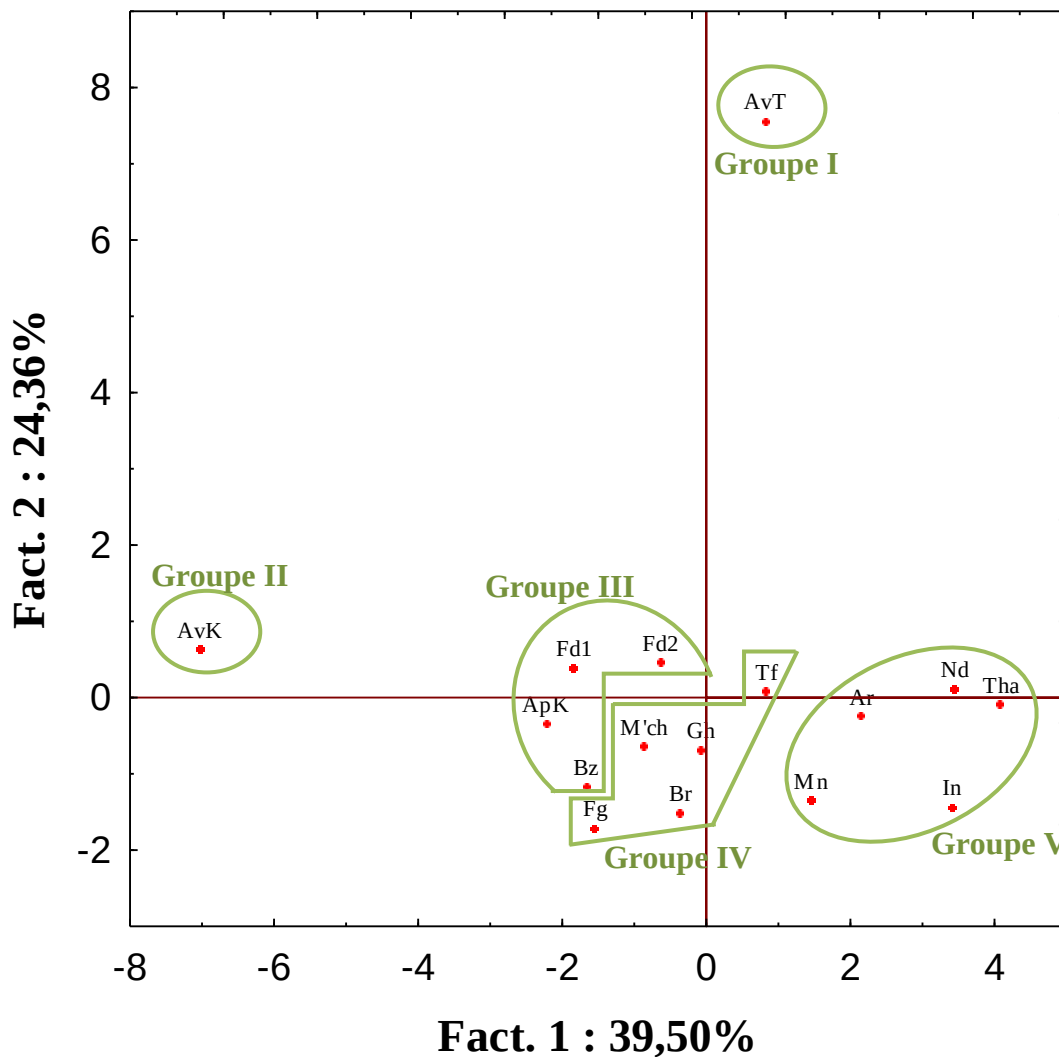


Figure 4.24. Structure du nuage-stations des oueds étudiés dans le plan F1-F2 de l'ACP

* Le groupe III formé strictement des stations du cours moyen de moyenne altitude (Fd2, Fd1, ApK et Bz) désignant une qualité moyenne des eaux. Ce groupe paraît proche du groupe IV mais avec des concentrations plus importantes de quelques paramètres physico-chimiques. Elles se caractérisent, donc, par une minéralisation assez forte [2193,53 $\mu\text{S/cm}$ (ApK) à 2446,56 $\mu\text{S/cm}$ (Fd1)], une dureté calcique [143,66 mg/l (Bz) à 168,55 mg/l (Fd2)] et

magnésienne [166,17 mg/l (Bz) à 212 mg/l (Fd1)] plus importantes et des concentrations généralement assez fortes en sulfates [0,83 mg/l (Bz) à 1,16 mg/l (Fd2)] et en chlorures [182,02 mg/l (Fd2) à 435,07 mg/l (Bz)].

* Le groupe IV est constitué des stations du cours moyen de moyenne altitude (Tf et Gh) et celles du cours inférieur à basses altitudes (M'ch, Fg et Br). Elles sont moyennement minéralisées (entre 1344,31 μ S/cm à M'ch et 1800,88 μ S/cm à Br) et présentent des duretés moyennes calcique [89,13 mg/l (M'ch) à 145,86 mg/l (Fg)] et magnésienne [134,36 mg/l (M'ch) à 163,19 mg/l (Fg)]. De plus ces stations se caractérisent par des concentrations moyennes de sulfates [0,61 mg/l (Tf) à 0,89 mg/l (Gh)] et de chlorures [198,84 mg/l (M'ch), 261,81 mg/l (Br)].

* Enfin dans le groupe V figure par les stations situées en amont de la région d'étude : Tha, Nd, In et Ar du cours supérieur et Mn du cours moyen. Elles se caractérisent par de hautes altitudes, des teneurs élevées de nitrates provenant du lessivage des fertilisants utilisés dans les terrains agricoles avoisinants toutes ces stations, sans oublier les élevages des bovins et des volailles fréquents particulièrement à côté de la station de Nd qui présente la plus forte valeur moyenne de nitrates (5,37 mg/l). Les eaux de ce groupe sont faiblement minéralisées [588,74 μ S/cm (In) à 1188,3 μ S/cm (Mn)], et montrent des valeurs faibles de calcium [59,53 mg/l (In) à 77,63 mg/l (Mn)], magnésium [60,26 mg/l (Tha) à 101 mg/l (Mn)], de sulfates [0,28 mg/l (In) à 0,60 mg/l (Mn)] et de chlorures [67,64 mg/l (In) à 134,9 mg/l (Ar)].

En outre, les mêmes 5 groupes de stations ont été mis en évidence en traduisant notre ACP en une classification ascendante hiérarchique (Fig.4.25).

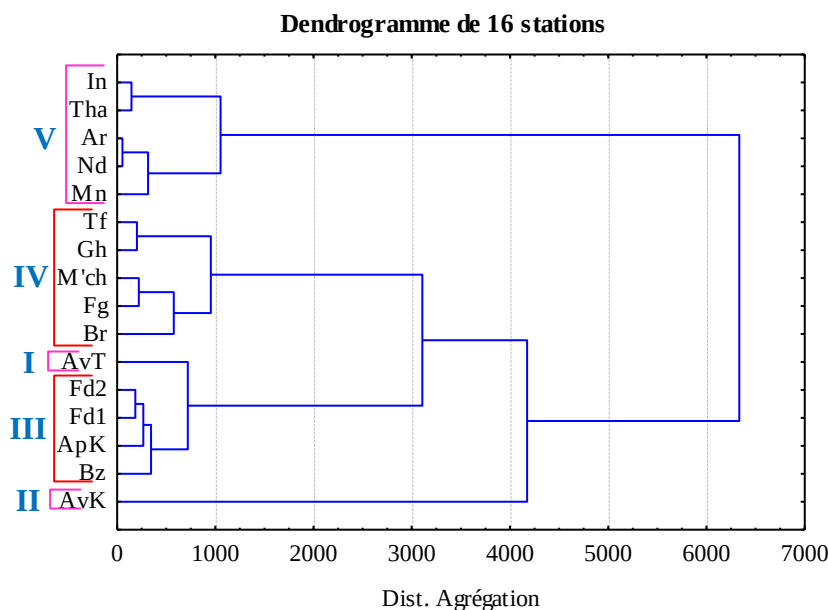


Figure 4.25. Résultats de la Classification ascendante hiérarchique des stations étudiées

2-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 physico-chimique des eaux des Aurès, avant d'étudier sa qualité biologique et les interactions qui se développent entre les paramètres abiotiques et biotiques des trois oueds étudiés à cette région.

La qualité physico-chimique des eaux de nos trois sous bassins versants étudiés dans la région des Aurès paraît totalement normale, en dehors de la station très polluée de l'oued El Hai, AvT qui reçoit un déversement excessif des rejets domestiques de la ville d'Ain Touta. Les eaux sont d'une température généralement variable qui augmente de l'amont vers l'aval, d'un pH basique qui varie de 7,94 à 8,66 expliquant les concentrations importantes en bicarbonates et d'une bonne oxygénation (de 6 à 9 mg/l). Les valeurs moyennes de la conductivité et la salinité, suivent le même rythme de changement d'une station à une autre. Les résultats de la conductivité sont d'une qualité moyenne oscillant entre 588,7 et 1800 μ S/cm, à l'exception de la station de Bz à oued Abdi et les stations de l'oued El Hai, dans lesquelles nous avons enregistré la valeur la plus élevée dans la station d'AvK (4475,5 μ S/cm). Les teneurs moyennes en MES sont négligeables n'ayant pas dépassé 0,1mg/l et les vitesses du courant sont moyennes à rapides.

La minéralisation générale exprimée par des concentrations moyennes en conductivité (588,7 à 4475,5 μ S/cm), salinité (0,06 à 2,35), calcium (54,20 à 282,24 mg/l), magnésium (60,26 à 281,54 mg/l), chlorure (67,6 à 777,62 mg/l), sulfates (0,282 à 1,517 mg/l) et en bicarbonates (117,64 à 221,12 mg/l), est moyenne à importante dans la majorité de nos stations. Elle reflète son origine issue du lessivage des terrains géologiques de nos bassins versants. Ainsi, les eaux sont généralement dures.

Les paramètres signalant la pollution montrent des teneurs moyennes en nitrites inférieures à 1 mg/l, celles en phosphores varient entre 0,07 et 0,332 mg/l et celles en nitrates allant de 1,308 à 5,366 mg/l. A l'exception des fortes valeurs notées à la station polluée d'AvT et qui 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), les autres valeurs sont probablement justifiées par l'utilisation agricole intensive des sols et des apports excessifs en engrais.

Une comparaison de la qualité physico-chimique des eaux des autres oueds en Algérie et au Maroc avec celle de notre région d'étude, l'Aurès, révèle diverses constatations :

L'étude des paramètres physico-chimiques permet de montrer une perturbation de oued Tafna, situé dans la partie occidentale de l'Algérie, de l'amont vers l'aval, et d'évaluer un degré de la pollution, traduite par une conductivité élevée qui peut dépasser dans certaines stations 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, une teneur élevée de chlorure, qui est le facteur le plus prépondérant pour la salinité (BELAIDI, 1992), et qui peut atteindre 400 mg/l, et une DBO_5 qui a atteint 38mg/l, notamment dans les stations avalées. Les stations avalées caractérisées par une très forte minéralisation et une charge en matière organique importante, issues des rejets urbains et industriels de la ville de Maghnia, et aux activités agricoles, tandis que les stations amonts sont les moins minéralisées et les moins chargées en matières organiques. En été, la température augmente, ce qui contribue à l'augmentation de l'évaporation, et par conséquent à une concentration des sels notamment les chlorures, 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 au couvert végétal dense, qui offre de l'ombre pour les cours d'eau. En effet, l'écart thermique entre l'amont et l'aval de la Tafna est de 2,5°C en période des hautes eaux et de 3,5°C en étiage (REZOUGUI, 2012). Ceci est comparable à nos résultats, dont la minéralisation augmente généralement de l'amont vers l'aval, et les écarts thermiques entre le maximum et le minimum à chaque oued sont habituellement de l'ordre de 4 à 5°C environ.

Un suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux des quatre stations étudiées dans l'oued Soummam situé au Nord-Est algérien, a révélé que l'eau présente une pollution accrue et la majorité des paramètres mesurés ne sont pas conformes aux normes exigées. L'oued Soummam subit une pollution essentiellement organique suite au volume important des eaux usées urbaines et industrielles déversées en son sein. Les résultats des analyses montrent des teneurs plus élevées que nos teneurs en MES, nitrates et chlorures, indiquant que ce cours d'eau est exposé à une forte pollution d'origine principalement organique (MOUNI *et al.*, 2009).

Les résultats de la qualité physico-chimique du bassin versant du moyen Sebaou, situé à l'Ouest de la wilaya de Tizi-Ouzou (la grande Kabylie), indiquent que ses eaux sont

incrustantes, de dureté moyenne à forte, d'une minéralisation globale, attestée par la conductivité, moyenne qui s'atténue d'amont en aval, en périodes de hautes et de basses eaux, d'une forte concentration en carbonates, bicarbonates et magnésium et d'une concentration des paramètres de pollution (l'ammonium, les nitrites, le phosphore et le fer ferreux) supérieure aux normes de qualité des eaux de surface (DJEMAÏ et MESBAH, 2007). La majorité des concentrations enregistrées dans les différentes stations de ce bassin versant, sont faibles par rapport aux valeurs enregistrées dans nos stations, du fait de la nature géologique du terrain et du climat totalement différents.

Selon BEN TOUATI et BOUZIDI (2012), les propriétés physico-chimiques de l'oued Bousselam, situé dans la région de Sétif (Nord-Est de l'Algérie), sont caractérisées par une pollution très importante de leurs eaux en tenant compte des valeurs enregistrées en phosphores (de 1 à 5 mg/l) et en nitrates (environ 4 à 17 mg/l). Ces valeurs sont nettement plus fortes que celles trouvées dans nos stations, indiquant la présence d'une pollution très sévère provenant des rejets de la ville de Sétif et du village de Mezloug qui sont déversés dans l'oued Bousselam.

Des résultats marocains comparables au notre, montrent que les eaux de surface de la Moulouya présentent des signes de dégradation, puisque la majorité des analyses ont révélé des teneurs dépassant les normes marocaines, notamment en aval des agglomérations urbaines qui génèrent des quantités importantes des eaux usées qui sont rejetés dans les cours d'eau sans aucun traitement préalable et des déchets solides qui sont éparpillés sur leurs rives. De ce fait, la préservation des ressources hydriques devient donc impérative devant la dégradation de ces écosystèmes aquatiques et exige la mise en place des stations d'épuration et des décharges contrôlées pour les agglomérations de Missour, Outat El Haj et Guercif (MAKHOUKH *et al.*, 2011).

CHAPITRE V

Chapitre V : RESULTATS ET DISCUSSION-ETUDE FAUNISTIQUE

1-Résultats

1-1-Liste faunistique commentée

Nous avons pu recenser 4 familles répartis en 8 genres et 12 espèces.

1-1-1-Famille de Baetidae

La famille la plus diversifiée parmi les Ephéméroptères recensés dans nos sous bassins versant, elle est représentée par 8 espèces :

❖ *Baetis pavidus* Grandi 1949

Espèce du pourtour méditerranéen, elle est connue d'Italie, du Sud de la France, de la Péninsule Ibérique et du Maghreb. 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 (EL ALAMI, 2002). En Tunisie, c'est l'espèce la plus fréquente et la plus abondante (BOUMAIZA et THOMAS, 1995). En Algérie, elle est citée pour la première fois par SOLDAN et THOMAS (1983a). LOUNACI (1987), AÏT MOULOUD (1988) dans l'oued Aïssi, LOUNACI-DAOUDI (1996) dans l'oued Sébaou, LOUNACI *et al.* (2000a et b), MEBARKI (2001) et LOUNACI (2005) dans différents réseaux hydrographiques en Kabylie surtout dans les cours moyen. Elle est signalée également dans des cours d'eau du Nord-Ouest algérien par GAGNEUR et CHAOUI-BOUDGHANE (1991) et les réseaux hydrographiques du Chelif et Mazafran par ARAB (2004) et ARAB *et al.* (2004). Dans cette étude *Baetis pavidus* a une large répartition longitudinale. Il a été récolté dans toutes les stations prospectées, dans une amplitude altitudinale variant entre 50 m (Br) et 1434 m (Tha).

❖ *Baetis rhodani* Pictet 1843

Cette espèce a une très large distribution latitudinale couvrant l'Europe et les pays du pourtour méditerranéen. Au Maroc, elle constitue l'une des espèces les plus ubiquistes et elle présente une très large distribution horizontale (EL ALAMI, 2002). Elle est citée en Tunisie par (BOUMAIZA et THOMAS, 1995) et en Algérie par THOMAS (1998), ARAB (2004) et ARAB *et al.* (2004). Ce taxon a été rencontré dans toutes les stations de l'oued Abdi plus fréquemment celle de haute altitude, Tha (1434 m) et dans seulement les stations du cours supérieur de haute altitude de l'oued El Abiod, In (1360 m) et Ar (1080 m).

❖ *Baetis sinespinosus* Soldan et Thomas 1983

C'est une espèce endémique algérienne, signalée pour la première fois dans l'Atlas tellien : à Bilda (SOLDAN et THOMAS, 1983a ; THOMAS, 1998 ; SOLDAN *et al.*, 2005). Elle a été rencontrée pour la première fois dans notre région d'étude, l'Aurès (Est algérien), dans la région où se rencontre les deux Atlas : tellien et saharien. Elle a été échantillonnée dans des stations semi permanentes et permanentes dans une marge altitudinale comprise entre 990 et 1434 m (Mn, Nd et Tha) à oued Abdi et entre 761 et 1360 m (Tf, Ar et In).

❖ *Cloeon dipterum* Linné 1761

C. dipterum présente une large distribution latitudinale puisqu'on le rencontre dans toute l'Europe, il atteint les eaux de la Sibérie dans le continent asiatique (KLUGE, 2004). Sa limite méridionale atteint les pays sud-méditerranéens. 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). Il est également connu de Tunisie (KRAIEM, 1986 et 1987). En Algérie, il a fait l'objet de plusieurs citations parmi lesquels : EATON (1899), LESTAGE (1925), GAUTHIER (1928), GAGNEUR et CHAOU-BOUDGHANE (1991), LOUNACI-DAOUDI (1996), LOUNACI *et al.* (2000a), MEBARKI (2001), ARAB (2004) et ARAB *et al.* (2004). Sa présence a été notée dans une amplitude altitudinale variant entre 761 m (Tf) et 125 m (Fg) dans le sous bassin versant de l'oued El Abiod, 600 m (Fd1) et 250 m (AvK) dans le sous bassin versant de l'oued El Haï et entre 712m (Bz) et 990 m (Mn) dans le sous bassin de l'oued Abdi.

❖ *Cloeon gr. simile* Eaton 1870

Cette espèce a été signalée dans les cours d'eau d'Europe dans les zones supérieures lenticques (STUDEMANN *et al.*, 1992). Elle a été trouvée pour la première fois au Maroc dans deux réseaux hydrographiques du versant nord-rifain (EL ALAMI, 2002). En Algérie, elle a été notée par plusieurs auteurs : LOUNACI-DAOUDI (1996), THOMAS (1998), LOUNACI *et al.* (2000a), MEBARKI (2001), ARAB (2004) et ARAB *et al.* (2004). A oued El Abiod, elle a été observée principalement dans la station aval Fg à 125 m, et dans les stations de Tf (761 m) et M'ch (323 m). De même à oued El Hai, elle a été trouvée essentiellement dans la station aval AvK (250 m) et dans les stations de Fd1 (600 m) et ApK (530 m). Par contre, elle a été prélevée dans une seule station de 990 m d'altitude (Mn) à oued Abdi.

❖ *Labiobaetis neglectus* Navas 1913

Espèce probablement à large distribution dans la Péninsule Ibérique (ALBA-TERCEDOR, 2000 ; ALBA-TERCEDOR et JAIMEZ-CUELLAR, 2003 ; BAUERNFEIND et SOLDAN, 2012), en Afrique du Nord et au Maghreb (EL ALAMI, 2002 ; BAUERNFEIND et SOLDAN, 2012). Elle 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) ; et en Algérie elle a été décrite par SOLDAN et THOMAS (1983a). Cette espèce a été rencontrée dans les stations de moyenne et basse altitudes Gh (617m) et M'ch (323 m) à oued El Abiod et dans seulement la station du cours inférieur à basse altitudes AvK (250 m) à oued El Hai.

❖ *Cheleocloeon dimorphicum* Soldan et Thomas 1985

Cette espèce décrite d'Algérie par SOLDAN et THOMAS en 1985, a fait l'objet de plusieurs révisions. Elle a été citée dans les trois pays du Maghreb. La découverte de *Ch. dimorphicum* dans l'Arabie Saoudite a élargie son aire de distribution qui couvre la région sud-paléarctique s'étalant entre le Maghreb et la Péninsule arabe (THOMAS et SARTORI, 1989). Au Maroc, elle a été échantillonnée pour la première fois dans des cours d'eau du versant nord atlasique par BADRI (1985), BADRI *et al.* (1987), AJAKANE (1988) et EL MEZDI et GIUDICELLI (1987) et dans le Rif par (EL ALAMI *et al.*, 2000 ; EL ALAMI, 2002). En Tunisie, cette espèce a été également listée parmi les Baetidae de la région nord-ouest tunisienne par BOUMAIZA et THOMAS (1995). En Algérie, elle été trouvée par plusieurs auteurs : LOUNACI-DAOUDI (1996), THOMAS (1998), LOUNACI *et al.* (2000a), MEBARKI (2001), ARAB (2004) et ARAB *et al.* (2004). Nous avons noté la présence de cette espèce seulement dans une seule station parmi les 16 prospectées le long de nos trois oueds, la station de M'ch à 323 m d'altitude.

❖ *Procloeon stagnicola* Soldan et Thomas 1983

Espèce endémique maghrébine, a été signalée très récemment en Tunisie par ZRELLI *et al.* (2011a). En Algérie, elle a été décrite de Constantine par SOLDAN et THOMAS (1983a). Ensuite, elle a été signalée par plusieurs auteurs : LOUNACI-DAOUDI (1996), THOMAS (1998), LOUNACI *et al.* (2000a) et MEBARKI (2001). Dans notre région d'étude, elle a une répartition altitudinale assez importante (1360-125 m). Cette espèce a été enregistrée dans l'oued El Abiod (125-1360 m) dans les stations de Fg, Gh, M'ch et In ; dans l'oued El Hai (250-720 m) dans les stations d'AvK, ApK, Fd1 et Fd2 ; alors que dans l'oued Abdi, ce taxon a été confiné dans des biotopes de moyenne altitude (Bz) à 712 m.

1-1-2-Famille de Caenidae

Deux espèces ont été recensées dans les cours d'eau prospectés de la région des Aurès :

❖ *Caenis luctuosa* Burmeister 1839

Cette espèce paléarctique a une aire de distribution très vaste et fréquente des biotopes très variés en Europe, Asie mineure et Afrique du nord (EL ALAMI, 2002). Elle pullule dans

les réseaux marocains (DAKKI et EL AGBANI, 1983 ; BOUZIDI et GIUDICELLI, 1994 ; EL ALAMI et DAKKI, 1998), tunisiens (BOUMAIZA et THOMAS, 1986) et algériens dans les eaux de la Tafna (GAGNEUR et THOMAS, 1988), dans les cours d'eaux de Kabylie (LOUNACI, 1987 ; AIT MOULOUD, 1988 ; LOUNACI-DAOUDI, 1996 ; LOUNACI *et al.*, 2000a ; MEBARKI, 2001) et dans les eaux de Chelif et Mazafran (ARAB, 2004 ; ARAB *et al.*, 2004). Elle a été échantillonnée au niveau des trois oueds étudiés, (à l'exception de la station d'Ar), depuis les stations de haute altitude (Tha à 1434 m, In à 1360 m, Nd à 1043 m et Mn à 990 m) jusqu'aux biotopes de plaine (Br à 50 m) et principalement dans les stations du cours moyen à moyenne altitudes et du cours inférieur (Gh, M'ch, Fg, Fd1, ApK, AvK et Bz).

❖ *Caenis cf. macrura* Stephens 1835

Cette espèce a été signalée dans la péninsule ibérique (Portugal) par (EATON, 1868) et en France par (BRULIN, 2007). La probabilité de la présence de *C. macrura* en Algérie est signalée à Biskra (EATON, 1899 ; LESTAGE, 1925 ; THOMAS, 1998), à Alger et en Kabylie (LESTAGE, 1925 ; GAUTHIER, 1928 ; THOMAS, 1998) et à Hodna Mounts (GAUTHIER, 1928 ; THOMAS, 1998). Parmi les 3 oueds étudiés, les larves de cette espèce ont été trouvées seulement à oued Abdi dans une marge altitudinale restreinte variant entre 712m (Bz) et 990 m (Mn).

1-1-3-Famille de Heptageniidae

Nous avons récolté seulement une espèce dans nos réseaux hydrographiques :

❖ *Ecdyonurus rothschildi* Navàs 1929

Cette endémique ibéro-maghrébine est répartie amplement dans les trois pays du Maghreb ; elle a été décrite à partir d'un matériel provenant d'Algérie ; par la suite, THOMAS et DAKKI (1979) confirmèrent sa présence dans le Haut Sebou (Moyen Atlas). Cette espèce présente une vaste répartition au Maroc (DAKKI et EL AGBANI, 1983 ; BOUZIDI, 1989 ; EL AGBANI *et al.*, 1992 ; BERRAHOU, 1995 ; EL ALAMI, 2002). En Tunisie, elle a été signalée comme nouvelle espèce par BOUMAIZA et THOMAS (1986). En Algérie, elle a été décrite de Biskra (EATON, 1899 ; LESTAGE, 1925 ; NAVAS, 1929 ; THOMAS, 1998), Alger (LESTAGE, 1925 ; THOMAS, 1998), NW (SOLDAN et GAGNEUR, 1985 ; GAGNEUR et THOMAS, 1988 ; THOMAS, 1998), Kabylie (LOUNACI *et al.*, 2000a et b ; MEBARKI, 2001) Chélif (ARAB, 2004 ; ARAB *et al.*, 2004). Elle a été recensée dans nos investigations dans une large distribution altitudinale : 323-1360 m dans l'oued El Abiod, 250-720 m dans l'oued El Hai et à 712 m dans une des stations permanentes de l'oued Abdi.

1-1-4-Famille de Leptophlebiidae

Elle est également représentée par une seule espèce :

- ❖ *Choroterpes (Choroterpes) atlas* Soldan et Thomas 1983

Cette espèce se rencontre dans les trois pays du Maghreb à l'exception des zones désertiques (THOMAS et VITTE, 1988). Au Maroc, cette espèce possède une très large distribution qui s'étend depuis les bassins du domaine rifain jusqu'aux confins du versant sud-atlasiques (EL ALAMI, 2002). En Tunisie, citée par BOUMAIZA et THOMAS (1986), KRAIEM (1986) et GAGNEUR et THOMAS (1988). En Algérie, elle peuple les eaux lotiques des régions nord-ouest et les zones littorale centrale du pays (SOLDAN et THOMAS, 1983a ; LOUNACI, 1987 ; GAGNEUR et THOMAS, 1988 ; THOMAS et VITTE, 1988 ; LOUNACI-DAOUDI, 1996 ; LOUNACI *et al.*, 2000a et b ; MEBARKI, 2001 ; ARAB, 2004 ; ARAB *et al.*, 2004). Ce *Choroterpes* a été observée dans toutes les stations de l'oued El Hai situées entre 720 m (Fd2) et 250 m (AvK) et dans une seule station de l'oued Abdi (Bz) à 712 m d'altitude.

1-2-Composition globale du peuplement

La présente étude faunistique a permis de recenser un total de 60615 individus dans les différentes stations prospectées entre 50 et 1434 m d'altitude, à l'exception de la station d'AvT (930 m) qui marque une absence totale du peuplement des Ephéméroptères du fait de son excessive pollution principalement par les eaux usées domestiques de la ville d'Ain Touta. Le total des spécimens collectés est réparti en 4 familles, 8 genres et 12 espèces. La moitié des individus recensés a été échantillonnée dans le sous bassin versant de l'oued El Abiod avec 29937 ind. soit 49,39%. Le reste se divise entre le sous bassin versant de l'oued El Hai en deuxième place avec 17310 ind. (28,56%) et enfin le sous bassin versant de l'oued Abdi avec 13368 ind. (22,05%) (Fig.5.1).

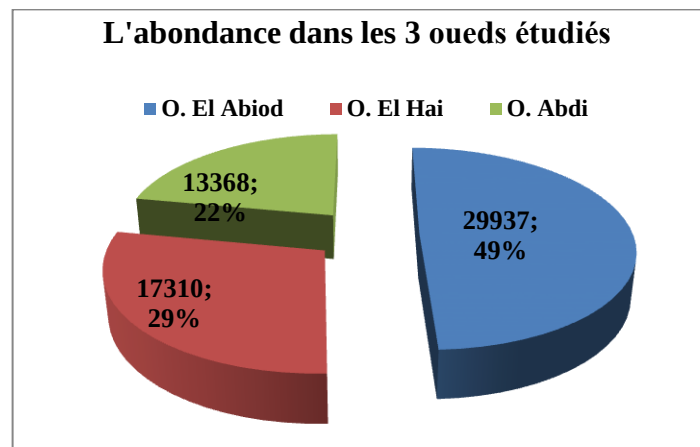


Figure 5.1. Répartition du peuplement des Ephéméroptères dans les 3 oueds étudiés

1-2-1-Abondance des familles et des espèces recensées

Si on considère par familles et espèces, la famille qui marque la plus grande abondance dans la région des Aurès est la famille des Baetidae avec 44307 individus soit 73,1%, suivi par la famille des Caenidae avec 15842 ind. (26,14%). Les deux autres familles, Heptageniidae et Leptophlebiidae, sont très faiblement représentées avec respectivement 416 (0,69%) et 50 (0,08%) individus (Fig.5.2a).

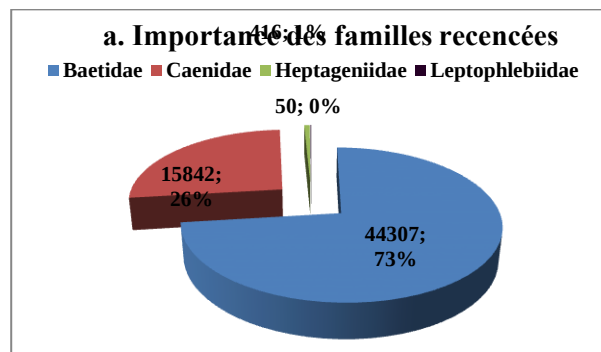


Figure 5.2a. Répartition des familles des Ephéméroptères de la région des Aurès

De plus, l'espèce *Baetis pavidus* est largement représentée, elle couvre plus de la moitié des individus avec 35676 ind. (58,86%). Elle est suivie par *Caenis luctuosa* avec 15833 individus (26,12%), *Baetis rhodani* avec 4887 individus (8,06%) et *Baetis sinespinosus* avec 1815 individus (2,99%). Notre analyse montre que le reste des espèces sont relativement peu abondantes à rares, leurs importances allant de 1,6% pour l'espèce *Cloeon gr. simile* à seulement 0,016 et 0,015% pour respectivement *Cheleocloeon dimorphicum* et *Caenis cf. macrura* (Tab.5.1, Fig.5.2b).

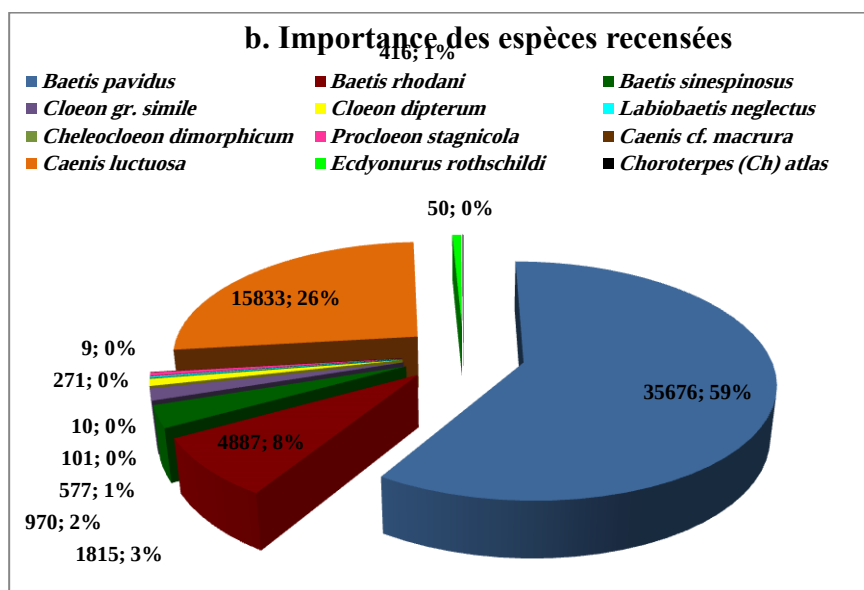


Figure 5.2b. Répartition des espèces des Ephéméroptères de la région des Aurès

Tableau 5.1. Effectifs, Abondances relatives et Fréquences des Ephéméroptères récoltés
(AR% : Abondance relative, F% : Fréquence)

Espèces recensées	<i>Baetis pavidus</i>	<i>Baetis rhodani</i>	<i>Baetis sinespinosus</i>	<i>Cloeon gr. simile</i>	<i>Cloeon dipterum</i>	<i>Labiobaetis neglectus</i>	<i>Cheleocloeon dimorphicum</i>	<i>Procloeon stagnicola</i>	<i>Caenis luctuosa</i>	<i>Caenis cf. macrura</i>	<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	<i>Choroterpes (Ch) atlas</i>	Total
Effectif	35676	4887	1815	970	577	101	10	271	15833	9	416	50	60615
AR%	58,857	8,062	2,994	1,6	0,952	0,167	0,016	0,447	26,12	0,015	0,686	0,082	100
F%	100	91,3	60,87	73,91	65,22	52,17	13,04	73,91	100	21,74	78,26	21,74	-

1-2-2-Fréquence des espèces recensées

Les espèces du peuplement global récoltées durant la période d'étude sont classées selon DAJOZ (1985) comme suite :

- Espèces omniprésentes : *Baetis pavidus* et *Caenis luctuosa* ;
- Espèces constantes: *Baetis rhodani* et *Ecdyonurus rothschildi* ;
- Espèces accessoires : *Cheleocloeon dimorphicum*, *Caenis cf. macrura* et *Choroterpes (Ch) atlas* ;
- Espèces fréquentes retrouvées : *Baetis sinespinosus*, *Cloeon gr. simile*, *Cloeon dipterum*, *Labiobaetis neglectus* et *Procloeon stagnicola*.

Afin de caractériser la hiérarchie des taxa dans le peuplement récolté, deux classifications ont été adoptées : celle de BOURNAUD *et al.* (1980) qui classe les espèces en quatre classes selon leurs abondances relatives seulement (dominantes, sub-dominantes, résidentes et sub-résidentes) ; et celle de GUIDICELLI (1968) qui relie entre la fréquence de prélèvement, l'abondance relative et l'abondance absolue pour donner quatre classes d'espèces (fondamentales, constantes, accessoires et sporadiques).

L'association entre les deux classifications, nous a permis de classer écologiquement nos Ephémères en: espèces dominantes et fondamentales : *Baetis pavidus*, *Baetis rhodani* et *Caenis luctuosa*. La seule espèce subdominante et fondamentale est représentée par *Baetis sinespinosus*. Une seule espèce résidente et fondamentale : *Cloeon gr. simile*. Des espèces considérées comme sub-résidentes et constantes : *Cloeon dipterum*, *Labiobaetis neglectus*, *Procloeon stagnicola* et *Ecdyonurus rothschildi*. Enfin, d'autres espèces sub-résidentes mais sporadiques sont représentées par *Cheleocloeon dimorphicum*, *Caenis cf. macrura* et *Choroterpes (Ch) atlas* (Fig.5.3).

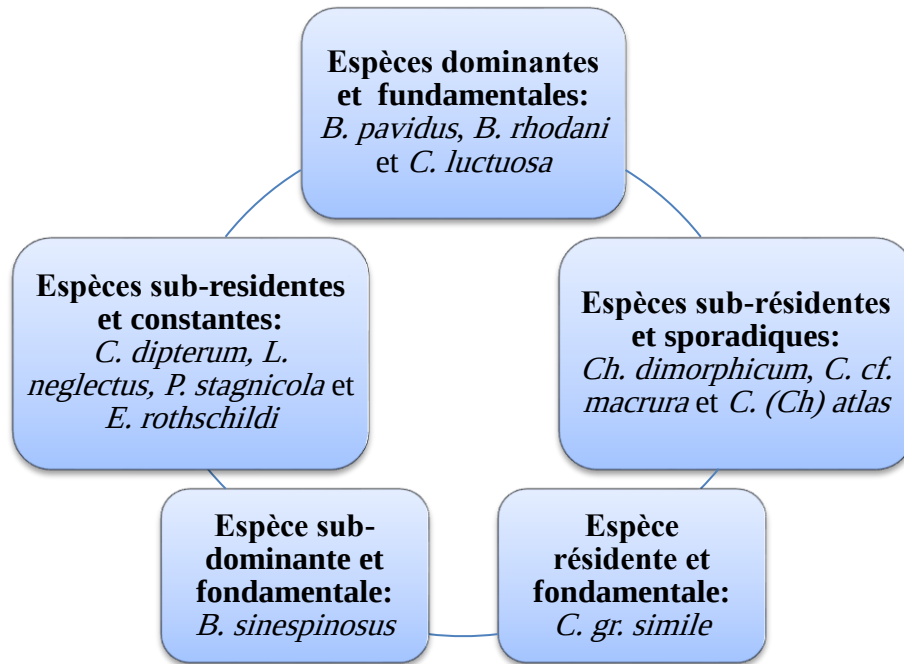


Figure 5.3. Classification écologique des espèces des Ephéméroptères recensées dans la région d'étude

1-3-Analyse et distribution de la composition taxonomique par oued.

1-3-1-Variabilité spatiale des caractéristiques de la faune

1-3-1-1-Richesse spécifique

La communauté des Ephéméroptères de la région des Aurès paraît pauvre en espèces par rapport aux autres régions de l'Algérie ainsi que celle du Maroc et de l'Europe. Nous avons recensées seulement 10 espèces à oued El Abiod, 10 espèces à oued Abdi et 8 espèces seulement à oued El Hai. En effet, la forte pollution de la station d'AvT située à l'amont de ce dernier oued, où nous avons noté une absence totale des Ephémères, minimise sa richesse spécifique comparativement aux autres oueds (Fig.5.4).

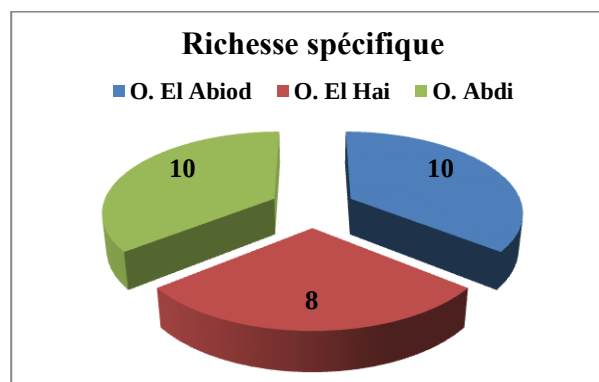


Figure 5.4. Répartition de la richesse spécifique des Ephéméroptères par oued

Si nous considérons la richesse spécifique des Ephéméroptères par station, elle est plus importante dans les stations aval de moyenne à basse altitudes. La richesse spécifique la plus élevée (8 ou 7 espèces) est observée dans les stations M'ch, AvK, Bz, Fd1, ApK et Mn. La plus part de ces stations sont permanentes, à l'exception de Fd1 et ApK qui sont semi temporaires. Elles sont caractérisées par une végétation riveraine abondante, la régulation du régime thermique d'eau, l'hétérogénéité du substrat et la diversification des micro-habitats.

En revanche, les stations à faible richesse (3 ou 4 espèces) sont celles (Ar, Tha, Nd et Br) qui présentent des perturbations hydrologiques, dues à la sécheresse en période estivale, des crues en période hivernale et des impacts anthropiques (rejets urbains, points de pompage, pâturage, élevage des volailles...). A l'exception de l'absence totale des espèces dans la station d'AvT, due principalement à sa forte pollution par les rejets urbains de la ville d'Aïn Touta, les autres stations (In, Tf, Gh, Fg et Fd2) présentent une richesse spécifique moyenne (5 ou 6 espèces) (Fig.5.5).

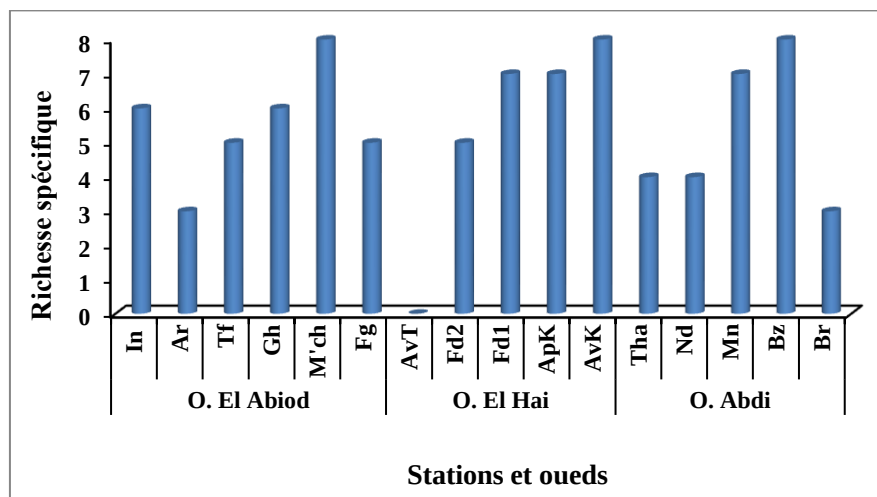


Figure 5.5. Distribution spatiale de la richesse spécifique des Ephéméroptères par oued

En effet, les stations de haute altitude ne sont pas considérées comme des lieux préférentiels de cet ordre à cause de leurs basses températures, leur enneigement et leurs fréquentes précipitations empêchent l'installation d'une faune benthique bien diversifiée ; et en basse altitude, ce sont les activités humaines ainsi que l'augmentation excessive des températures qui limitent le développement d'un certain nombre d'espèces qui fuissent à la recherche de milieux plus favorables. Pour cela, les stations à moyenne altitudes paraissent les plus diversifiées.

1-3-1-2-Abondance et dominance des espèces

Les Ephéméroptères 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 d'un oued à l'autre. Dans le sous bassin versant de l'oued El Abiod, 3 familles ont été recensées avec un effectif total de 29937 individus. Les Baetidae viennent en première position avec 79,84% des individus et 8 espèces, dont une *Baetis sinespinosus*, est une des endémiques algériennes signalées pour la première fois dans notre région d'étude. Ils sont suivis par les Caenidae avec 18,87%, puis les Heptageniidae qui ne sont représentés que par 1,29% (Tab.5.2).

En revanche, 4 familles ont été identifiées sur chacun des deux autres sous bassins versants avec une organisation différente en fonction de leurs abondances. Le sous bassin versant de l'oued El Hai enregistre l'effectif de 17310 individus, où les Caenidae sont les plus abondantes avec 56,22% des individus, puis les Baetidae avec 43,34%. Les deux autres familles Leptophlebiidae et Heptageniidae ne sont observées respectivement que par 0,28 et 0,16%. Cependant, un effectif de 13368 individus échantillonnés dans le sous bassin versant de l'oued Abdi, avec la famille des Baetidae qui a montré la plus forte abondance (96,52%) suivie par les Caenidae avec seulement 3,46% et enfin les Leptophlebiidae et Heptageniidae avec la même abondance 0,01% (Tab.5.2).

En ce qui concerne la distribution des abondances des différentes espèces, *Baetis pavidus* apparaît avec une dominance maximale de 55,70% dans l'oued El Abiod, et 91,98% dans l'oued Abdi, suivie par *Caenis luctuosa* avec respectivement 18,87 et 3,40%. La troisième place d'abondance est occupée par *Baetis rhodani* avec 14,94% à oued El Abiod et 3,10% à oued Abdi. Dans l'oued El Hai, les deux premières espèces prennent les positions inverses, avec une dominance maximale de 56,22% pour *Caenis luctuosa* et 38,73 % pour *Baetis pavidus*. Elles sont suivies par l'espèce *Cloeon dipterum* avec 2,67%. Pour les autres espèces, dans les trois oueds elles présentent de très faibles abondances avec une absence totale de certaines espèces : *Choroterpes (Ch) atlas* et *Caenis cf. macrura* à oued El Abiod ; les *Baetis gr. rhodani* et *Cheleocloeon dimorphicum* et *Caenis cf. macrura* à oued El Hai et *Labiobaetis neglectus* et *Cheleocloeon dimorphicum* à oued Abdi (Tab.5.2).

Les Ephéméroptères, comme tous les groupes faunistiques aquatiques, présentent des variations de l'abondance le long du même cours d'eau. L'évolution spatiale des espèces exprime leur adaptabilité à l'habitat et leurs préférences écologiques. Ainsi, l'analyse des résultats de l'abondance relative spatiale des nos différentes espèces montrent que la station la plus dominante est la station d'AvK avec 61,96% (10726 ind.) de l'ensemble des stations de l'oued El Hai et 17,69% du total des stations prospectées pour la région des Aurès.

Tableau 5.2. Importance de nombre d'individus (n_i), de l'abondance relative (AR%) et de la fréquence (F%) des espèces recensées par oued

Familles et espèces	Code	O. El Abiod			O. El Hai			O. Abdi		
		n_i	AR%	F%	n_i	AR%	F%	n_i	AR%	F%
Famille: Baetidae		23902	79,84		7502	43,34		12903	96,52	
<i>Baetis pavidus</i>	Bp	16676	55,70	100	6704	38,73	100	12296	91,98	90,91
<i>Baetis rhodani</i>	Br	4472	14,94	78,26	0	0,00	0,00	415	3,10	27,27
<i>Baetis sinespinosus</i>	Bs	1649	5,51	47,83	0	0,00	0,00	166	1,24	18,18
<i>Cloeon gr. simile</i>	Cgr.s	820	2,74	73,91	149	0,86	54,55	1	0,01	4,55
<i>Cloeon dipterum</i>	Cd	92	0,31	52,17	463	2,67	50	22	0,16	13,64
<i>Labiobaetis neglectus</i>	Ln	4	0,01	17,39	97	0,56	50	0	0,00	0,00
<i>Cheleocloeon dimorphicum</i>	Chd	10	0,03	13,04	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
<i>Procloeon stagnicola</i>	Ps	179	0,60	52,17	89	0,51	59,09	3	0,02	4,55
Famille: Caenidae		5648	18,87		9731	56,22		463	3,46	
<i>Caenis luctuosa</i>	Cl	5648	18,87	91,30	9731	56,22	90,91	454	3,40	77,27
<i>Caenis cf. macrura</i>	Ccf.m	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	9	0,07	22,73
Famille: Heptageniidae		387	1,29		28	0,16		1	0,01	
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	Er	387	1,29	69,57	28	0,16	18,18	1	0,01	4,55
Famille: Leptophlebiidae		0	0,00		49	0,28		1	0,01	
<i>Choroterpes (Ch) atlas</i>	Ca	0	0,00	0,00	49	0,28	22,73	1	0,01	4,55
Total		29937	100	-	17310	100	-	13368	100	-

Il est évident que l'espèce *Baetis pavidus* est la plus dominante dans la quasi-totalité de stations prospectées. Ce n'est que dans la station In de l'oued El Abiod que cette espèce prend la troisième place après *Baetis rhodani* ; dans les stations Fd1, ApK et AvK de l'oued El Hai et dans la station Fg de l'oued El Abiod qu'elle suit l'espèce *Caenis luctuosa*. L'analyse détaillée des résultats de l'abondance relative par station indique que dans la station In, les espèces les plus dominantes sont *Baetis rhodani*, *Baetis sinespinosus* et *Baetis pavidus* avec les valeurs respectives de 59,46, 21,24 et 18,99% (Fig.5.6, Fig.5.7).

Dans les stations Ar et Tha, les espèces les plus abondantes sont *Baetis pavidus* avec respectivement 93,02 et 77,94%, *Baetis rhodani* avec respectivement 4,02 et 19,69% et *Baetis sinespinosus* avec 2,96 et 2,29% (Fig.5.6, Fig.5.8).

Aux stations Gh et M'ch, l'espèce *Baetis pavidus*, avec respectivement 55,06 et 64,01%, suivie par *Caenis luctuosa* avec 39,77 et 30,73%, ensuite *Ecdyonurus rothschildi* avec 5,35 et 3,85% puis *Procloeon stagnicola* avec 1,47 et 1,10% (Fig.5.6).

Aux stations Fg et AvK, les valeurs maximales respectives des abondances sont 41,35 et 67,05% pour *Caenis luctuosa*, 39,02 et 29,41% pour *Baetis pavidus* et 17,32 et 1,32% pour *Cloeon gr. simile*. Par ailleurs, aux stations Tf, Fd2, Mn et Bz, le maximum respectif des abondances relatives est marqué par *Baetis pavidus* avec 96,71, 87,10, 92,76 et 99,21%, puis *Caenis luctuosa* avec 3,10, 11,30, 4,08 et 6,68% (Fig.5.6, Fig.5.7, Fig.5.8).

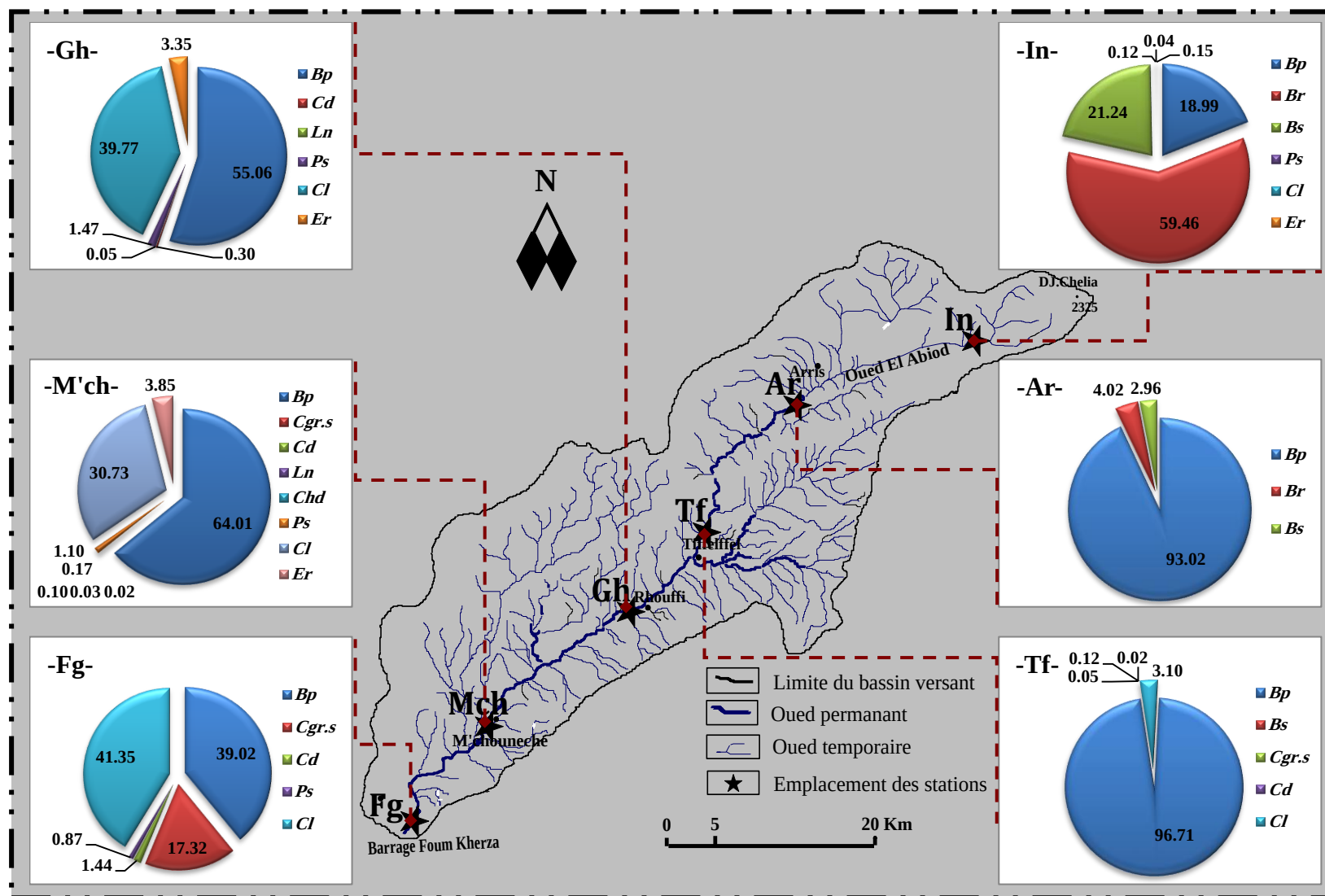


Figure 5.6. Distribution spatiale des abondances relatives des espèces des Ephemeroptères du sous bassin versant de l'oued El Abiod

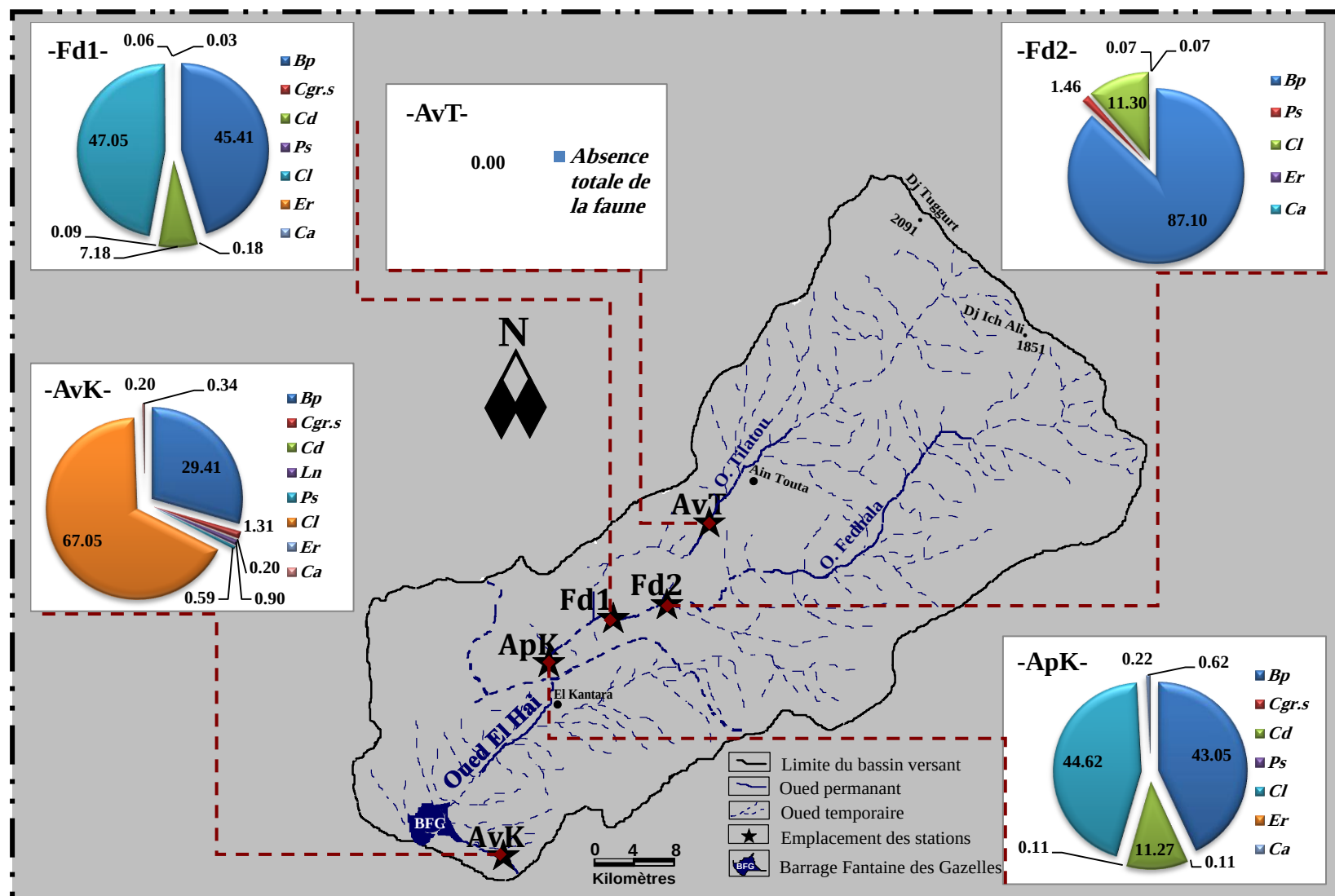


Figure 5.7. Distribution spatiale des abondances relatives des espèces des Ephéméroptères du sous bassin versant de l'oued El Hai

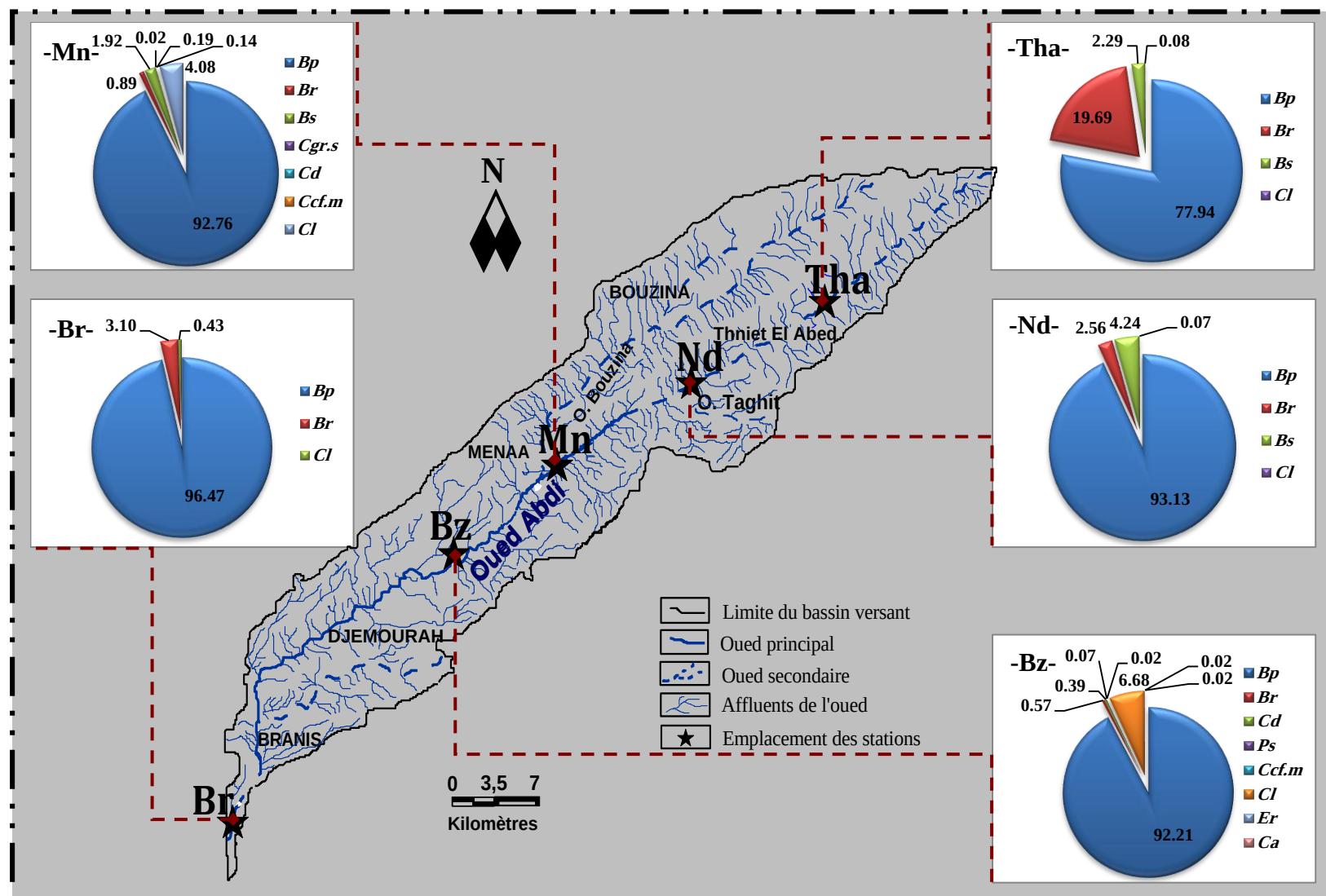


Figure 5.8. Distribution spatiale des abondances relatives des espèces des Ephéméroptères du sous bassin versant de l'oued Abdi

Dans les stations Fd1 et ApK, l'espèce la plus abondante est *Caenis luctuosa* avec respectivement 47,05 et 44,62%, suivie par *Baetis pavidus* avec 45,41 et 43,05%, puis *Cloeon dipterum* avec 7,18 et 11,27% (Fig.5.7).

Dans la station Nd, la première place des abondances relatives est occupée par *Baetis pavidus* avec 93,13%, la deuxième par *Baetis sinsepinosus* avec 4,24% et la troisième par *Baetis rhodani* avec 2,56%. Alors que, dans la station de Br, la deuxième position suite à l'espèce *Baetis pavidus* (96,47%), est donnée à l'espèce *Baetis rhodani* avec 3,10%. Le reste des valeurs des abondances relatives expriment l'état des espèces à très faible dominance aux rares (Fig.5.8).

1-3-1-3-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. Elle paraît à chaque oued comme suit :

Tableau 5.3. Classement des espèces par oued en fonction de leur fréquence

	E. omniprésentes	E. constantes	E. fréquentes	E. communes	E. accessoires	E. rares
Espèces	O. El Abiod	O. El Hai	O. Abdi			
<i>Baetis pavidus</i>	100	100	90,91			
<i>Baetis rhodani</i>	78,26	-	27,27			
<i>Baetis sinsepinosus</i>	47,83	-	18,18			
<i>Cloeon gr. simile</i>	73,91	54,55	4,55			
<i>Cloeon dipterum</i>	52,17	50	13,64			
<i>Labiobaetis neglectus</i>	17,39	50	-			
<i>Cheleocloeon dimorphicum</i>	13,04	-	-			
<i>Procloeon stagnicola</i>	52,17	59,09	4,55			
<i>Caenis luctuosa</i>	91,30	90,91	77,27			
<i>Caenis cf. macrura</i>	-	-	22,73			
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	69,57	18,18	4,55			
<i>Choroterpes (Ch) atlas</i>	-	22,73	4,55			

1-3-2-Variabilité temporelle des caractéristiques de la faune

1-3-2-1-Richesse spécifique

La comparaison des richesses spécifiques trouvées dans les différentes stations d'échantillonnage et à chaque saison a été réalisée par une analyse de variance à un facteur, afin de déterminer les différences significatives temporelles entre les différentes stations d'étude. Les résultats de l'ANOVA 1 obtenus sur l'ensemble des valeurs relevées, montrent que la valeur de P (0,203) était supérieure au seuil de signification 0,05, nous conservons donc l'hypothèse nulle (H_0 : pas de différence significative entre les échantillons). Il n'y a

aucune différence saisonnière significative avec un seuil de signification (risque d'erreur) de 5%, sur l'ensemble des richesses spécifiques. Cependant, la significativité du test LSD de Fisher permet de montrer l'existence d'une différence significative entre les 8 saisons testées en les comparant deux à deux. Les nombres d'apparitions des espèces ont été les plus faibles au printemps 2009 et sont significativement plus élevés en été 2008 qu'en hiver 2008 et qu'en hiver et printemps 2009 (Tab.5.4, Fig.5.9).

Tableau 5.4. Résultats de l'ANOVA 1 sur les richesses spécifiques mesurées sur les stations au cours des 8 saisons d'échantillonnage.

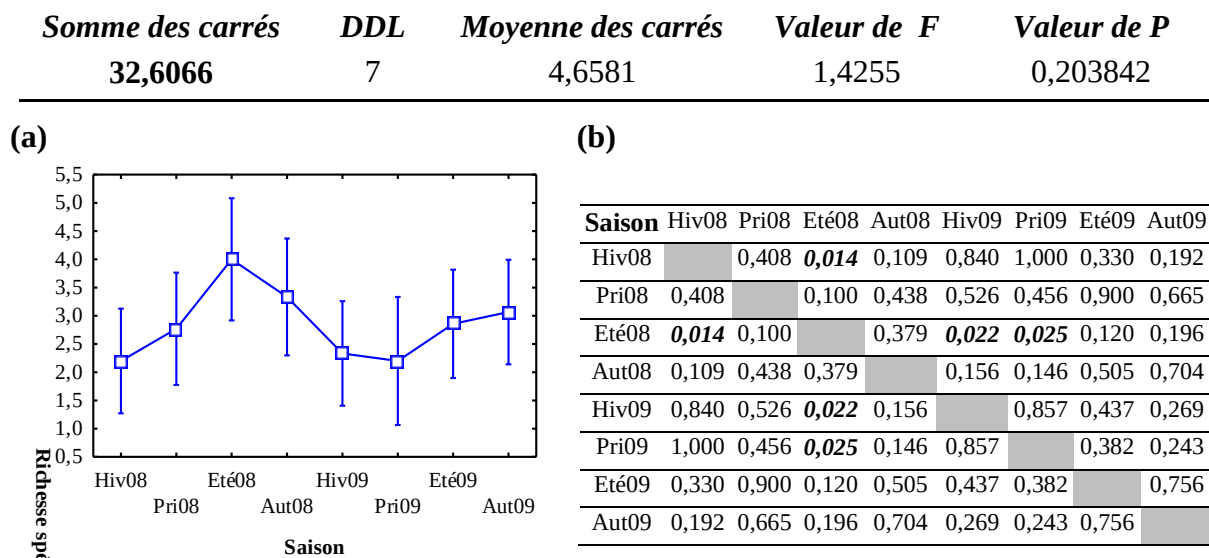


Figure 5.9. (a) Graphe des interactions des valeurs moyennes (Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0,95). **(b)** Test LSD de Fisher : les valeurs de p en gras et italique indiquent les différences significatives de richesses spécifiques entre les deux saisons considérées.

1-3-2-2-Abondance relative

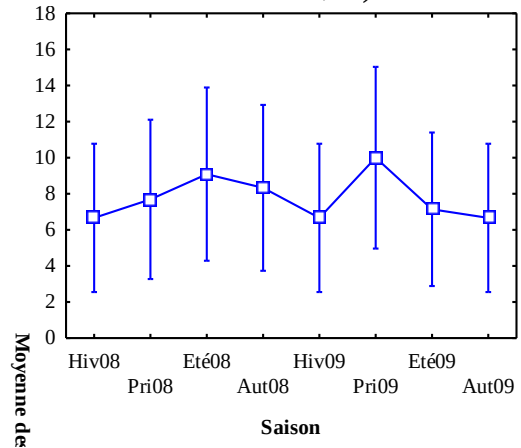
L'ANOVA à un facteur (saison) effectuée sur les abondances relatives totales obtenues par station a confirmé qu'elles ne varient pas significativement selon les saisons avec un seuil de signification de 5 %.

Selon les résultats obtenus (Tab.5.5, Fig.5.10), la valeur de P (0, 9564) étant largement supérieure au seuil de signification 0,05, nous acceptons donc l'hypothèse nulle (pas de différence significative entre les échantillons). Au total, sur l'ensemble des stations, les abondances relatives enregistrées durant la saison du printemps 2009 dans les stations de l'aval Br (34,31%) et AvK (33,42%) paraissent généralement supérieures à celle notée en hiver 2008 dans la station ApK (0,011%).

Tableau 5.5. Résultats de l'ANOVA 1 sur les abondances relatives mesurées sur les stations au cours des 8 saisons d'échantillonnage (DDL : degré de liberté, F : Fisher, P : probabilité)

Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	Valeur de F	Valeur de P
130,703	7	18,672	0,28999	0,95643

Figure 5.10. Graphe des interactions des valeurs moyennes (Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0,95).



1-4-Diversité générique et spécifique

Les indices de diversité permettent de comparer des peuplements de stations ou de groupes de stations entre elles. 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. Quatre descripteurs ont été retenus pour la caractérisation de la structure du peuplement à savoir, la diversité de Shannon-Weiner H' , l'Equitabilité de Pielou E , l'indice de Simpson (D') et l'indice de similarité (I_s).

1-4-1-Etude globale et particulière de la diversité par oued

Sur l'ensemble des 3 oueds étudiés dans la région des Aurès, les indices de Shannon, d'Equitabilité et de Simpson enregistrent respectivement les valeurs de 1,672 bits, 0,466 et 0,422. Le faible indice de diversité (H') revient au déséquilibre entre l'abondance qui paraît nettement élevée (60615 ind.) et la richesse spécifique qui est faible (12 espèces seulement). Ceci se traduit par la dominance des espèces, *Baetis pavidus* et *Caenis luctuosa*, par rapport aux autres. Cette dominance conduit à une certaine hétérogénéité dans la répartition du peuplement des Epheméroptères et une valeur d'Equitabilité plus ou moins proche de 0 que 1 ($E = 0,466$). L'indice de Simpson, qui est liée aux variations d'abondance entre les espèces dominantes, marque une valeur plus ou moins proche au 0 ($D' = 0,422$). Ce qui peut s'expliquer par une diversité assez moyenne de notre peuplement.

Si nous considérons nos résultats par oued, les valeurs de H' , $d'E$ et de D' varient respectivement entre les valeurs de $H' = 1,863$ bits, $E = 0,561$ et $D' = 0,372$, enregistrées à oued El Abiod et les valeurs de $H' = 0,539$, $E = 0,162$ et $D' = 0,848$, notées à oued Abdi. Ces valeurs témoignent d'une régularité des peuplements d'Ephéméroptères au niveau du sous bassin versant de l'oued El Abiod et une diversité importante par rapport à celle du sous bassin de l'oued Abdi où une seule espèce (*Baetis pavidus* : 12296 ind. sur un total de 13368 ind.), domine et conduit à une faible diversité et une grande hétérogénéité dans la répartition du peuplement (Fig.5.11).

Concernant le sous bassin versant de l'oued El Hai, malgré qu'il parait avec une abondance plus élevée (17310 ind.) et une richesse spécifique moins élevée que celle de l'oued Abdi (8 espèces), il montre une représentation mieux équilibrée entre leurs espèces, ceci est traduit par des valeurs assez moyennes de $H' = 1,316$ bits, de $E = 0,439$ et $D' = 0,467$ qui sont plus proches aux valeurs de l'oued El Abiod que l'oued Abdi (Fig.5.11).

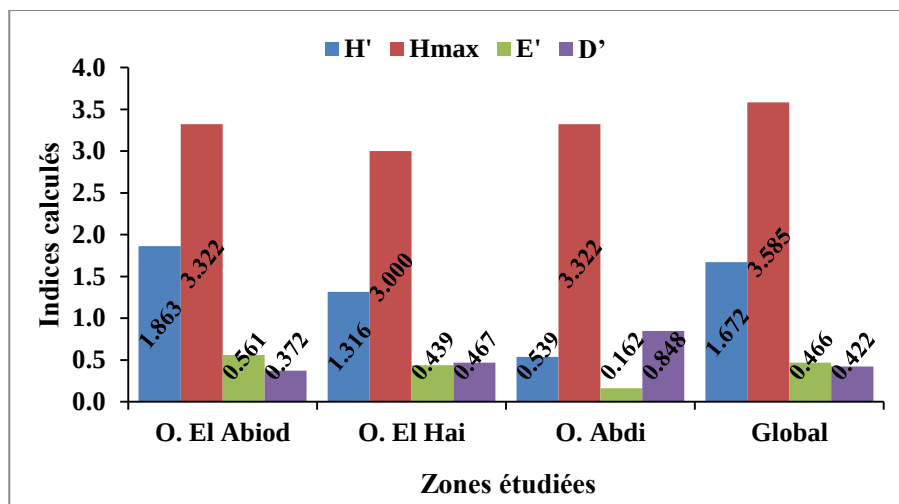


Figure 5.11. Importance des indices de diversité calculés dans la région d'étude et en fonction des différents oueds prospectés

1-4-2-Variation spatiale de la diversité

1-4-2-1-Indice de Shannon et Weaver (H')

D'après BOURNAUD et KECK (1980), l'indice de Shannon-Weaver présente l'intérêt écologique de fournir une indication globale de l'importance relative des différents taxons. Nous avons calculé pour chaque station l'indice de diversité H' puis nous les avons comparés. Les valeurs enregistrées sont entre 1,64 (Fg) et 0,22 bits (Tf).

Les plus faibles indices de diversité (H') rencontrés sont celles des stations Tf (0,22 bits) et Br (0,24 bits) et à moindre degré celles des stations Fd2 (0,63 bits), Mn (0,49 bits), Bz (0,46 bits), Nd et Ar (0,43 bits), coïncident avec la dominance nette de l'espèce *Baetis*

pavidus. Les stations Gh, M'ch, AvK et Tha marquent les valeurs moyennes de l'indice de diversité (H') avec respectivement 1,29, 1,22, 1,16 et 0,87 bits, ceci dû au fait que certaines espèces ont une bonne représentation. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les stations de Fd1 (1,34 bits), In (1,41 bits), ApK (1,48 bits) et Fg (1,64 bits). Les valeurs des abondances de la moitié des espèces recensées dans ces stations sont plus ou moins proches, donc, montrent une très bonne représentation (Fig.5.12).

1-4-2-2-Indice d'Equitabilité de Pielou (E)

L'indice d'Equitabilité, définie par le rapport entre la diversité (H') et la diversité maximale ($H_{\max}$), varie d'une station à l'autre entre un minimum de 0,07 enregistré aux stations de Tf et Br et un maximum de 0,49 noté aux stations de Fg et ApK. En effet, la plupart des valeurs sont proches de 0 que de 1, ce qui se traduit par une forte hétérogénéité dans la répartition des espèces du peuplement des Ephéméroptères. Ce n'est que les stations de Fd1 (0,45) et Fg avec ApK (0,49) qui montre une répartition des espèces de leurs populations proche de l'homogénéité. Pour cela, leurs valeurs de l'Equitabilité sont au seuil moyen (Fig.5.13).

D'une manière générale, H' et E augmentent d'une part avec le nombre d'espèces 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'espèces et/ou de la dominance de certaines espèces. Ceci est semblable à notre cas, où nous avons une faible richesse spécifique et une prédominance de l'espèce *Baetis pavidus* suivie par l'espèce *Caenis luctousa* ou le contraire, dans toutes les stations étudiées.

1-4-2-3-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 sont très fortes allant de 0,77 signalée à la station de Fd2 à 0,94 notée à la station de Tf. Elles tendent toutes vers une valeur de 1, ce qui indique la diversité minimale du peuplement Ephéméroptérologique des stations considérées : Fd2, Bz, Mn, Nd, Ar, Br et Tf. Les stations qui montre une diversité moyenne sont Gh (0,46), M'ch (0,51), AvK (0,54) et Tha (0,65). Elles enregistrent des valeurs en moyenne égales ou plus proches de 0,5. Ces valeurs signifient qu'on a une probabilité de 50 % ou plus proche pour rencontrer la même espèce (Fig.5.14). Les valeurs plus ou moins faibles sont enregistrées aux stations d'In et Fd1 (0,43), ApK (0,40) et Fg (0,35), où la diversité est la plus importante par rapport aux autres stations et la probabilité de rencontrer la même espèce est d'environ 40% des deux individus choisis au hasard dans notre population (Fig.5.14).

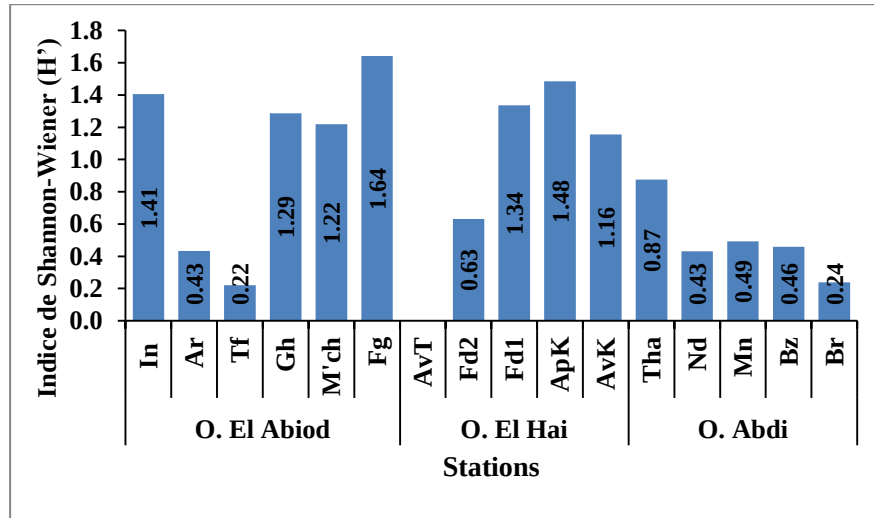


Figure 5.12. Variation spatiale de l'indice de diversité de Shannon-Wiener

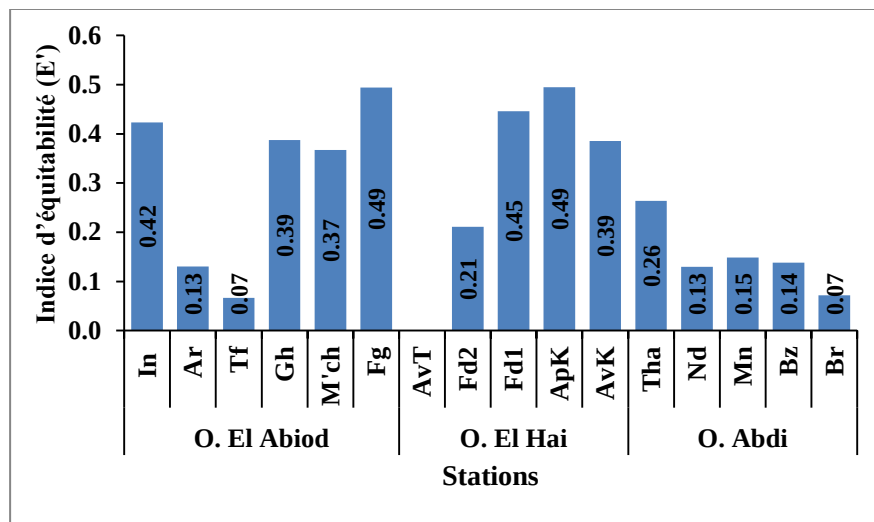


Figure 5.13. Variation spatiale de l'indice d'Equitabilité

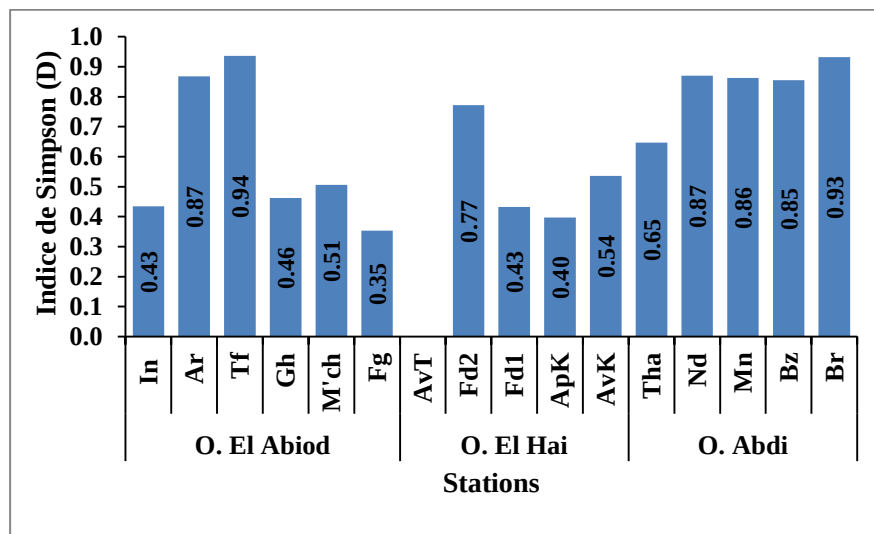


Figure 5.14. Variation spatiale de l'indice de Simpson

1-4-2-4-Indice de similarité (I_s)

Nous avons comparée les peuplements de nos stations dans chaque oued, deux à deux, en utilisant l'indice de similarité de Sorensen (I_s). Cet indice tend vers 0 lorsque les deux biotopes considérés n'ont aucune espèce commune et vers le 1, quand les deux biotopes présentent des biocénoses identiques. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 5.6.

Tableau 5.6. Résultats de comparaison entre les stations en utilisant l'indice de Sorensen I_s

Oueds	Stations comparées	I_s	Interprétation
El Abiod	Inoughissene / Arris	0,667	Grande équilibre entre les deux biotopes
	Inoughissene / Tifelfel	0,545	Presque un équilibre entre les deux biotopes
	Inoughissene / Ghoufi	0,667	Grande équilibre entre les deux biotopes
	Inoughissene / M'chouneche	0,571	Presque un équilibre entre les deux biotopes
	Inoughissene / Foum El Gherza	0,545	
	Arris / Tifelfel	0,500	Les deux biotopes présentent seulement une espèce commune
	Arris / Ghoufi	0,222	
	Arris / M'chouneche	0,182	
	Arris / Foum El Gherza	0,250	Presque un équilibre entre les deux biotopes
	Tifelfel / Ghoufi	0,545	
	Tifelfel / M'chouneche	0,615	Grande équilibre entre les deux biotopes
	Tifelfel / Foum El Gherza	0,800	Approximativement les deux biotopes présentent des biocénoses identiques
	Ghoufi / M'chouneche	0,857	
	Ghoufi / Foum El Gherza	0,727	Grande équilibre entre les deux biotopes
	M'chouneche / Foum El Gherza	0,769	
El Hai	Avant Ain Touta / Fedhala 2	0,000	Aucune ressemblance entre les deux biotopes en raison de l'absence totale des Ephéméroptères dans la station d'AvT
	Avant Ain Touta / Fedhala 1	0,000	
	Avant Ain Touta / Après Kantara	0,000	
	Avant Ain Touta / Avant Kantara	0,000	
	Fedhala 2 / Fedhala 1	0,833	Approximativement les deux biotopes présentent des biocénoses identiques
	Fedhala 2 / Après Kantara	0,833	Grande équilibre entre les deux biotopes
	Fedhala 2 / Avant Kantara	0,769	
	Fedhala 1 / Après Kantara	1,000	Les deux biotopes présentent des biocénoses identiques
	Fedhala 1 / Avant Kantara	0,933	Approximativement les deux biotopes présentent des biocénoses identiques
	Après Kantara / Avant Kantara	0,933	
Abdi	Theniet El Abed / Nouader	1,000	Les deux biotopes présentent des biocénoses identiques
	Theniet El Abed / Menaa	0,727	Grande équilibre entre les deux biotopes
	Theniet El Abed / Bouzina	0,500	Presque un équilibre entre les deux biotopes
	Theniet El Abed / Branis	0,857	Approximativement les deux biotopes présentent des biocénoses identiques
	Nouader / Menaa	0,727	Grande équilibre entre les deux biotopes
	Nouader / Bouzina	0,500	Presque un équilibre entre les deux biotopes
	Nouader / Branis	0,400	Les deux biotopes présentent quelques espèces communes
	Menaa / Bouzina	0,667	Grande équilibre entre les deux biotopes
	Menaa / Branis	0,600	
	Bouzina / Branis	0,545	Presque un équilibre entre les deux biotopes

1-4-3-Variation temporelle de la diversité.

Les indices de Shannon, Simpson et Equitabilité ne présentent pas des différences significatives d'une saison à l'autre. D'après les résultats de l'ANOVA 1 et pour les trois

indices de diversité, les valeurs de P montrent une supériorité nettement large ($>0,8$) au seuil de signification 0,05, ce qui indique que la diversité entre les 3 oueds étudiés ne diffère pas significativement en fonction du temps. Sur l'ensemble des résultats des moyennes, la diversité signalée par les trois indices est plus importante en automne 2008 (Fig.5.15).

Tableau 5.7. Résultats de l'ANOVA 1 sur les Indices de diversité mesurées à chaque oued au cours des 8 saisons d'échantillonnage.

	<i>Somme des carrés</i>	<i>DDL</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>Valeur de F</i>	<i>Valeur de P</i>
Indice de Shannon (H')	1,21106	7	0,17301	0,45023	0,85580
Indice de Simpson (D')	0,13401	7	0,01914	0,3141	0,93687
Indice d'Équitabilité	0,11271	7	0,01610	0,43215	0,86789

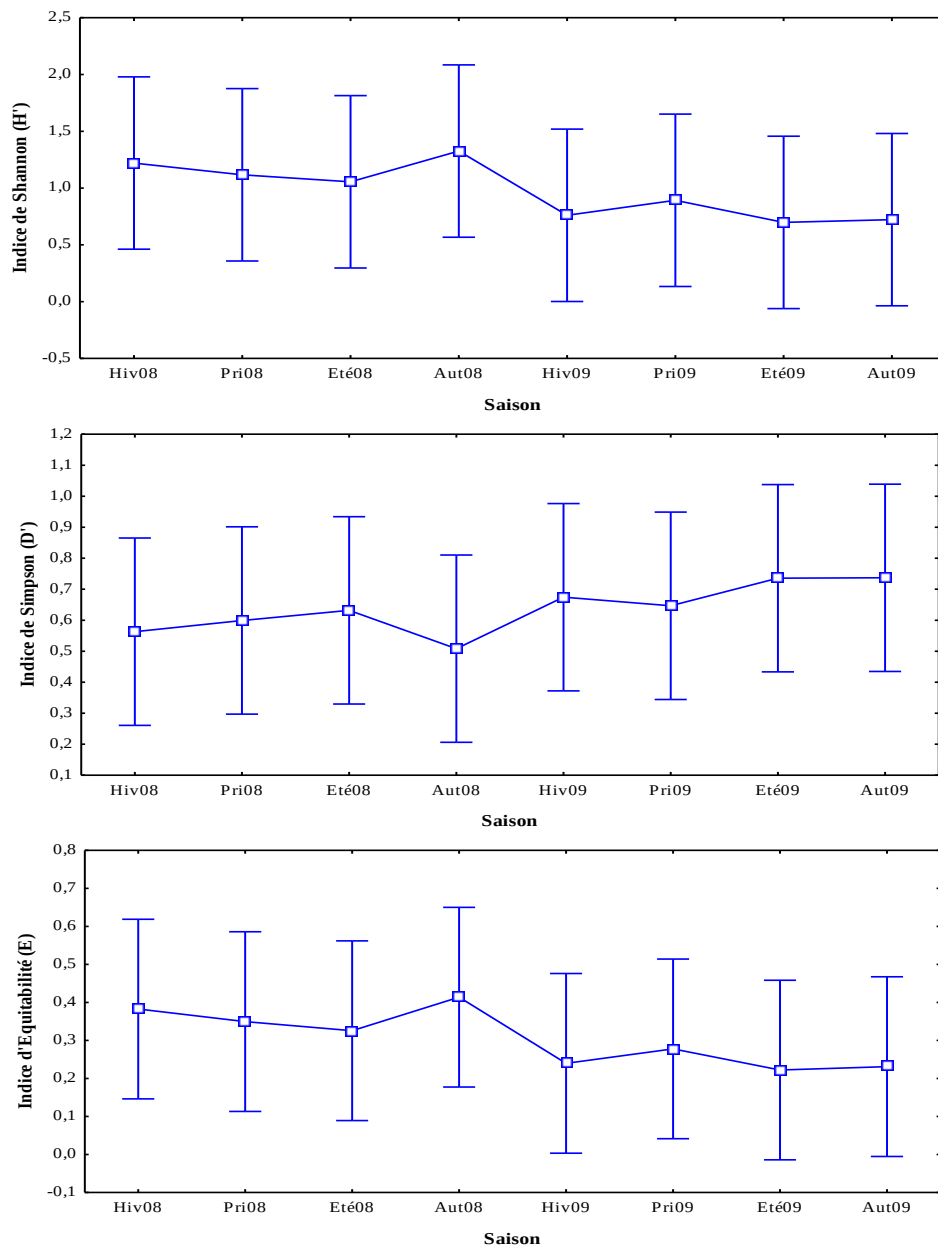


Figure 5.15. Graphes des interactions des valeurs moyennes (Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0,95).

1-5-Affinité cénotique entre les espèces

Afin de rendre compte de l'affinité cénotique entre espèces, nous avons utilisé un indice d'association, le carré moyen de contingence (BONNET, 1965 et 1966), qui se calcule par l'équation suivante :

$$\phi F = \frac{(C-P)N-N/2}{\sqrt{A(N-A)B(N-B)}} \quad \text{Avec A et B : le nombre de stations colonisées}$$

respectivement par les deux espèces comparées ; C : le nombre des stations où ces deux espèces coexistent ; N : le nombre total des stations étudiées ; $P = AB/N$: la probabilité de rencontrer simultanément les deux espèces dans une station. Ce coefficient varie de (-1) incompatibilité à (+1) affinité, les valeurs proches de 0 correspondant à une indifférence des deux espèces l'une pour l'autre. En outre, la signification des valeurs obtenues peut être évaluée à un seuil de probabilité de 1 % et 1 ‰. Notons que la station d'AvT est éliminée de tous les calculs en raison de l'absence totale des Epheméroptères dans cette station durant toute la période d'étude.

2 couples d'espèces, *C. dipterum*-*C. (Ch) atlas* et *C. luctuosa*-*E. rothschildi*, révèlent une affinité significative au seuil de probabilité de 1 % et 9 autres couples ont une affinité plus marquée significativement au seuil de probabilité de 1 ‰ : *B. rhodani*-*B. sinespinosus*, *C.gr. simile*-*C. dipterum*, *C.gr. simile*-*C. luctuosa*, *C. dipterum*-*C. luctuosa*, *L. neglectus*-*P. stagnicola*, *L. neglectus*-*C. luctuosa*, *L. neglectus*-*E. rothschildi*, *P. stagnicola*-*C. luctuosa* et *P. stagnicola*-*E. rothschildi*. Par contre, 3 couples manifestent une incompatibilité significative au seuil de 1 % : *B. rhodani*-*P. stagnicola*, *B. sinespinosus*-*P. stagnicola* et *B. sinespinosus*-*C. (Ch) atlas* ; et enfin, 5 couples ont une incompatibilité significative au seuil de 1 ‰ : *B. rhodani*-*C.gr. simile*, *B. rhodani*-*C. dipterum*, *B. rhodani*-*C. luctuosa*, *B. sinespinosus*-*C. dipterum* et *B. sinespinosus*-*C. luctuosa* (Tab.5.8).

1-5-Affinité cénotique

1-5-1-1-Au seuil de probabilité 1 % ($p < 0,01$)

* Le premier couple réunit deux espèces, *C. dipterum* et *C. (Ch) atlas*, à préférence altitudinale et thermique similaire. Les deux espèces sont thermophiles colonisant les stations hautement minéralisées, de moyenne à basse altitude et à fond pierreux composé essentiellement de galet, de gravier et du sable (Tab.5.8).

* Le deuxième couple correspond à deux espèces plus eurythermes et eurytopes, *C. luctuosa* et *E. rothschildi*, qui tolèrent les larges amplitudes thermique et altitudinale. Elles sont principalement inféodées aux cours moyen et inférieur des eaux plus minéralisés, à courant moyen à très rapide (Tab.5.8).

1-5-1-2-Au seuil de probabilité 1 ‰ (p < 0,001)

3 noyaux d'affinité significative s'individualisent au seuil de 1 ‰, dont 2 possèdent un couple d'espèces en commun. Ces noyaux sont (Tab.5.8) :

* *C.gr. simile-C. dipterum-C. luctuosa* : l'affinité cénotique entre ces espèces est à souligner. Elle est plus importante dans les cours d'eau à basse altitude, à température élevée et à forte conductivité. Les 2 espèces du genre *Cloeon* se rencontrent le plus souvent dans des eaux relativement calmes et chaudes, ce qui est confirmé par les observations de LOUNACI-DAOUDI (1996), MEBARKI (2001) et LOUNACI (2005) en Kabylie algérienne et celles de DAKKI et EL AGBANI (1983), EL ALAMI et DAKKI (1998) et EL ALAMI (2002) au Maroc. En outre, la présence de l'espèce *Caenis luctuosa* dans les eaux chaudes à forte variation thermique et à très haute conductivité, a été signalée par plusieurs auteurs : BOUMAIZA et THOMAS (1986), LOUNACI (1987), AÏT MOULOUD (1988), GAGNEUR et THOMAS (1988), LOUNACI-DAOUDI (1996) et EL ALAMI (2002).

Tableau 5.8. Matrice du carré moyen de contingence entre les 12 espèces

Seuils de probabilité : * p < 0,01 (1 %) ; ** p < 0,001 (1 ‰)

Espèces	Bp	Br	Bs	Cgr.s	Cd	Ln	Chd	Ps	Ccf.m	Cl	Er	Ca
<i>B. pavidus</i>	1,000											
<i>B. rhodani</i>	-0,112	1,000										
<i>B. sinespinosus</i>	0,028	0,749**	1,000									
<i>C. gr. simile</i>	0,185	-0,624**	-0,377	1,000								
<i>C. dipterum</i>	0,107	-0,681**	-0,604**	0,784**	1,000							
<i>L. neglectus</i>	0,309	-0,437	-0,390	0,226	0,272	1,000						
<i>Ch. dimorphicum</i>	0,309	-0,235	-0,209	0,135	0,032	0,487	1,000					
<i>P. stagnicola</i>	0,028	-0,583*	-0,573*	0,322	0,444	0,711**	0,448	1,000				
<i>C. cf. macrura</i>	0,459	0,203	0,129	-0,056	0,156	-0,195	-0,105	-0,203	1,000			
<i>C. luctuosa</i>	0,232	-0,783**	-0,744**	0,726**	0,826**	0,627**	0,310	0,784**	0,042	1,000		
<i>E. rothschildi</i>	-0,028	-0,432	-0,425	0,162	0,400	0,721**	0,457	0,816**	-0,182	0,596*	1,000	
<i>C. (Ch) atlas</i>	-0,216	-0,473	-0,542*	0,363	0,551*	0,150	-0,185	0,308	0,058	0,441	0,417	1,000

* *L. neglectus-P. stagnicola-C. luctuosa* : Ces espèces eurytopes et eurythermes colonisent les cours de moyenne à basse altitude et à conductivité élevée. Elles présentent la même valence écologique ainsi que les mêmes préférences thermiques et elles ont une forte préférence pour les faciès à courant rapide. En fait, l'ubiquité de *C. luctuosa* fait qu'elle vit souvent avec plusieurs autres espèces qui ne présentent pas obligatoirement les mêmes affinités. En outre, sa grande valeur écologique due probablement à son cycle polyvoltin, son régime alimentaire détritivore et sa grande tolérance vis-à-vis des variations abiotiques, lui

permettent de coloniser une grande variété de biotopes (VELASCO *et al.*, 1998). Pour cela, nous avons rencontré cette espèce dans plusieurs couples corrélées significativement au seuil de probabilité 1% et 1‰.

**L. neglectus-E. rothschildi-P. stagnicola*: En considérant l'affinité significative marquée entre les espèces *E. rothschildi* et *C. luctuosa* au seuil de 1%, nous pouvons réunir ce noyau avec le noyau précédent pour construire un seul noyau plus gros composé des 4 espèces *L. neglectus-E. rothschildi-P. stagnicola-C. luctuosa*. Toutes ces espèces sont thermophiles et se rencontrent dans les biotopes des cours moyen et inférieur, à courant modéré à rapide et fortement minéralisés.

*enfin, le dernier couple d'affinité au seuil 1‰ rapproche deux espèces, *B. rhodani* et *B. sinespinosus*, correspondant aux espèces alticoles inféodées aux stations du cours supérieur de haute altitude. Elles se caractérisent par leur abondance dans les zones de sources et des ruisseaux froids. Les études de DAKKI et EL AGBANI(1983), EL AGBANI *et al.* (1992) et BOUZIDI et GIUDICELLI (1994), confirment ces descriptions. En général, ces espèces colonisent principalement les eaux permanentes fraîches à courant assez rapide, à minéralisation faibles et à granulométrie peu diversifiée.

1-5-2-Incompatibilité cénotique

Tous les cas d'incompatibilité, au seuil de probabilité de 1% ou au seuil de 1‰, sont représentés par les espèces *Baetis* groupe *rhodani* avec d'autre espèce parmi l'ensemble recensé (Tab.5.8). L'espèce *B. rhodani* est impliquée dans une incompatibilité au seuil de probabilité de 1% : *B. rhodani-P. stagnicola*, et dans trois autres cas au seuil de 1‰ : *B. rhodani-C.gr. simile*, *B. rhodani-C. dipterum*, *B. rhodani-C luctuosa*. De même, *B. sinespinosus* est impliquée dans deux incompatibilité au seuil de 1% : *B. sinespinosus-P. stagnicola* et *B. sinespinosus-C. (Ch) atlas*, et dans deux autres au seuil de 1‰ : *B. sinespinosus-P. stagnicola* et *B. sinespinosus-C. (Ch) atlas*. Ces oppositions sont dues principalement à leurs préférences écologiques. Les deux espèces du groupe *rhodani* recensées montrent une nette préférence pour les eaux du cours supérieur de haute altitude, à température fraîche et peu minéralisées. Les études déjà citées de DAKKI et EL AGBANI (1983), EL AGBANI *et al.* (1992) et BOUZIDI et GUIDICELLI (1994) indiquent que *B. gr. rhodani* se rencontre en particulier dans les parties supérieures de presque tous les cours d'eau marocains, où les températures hivernales sont basses et disparaît des eaux chaudes. Par contre, toutes les autres espèces sont thermophiles et se cantonnent essentiellement dans des lieux de basse à moyenne altitude.

1-6-Biotypologie du peuplement des Ephéméroptères

Afin d'étudier la structure spatiale des Ephéméroptères et les affinités cénotiques entre leur peuplements dans les différents réseaux hydrographiques étudiés de la région des Aurès, nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Son utilisation par de nombreux auteurs (VERNEAUX, 1973 ; VERNEAUX et REZZOUK, 1974 ; BOURNAUD et KECK, 1980 ; GUIDICELLI *et al.*, 1980 ; DIA, 1983 ; DAKKI, 1979, 1985, 1986a, b, 1987 ; EL AGBANI, 1984 ; MOHATI, 1985 ; VINÇON et THOMAS, 1987 ; BOUZIDI, 1989 ; EL AGBANI *et al.*, 1992 ; BOUZIDI et GIUDICELLI, 1994 ; BERRAHOU, 1995 ; SAOUD, 1995 ; EL ALAMI, 2002) témoigne de l'efficacité de cette méthode comme moyen judicieux d'organiser les points d'eau en fonction des ressemblances entre leurs peuplements et d'apprécier comment réagissent leurs espèces face aux facteurs du milieu.

Le tableau que nous avons utilisé dans cette analyse est une matrice binaire de «n espèces x n stations » où chaque espèce est représentée dans chaque station par une valeur correspondant à son abondance maximale, sans tenir compte de la saison où elle a été relevée. L'utilisation de l'abondance maximale annuelle des espèces dans la biotypologie, proposée par DAKKI (1985), est devenue assez courante ; ceci signifie que le maximum d'abondance annuelle est un paramètre quantitatif adéquat pour l'étude de la typologie. En effet, il 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 des cours d'eau temporaires et permanents et d'atténuer le problème des irrégularités des campagnes de prélèvement et la rigueur de la méthode utilisée dans la collecte de la faune. Nous avons effectué l'analyse de chaque oued à part, puis une analyse globale de l'ensemble des stations prospectées dans la région des Aurès, et les 12 espèces qui y sont recensées.

1-6-1-Biotypologie particulière des différents sous bassins versants

1-6-1-1-Oued El Abiod

Le traitement des données par l'AFC est réalisé à partir d'un tableau binaire composé de 10 espèces recensées et 6 stations prospectées le long du sous bassin versant de l'oued El Abiod. Les trois premiers axes cumulent 98,47% de l'inertie totale du nuage des points. Seule la distribution des points lignes et colonnes sur le plan F1xF2, est retenue où les deux axes qui concentrent le maximum d'information avec 63,16% sur l'axe F1 et 22,86% sur l'axe F2, soit une information totale de 86,02%. Les stations de haute altitude se situent vers la droite du plan factoriel et celles de basse et moyenne altitude vers la gauche. Le facteur altitude semble donc se manifester suivant l'axe F1. Si nous faisons la jonction des points du cours axial du réseau hydrographique de l'oued El Abiod suivant leur succession dans la nature, nous

obtenons une courbe en forme de V inversée reflétant la présence d'un gradient amont-aval selon l'axe F1. Toutefois, certaines irrégularités s'observent en particulier au niveau des stations M'ch et Gh. A cet axe s'ajoute la minéralisation et la température moyenne. De même, nous remarquons que dans le plan F1xF2, les stations à courant relativement forts se rassemblent vers le haut sur les parties droite et gauche du plan factoriel et les stations à courant strictement rapide vers le côté opposé. Par conséquent, L'axe F2 s'explique partiellement par la vitesse du courant et par certains paramètres physico-chimiques (l'oxygène dissous, les MES, le pH, les sels nutritifs et le phosphore).

Dans le plan factoriel F1xF2, nous avons pu identifier 3 groupements ayant une faune commune et à peu près proche de l'analyse mésologique (Fig.5.16a) :

*** Le groupement I des stations du cours supérieur de haute altitude :** Il correspond à la station permanente (In) et la station temporaire (Ar) caractérisées par des eaux fraîches, une minéralisation faible, un courant rapide, une dureté calcique et magnésienne faible, une faible largeur et une granulométrie peu diversifiée. Il occupe une position éloignée de l'origine des axes liée à la spécialisation de son peuplement constitué par les espèces : *B. rhodani* et *B. sinespinosus*.

*** Le groupement II de la 1^{ère} paire des stations des cours moyen et inférieur :** Ces stations se caractérisent généralement par des eaux tempérées à chaudes, à courant assez fort et à concentration semblable en magnésium, chlorures, sulfates, MES et bicarbonates. Ce groupement comprend une station semi permanente (Tf) à moyenne altitude (760 m), à débit et profondeur faibles et à granulométrie peu diversifiée. L'autre station est permanente (M'ch) à basse altitude (323 m) profonde, à eau plus tempérée, à débit plus élevé et à granulométrie plus diversifiée. Cette station se situe sur une zone de transition entre la moyenne montagne et la basse ville. Elle occupe une position proche du centre du plan factoriel liée à la diversification de son peuplement et à sa spécialisation par une espèce exclusive, c'est la station typique. Ce groupement s'individualise par la prédominance de ses espèces : *B. pavidus* et l'exclusivité de l'espèce *Ch. dimorphicum* à la station typique de M'ch.

*** Le groupement III de la 2^{ème} paire des stations des cours moyen et inférieur :** dont une station est semi permanente du cours moyen (Gh) à moyenne altitude (617 m) et l'autre permanente du cours inférieur (Fg) à basse altitude (125 m). Ces stations se caractérisent par des températures estivales élevées, un courant rapide, une dureté calcique et magnésienne importante, des concentrations fortes en chlorures, une minéralisation importante et une granulométrie plus diversifiée. Ce groupement englobe des espèces à écologie plus ou moins

différente : *L. neglectus*, *E. rothschildi*, *P. stagnicola*, *C. luctuosa*, *C. dipterum* et *C. gr. simile*.

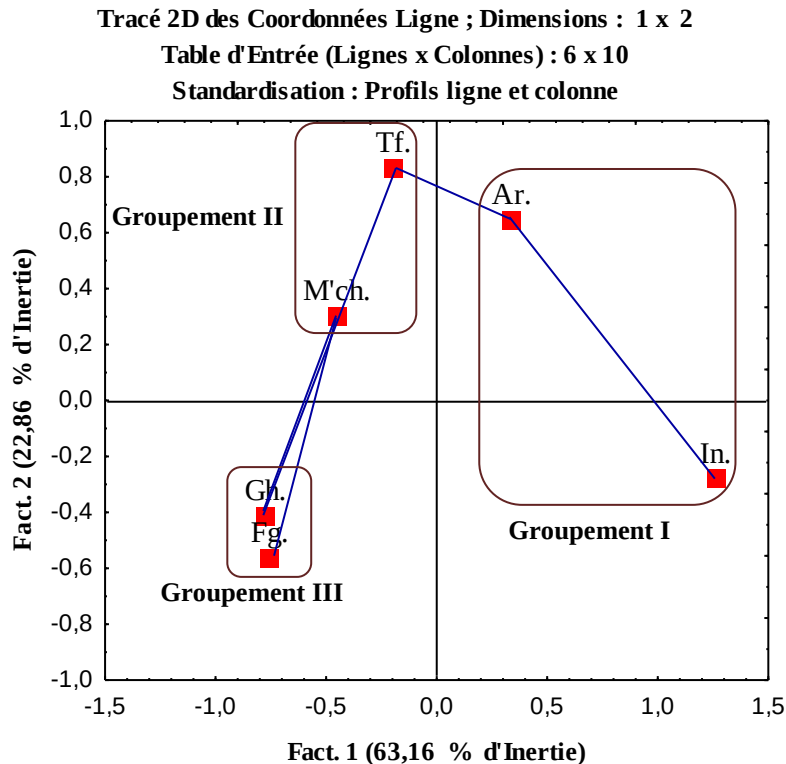


Figure 5.16a. Biotypologie de l'oued El Abiod : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC

De plus, nous pouvons distinguer dans le nuage des points-espèces sur le plan factoriel F1xF2, 3 groupements faunistiques (Fig.5.16b):

*** Le groupement A :** Il regroupe les espèces alticoles qui préfèrent habiter les eaux fraîches du cours supérieur de haute altitude : *B. rhodani* et *B. sinespinosus*. En Algérie, les *B. gr. rhodani* sont parmi les Ephémères eurytopes et eurythermes les plus abondantes et les plus fréquentes des rivières de la Kabylie, ils colonisent en altitude et en plaine, tous types de biotopes aussi bien les stations des cours d'eau rapides, comme notre cas, que les secteurs faibles (MEBARKI, 2001). En outre, au Maroc, *B. rhodani* se rencontre en particulier dans les parties supérieures de presque tous les cours d'eau où les températures hivernales sont basses et disparaît des eaux les plus chaudes (DAKKI et EL AGBANI, 1983 ; EL AGBANI *et al.*, 1992 ; BOUZIDI et GIUDICELLI, 1994). Ces études confirment les constatations concernant nos espèces *Baetis* du groupe *rhodani*.

*** Le groupement B :** Il comprend principalement des espèces thermophiles des cours moyen et inférieur avec une certaine préférence pour les altitudes assez élevées lorsque la température estivale est importante : *C. dimorphicum* et *B. pavidus*. L'espèce *B. pavidus* est

une espèce thermophile, eurytope à large distribution. Nous l'avons récolté dans toutes les stations échantillonnées, avec une nette prédominance aux stations de ce groupement (Tf et M'ch). Selon El AGBANI (1984), cette espèce colonise, en particulier, les eaux tempérées des cours moyen et inférieur et remonte vers les hautes altitudes durant l'été. Dans notre bassin versant, sa répartition altitudinale se situe dans une fourche oscillant entre 125 et 1360m.

En ce qui concerne *C. dimorphicum* est exclusive à la station typique M'ch. Selon SOLDAN et THOMAS (1985), cette espèce colonise les cours d'eau permanents, à fond pierreux, riches en débris de plantes et à courant relativement fort. Ceci paraît en accord avec nos résultats.

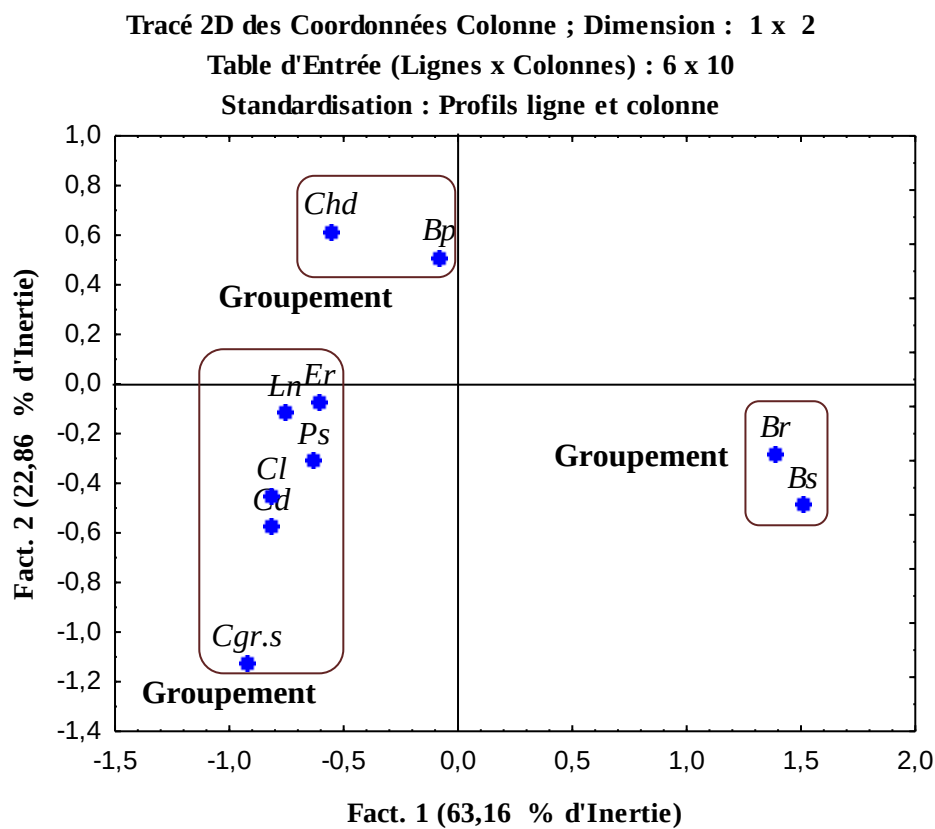


Figure 5.16b. Biotypologie de l'oued El Abiod : structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC

*** Le groupement C :** Ce groupement est écologiquement hétérogène. Il regroupe différentes espèces dont leurs présences et leurs abondances varient en fonction de leur degré de préférence des biotopes qu'ils côtoient. Il se divise en trois noyaux :

-Deux espèces thermophiles : *E. rothschildi*, la plus eurytherme et la plus thermophile des Heptageniidae ; et *L. neglectus* observée seulement à la station de Gh dans ce groupement, Cette espèce pullule dans les rivières de basse et moyenne altitude caractérisées par des

températures estivales élevées (EL AGBANI, 1984 ; EL ALAMI, 2002). Selon EL ALAMI (2002), elle a une forte prédilection pour les faciès à forte vitesse d'écoulement, c'est le cas de notre station.

-Une espèce qui est présentée seulement à la station de Fg, *C. gr. simile*. En effet, cette station se caractérise par une hétérogénéité en microhabitats caractérisée par différentes vitesses du courant, une granulométrie variée et une végétation diversifiée. L'abondance élevée de cet élément lénitophile et potamophile dans cette station montre sa nette préférence pour cette habitat favorable à sa prolifération : température de l'eau élevée, faible profondeur, secteur à vitesse très modérée à calme, substrat fin dominant et végétation aquatique riche composée d'algues et de matières organiques (LOUNACI-DAOUDI, 1996 ; MEBARKI, 2001 ; EL ALAMI, 2002).

-Un ensemble d'espèces thermophiles fréquentant deux stations de ce groupe : *C. dipterum* espèce lénitophile qui préfère les eaux relativement calme à fond pierreux dominé par les graviers, pour cela, elle est plus abondante à la station de Fg ; *P. stagnicola* qui se cantonne rarement dans les eaux à courant rapide et *C. luctuosa* qui est eurytope, eurytherme ubiquiste et se rencontre dans tous les types de faciès avec une préférence pour les zones lénitiques des cours d'eau à courant rapide. En Afrique du Nord, cette espèce peut coloniser les eaux à très haute conductivité (1600 $\mu\text{S/cm}$) et s'affirme comme l'espèce la plus polluo-résistante (ZAMORA-MUNOZ et ALBA-TERCEDOR, 1992 ; EL ALAMI, 2002). Pour cela, nous l'avons récoltée avec la plus grande abondance (759 ind.) dans la station de Gh qui enregistre la moyenne la plus élevée de la conductivité électrique (1646,71 $\mu\text{S/cm}$) dans le sous bassin versant de l'oued El Abiod.

1-6-1-2-Oued El Hai

La matrice binaire utilisée pour l'analyse factorielle des correspondances, de l'oued El Hai, avec 8 espèces et 4 stations. Les 3 premiers axes cumulent un total d'inertie 100% du nuage des points, avec 57,17 % pour l'axe F1 et 42,02 % pour l'axe F2, donc une information totale de 99,19 % est représentée dans le plan F1xF2. L'axe F1 oppose nettement la station la plus haute du cours moyen (Fd2) en position positive, aux restes des stations du cours moyen et du cours inférieur. Cet axe manifeste une succession amont-aval des stations puisque en joignant les points-stations du cours d'eau d'El Hai suivant leur succession dans la nature nous obtenons une courbe en forme V reflétant la présence de ce gradient d'altitude. Il s'explique également par la largeur moyenne et la température qui à l'inverse de l'altitude augmente de l'amont vers l'aval. L'axe F2 montre la distinction entre les stations à faible concentration en nitrites en haut et les stations plus chargées à cette forme d'azote en bas. Le

plan factoriel F1xF2 de la biotypologie différencie 3 groupements cénotiques bien distincts (Fig.5.17a) :

*** Le groupement I de la station temporaire la plus haute du cours moyen :** Il est représenté par la station (Fd2) à 720 m d'altitude, qui se caractérise par des eaux fraîches à très bonne oxygénation, à courant assez rapide, à faible largeur avec une concentration faible en nitrites, nitrates, phosphores et sulfates. Il se caractérise par la présence de deux espèces : *B. pavidus* et *P. stagnicola*.

*** Le groupement II des stations semi permanentes du cours moyen de moyenne altitude :** Il est formé par des stations tempérées à bonne oxygénation caractérisé par des vitesses du courant et une largeur moyennes. Ils sont moyennement chargés en chlorures et possèdent des concentrations plus élevées en nitrites, nitrates, phosphores et des concentrations plus faibles en sulfates, comparativement à la station du groupement I (Fd2). Ces stations (Fd1 et ApK) constituent le biotope favori pour l'espèce *C. dipterum*, en considération à sa forte abondance dans les deux stations.

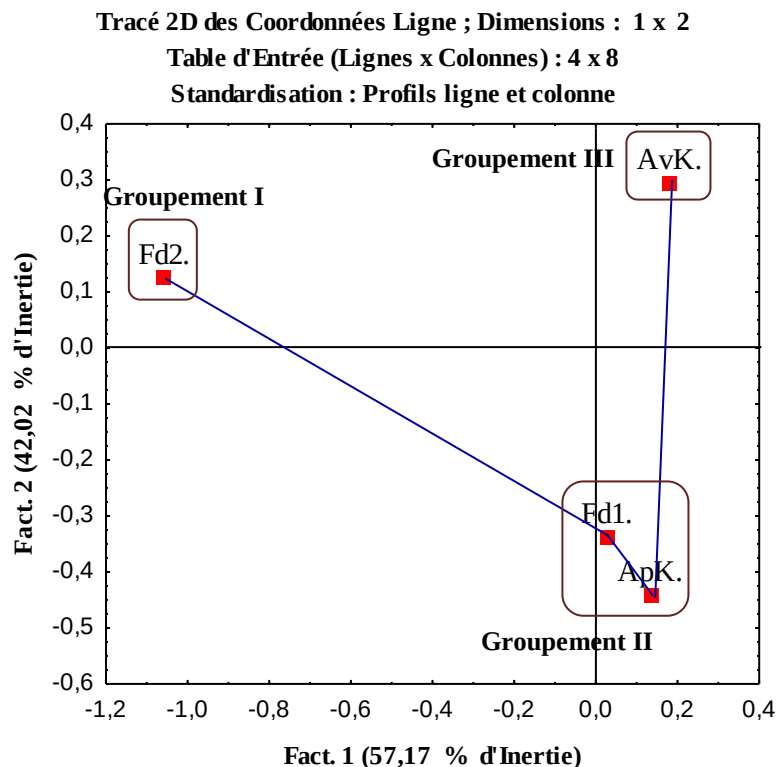


Figure 5.17a. Biotypologie de l'oued El Hai : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC

*** Le groupement III de la station permanente du cours inférieur à basse altitude :** Il renferme la station du cours inférieur (AvK) qui possède des températures et une largeur élevées, une oxygénation normale, un courant modéré, de fortes teneurs en chlorures et

sulfates et faibles teneurs en nitrites, nitrates et phosphores. C'est la station typique puisqu'elle abrite la richesse spécifique la plus élevée (8 espèces) dans cet oued et avec les plus fortes abondances. Il regroupe une espèce exclusive *L. neglectus* et les espèces : *C. gr. simile*, *E. rothschildi*, *C (Ch) atlas* et *C. luctuosa*.

Le plan factoriel F1xF2 de la biotypologie manifeste la répartition de nos espèces en 3 groupements faunistiques bien distincts (Fig.5.17b) :

* **Le groupement A** : Il est constitué par des espèces thermophiles des cours moyen et inférieur affectionnant les cours d'eau à températures estivales élevées, à courant moyen à lent : *B. pavidus* présente une large distribution altitudinale dans les différents réseaux hydrographiques maghrébins (El AGBANI *et al.*, 1992 ; BOUZIDI, 1989 ; MEBARKI, 2001 ; EL ALAMI, 2002) et *P. stagnicola* supporte des grandes amplitudes thermiques et vives dans les eaux chaudes et calmes, riches en végétations aquatiques et aux substrats pierreux (SOLDAN et THOMAS, 1983).

Les préférences écologiques des deux espèces du groupement (A) justifient leur présence dans la station considérée à ce groupement seulement par des abondances moyennes.

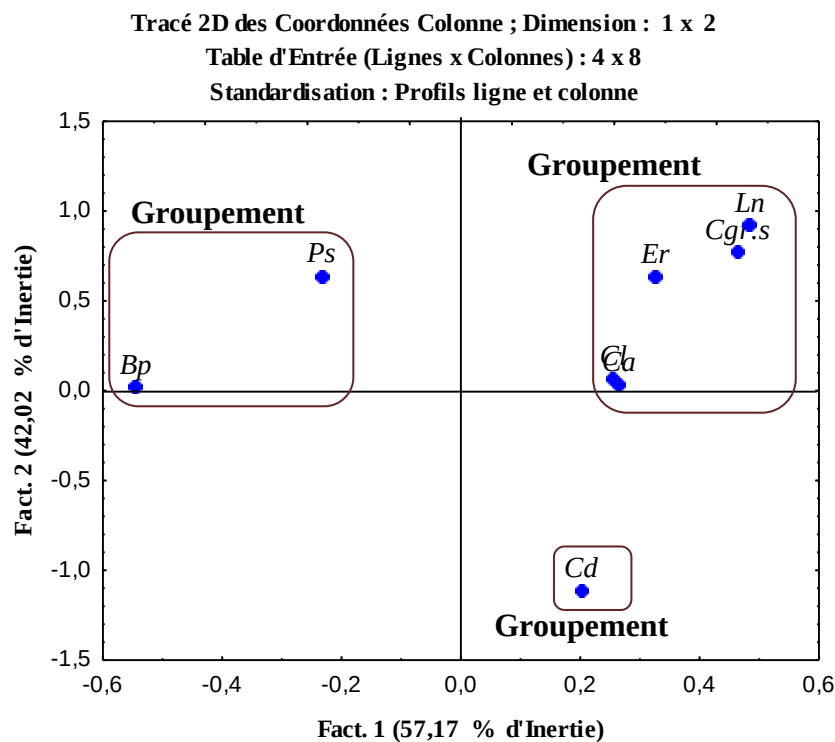


Figure 5.17b. Biotypologie de l'oued El Hai: structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC

* **Le groupement B** : Il est représenté par une seule espèce : *C. dipterum* préférant les biotopes de basse et moyenne altitude avec des eaux relativement calme à fond pierreux et riches en végétation immergée (MEBARKI, 2001 ; EL ALAMI, 2002). Pour cela, nous

l'avons échantillonnée en prédominance nette dans les stations de Fd1 et ApK convenables à ses préférences.

*** Le groupement C :** Il correspond aux espèces thermophiles peuplant les biotopes du cours inférieur de basse altitude : *L. neglectus* qui abonde dans les rivières de basse et moyenne altitude au dessous de la côte de 350 m d'altitude (EL ALAMI, 2002), il est présente seulement à la station d'AvK ; *C. gr. simile* qui caractérise les eaux très chaudes et à vitesse très modérée ; *E. rothschildi* qui marque les plus fortes densités dans les cours inférieurs, selon DAKKI (1987) ; *C. luctuosa*, espèce largement répandue dans différents biotopes et préfère les eaux tempérées des cours moyen et inférieur et *C. (Ch) atlas* qui côtoie, dans la majorité des cas, des cours permanents riches en algues filamenteuses, elle occupe les biotopes de bordure du lits dans lesquels la vitesse du courant est très faible et les eaux fortement tempérées (EL ALAMI, 2002). Ceci paraît en accord avec l'essentiel des caractéristiques de notre station typique de ce groupement des espèces, AvK.

1-6-1-3-Oued Abdi

L'analyse de la structure biotypologique montre que les trois premiers axes cumulent 98,38% de l'inertie totale des points avec 55,66% pour l'axe F1 et 31,93% pour l'axe F2. Dans le plan F1-F2, 3 groupements se caractérisant par une faune et des caractères mésologiques commun. La station temporaire (Br) de basse altitude se situant vers le haut de la partie gauche du plan factoriel et les stations de haute altitude et semi temporaires se plaçant vers le côté opposé. Le facteur « altitude » semble donc se manifester suivant l'axe F2. Ainsi, la jonction des points du cours axial du réseau hydrographique Abdi suivant leur succession dans la nature, permet d'obtenir une courbe en forme de V inclinée sur le plan factoriel F1-F2, ce qui reflète la présence d'un gradient aval-amont selon l'axe F2. Cet axe s'explique également par la largeur moyenne qui à l'inverse de l'altitude augmente de l'amont vers l'aval et par l'alcalinité. L'axe F1 s'explique essentiellement par la vitesse moyenne du courant, par certains paramètres physico-chimiques (la conductivité, la dureté calcique, la dureté magnésienne, les sulfates et les chlorures) et par la temporalité des stations. En effet, les stations temporaires se placent vers la gauche du plan factoriel alors que les permanentes se trouvent vers la droite.

Les 3 groupements cénotiques repérés sur le plan F1-F2 de la biotypologie sont semblables à ceux définis dans l'étude mésologique et qui sont (Fig.5.18a):

***Le groupement I des stations semi permanentes de haute altitude :** Ces stations (Tha et Nd) se caractérisent par des eaux fraîches à conductivité et duretés calcique et magnésienne

faibles, à courant assez fort, à profondeur faible et à granulométrie peu diversifiée. Leurs peuplements renferment les espèces *B. rhodani* et *B. sinespinosus*.

***Le groupement II des stations permanentes de haute et moyenne altitudes :** Il est constitué par des stations tempérées, à courant fort, à granulométrie diversifiée et à profondeur élevée. Ces stations (Mn et Bz) s'individualisent par des espèces exclusives à la station Bz (*P. stagnicola*, *E. rothschildi*, *C. (Ch) atlas*) à la station Mn (*C. gr. simile*) et rares (*C. cf. macrura* et *C. dipterum*).

***Le groupement III de la station temporaire de faible altitude :** Il se compose de la station Br qui manifeste des températures estivales plus élevées, un courant modéré, une profondeur moyenne et une granulométrie fine. Cette dite station abrite l'espèce *B. pavidus*.

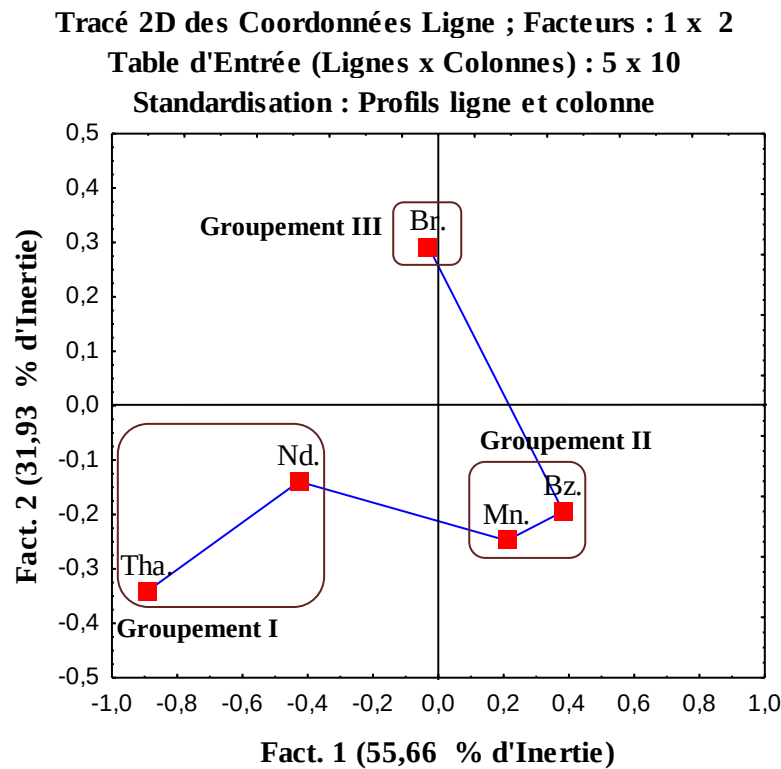


Figure 5.18a. Biotypologie de l'oued Abdi : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC

En ce qui concerne les groupements faunistiques, la distribution des espèces dans le plan F1-F2 montre aussi 3 groupements (Fig.5.18b):

***Le groupement A :** Il est constitué par les espèces qui marquent une préférence au cours supérieur de haute altitude : *B. rhodani* et *B. sinespinosus*. En effet, ces taxons eurytopes vivent aussi bien dans les sections des cours d'eau rapides que dans les secteurs à courant faible. Ils ont relativement une large valence écologique en habitant les petits ruisseaux d'eau

permanent (souvent 20-40 cm de large et peu profonde) aussi bien que des cours d'eau plus grands et modérément pollués (SOLDAN et THOMAS, 1983a).

***Le groupement B :** Il englobe des taxons à écologie plus ou moins différente. Leur abondance varie selon le degré de préférence des biotopes qu'ils côtoient. Ainsi, il se compose de :

- Un ensemble d'espèces thermophiles, lénitophiles exclusives aux stations Mn et Bz : *C. dipterum* qui préfère les eaux relativement calmes à fond pierreux dominé par les graviers et *C. cf. macrura* qui s'adapte mieux aux eaux rapides par son caractère rhéophile. Ces taxons semblent tolérer la pollution et les perturbations du débit. En plus, *C. luctuosa* qui est eurytope, eurytherme ubiquiste, elle se rencontre dans tous les types de faciès avec une prédilection pour les zones lénitiques des cours d'eau à courant rapide.
- Des espèces thermophiles exclusives et rares qui ont été notées seulement à la station de Bz: *P. stagnicola* qui se manifeste rarement dans les eaux rapides ; *E. rhotschildi*, l'espèce la plus eurytherme et la plus thermophile des Heptageniidae ; et *C. (Ch) atlas*. Parmi ces espèces *C. gr. simile* a trouvé son biotope favori à la station polluée et fortement perturbée de Mn.

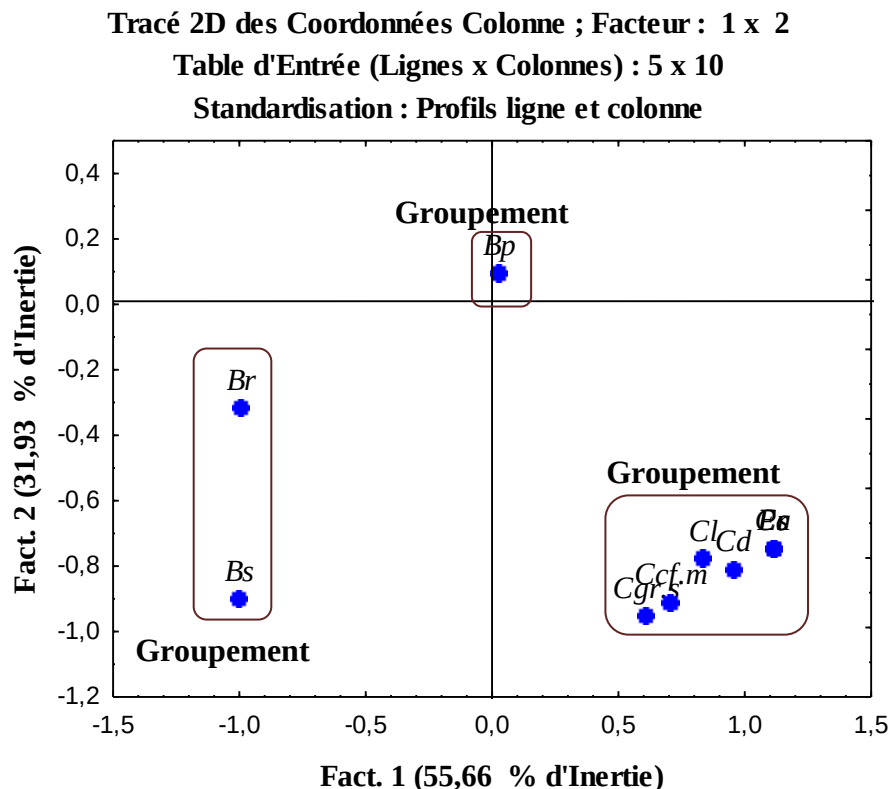


Figure 5.18b. Biotypologie de l'oued Abdi : structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC

***Le groupement C :** Il est représenté par une seule espèce thermophile *B. pavidus* préférant les stations de basse et moyenne altitude. Son biotope de prédilection se localise dans la

station Br qui se caractérise par un courant moyen et des eaux à températures élevées. Sa position au centre du plan factoriel montre que c'est une espèce eurytope qui côtoie toutes les stations de l'oued Abdi.

1-6-2-Biotypologie globale des Ephéméroptères

Le traitement général des données acquises sur l'ensemble des 3 oueds étudiés de la région des Aurès, a été précisé aussi grâce à une analyse factorielle des correspondances, pour la représentation globale du plan factoriel unique. L'AFC dégage un système des axes factoriels permettant la réalisation de cette représentation par utilisation d'une matrice binaire à double entrée de 15 lignes (stations prospectées) et 12 colonnes correspondants aux espèces récoltées. Chaque facteur exprime une part d'information sur l'analyse. Les structures dessinées par les nuages de variables sont souvent très significatives et facilitent la mise en évidence de phénomènes et facteurs écologiques. Les deux premiers axes cumulent 79,73 % de l'information contenue dans la matrice des données (F1 : 51,33 %, F2 : 28,40 %). En considération aux objectifs de cette étude, il n'était pas indispensable de déterminer la signification exacte de chaque axe, mais plutôt de différencier des groupes d'espèces cohérents au plan de leur écologie. Le plan factoriel F1xF2 de la biotypologie permet de distinguer 3 noyaux d'affinité entre les stations d'une part et les espèces d'autre part (Fig.5.19a, Fig.5.19b) :

1-6-2-1-Noyau 1

C'est un groupe très bien individualisé correspondant aux espèces alticoles, *B. rhodani* et *B. sinespinosus*, inféodées aux stations du cours supérieur de haute altitude (In, Tha, Ar et Nd). Une de ces stations (In) est permanente marquant l'abondance maximale la plus élevée de ces espèces et les autres se diffèrent entre des stations semi permanentes (Tha et Nd) et temporaire (Ar). Ce groupe caractérise bien les stations de la zone des sources et ruisseaux froids.

1-6-2-2-Noyau 2

Trois espèces contribuent à la construction de ce groupe : *B. pavidus* espèce eurytope eurytherme, elle se caractérise par sa plus grande abondance dans les stations du cours moyen qui sont : Mn, Fd2, Bz, Tf, M'ch et Br ; *C. cf. macrura* espèce rhéophile et rare ne se trouve que dans les stations de Mn et Bz de l'oued Abdi qui sont permanentes à courant rapide et *Ch. dimorphicum* qui se cantonne exclusivement dans la station M'ch permanente à courant relativement rapide de l'oued El Abiod.

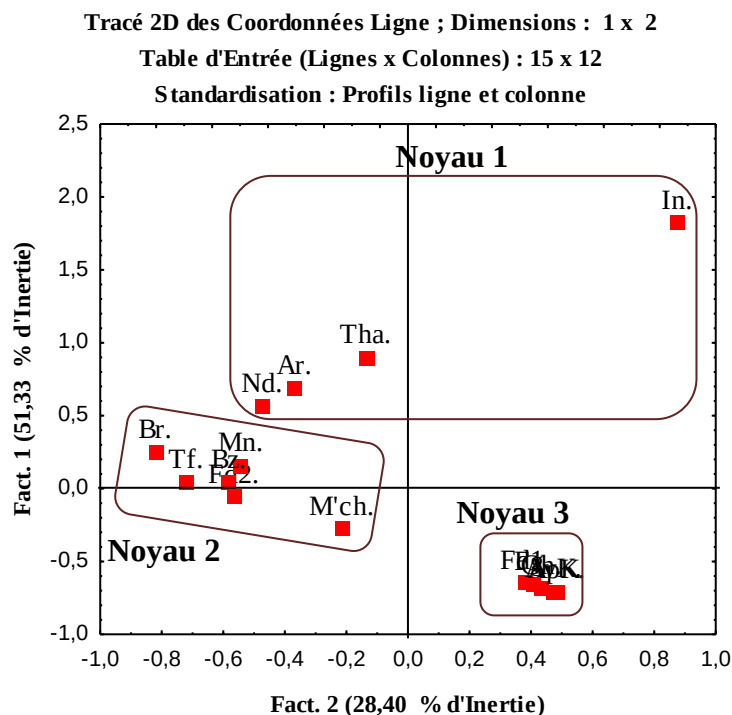


Figure 5.19a. Biotypologie globale des Ephéméroptères : structure du nuage-stations dans le plan F1-F2 de l'AFC

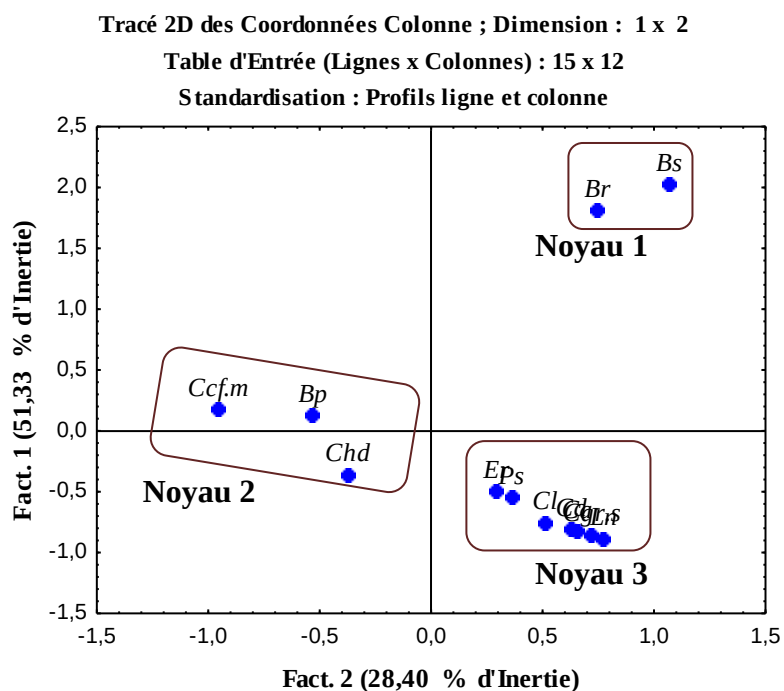


Figure 5.19b. Biotypologie globale des Ephéméroptères : structure du nuage-espèces dans le plan F1-F2 de l'AFC

1-6-2-3-Noyau 3

Il comprend principalement les espèces qui habitent les stations de moyenne et basse altitudes (Fd1, Fg, Gh, ApK et AvK). Ces espèces ont une écologie plus ou moins hétérogène. Elles se répartissent en :

- Espèce thermophile et rare du cours inférieur : *L. neglectus* qui se rencontre principalement dans la station AvK.
- Espèces thermophiles et lénithophiles : *C. dipterum*, *C. gr. simile* et *P. stagnicola*, qui préfèrent les eaux calmes et chaudes et sont rares dans les eaux rapides.
- Espèces thermophiles et eurythermes : *E. rothschildi*, *C. luctuosa* et *C. (Ch) atlas* qui préfèrent les eaux permanentes.

1-7-Répartition spatio-temporelle des Ephéméroptères dans les oueds étudiés

1-7-1-Variation spatio-temporelle des espèces recensées dans l'oued El Abiod

L'évolution longitudinale des Ephéméroptères exprime leur adaptabilité à l'habitat et leurs préférences écologiques. L'évolution de l'abondance des populations recensées et leurs variations dans l'espace et dans le temps à oued El Abiod, montre que *B. pavidus* est constamment l'espèce la plus abondante durant notre période d'étude et dans toutes les stations, en dehors des périodes des crues ou assèchement de certaines stations, avec des effectifs importants à M'ch (752 et 638 ind. durant l'hiver de l'année 2008) et à Tf (651 ind. le mois de novembre 2008 et 608 ind. le mois de septembre 2009) (Fig.5.20).

L'espèce *C. luctuosa* préfère les eaux tempérées des cours inférieurs et moyens, elle est eurytope et eurytherme. Pour cela, nous l'avons trouvée principalement dans toutes les stations de moyenne et basse altitudes (Tf, Gh, M'ch et Fg) durant l'année 2008 avec de fortes abondances dans la station de M'ch les mois de mai et juin (759 ind.). Les *Baetis* groupe *rhodani* sont des espèces alticoles préférant les eaux fraîches, pour cela, nous avons enregistré les plus fortes valeurs d'abondances aux mois de janvier et février des deux années d'études à la station d'In (670, 634, 571 et 699 ind.) pour *B. rhodani* ; et aux mois de décembre 2008 (459 ind.) et mars 2009 (442 ind.) à la même station pour *B. sinsespinosus* (Fig.5.20).

Le reste des espèces présentent une distribution limitée principalement aux stations de (Gh, M'ch et Fg) avec des abondances moyennes à faibles : *C. gr. simile* (par un maximum de 138 ind. le mois de septembre 2008 à la station de Fg), *C. dipterum* (17 ind. le mois de mars 2008 à la station de Fg), *P. stagnicola* (30 et 29 ind. Respectivement aux mois de mai et juin 2008 aux stations de Gh et M'ch) et *E. rothschildi* (65 ind. le mois de Février 2008 et 11 ind. le mois de décembre 2009 à la station de M'ch) ; et des espèces rares qui ont été observées

seulement dans une seule station durant 1 ou deux mois : *L. neglectus* (1 ind. en 2008 aux mois de mai et juin à la station de Gh et aux mois de juillet et septembre à la station de M'ch), *Ch. dimorphicum* (un max de 8 ind. le mois de juin 2008 seulement à la station de M'ch) (Fig.5.20).

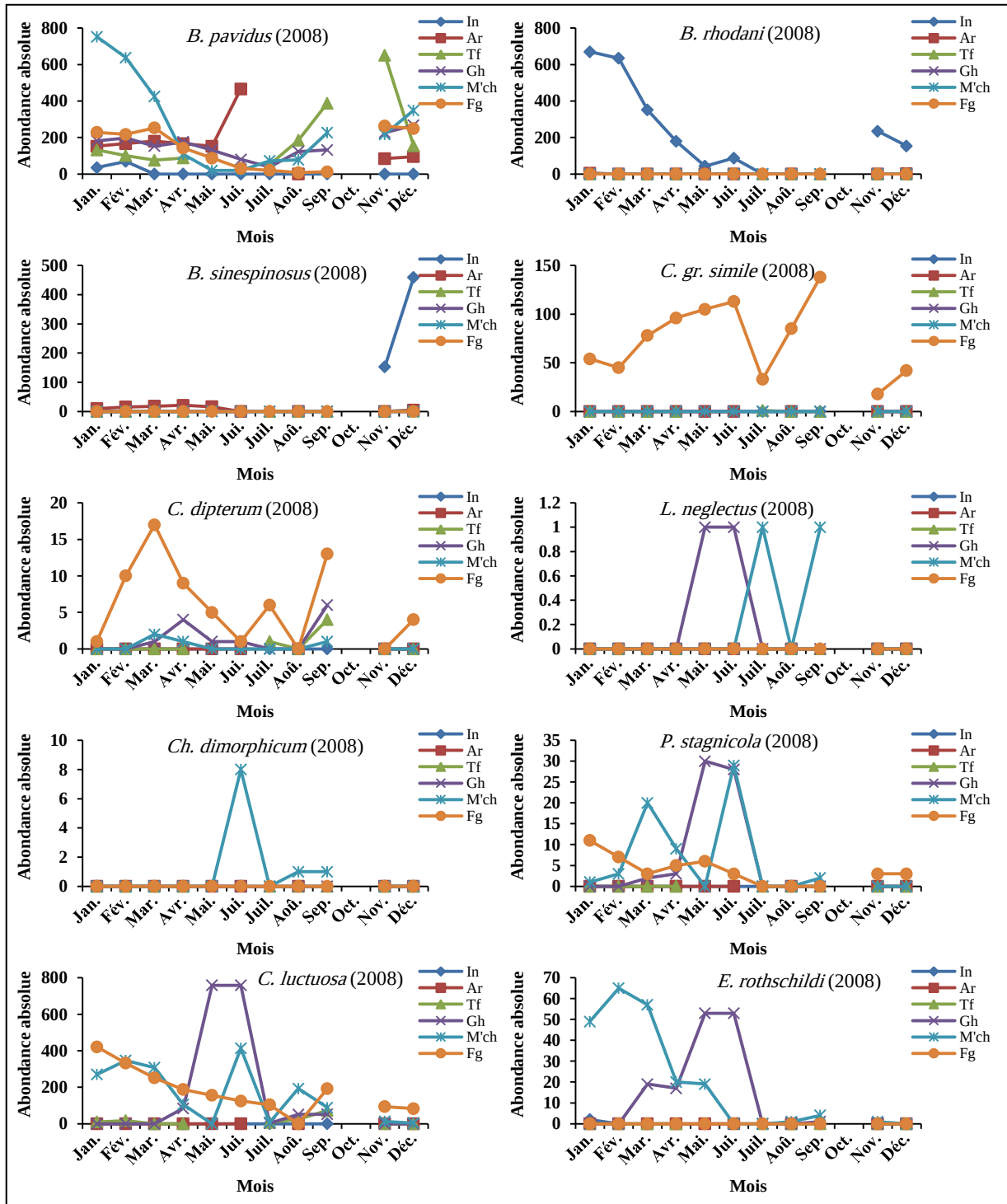


Figure 5.20a. Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Abiod (2008)

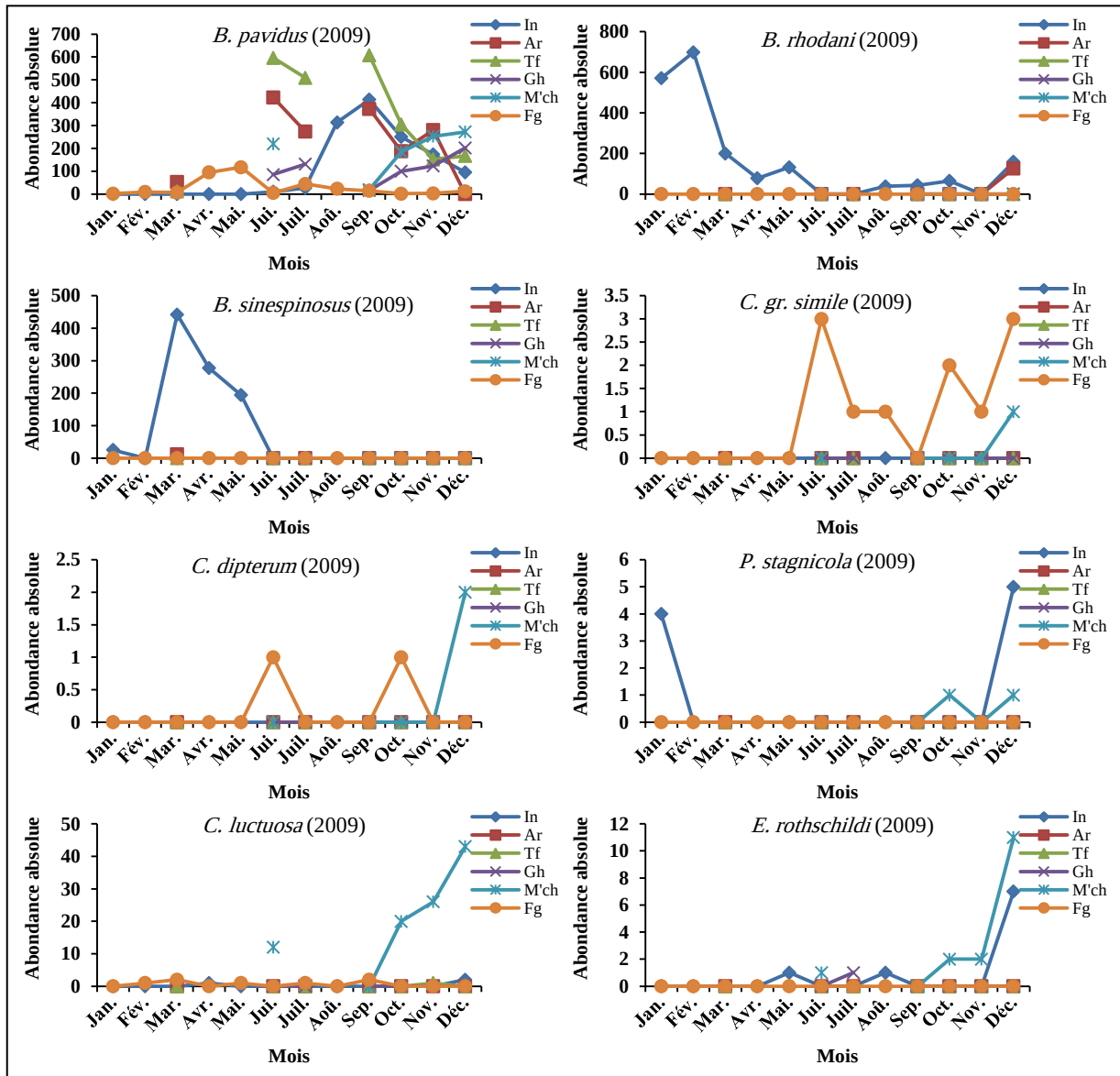


Figure 5.20b. Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Abiod (2009)

1-7-2-Variation spatio-temporelle des espèces recensées dans l'oued El Hai

La variation spatio-temporelle de l'abondance des populations recensées à oued El Hai, montre que l'espèce *C. luctuosa* est l'espèce la plus abondante durant toute notre période d'étude et dans toutes les stations, à l'exception de la station polluée d'AvT où elle a montré des effectifs élevés (1510 ind. le mois de juin 2008 à la station d'AvK) et (666 et 646 ind. respectivement aux mois d'août et septembre 2009 à la station de Fd1). En deuxième place d'abondance, l'espèce *B. pavidus* a été observée dans toutes les stations avec des valeurs importantes (333 ind.) dans la station d'AvK en décembre 2008 et (522 ind) dans la même station en mai 2009. Les deux espèces sont généralement eurythermes et eurytopes (Fig.5.21).

Les espèces du genre *Cloeon* côtoient les stations des cours moyen et inférieur dans lesquels nous avons enregistré les valeurs d'abondances maximales pour *C. dipterum* aux mois de septembre (168 ind.) et juin (119 ind.) de l'année 2008 respectivement aux stations Fd1 et ApK ; et 64 individus de *C. gr. simile* ont été récoltés au mois de décembre 2008 principalement à la station d'AvK (Fig.5.21).

Le reste des espèces fréquentent principalement la station du cours inférieur de basse altitude AvK avec des abondances faibles : *L. neglectus* (par un maximum de 24 ind. En octobre et novembre 2009), *P. stagnicola* (avec un maximum de 34 ind. en février 2008) et des espèces que nous n'avons récoltées que durant l'année 2009 dans toutes les stations mais abondamment à la station d'AvK : *E. rothschildi* (avec 21 ind. comme valeur maximale enregistrée en avril) et *C. (Ch) atlas* (12 et 9 ind. comme des maxima notés respectivement en octobre, août et novembre) (Fig.5.21).

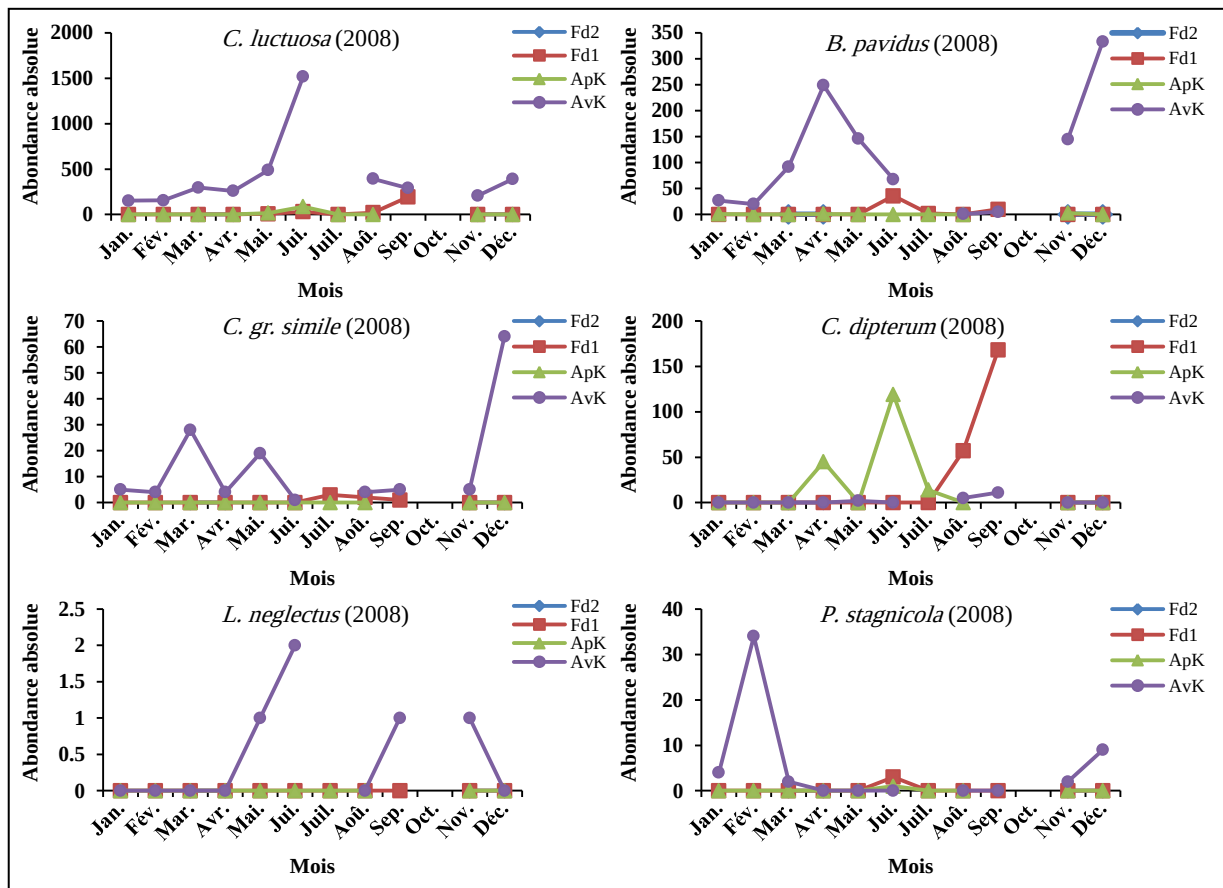


Figure 5.21a. Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Hai (2008)

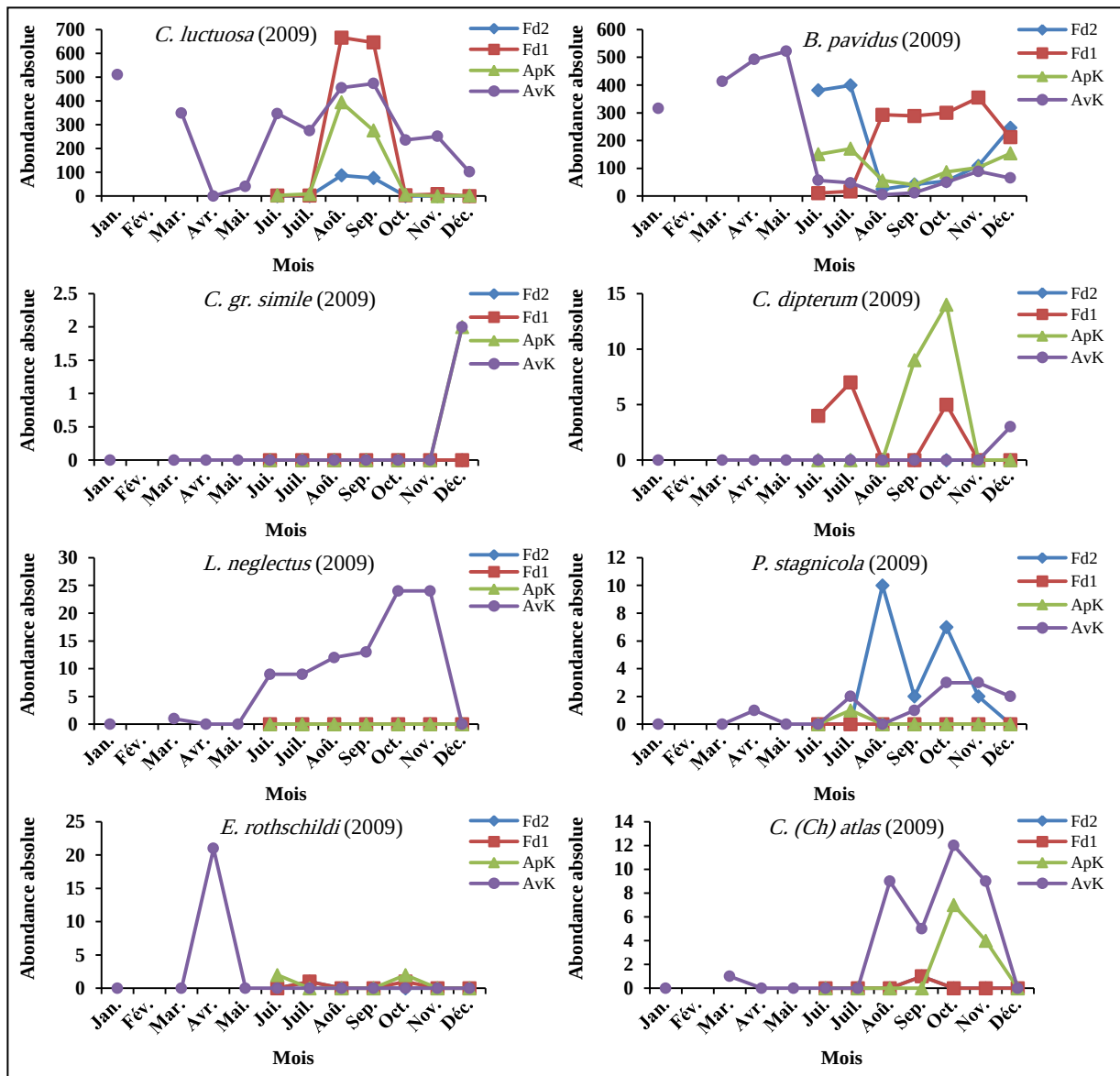


Figure 5.21b. Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued El Hai (2009)

1-7-3-Variation spatio-temporelle des espèces recensées dans l'oued Abdi

L'évolution longitudinale des Ephéméroptères exprime leur adaptabilité à l'habitat et leurs préférences écologiques. L'évolution de l'abondance des populations recensées et leurs variations dans l'espace et dans le temps, indiquent que *B. pavidus* est toujours l'espèce la plus abondante durant toute notre période d'étude et dans toutes les stations avec des effectifs importants à Mn (3867 ind.) et à Bz (3739 ind.) (Fig.5.22).

L'espèce *C. luctuosa* préfère les eaux tempérées des cours inférieurs et moyens, elle est eurytope et eurytherme. Pour cela, nous l'avons trouvé dans toutes nos stations avec de fortes abondances dans la station de Bz les mois d'août (124 ind.) et septembre (119 ind.) (Fig.5.22).

Le reste des espèces présentent une distribution limitée aux stations du cours moyen (Mn et Bz) mais avec une faible abondance : *C. dipterum* (11 ind. en juin) et *C. cf. macrura* (4 ind. en septembre) ; et des espèces rares qui ont été localisées une seule fois dans une station : *C. gr. simile* (1 ind.), *C. (Ch) atlas* (1 ind.), *E. rothschildi* (1 ind.) et *P. stagnicola* (3 ind.). Concernant la richesse spécifique en Ephémères, elle est plus marquée (8 et 7 espèces) dans les tronçons à courant rapide et à températures estivales peu élevées (Mn et Bz) (F.5.22).

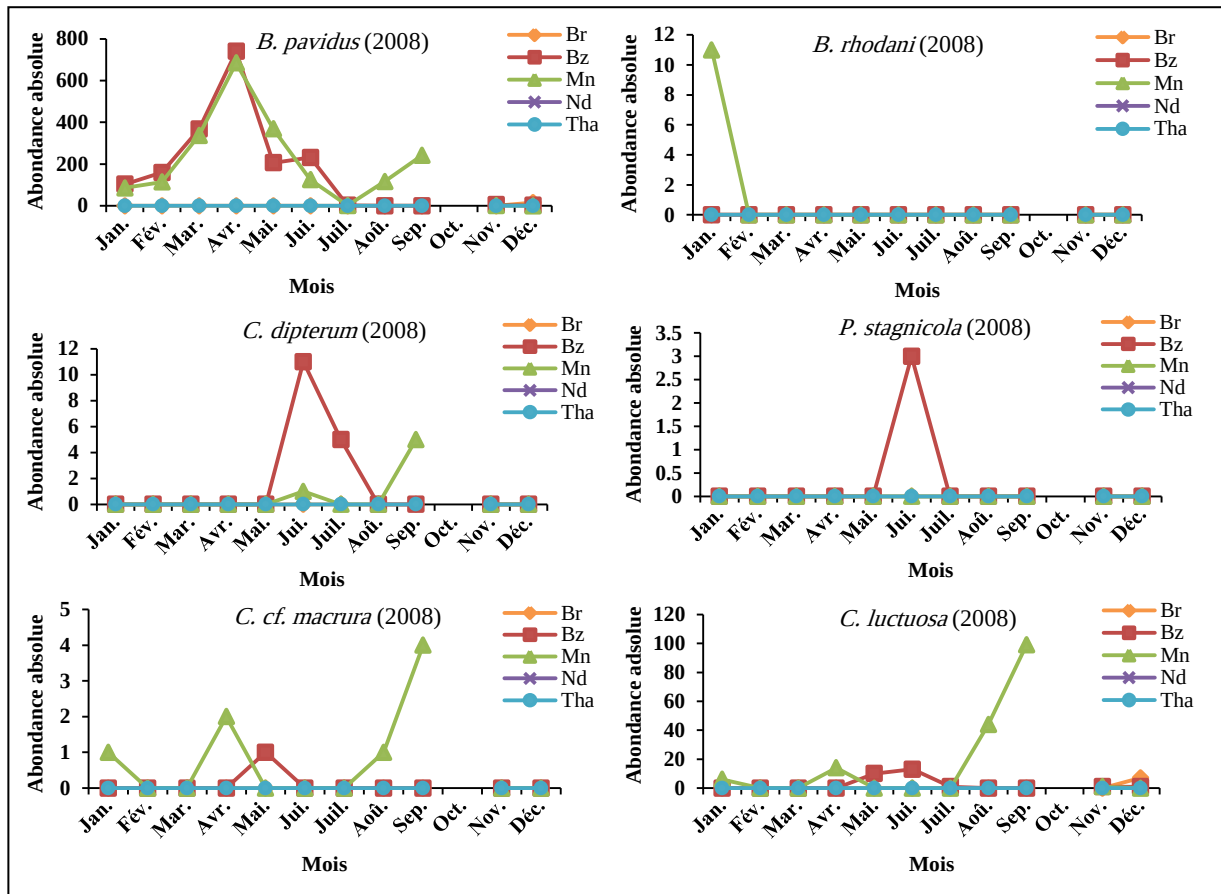


Figure 5.22a. Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued Abdi (2008)

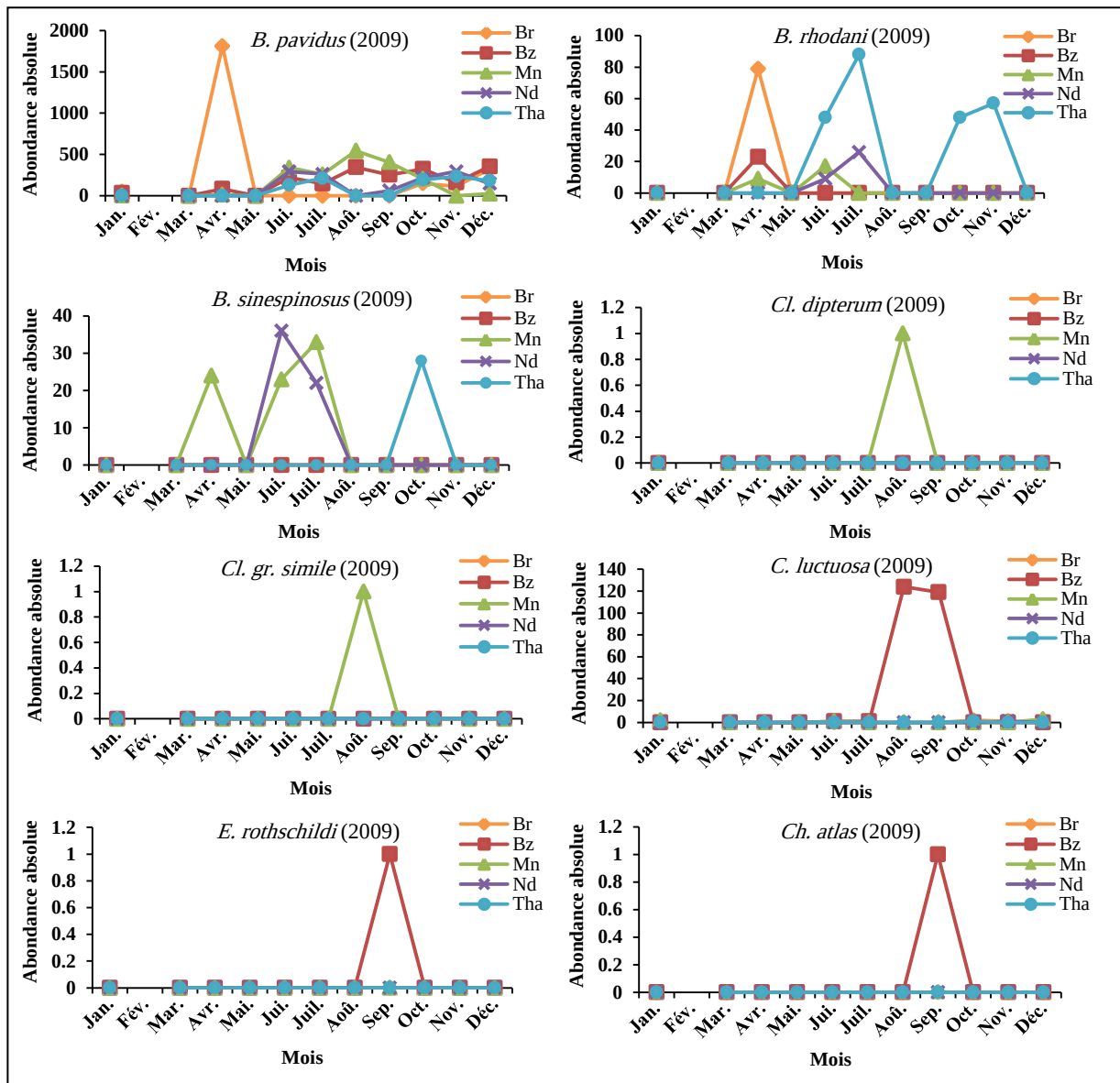


Figure 5.22b. Variation spatio-temporelle de l'abondance absolue des Ephéméroptères dans l'oued Abdi (2009)

1-8-Influence des paramètres abiotiques sur la répartition des Ephéméroptères

1-8-1- Impact de la crue

Les crues sont décrites parmi les forces essentielles qui régissent et conduisent à la détermination de la structure de la communauté benthique dans les cours d'eaux (CROYLE, 1997 ; DEATH, 2009 ; GALLARDO, 2009). Elles peuvent changer la densité et la distribution des populations par leur influence sur l'organisation spatiotemporelle des caractéristiques abiotiques et des biotopes abritant les communautés (CROYLE, 1997).

Des précipitations importantes ont généré des crues dans l'ensemble du cours d'eau de notre région d'étude (les Aurès) en octobre 2008 et particulièrement dans la plupart des stations en février 2009, dont la physionomie a été modifiée. Une comparaison entre la

structure des communautés des Ephéméroptères recensées avant les inondations et celle qui s'est établie après les inondations, nous a permis d'analyser la dynamique de ce groupe des macro-invertébrés benthiques sous l'impact de ces perturbations. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 5.9 qui représente une comparaison entre les données faunistiques correspondants aux familles puis aux espèces recensées le long des trois oueds étudiés avant la crue d'octobre 2008, entre les deux crues et après la crue de février 2009.

L'étude comparative du peuplement des Ephéméroptères entre les 3 périodes caractérisées par les deux crues importantes qui ont affectés notre région d'étude, montre une variation de la structure de nos communautés dans la plupart des stations prospectées (Tab.5.9) :

- La station d'In qui n'apparaît pas être influencée par la 2^{ème} crue de février 2009 durant nos prélèvements, a montré une modification considérable après la crue d'octobre 2008. En effet, il y a eu l'apparition d'une nouvelle espèce de la famille Caenidae, *C. luctuosa* et deux autres espèces de la famille Baetidae qui existaient déjà avant la crue, *B. sinespinosus* et *P. stagnicola*. Les espèces *B. rhodani*, *B. pavidus* et *E. rothschildi* ont été prélevées avant et après la crue.
- Dans la station de Tf, deux espèces ont totalement disparu après la crue d'octobre 2008 : *C. gr. simile* et *C. dipterum*. Par contre, deux espèces ont apparu dans le milieu : *B. rhodani* qui a été prélevée après la crue d'octobre 2008 et après la crue de février 2009, et *B. sinespinosus* qui a été signalée seulement après la 2^{ème} crue. L'espèce *C. luctuosa* subsiste durant toute la période d'étude malgré les perturbations, alors que l'espèce *B. pavidus* qui a réapparu à nouveau après la première crue, devient introuvable après la deuxième crue.
- Un grand changement a été remarqué dans la station de Gh, plusieurs espèces prélevées qui existait avant, ont disparu après la 1^{ère} crue : *C. dipterum*, *L. neglectus*, *P. stagnicola* et *C. luctuosa*. Seulement *B. pavidus* a persisté après les perturbations et *E. rothschildi* a disparu entre les deux crues puis a réapparu à nouveau après la 2^{ème} crue.
- Dans la station de M'ch, la modification de la structure spécifique est aussi intéressante : absence définitive des espèces, *L. neglectus* et *Ch. dimorphicum*, du milieu dès la première crue ; disparition entre les deux crues puis réapparition des espèces *P. stagnicola* et *C. dipterum* après la 2^{ème} crue ; et apparition d'une nouvelle espèce du genre *Cloeon* après la crue de février 2009, *C. gr. simile*. Les autres espèces, *B. pavidus*, *C. luctuosa* et *E. rothschildi* ne sont pas influencées par les perturbations et ont persisté dans leur milieu.

Tableau 5.9. Structure des Ephéméroptères recensés avant et après les crues

(en gras : espèces observées dans les colonnes 1 et 2, souligné : espèces observées dans les colonnes 2 et 3)

	Avant la crue d'octobre 2008	Entre les deux crues	Après la crue de février 2009
Station In	<i>B. rhodani</i>, <i>B. pavidus</i>, <i>E. rothschildi</i>	<i>B. rhodani</i>, <i>B. pavidus</i>, <i>B. sinespinosus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>E. rothschildi</i>, <i>C. luctuosa</i>	
Station Ar	<i>B. rhodani</i>, <i>B. pavidus</i>, <i>B. sinespinosus</i>	<u><i>B. rhodani</i>, <i>B. pavidus</i>, <i>B. sinespinosus</i></u>	<u><i>B. rhodani</i>, <i>B. pavidus</i>, <i>B. sinespinosus</i></u>
Station Tf	<i>B. pavidus</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. luctuosa</i>	<i>B. pavidus</i>, <i>B. rhodani</i>, <i>C. luctuosa</i>	<u><i>B. rhodani</i>, <i>B. sinespinosus</i>, <i>C. luctuosa</i></u>
Station Gh	<i>B. pavidus</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>L. neglectus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>E. rothschildi</i>, <i>C. luctuosa</i>	<u><i>B. pavidus</i></u>	<u><i>B. pavidus</i>, <i>E. rothschildi</i></u>
Station M'ch	<i>B. pavidus</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>L. neglectus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>Ch. dimorphicum</i>, <i>E. rothschildi</i>, <i>C. luctuosa</i>	<u><i>B. pavidus</i>, <i>C. luctuosa</i>, <i>E. rothschildi</i></u>	<u><i>B. pavidus</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>E. rothschildi</i>, <i>C. luctuosa</i></u>
Station Fg	<i>B. pavidus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. luctuosa</i>	<i>B. pavidus</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. luctuosa</i>	
Station Fd2	-	-	<i>B. pavidus</i> , <i>P. stagnicola</i> , <i>C. luctuosa</i> , <i>E. rothschildi</i> , <i>C. (Ch) atlas</i>
Station Fd1	<i>B. pavidus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. luctuosa</i>	-	<i>B. pavidus</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. luctuosa</i>, <i>E. rothschildi</i>, <i>C. (Ch) atlas</i>
Station ApK	<i>B. pavidus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. luctuosa</i>	<u><i>B. pavidus</i></u>	<u><i>B. pavidus</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. luctuosa</i>, <i>E. rothschildi</i>, <i>C. (Ch) atlas</i></u>
Station AvK	<i>B. pavidus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>L. neglectus</i>, <i>C. luctuosa</i>	<i>B. pavidus</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>L. neglectus</i>, <i>C. luctuosa</i>	<u><i>B. pavidus</i>, <i>L. neglectus</i>, <i>C. dipterum</i>, <i>C. gr. simile</i>, <i>P. stagnicola</i>, <i>C. luctuosa</i>, <i>E. rothschildi</i>, <i>C. (Ch) atlas</i></u>
Station Tha	-	<u><i>B. pavidus</i></u>	<u><i>B. pavidus</i>, <i>B. rhodani</i>, <i>B. sinespinosus</i>, <i>C. luctuosa</i></u>

Station Nd	-	-	<i>B. pavidus</i> , <i>B. rhodani</i> , <i>B. sinespinosus</i> , <i>C. luctuosa</i>
Station Mn	<i>B. pavidus</i> , <i>B. rhodani</i> , <i>C. dipterum</i> , <i>C. luctuosa</i> , <i>C. cf. macrura</i>	<i>B. pavidus</i> , <i>C. luctuosa</i>	<i>B. pavidus</i> , <i>B. rhodani</i> , <i>B. sinespinosus</i> , <i>C. gr. simile</i> , <i>C. luctuosa</i>
Station Bz	<i>B. pavidus</i> , <i>P. stagnicola</i> , <i>C. dipterum</i> , <i>C. luctuosa</i> , <i>C. cf. macrura</i>	<i>B. pavidus</i> , <i>C. luctuosa</i>	<i>B. pavidus</i> , <i>B. rhodani</i> , <i>C. luctuosa</i> , <i>E. rothschildi</i> , <i>C. (Ch) atlas</i>
Station Br	-	<i>B. pavidus</i> , <i>C. luctuosa</i>	<i>B. pavidus</i> , <i>B. rhodani</i> , <i>C. luctuosa</i>

- L'espèce *B. pavidus* a persisté dans la station d'ApK après les deux crues. Cependant les espèces *P. stagnicola*, *C. dipterum* et *C. luctuosa* n'ont été observées à nouveau qu'après la 2^{ème} crue, avec les autres espèces qui n'ont jamais été signalées dans cette station avant les perturbations : *C. gr. simile*, *E. rothschildi* et *C. (Ch) atlas*. Les deux dernières espèces appartiennent à des familles qui n'ont été inventoriées qu'après la crue de février 2009 dans les différentes stations de l'oued El Hai.
- Dans la station d'AvK, la plupart des espèces recensées ont résisté contre les perturbations : *B. pavidus*, *P. stagnicola*, *C. gr. simile*, *L. neglectus* et *C. luctuosa*. Ce n'est que l'espèce *C. dipterum* qui était présente avant la crue d'octobre 2008 et n'a réapparu qu'après la crue de février 2009, à côté des espèces des familles prélevées dans l'oued El Hai : *E. rothschildi* et *C. (Ch) atlas*.
- Dans les stations du cours moyen de l'oued Abdi, nous avons constaté des variations de la structure spécifique et même familiale du peuplement des Ephéméroptères. Les espèces *B. pavidus* et *C. luctuosa* n'ont subi aucun changement et ont bien supporté les perturbations dans les stations de Mn et Bz. L'espèce *C. cf. macrura* a été signalée avant la crue d'octobre 2008 mais elle a disparu définitivement puisqu'elle n'a plus été retrouvée dans nos stations. Dans la station de Mn, l'espèce *B. rhodani* a été signalée à nouveau après la 2^{ème} crue, avec une autre espèce appartenant au même groupe, *B. sinespinosus*. En revanche, l'espèce *C. dipterum* a été remplacée par une autre espèce du même genre, *C. gr. simile*. Dans la station Bz, deux espèces prélevées avant la crue d'octobre 2008 ont totalement disparus après, à côté de *C. cf. macrura*. Par contre, trois autres espèces n'ont été échantillonnées qu'après la 2^{ème} crue de février 2009 : une de la famille des Baetidae,

B. rhodani et deux appartenant aux familles prélevées à oued Abdi plus précisément à la station Bz : *E. rothschildi* et *C. (Ch) atlas*.

- Au niveau des stations à écoulement discontinu, où l'eau ne s'est écoulé régulièrement qu'après la première crue d'octobre 2008, l'installation d'une faune à structure spécifique assez diversifiée n'a été signalée qu'après la deuxième crue de février 2009, surtout pour les stations qui paraissaient à sec durant de longue période. Dans les stations de Tha et Br, la réinstallation des espèces a commencé rapidement d'abord par l'apparition de *B. pavidus* entre les deux crues, puis les espèces *B. rhodani*, *B. sinespinosus* et *C. luctuosa* après la 2^{ème} crue dans la station de Br. De plus, la réinstallation de la communauté des Ephémères au niveau des stations de Fd2 et Nd a pris plus du temps et n'a débuté qu'après la crue de février 2009 par l'apparition des espèces *B. pavidus*, *P. stagnicola*, *C. luctuosa*, *E. rothschildi* et *C. (Ch) atlas* à la station de Fd2 et *B. pavidus*, *B. rhodani*, *B. sinespinosus* et *C. luctuosa* à la station de Nd.
- Au sein de la station de Fd1, le changement de la structure spécifique est caractérisé par une absence totale des espèces entre les deux crues ; une réapparition de certaines espèces existantes avant les perturbations : *B. pavidus*, *C. dipterum* et *C. luctuosa* ; et un remplacement de quelques espèces observées avant la première crue, *P. stagnicola* et *C. gr. simile* par d'autres espèces qui n'ont été prélevées qu'après la deuxième crue, *E. rothschildi* (Heptageniidae) et *C. (Ch) atlas* (Leptophlebiidae). Par contre, au sein des stations d'Ar et Fg, nous n'avons marqué aucune variation de la structure du peuplement sur le plan spécifique. Les mêmes espèces ont été échantillonnées durant toute la période d'étude malgré les perturbations. Cependant, nous avons noté une variation de leur abondances par la diminution du nombres des individus dans la station d'Ar durant la période entre les deux crues puis l'augmentation à nouveau après la deuxième crue, et par la réduction des effectifs des individus à la station de Fg. Cette réduction pourrait être le résultat du déversement du barrage Foug El Gherza suite à la crue d'octobre 2008, de la destruction des habitats et du changement des paramètres abiotiques des stations étudiées.

L'analyse de la structure des Ephéméroptères avant et après les crues dans les 3 oueds étudiés, montre que le rétablissement du peuplement, malgré les dégâts causés par les perturbations, est très rapide pour les familles des Baetidae et Caenidae qui ont pu subsister dans toutes les stations prospectées. Ces deux familles ont apparemment un pouvoir de réinstallation rapide dans le milieu plus particulièrement les espèces *B. pavidus* et *C. luctuosa*.

1-8-2- Influence des paramètres physico-chimiques

Les deux parties précédentes des résultats nous ont permis de définir une typologie des stations d'étude fondée sur leurs caractéristiques environnementales (physico-chimiques et mésologiques), ainsi qu'une biotypologie des stations grâce à l'étude des communautés des Epheméroptères colonisant le milieu. Ces résultats montrent une bonne adéquation entre la faune et son milieu. Pour cela, nous avons utilisé l'analyse canonique des correspondances afin de bien étudier l'intensité de cette relation, ressortir les préférences écologiques de nos espèces recensées et définir l'importance de ces facteurs dans leur répartition dans les cours d'eaux étudiés. Cette analyse a un grand intérêt dans le domaine écologique en représentant la relation entre les sites étudiés, les variables environnementaux et la faune recensée dans un plan factoriel bien défini.

Pour bien éclaircir la représentation graphique et minimiser les risques d'erreurs à interpréter, nous avons mis en considération seulement 9 paramètres abiotiques parmi les 19 étudiés dans notre travail. Ces paramètres sont ceux qui montrent une différence significative spatiale et temporelle à travers l'ANOVA 2, en plus de l'altitude à cause de son importance. Selon ILLIES (1961), l'altitude a un effet primordial sur la zonation des communautés de macroinvertébrés, parce qu'elle agit sur un grand nombre de facteurs écologiques : température de l'eau (WARD et STANFORD, 1982), hydrologie (STAZNER et HIGLER, 1986), occupation des sols (CULP et DAVIES, 1982 ; LANG et REYMOND, 1993 ; BREWIN *et al.*, 1995), qualité de l'eau (ORMEROD et EDWARDS, 1987), ressources trophiques et végétation des ripisylves (CUMMINS *et al.*, 1984).

Les résultats de l'analyse canonique des correspondances, réalisée sur une matrice de 12 espèces x 9 paramètres physico-chimiques-mésologiques x 15 stations montrent que les trois premiers axes de l'ACC représentent 94,37 % de l'inertie totale (soit 58,66 % d'inertie pour l'axe 1, 25,58 % pour l'axe 2 et 10,14 % pour le 3^{ème} axe). L'axe 1 représente un gradient de répartition altitudinal et il s'explique par la température, l'altitude et la minéralisation. Les stations d'altitude supérieure (In, Tha, Nd et Ar) présentent généralement une faible minéralisation et des températures fraîches. Elles s'opposent aux stations de plaine des cours inférieurs (AvK et Fg). L'axe 2 montre en position positive les stations caractérisées par des espèces rares et exclusives, ou bien des espèces à abondances très élevées (M'ch, Mn, Bz et Br). Ces stations s'opposent à la station la plus équilibrée en ce qui concerne les abondances des espèces (ApK). Le plan factoriel F1xF2 montre que notre peuplement peut être classé en (Fig.5.23) :

- ✓ Espèces inféodées aux hautes altitudes, leur répartition dépend des conditions du milieu, elles sont exigeantes, et échappent aux conditions sévères du milieu. Elles préfèrent les stations à température fraîche, peu minéralisée et supportent du courant rapide : *B. rhodani* et *B. sinespinosus* ;
- ✓ Des espèces préférant les basses altitudes, thermophiles et résistant aux grandes concentrations de minéralisation (EC, Sa, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) : *C. luctuosa*, *P. stagnicola*, *L. neglectus*, *C. (Ch) atlas*, *C. dipterum* et *C.gr. simile* ;
- ✓ Des espèces à large répartition pouvant subsister quelque soit les conditions du milieu (*B. pavidus*) ou des espèces rares et/ou exclusives : *E. rothschildi*, *C. cf. macrura* et *Ch. dimorphicum*.

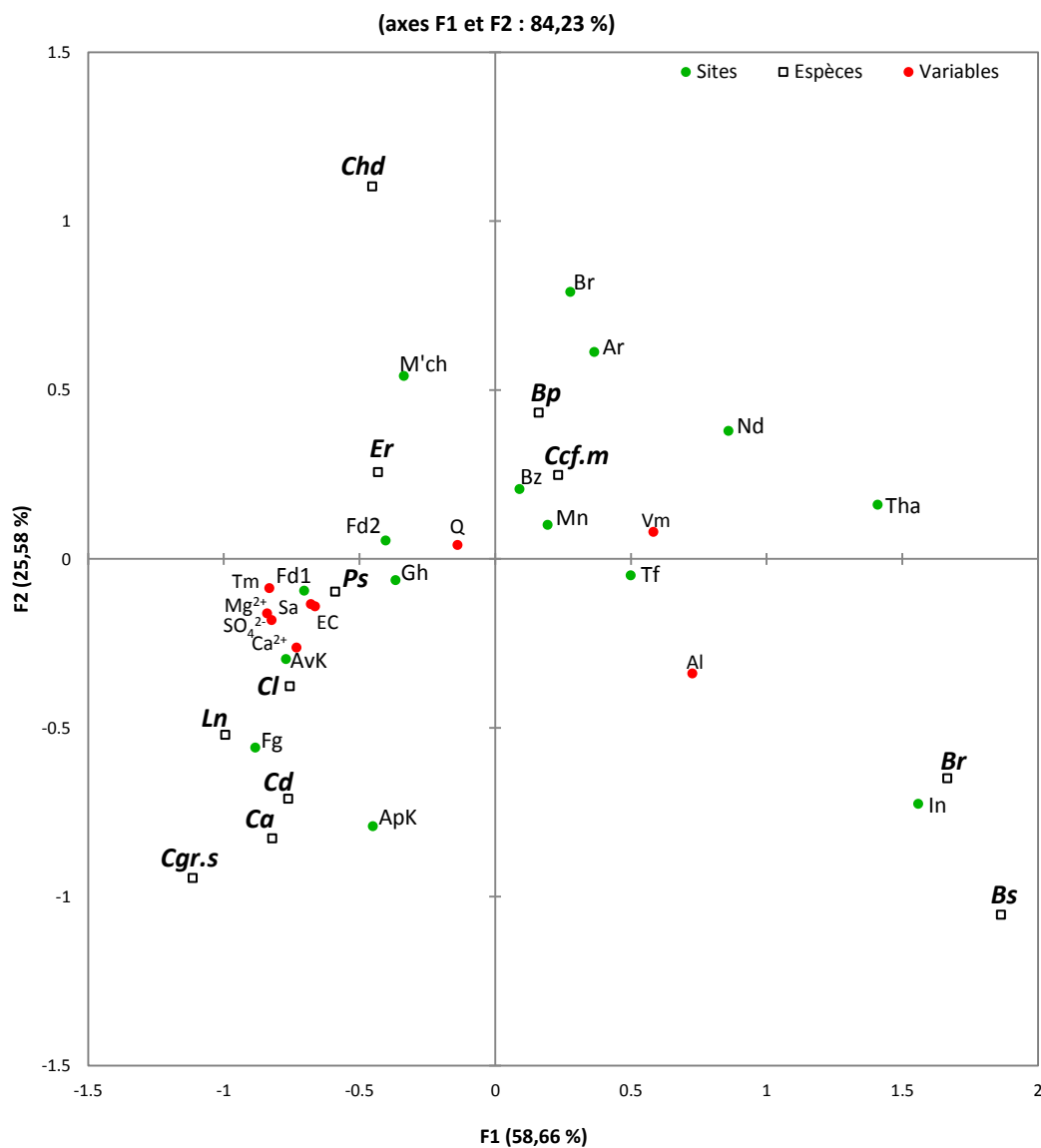


Figure 5.23. Plan F1-F2 de l'ACC : structure du nuage- stations-espèces-variables physico-chimiques et mésologiques des cours d'eaux des Aurès

2- Discussion

Les méthodes de bioévaluation 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, et nous avons choisi comme exemple d'étude les larves des Ephéméroptères. Diverses études ont montré que ce groupe est un matériel favorable dans les études écologiques, notamment dans l'estimation de la qualité biologique des eaux. Il se caractérise par sa grande valeur bioindicative vis-à-vis des nuisances subies par les cours d'eau, du fait que ce groupe contient une forte proportion d'espèces ayant des exigences écologiques strictes (ALBA-TERCEDOR et PICAZO-MUNOZ, 1995). Les larves des Ephéméroptères constituent le premier rang des insectes aquatiques occupant souvent les principaux biotopes des torrents, des ruisseaux, et des rivières (THOMAS, 1981), et elles présentent de très nombreuses adaptations morphologiques notamment aux courants rapides (GATTOLLIAT, 2000, 2001).

L'inventaire faunistique réalisé dans la présente étude constitue une base de données importante des régions semi arides et arides. Puisqu'il couvre 16 stations d'études localisées le long des trois sous bassins versants importantes de la région des Aurès de l'Est algérien. La faune étudiée est caractérisée par une diversité taxonomique faible dû principalement à la faible pluviosité et aux températures estivales élevées. Ce qui conduit à l'augmentation des périodes de sécheresse. La faune recensée dans ce travail se compose 60615 individus correspondant à 4 Familles et à 12 espèces. L'effectif total du peuplement d'Ephéméroptères a montré que l'espèce *B. pavidus* est la plus dominante avec 35676 ind. (58,86 %). Puis, nous trouvons les espèces *C. luctuosa* (15833 ind., 26,12%), *B. rhodani* (4887 ind., 8,06 %) et *B. sinsepinosus* (1815 ind., 2,99 %). La richesse en espèces est influencée par les conditions environnementales (LEGENDRE et LEGENDRE, 1998). La faune des Ephéméroptères était qualitativement pauvre (au total 12 espèces seulement) dans toutes les stations prospectées le long des trois sous bassins versants étudiés, à l'exception de la station d'AvT où nous avons enregistré une absence totale du peuplement de la faune, du fait de sa pollution principalement due aux eaux usées domestiques de la ville d'Ain Touta. Les stations les plus riches sont les stations permanentes du cours moyen et inférieur M'ch, AvK et Bz avec chacune 80 %.

En comparaison avec d'autres régions d'Algérie : 21 espèces dans la Kabylie du Djurdjura (LOUNACI *et al.*, 2000b), 20 espèces dans le bassin de Tafna (GAGNEUR et THOMAS, 1988 ; THOMAS, 1998), 20 au bassin du Mazafran et 13 au réseau du Chélif (ARAB, 2004 ; ARAB *et al.*, 2004) et par rapport aux autres pays du Maghreb : 48 espèces enregistrées au Maroc (DAKKI et EL AGBANI, 1983 ; EL ALAMI *et al.*, 2000 ; EL ALAMI,

2002), et 22 en Tunisie (BOUMAIZA et THOMAS, 1986, 1995 ; ZRELLI *et al.*, 2011a et b ; ZRELLI *et al.*, 2012 ; ZRELLI, 2014 ; ZRELLI *et al.*, 2015), le peuplement des Ephéméroptères des trois réseaux hydrographiques, El Abiod, El Hai et Abdi est peu diversifiée.

Tableau 5.10. Comparaison de la richesse spécifique (par genre) des Ephéméroptères des oueds étudiés à celles d'autres régions du Maghreb

(d'après les travaux de DAKKI et EL AGBANI, 1983 ; BOUMAIZA et THOMAS, 1986, 1995 ; GAGNEUR et THOMAS, 1988 ; THOMAS, 1998 ; EL ALAMI *et al.*, 2000 ; LOUNACI *et al.* 2000b ; BELAIDI *et al.*, 2001 ; MAQBOUL *et al.*, 2001 ; EL ALAMI, 2002 ; ARAB *et al.*, 2004 ; ZRELLI *et al.*, 2011a et b ; ZRELLI *et al.*, 2012 ; ZRELLI, 2014 ; ZRELLI *et al.*, 2015)

Genres	El Abiod	El Hai	Abdi	Kabylie de Djurdjura	Chelif	Mazafran	Tafna	Algérie	Maroc	Tunisie
<i>Choroterpes</i>		1	1	2		2	2	2	3	2
<i>Habroleptoides</i>								1	2	
<i>Habrophlebia</i>				1		1	1	1	3	1
<i>Paraleptophlebia</i>							1	1	1	
<i>Potamanthus</i>				1		1	1	1	1	1
<i>Ephoron</i>							1	1	1	1
<i>Ephemera</i>					1	1	1	1	1	1
<i>Prosopistoma</i>							1	1		
<i>Brachycercus</i>							1	1	1	
<i>Sparbarus</i>										1
<i>Caenis</i>	1	1	2	2	1	2	2	5	2	2
<i>Serratella</i>							1	1	1	
<i>Acentrella</i>				1	1	1		1	1	
<i>Alainites</i>				1	1	1	1	1	2	1
<i>Baetis</i>	3	1	3	5	3	3	3	7	7	3
<i>Centroptilum</i>				1	1	1		2	1	
<i>Cheleocloeon</i>	1			1		1		1	1	1
<i>Cloeon</i>	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2
<i>Labiobaetis</i>	1	1			1	1		1	1	1
<i>Nigrobaetis</i>				1				1	2	1
<i>Procloeon</i>	1	1	1	1	1	1		1	3	1
<i>Oligoneuriella</i>							1	1	1	
<i>Oligoneuriopsis</i>							1	1	1	
<i>Ecdyonurus</i>	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1
<i>Epeorus</i>									1	
<i>Rhithrogena</i>				1		1		1	7	1
<i>Afronurus</i>										1
Total	10	8	10	21	13	20	20	40	48	22

La faible diversité de nos cours d'eau peut s'expliquer par le climat semi aride de la région d'étude. La faible pluviosité et les températures estivales élevées (>35°C) qui conduisent à l'augmentation des périodes de sécheresse (Cas des stations Nd et Br en 2008), ce qui influence négativement sur la diversité biologique qui a tendance à être faible.

Les stations étudiées sont particulières, en raison de l'instabilité de leurs conditions environnementales, principalement l'absence fréquente de l'eau et les profondeurs des lits qui

sont modérées à nulles. Par conséquent, les cours d'eau temporaires accueillent habituellement moins d'espèces que les cours d'eau permanents (DEL ROSARIO et RESH, 2000 ; BONADA, 2003).

Tableau 5.11a. Comparaison de la répartition des espèces recensées des Ephéméroptères avec celles des autres bassins versants Maghrébins

Espèces	Oued El Abiod	Oued El Hai	Oued Abdi	Kabylie de Djurdjura	Chelif	Mazafran	Tafna	Autres bassin de l'Algérie	Maroc	Tunisie	Références bibliographiques
<i>Choroterpes (Ch) atlas</i>		*	*	*		*	*	*	*	*	4, 5, 11, 13, 18, 21, 23, 24, 26, 30, 31, 35, 37, 39, 40, 41, 42, 55, 57, 59.
<i>Caenis luctuosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 49, 50, 57.
<i>Caenis cf. macrura</i>			*					*			19, 31, 37, 57.
<i>Baetis pavidus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 49, 50, 55, 57.
<i>Baetis rhodani</i>	*		*					*	*	*	1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 33, 35, 36, 37, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 57.
<i>Baetis sinsepinosus</i>	*		*					*			53, 55, 57.
<i>Cheleocloeon dimorphicum</i>	*			*		*		*	*	*	3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 23, 24, 25, 26, 28, 39, 40, 41, 42, 56, 57.
<i>Cloeon dipterum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 50, 51, 52, 57.
<i>Cloeon gr simile</i>	*	*	*	*	*	*		*	*	*	4, 5, 12, 24, 39, 40, 41, 57, 60.
<i>Labiobaetis neglectus</i>	*	*			*	*		*	*	*	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 24, 26, 27, 50, 55, 57.
<i>Procloeon stagnicola</i>	*	*	*	*	*	*		*		*	4, 5, 19, 37, 39, 40, 41, 42, 44, 55, 57, 61.
<i>Ecdyonurus rothschildi</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 30, 32, 35, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 49, 50, 54, 57, 58.

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. A priori, ce phénomène a été

observé également dans les cours d'eau temporaire de toutes les régions à climat méditerranéens à travers le monde: la Californie, le bassin méditerranéen, le Chili, l'Afrique du Sud et du Sud et du Sud-ouest de l'Australie (WILLIAMS, 1996 ; BONADA, 2003).

Tableau 5.11b. Références bibliographiques

N°	Auteurs	N°	Auteurs	N°	Auteurs
1	Abdaoui <i>et al.</i> (2010)	22	El Alami (1986)	42	Mebarki (2001)
2	Aït Mouloud (1988)	23	El Alami (1989)	43	Mohati (1985)
3	Ajakane (1988)	24	El Alami (2002)	44	Navas (1928)
4	Arab (2004)	25	El Alami <i>et al.</i> (2000)	45	Navas (1929)
5	Arab <i>et al.</i> (2004)	26	El Alami et Dakki (1998)	46	Navas (1935)
6	Badri (1985)	27	El Mezdi (1985)	47	Ouahsine (1993)
7	Badri (1993)	28	El Mezdi et Giudicelli (1987)	48	Ouahsine et Lavandier (1988)
8	Badri <i>et al.</i> (1987)	29	Gagneur et Chaoui-Boudghane (1991)	49	Pihan et Mohati (1983)
9	Berrahou (1995)	30	Gagneur et Thomas (1988)	50	Qninba (1986)
10	Berrahou <i>et al.</i> (2001)	31	Gauthier (1928)	51	Ramdani (1980)
11	Boumaïza et Thomas (1986)	32	Giudicelli et Dakki (1983)	52	Ramdani (1981)
12	Boumaïza et Thomas (1995)	33	Giudicelli et Dakki (1984)	53	Soldan <i>et al.</i> (2005)
13	Bouzidi (1989)	34	Kimmins (1938)	54	Soldan et Gagneur (1985)
14	Bouzidi et Guidicelli (1994)	35	Kraiem (1986)	55	Soldan et Thomas (1983a)
15	Dakki (1979)	36	Kraiem (1987)	56	Soldan et Thomas 1985
16	Dakki (1986a)	37	Lestage (1925)	57	Thomas (1998)
17	Dakki (1987)	38	Lounaci (1987)	58	Thomas et Dakki (1979)
18	Dakki et El Agbani (1983)	39	Lounaci <i>et al.</i> (2000a)	59	Thomas et Vitte (1988)
19	Eaton (1899)	40	Lounaci <i>et al.</i> (2000b)	60	Verrier (1952)
20	El Agbani (1984)	41	Lounaci-Daoudi (1996)	61	Zrelli <i>et al.</i> (2011)
21	El Agbani <i>et al.</i> (1992)				

En considérant la distribution spatiale des espèces, les macroinvertébrés benthiques sont très affectés par leur environnement biotique et abiotique (ZOUGGAGHE et MOALI, 2007). Leur répartition est liée en grande partie à des facteurs environnementaux (RICHARDS *et al.*, 1993, TATE et HEINY, 1995, BENBOW *et al.*, 2003). Les paramètres, qui semblent le plus influencer la répartition des espèces en milieu lotique, sont sans doute la température. Le rôle du facteur thermique a été mis en évidence par différents auteurs. D'autres facteurs combinés à la température tels que l'altitude, la végétation riveraine, la nature du substrat, la vitesse du courant, en seraient responsables de la variation de la richesse spécifique dans un cours d'eau.

En outre, les paramètres physico-chimiques des eaux (conductivité électrique, salinité, dureté, alcalinité et chlorures, polluants organiques) jouent également un rôle non moins négligeable dans la répartition et l'abondance de nos espèces. Ceci a été démontré de même

par GAGNEUR et THOMAS (1988) dans les cours d'eau de l'Oranie, BOUMAIZA (1994) en Tunisie.

À ces conditions s'ajoutent tous les effets naturels (autres perturbations hydrologiques et crues) et les activités anthropiques (pratiques culturelles, rejets domestiques, déjections animales, pâturage, diminution du débit sous l'effet de la canalisation pour irrigation, le lessivage, le lavage des voitures, élargissant 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).

En Europe, au cours des dernières décennies, de nombreuses classifications des cours d'eau basées sur des associations d'espèces aquatiques ont été proposées (LILIES et BOTOSANEANU, 1963 ; OMERNIK, 1987 ; WHITTIER *et al.*, 1988 ; TATE et HEINY, 1995). En Afrique du Nord, l'étude biotypologique des cours d'eau est assez complète. DAKKI (1986a) fut le premier à tenter une biotypologie du Haut Sebou. Depuis, de nombreux travaux ont été effectués sur différents réseaux atlasiques, rifains et du plateau Central. Dans ce contexte, dans notre recherche, une étude biotypologique a été réalisée pour chaque oued prospecté afin de mettre en relief la répartition du peuplement Ephéméroptérologique des Aurès.

L'évolution de l'abondance et de la richesse spécifiques des populations recensées et leurs variations dans l'espace et dans le temps dans les trois oueds étudiées, montre que les espèces *B. pavidus* et *C. luctuosa* sont constamment les espèces les plus abondantes durant notre période d'étude et dans toutes les stations, en dehors des périodes des crues ou assèchement de certaines stations. 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. Au cours de notre étude, la structure des peuplements des Ephéméroptères a peu varié d'une saison à l'autre, alors que du point de vue spatial, une biotypologie des stations a été bien définie et une variabilité nettement constatée dans les abondances et l'occurrence des espèces d'une station à l'autre et d'un oued à l'autre.

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-CASALDUERO, 2001). La majorité des données bibliographiques relatives aux thèmes des perturbations et leurs impacts sur la structure des macroinvertébrés benthiques concordent sur le fait que 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 et MINSHALL, 1986). Ces crues peuvent détruire les habitats naturels et en créer de nouveaux qui sont ensuite recolonisés par des organismes vivants avec le retour des conditions d'écoulement des eaux stables. D'après CROYLE (1997), les crues ont aussi des effets hétérogènes sur les populations des cours d'eaux, ainsi que sur les refuges qui deviennent plus nombreux. Ces crues ne modifient pas seulement la physionomie et les facteurs abiotiques du cours d'eau, mais aussi de nombreux autres facteurs, y compris l'hétérogénéité des habitats, la productivité, la répartition des ressources et les interactions biotiques.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La problématique principale de ce travail est la bio-évaluation des cours d'eau de la région des Aurès à travers la caractérisation de la qualité physico-chimique et biologique des eaux des 3 sous bassins versant étudiés dans cette région.

L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de 16 stations prospectées le long des 3 oueds des Aurès a été étudiée grâce à des représentations de la variation spatio-temporelle de différents paramètres physico-chimiques mesurés et des analyses statistiques, ce qui a été notre premier objectif. Cependant, l'étude de la diversité biologique des Ephemeroptères dans les mêmes stations par diverses indices écologiques et l'analyse de la répartition spatio-temporelle de ce groupe en utilisant des méthodes statistiques précises et en recherchant l'impact des crues et l'effet des paramètres environnementaux sur cette répartition, étaient le deuxième objectif.

➤ Etude mésologique

La qualité physico-chimique des eaux de sous bassins versants étudiés dans la région des Aurès paraît globalement normale, en dehors de la station très polluée de l'oued El Hai, AvT qui reçoit un déversement excessif des rejets domestiques de la ville d'Ain Touta. Les eaux sont d'une température généralement variable qui augmente de l'amont vers l'aval, d'une bonne oxygénation (de 6 à 9 mg/l), d'un pH basique variant entre 7,94 et 8,66, ce qui explique les concentrations importantes en bicarbonates. Les valeurs moyennes de la conductivité et de la salinité, suivent le même rythme de changement d'une station à une autre. Les résultats de la conductivité électrique sont d'une moyenne qualité oscillant entre 588,7 et 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, à l'exception de la station de Bz à oued Abdi et les stations de l'oued el Hai, dont nous avons enregistré la valeur la plus élevée au niveau de la station d'AvK (4475,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les teneurs moyennes en MES sont négligeables ne dépassent pas 0,1 mg/l et les vitesses du courant sont moyennes à rapides.

La minéralisation générale exprimée par des concentrations moyennes en conductivité (588,7 à 4475,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinité (0,06 à 2,35), calcium (54,20 à 282,24 mg/l), magnésium (60,26 à 281,54 mg/l), chlorure (67,6 à 777,62 mg/l), sulfates (0,282 à 1,517 mg/l) et en bicarbonates (117,64 à 221,12 mg/l), est moyenne à élevée dans la majorité de nos stations. Elle reflète son origine puisqu'elle est issue du lessivage des terrains géologiques de nos bassins versants. Ainsi, les eaux sont généralement dures.

Les paramètres signalant la pollution montrent des teneurs moyennes en nitrites inférieures à 1mg/l, celles en phosphores varient entre 0,07 et 0,332 mg/l et celles en nitrates allant de 1,308 à 5,366 mg/l. A l'exception des fortes valeurs notées à la station polluée d'AvT et qui 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), les autres valeurs sont probablement justifiées par 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 d'un mois à l'autre au cours des deux années d'études, et d'une station à l'autre le long des trois sous bassins versants étudiés. Ensuite, par l'ANOVA2 en vue de chercher les différences significatives de nos mesures sur le plan temporel entre les années d'étude et sur le plan spatial entre les stations des trois oueds étudiés. Ces analyses ont permis de montrer une faible variabilité temporelle de la qualité des eaux de la région des Aurès. Celle-ci a été principalement liée aux différences significatives ($P < 0,05$) entre les deux années concernant le débit, la vitesse du courant et le magnésium. En revanche, les variabilités spatiales entre les trois oueds sont importantes, définies significativement par la minéralisation (salinité, conductivité, vitesse du courant, calcium, magnésium et sulfates). L'interaction entre les deux facteurs, années et oueds, montre la différence significative seulement de la température moyenne.

La corrélation de Pearson (n) et l'analyse en composantes principales (ACP) des différentes données physico-chimiques et mésologiques nous a permis de faire ressortir les inter-relations existantes significativement entre ces différentes données et de différencier une zonalité de la qualité de l'eau dans la région étudiée. Ainsi, diverses variables paraissent inter corrélées significativement entre elles, dont les plus marquées sont la minéralisation (EC et Sal) avec les différents ions majeurs dosés (Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-). Par le biais des paramètres physico-chimiques des stations d'étude, une typologie des cours d'eau de chaque sous bassin versant a été réalisée par l'ACP et la CAH. Trois groupements de stations ont été identifiés à chaque oued:

- A oued El Abiod: deux stations du cours supérieur de hautes altitudes, une permanente (In) et l'autre qui est temporaire (Ar) se caractérise par des teneurs additionnelles en nitrates et phosphores provenant des activités de pâturage et de l'élevage des volailles

au voisinage ; deux stations semi permanentes du cours moyen à moyenne altitude (Tf et Gh), qui sont entourées par des terrains agricoles et des hautes montagnes et sont sous l'influence de plusieurs activités humaines (Ex : pâturage) entraînant, par conséquent, l'augmentation des concentrations des différents ions Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- ; et deux stations permanentes du cours inférieur à basses altitudes (M'ch et Fg), où l'augmentation des températures dans ces stations, accélère l'évaporation des eaux, réduit le taux d'oxygène et fait élever généralement les concentrations des ions.

- A oued El Hai : la station semi-permanente du cours supérieur (AvT) qui montre des teneurs excessives surtout en NO_3^- , PO_4^- et HCO_3^- résultant de la nature des terrains drainés par les courants d'eau et de la forte pollution provenant des eaux usées domestiques de la ville d'Ain Touta ; trois stations du cours moyen de moyenne altitude dont l'une (Fd2) est temporaire, et les deux autres (Fd1 et ApK) sont semi permanentes ; et une station permanente du cours inférieur (AvK) qui possède une très forte minéralisation provenant principalement de la nature géologique des terrains traversés et de l'érosion des roches superficielles de cette station, en plus, des activités anthropiques.
- A oued Abdi : deux stations semi-temporaires du cours supérieur (Tha et Nd) sont localisées à de hautes altitudes, très proches de terrains agricoles et des agglomérations constituant des zones de pâturage ; des stations permanentes du cours moyen dont l'une est de haute altitude (Mn) reçoit des eaux usées domestiques et des décharges agricoles, l'autre se situe à une altitude moyenne (Bz) délimitée par des hautes montagnes et reçoit des effluents provenant des amonts de l'oued Bouzina ; et une station urbaine du cours inférieur à basse altitude (Br).

Finalement, une typologie globale a été effectuée sur une matrice binaire des données constituée de 19 paramètres physico-chimiques et mésologiques et 16 stations en utilisant l'ACP et la CAH. Ceci nous a permis d'individualiser 5 groupes des stations :

* Le groupe I est représenté par la station du cours supérieur de haute altitude (AvT) située en amont et montre une forte pollution domestique s'exprimant par des teneurs élevées en sels nutritifs, en phosphores et une forte alcalinité. Ceci conduit à une chute d'oxygénation et un ralentissement de la vitesse du courant.

* Le groupe II qui comprend une seule station du cours inférieur de basse altitude (AvK) située en aval de la région d'étude. C'est la station la plus minéralisée, la plus riche en sels, en calcium, en magnésium, en sulfates et en chlorures. La pollution, liée aux eaux usées

urbaines et les travaux de construction d'un pont sur le cours d'eau, alliée à la nature calcaire et marneuse salifères des substrats géologiques traversés et à la plus forte température moyenne enregistrée à cette station (20,56°C) pourraient justifier la minéralisation excessive de cette station.

* Le groupe III formé strictement des stations du cours moyen de moyenne altitude (Fd2, Fd1, ApK et Bz) désignant une qualité moyenne des eaux. Ce groupe paraît proche du groupe IV mais avec des concentrations plus importantes de quelques paramètres physico-chimiques.

* Le groupe IV est constitué des stations du cours moyen à moyenne altitude (Tf et Gh) et celles du cours inférieur de basse altitude (M'ch, Fg et Br). Elles sont moyennement minéralisées et présentent des duretés moyennes calcique et magnésienne. De plus, ces stations se caractérisent par des concentrations moyennes de sulfates et de chlorures.

* Enfin, dans le groupe V figure les stations situées en amont de la région d'étude : Tha, Nd, In et Ar du cours supérieur et Mn du cours moyen. Elles se caractérisent par de hautes altitudes, des teneurs élevées de nitrates provenant du lessivage des fertilisants utilisés dans les terrains agricoles avoisinants toutes ces stations, sans oublier les élevages des bovins et des volailles fréquents particulièrement à côté de la station de Nd qui présente la plus forte valeur moyenne en nitrates (5,37 mg/l).

➤ Etude faunistique

L'inventaire faunistique réalisé dans la présente étude constitue une base de données importante des régions semi arides et arides. Puisqu'il couvre 16 stations d'études localisées le long des trois sous bassins versants importants de la région des Aurès, à l'Est algérien. La faune étudiée est caractérisée par une diversité taxonomique faible due principalement à la faible pluviosité et aux températures estivales élevées. Ce qui conduit à l'augmentation des périodes de sécheresse. La faune recensée dans ce travail se compose 60615 individus correspondant à 4 familles et à 12 espèces. L'effectif total du peuplement d'Ephéméroptères a montré que l'espèce *B. pavidus* est la plus dominante avec 35676 ind. (58,86 %). Puis, nous trouvons les espèces *C. luctuosa* (15833 ind., 26,12 %), *B. rhodani* (4887 ind., 8,06 %) et *B. sinsepinosus* (1815 ind., 2,99 %). La faune des Ephéméroptères était qualitativement pauvre (au total de 12 espèces seulement) dans toutes les stations prospectées le long des stations des trois sous bassins versants étudiés, à l'exception de la station d'AvT où nous avons enregistré une absence totale du peuplement des Ephéméroptères, du fait de sa pollution principalement

due eaux usées domestiques de la ville d'Ain Touta. Les stations les plus riches sont les stations permanentes du cours moyen et inférieur M'ch, AvK et Bz avec chacune 80 %.

Les résultats obtenus, après l'analyse de la composition taxonomique des Ephéméroptères des trois oueds par des indices écologiques de structure et de diversité, montrent une nette variabilité, mais beaucoup plus spatiale que temporelle. La richesse spécifique en Ephéméroptères, est plus marquée dans les stations aval (M'ch, AvK, Bz, Fd1, ApK et Mn) de moyenne à basse altitudes (7 à 8 espèces), qui se caractérisent par une végétation riveraine abondante, une régulation du régime thermique d'eau, une hétérogénéité du substrat et une diversification des micro-habitats. L'analyse de distribution de l'abondance de nos espèces recensées montre une nette différence d'un oued à l'autre et d'une station à l'autre, avec une dominance maximale de *Baetis pavidus* dans les oueds d'El Abiod et Abdi, suivie par *Caenis luctuosa*. Contrairement, à oued El Hai, les deux espèces prennent les positions inverses. Sur le plan stationnel, la station la plus dominante est la station d'AvK avec 61,96 % (10726 ind.) de l'ensemble des stations de l'oued El Hai et 17,69 % du total des stations prospectées de la région des Aurès. La classification des espèces en fonction de leur fréquence montre une différence spatiale d'un oued à l'autre. Ainsi, nous avons recensé des espèces constantes et accessoires aux trois oueds étudiées; des espèces omniprésentes et fréquentes seulement à oued El Abiod et à oued El Hai; des espèces communes seulement à oued El Abiod et à oued Abdi; et des espèces rares seulement à oued Abdi. Selon les conditions du milieu, la même espèce pourrait appartenir à une classe de fréquence dans un oued alors qu'elle pourrait changer de classe dans un autre. En ce qui concerne l'étude de la variabilité spatio-temporelle de nos peuplements par des indicateurs de diversité, les valeurs obtenues montrent que les indices de Shannon-Wiener (H'), de l'Equitabilité (E) et de Simpson D sont fortement corrélés et varient de manière synchrone entre les différentes stations. Habituellement, les indices de H' et E augmentent alors que D diminue, ceci est dû d'une part à leur richesse spécifique et d'autre part à la régularité de leur abondance. Les valeurs les plus élevées de H' et E sont enregistrées dans les stations de Fd1, In, ApK et Fg. En revanche, les valeurs les plus faibles de D sont enregistrées dans les mêmes stations. Ces stations montrent des richesses spécifiques assez importantes et des abondances relativement proches. Mais, dans toutes les autres stations étudiées nous avons une faible richesse spécifique avec une prédominance de l'espèce *Baetis pavidus* suivie par l'espèce *Caenis luctuosa* ou le contraire. Notre étude n'a pas mis en évidence une variabilité temporelle significative de la structure du peuplement de nos cours d'eau entre les saisons

d'échantillonnage. Ceci a été exploitée par l'ANOVA1 qui confirme que la richesse spécifique, les abondances relatives totales obtenues par station et les indices de Shannon, Simpson et l'Equitabilité obtenus par oued, ne diffèrent pas significativement d'une saison à l'autre avec un seuil de signification de 5 %.

L'analyse de l'affinité cénotique entre espèces indique que 2 couples d'espèces, *C. dipterum*-*C. (Ch) atlas* et *C. luctuosa*-*E. rothschildi*, révèlent une affinité significative au seuil de probabilité de 1 % et 9 autres couples une affinité plus marquée significativement au seuil de probabilité de 1 ‰ : *B. rhodani*-*B. sinespinosus*, *C. gr. simile*-*C. dipterum*, *C. gr. simile*-*C. luctuosa*, *C. dipterum*-*C. luctuosa*, *L. neglectus*-*P. stagnicola*, *L. neglectus*-*C. luctuosa*, *L. neglectus*-*E. rothschildi*, *P. stagnicola*-*C. luctuosa* et *P. stagnicola*-*E. rothschildi*. Par contre, 3 couples représentent une incompatibilité significative au seuil de 1 % : *B. rhodani*-*P. stagnicola*, *B. sinespinosus*-*P. stagnicola* et *B. sinespinosus*-*C. (Ch) atlas* ; et enfin, 5 couples une incompatibilité significative au seuil de 1 ‰ : *B. rhodani*-*C. gr. simile*, *B. rhodani*-*C. dipterum*, *B. rhodani*-*C. luctuosa*, *B. sinespinosus*-*C. dipterum* et *B. sinespinosus*-*C. luctuosa*. Ceci discrimine nettement la structure du peuplement en deux zones écologiques bien distinctes : le rihtral où se concentrent les espèces alticoles des eaux fraîches et le potamal où se trouvent les espèces thermophiles qui préfèrent les moyennes et basses altitudes.

Une étude biotypologique de chaque oued puis de l'ensemble des stations prospectées, a été réalisée en utilisant l'AFC, à l'exception de la station AvT, qui a été éliminée dans toute étude statistique vue l'absence totale de la faune dans cette station. Les résultats nous ont permis d'individualiser à chaque oued 3 groupements :

- A oued El Abiod : les stations (In et Ar) occupant une position éloignée de l'origine des axes liée à la spécialisation de son peuplement, sont constituées des espèces *B. rhodani* et *B. sinespinosus* ; les stations (Tf et M'ch) s'individualisent par la prédominance de l'espèce *B. pavidus* et l'exclusivité de l'espèce *Ch. dimorphicum* à la station typique de M'ch; et enfin les stations (Gh et Fg) qui englobent des espèces à écologie plus ou moins différente : *L. neglectus*, *E. rothschildi*, *P. stagnicola*, *C. luctuosa*, *C. dipterum* et *C. gr. simile*.
- A oued El Hai : la station (Fd2) caractérisée par la présence des deux espèces, *B. pavidus* et *P. stagnicola* ; les stations (Fd1 et ApK) constituent le biotope favori pour l'espèce *C. dipterum*, en considération à sa forte abondance ; et enfin la station (AvK) qui englobe une espèce exclusive *L. neglectus* avec les espèces : *C. gr. simile*, *E. rothschildi*, *C. (Ch) atlas* et *C. luctuosa*, cette station est typique puisqu'elle présente

une richesse spécifique assez élevée (8 espèces recensées) alliée aux plus fortes valeurs d'abondance.

- A oued Abdi : les stations (Tha et Nd) qui renferment les espèces *B. rhodani* et *B. sinespinosus*, préférant les eaux fraîches malgré leur large valence écologique ; les stations (Mn et Bz) qui englobent des taxons exclusifs à écologie plus ou moins différente : *C. loctiosa*, *C. cf. macrura*, *P. stagnicola*, *E. rothschildi*, *C. (Ch) atlas*, *C. dipterum*, *C. gr. simile* ; et celle (Br) qui abrite l'espèce la plus abondante et la plus eurytope, *B. pavidus*.

À propos de la biotypologie globale, nous avons pu distinguer 3 noyaux d'affinité entre les 15 stations prospectées d'une part et les 12 espèces recensées d'autre part :

* Le noyau 1 est très bien individualisé, correspond aux espèces alticoles, *B. rhodani* et *B. sinespinosus*, inféodés aux stations du cours supérieur de haute altitude (In, Tha, Ar et Nd). Ce groupe caractérise bien la zone des sources et ruisseaux froids d'où ils sont issus.

* Le noyau 2 est constitué de trois espèces : *B. pavidus* espèce eurytope eurytherme est représentée par la plus grande abondance dans les stations Mn, Fd2, Bz, Tf, M'ch et Br du cours moyen ; *C. cf. macrura* espèce rhéophile et rare ne s'observe qu'aux stations de Mn et Bz ; et *Ch. dimorphicum* se cantonne exclusivement à la station de M'ch.

* Le noyau 3 comprend principalement les espèces qui colonisent les stations de moyenne et basse altitudes Fd1, Fg, Gh, ApK et AvK. Ces espèces ont une écologie plus ou moins hétérogène : *L. neglectus* espèce rare habite principalement la station AvK ; espèces lénithophiles, *C. dipterum*, *C. gr. simile* et *P. stagnicola*, préférant les eaux calmes et chaudes, et les espèces eurythermes : *E. rothschildi*, *C. luctuosa* et *C. (Ch) atlas*.

L'évolution spatio-temporelle de l'abondance des espèces recensées dans les trois oueds étudiés, montre que les espèces *B. pavidus* et *C. luctuosa* sont constamment les espèces les plus abondantes durant notre période d'étude et dans toutes les stations, en dehors des périodes de crues ou d'assèchement de certaines stations. Ceci est dû au fait que ces deux espèces soient eurytopes, eurythermes et possèdent de grande valence écologique. Au cours de notre étude, la structure des peuplements des Ephéméroptères a peu varié d'une saison à l'autre, alors que du point de vue spatial, la biotypologie des stations a été bien définie et une variabilité nettement constatée dans les abondances et les occurrences des espèces d'une station à l'autre et d'un oued à l'autre.

En tenant compte des perturbations spécifiques à notre région d'étude, qui sont représentées par deux importantes crues des mois d'octobre 2008 et février 2009. Notre étude

s'est intéressée aussi à l'impact des crues sur la répartition spatio-temporelle des espèces recensées au cours de notre période d'étude. Pour cela, nous avons procédé à une méthode simple, la comparaison entre la structure des communautés des Ephéméroptères recensées entre trois périodes : avant la crue d'octobre 2008, entre les deux crues et après la crue de février 2009. Les résultats obtenus montrent une grande variation de la structure de nos communautés sur le plan familial et spécifique dans la plus part des stations prospectées. Cependant, nous avons pu constater que le rétablissement du peuplement, malgré les dégâts causés par les crues, est très rapide pour les familles des Baetidae et Caenidae qui ont pu subsister dans toutes les stations prospectées. Ces deux familles ont apparemment un pouvoir de récupération rapide plus particulièrement les espèces *B. pavidus* et *C. luctuosa*.

L'analyse de la répartition des Ephéméroptères en fonction des paramètres physico-chimiques, montre que notre peuplement peut être classé en :

- ✓ Espèces inféodées aux hautes altitudes, leur répartition dépend des conditions du milieu, elles sont exigeantes, et échappent aux conditions sévères du milieu. Elles préfèrent les stations à température fraîche, peu minéralisée et supportent le courant rapide : *B. rhodani* et *B. sinespinosus* ;
- ✓ Des espèces préférant les basses altitudes, thermophiles et supportent les grandes concentrations de minéralisation (EC, Sa, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) : *C. luctuosa*, *P. stagnicola*, *L. neglectus*, *C. (Ch) atlas*, *C. dipterum* et *C.gr. simile* ;
- ✓ Des espèces à large répartition peuvent subsister quelque soit les conditions du milieu : *B. pavidus* ou des espèces rares et/ou exclusives : *E. rothschildi*, *C. cf. macrura* et *Ch. dimorphicum*.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. ABDAOUI, A., EL ALAMI, M. & GHAMIZI, M. (2010).— Diversité et distribution des Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) du parc National de Toubkal (Haut Atlas, Maroc). *Tra. Inst. Sci., Série Zoologie, Rabat*. Tome I (47) : 01-05.
2. ABDESSEMED, K. (1984).— Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Première partie : La dégradation, ses origines et ses conséquences. *Forêt méditerranéenne*. VI (1) : 19-26.
3. AGENCES DE L'EAU, (1993).— Etude bibliographique des méthodes biologiques d'évaluation de la qualité des eaux de surface continentales. Synthèse bibliographique. Etude inter-Agences 35, 259 p.+ annexes
4. AIDOU DI, L. & SEBAA, L. (2008).— *Etude de la représentativité de la pluie moyenne du bassin versant d'Oued Abiod*. Mémoire d'ingénieur d'état en Hydraulique. Hydraulique Urbain. Université de Biskra. Biskra, Algérie, 69 p.
5. AIT MOULOUD, S. (1988).— *Essais de recherches sur la dérive des macroinvertébrés dans l'oued Aissi: faunistique, écologie et biogéographie*. Thèse de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Institut des Sciences de la Nature, Alger, Algérie, 118 p.
6. AJAKANE, A. (1988).— *Etude hydrobiologique du bassin versant de l'oued N'fis (Haut Atlas marocain) - biotypologie, dynamique saisonnière, impact de l'assèchement sur les communautés benthiques*. Thèse de 3^{ème} cycle. Fac. Sci., Marrakech, Maroc, 189 p.
7. ALBA-TERCEDOR, J. (1988).— Ephemeroptera. Bases para un curso práctico de Entomología. Barrientos, J.A. (coord.): *Asoc. Esp. Entomol.* 6 (2): 359-372.
8. ALBA-TERCEDOR, J. (2000).— *Habrophlebia antoninoi* sp. n., a New Species from Spain, with an Account of the European Species of *Habrophlebia* Eaton, 1881 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae, Habrophlebiinae). *Aquatic Insectes*. 22 (1): 1-7.
9. 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.
10. ALBA-TERCEDOR, J. & JAIMEZ-CUE LLAR, J. (2003).— Checklist and historical evolution of the knowledge of Ephemeroptera in the Iberian Peninsula. Balearic and Canary Islands. Research Update on Ephemeroptera & Plecoptera, E. Gaino (Ed), University of Perugia. Perugia, Italy, 91-97.
11. ALBA-TERCEDOR, J. & PICAZO-MUNOZ, J. (1995).— Relationship between the distribution of mayfly nymphs and 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. Caborowski (eds.) Canadian Scholar'press inc. Toronto.

12. ALBA-TERCEDOR, J. & ZAMORA MUÑOZ, C. (1993).— Description of *Caenis nachoi* sp.n., with Keys for the identification of the European Species of the *Caenis macrura* Group (Ephemeroptera: Caenidae). *Aquatic Insects*. 15 (4): 239-247.
13. ALIMEN, H., BEIDA, Z., & CASTA, L. (1979).— Etude sédimentologique. Economie pastorale préagricole en Algérie orientale : Le Néolithique de tradition capsienne. Exemple : L'Aurès : 190-197.
14. AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. (1983).— Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest: CNEXO, Paris, 395 pp.
15. ANSAR, A. (2002).— «L'Aurès Oriental: un milieu en dégradation». Biskra (Algérie): CRSTRA, *Journal algérien des régions arides, revue semestrielle* 1: 24-32.
16. ARAB, A. (2004).— *Recherches faunistiques et écologiques sur les réseaux hydrographiques du Chelif et du Mazafran*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Faculté des Sciences Biologiques, Alger, Algérie, 171 p.
17. ARAB, A., LEK, S., LOUNACI, A. & PARK, Y. S. (2004).— Distribution patterns of benthic macroinvertebrates in an intermittent river. *Annls. Limnol.* 40 (4): 123-133.
18. ARAIN, M.B., KAZI, T.G., JAMALI, M.K., JALBANI, N., AFRIDI, H.I. & SHAH, A. (2008).— Total dissolved and bioavailable elements in water and sediment samples and their accumulation in *Oreochromis mossambicus* of polluted Manchar Lake. *Chemo- sphere*. 70: 1845-1856.
19. BAALA, F. (2012).— *Analyse des contraintes physiques et potentialité d'aménagement dans la vallée d'Oued Abdi -Approche systémique*. Mémoire de Magister. Université El Hadj Lakhdar. Département Sciences de la Terre, Batna, Algérie, 225 p.
20. BADRI, A. (1985).— *Étude hydrobiologiques d'un cours d'eau de plaine semi-aride: le Tensift. Impacts des crues sur la biocénose*. Thèse de 3^{ème} cycle. Univ. Cadi Ayyad. Fac. Sci., Marrakech, Maroc, 124 p.
21. BADRI, A. (1993).— *Influence des crues sur les Ecosystèmes lotiques du Haut Atlas : étude des perturbations et des mécanismes de recolonisation à travers les peuplements d'algues et d'invertébrés*. Thèse d'Etat. Univ. Cadi Ayyad. Fac. Sci., Marrakech, Maroc, 192 p.
22. BADRI, A., GIUDICELLI, J. & PREVOT, G. (1987).— Effets d'une crue sur la communauté d'invertébrés benthiques d'une rivière méditerranéenne, Le Rdat (Maroc). *Acta Oecologica, Oecologica generalis*. 8 (4) : 481-500.
23. BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H. (1957).— Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*. 355 (66) : 193-220
24. BALLAIS, J.L. (1981).— *Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie)*. Thèse de Doctorat. Université Paris I. Paris, France, 566 p.
25. BALLAIS, J.L. & VOGT, T. (1980).— Croûte calcaires quaternaires du piémont Nord des Aurès (Algérie). *Rech. géogr. à Strasbourg*.

26. BARBAULT, R. (1992).— *Ecologie des peuplements : structure, dynamique et évolution*. Masson Ed., Paris, 273 pp.
27. BARBER-JAMES, H., SARTORI, M., GATTOLLIAT, J.L. & WEBB, J. (2013).— World checklist of freshwater Ephemeroptera species. World Wide Web *electronic publication*. Available online at <http://fada.biodiversity.be/group/show/35>;
28. BAUERNFEIND, E. & SOLDAN, T. (2012).— *The Mayflies of Europe (Ephemeroptera)*. Apollo Books, Ollerup, Denmark, 781 pp.
29. BEBBA, N., EL ALAMI, M., ARAB, A. & ARIGUE, S. F. (2015).— Etude mésologique et Biotypologique du peuplement des Ephéméroptères de l'oued Abdi (Algérie) [Mesological and biotypological study of Mayflies populating in Abdi wadi (Algeria)]. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) : 1164-1177
30. BELAGOUNE, F. (2012).— *Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi aride « Cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 »*. Thèse de Magister. Département d'Hydraulique et de Génie Civil, Faculté des Sciences et de la Technologie et Sciences de la Matière, Université d'Ouargla. Ouargla, Algérie, 181 p.
31. BELAIDI, N. (1992).— *Etude de la salinité dans le bassin versant de la Tafna et son influence sur quelques organismes benthiques*. Thèse de Magister. Université de Tlemcen. Tlemcen, Algérie, 64 p.
32. BELAIDI, N., TALEB, A., MAHI, A. & MESSANA, G. (2001).— Composition and distribution of stygobionts in the Tafna alluvial aquifer (north-western Algeria). *Subterranean Biology*. 8: 21-32.
33. BELFIORE, C. (1983).— Guide pre il riconoscimento delle specie animali delle arque interne Italiane (24) Effemerotteri (Ephemeroptera). *Collana del progetto finalizzato, Promozione Della Qualità Dell'Ambiente*, AQ: 1-201 p.
34. BELGHITI, M.L., CHAHLAOUI, A., BENGOUIMI, D. & EL MOUSTAINE, R. (2013).— Etude de la qualité physico-chimique et Bactériologique des eaux souterraines de la Nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*. 14 : 21-36.
35. BELLION, C. (1976).— *Etude géologique et hydrogéologique de la terminais on occidentale des monts de Belezma (Algérie)*. Thèse du doctorat de 3^{ème} cycle, Univ de Paris VI France.
36. BENBOW, M.E., BURKY, A.J. & WAY, C.M. (2003).— Life cycle of a torrenticolous Hawaiian chironomid (*Telmatogeton torrenticola*): stream flow and microhabitat effects. *Annls. Limnol.* 39: 103-114.
37. BENMESSAOUD, H. (2009).— *Etude de la vulnérabilité a la désertification par des méthodes quantitatives numérique dans le massif des Aurès (Algérie)*. Thèse de Doctorat es Sciences. Université El Hadj Lakhdar. Département Sciences de la Terre, Batna, Algérie, 227 p.

38. BENMESSAOUD, H., KALLA, M. & DRIDDI, H. (2009).— Evolution de l'occupation des sols et désertification dans le Sud des Aurès (Algérie). *M@ppemonde* 94 (2009.2) <http://mappemonde.mgm.fr/num22/articles/art09206.html>
39. BEN MOUSSA, A. CHAHLAOUI, A. ROUR, E. & CHAHBOUNE, M. (2014).— Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc. *Jou. Mater. Environ. Sci.* 5 (1) : 183-198.
40. BEN TOUATI, L. & BOUZIDI, A. (2012).— Etude de l'impact de la pollution sur oued Bousselem (wilaya de Sétif – nord est de l'Algérie). *ScienceLib Editions Mersenne* : Volume 4, N ° 120108.
41. BERRAHOU, A. (1995).— *Recherches sur la distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques : cas du Rhône français et des cours d'eau marocains*. Thèse de Doctorat d'Etat. Univ. Mohammed I. Fac. Sci., Oujda, Maroc, 212 p.
42. BERRAHOU, A., CELLOT, B. & RICHOUX P. (2001).— Distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques de la Moulouya et de ces principaux affluents (Maroc). *Annls. Limnol.* 37 :223-235.
43. BLONDEL, J. (1979).— Biogéographie et écologie. Collection d'écologie 15, Masson Ed., Paris, 173 pp.
44. BOLBAPOCĂ, D.S. & JÄNTSCHI, L. (2006).— Pearson vers Spearman. Kendell's Tau correlation analysis on Structure. Activity Relationships of Biologic Active Compounds. *Leonardo Journal of Sciences* :179-200.
45. BONADA, N. (2003).— *Ecology of the macroinvertebrate communities in Mediterranean rivers at different scales and organization levels*. Doctoral thesis. University of Barcelona. Barcelona, Spain, 355 p.
46. BONNET, L. (1965).— Le peuplement thécamoebien de la région d'Orédon (Hautes-Pyrénées). 1, Quelques aspects de la faune des tourbières. *Annls. Limnol.* 1 (2) : 113-143.
47. BONNET, L. (1966).— Le peuplement thécamoebien de quelques sols du Chili. *Protistologica*. 2 (2) :113-140.
48. BONToux, J. (1993).— Introduction à l'étude des eaux douces. 2^{ème} édition. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 169 pp.
49. BOUKLI HACENE, S. (2012).— *Bioécologie des Coléoptères (Arthropodes-Insectes) du marais salé de l'embouchure de la Tafna (Tlemcen)*. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen. Tlemcen, Algérie, 142 p.
50. BOULINIER, 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* 73 (3) *the Ecological Society of America*: 1018.
51. BOUMAÏZA, M. (1994).— *Recherches sur les eaux courantes de Tunisie. Faunistique, Ecologie et Biogéographie*. Thèse de Doctorat d'Etat es-Sciences Biologiques. Fac. Sci., Tunis, Tunisie, 427 p.

52. BOUMAIZA, M. & THOMAS, A.G.B. (1986).— Répartition et écologie des Ephéméroptères de Tunisie, 1ère partie (Insecta, Ephemeroptera). *Archs. Inst. Pasteur Tunisie*. 63 (4) 567-599.
53. 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). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*. 131: 27-33.
54. 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 Oecologica, Oecologica generalis*. 1 (2) : 131-150.
55. BOURNAUD, M., KECK, G. & RICHOUX P. (1980).— Les peuplements de macroinvertébrés benthiques en tant que révélateurs de la physionomie d'une rivière. *Annls. Limnol.* 165 (1) : 55-75.
56. 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 d'Etat, Université Cadi Ayyad. Faculté des Sciences, Marrakech, 190 p.
57. BOUZIDI, A. & GIUDICELLI, J. (1994).— Ecologie et distribution spatial des macroinvertébrés des eaux courantes du Haut Atlas marocain. *Rev. Fac. Sci. Marrakech*. 8 :23-43.
58. BREMOND, R. & VUICHARD, R. (1973).— Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la Protection de la Nature et de l'Environnement. 179 p.
59. BREWIN, P.A., NEWMAN, T.M.L. & ORMEROD, S.J. (1995).— Pattern of macroinvertebrate distribution in relation to altitude, habitat structure and land use in streams of the Nepalese Himalaya. *Arch. Hydrobiol.* 135: 79-100.
60. BRITTAIN, E.J. (1982).— Biology of Mayflies. *Ann. Rev. Ent.* 27: 97-119
61. BRITTAIN, E.J. & SALVIET, S.J. (1989).— A review of the effect of river regulation on mayflies (Ephemeroptera). *Regulated River: Research & Management*. 3: 191-204.
62. BRULIN, M. (2007).— Du côté des Éphémères : gros plan sur les *Caenis*. *Insectes*. 144 (1) : 29-33.
63. BRULIN, M. (2008).— Mouche de mai et grands Éphémères de France. *Insectes*. 148 (1): 15-18.
64. CAIRNS, Jr. J. & PRATT, J.R. (1993).— A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In Rosenberg D. M. & Resh V. H. (Eds) *Freshwater Biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. *Chapman & Hall, NY*. 10-27.
65. CARREL, G., BERTHELEMY, D., AUDA, Y. & CHESSEL, D. (1986).— Approche graphique de l'analyse en composantes principales normés : utilisation en hydrobiologie. *Acta Oecologica*. 7 : 189-2003.
66. CHAMPOUX, M. & CLAUD, T. (1993).— Elément d'hydrologie. 1^{ère} édition revue et revue- les éditions : le griffon d'argiles, 257 p.

67. 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.
68. 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.
69. CHESSEL, D., LEBRETON, J.D. & YOCCOZ, N. (1987).— Propriétés de l'analyse canonique des correspondances. Une utilisation en hydrobiologie. *Revue de Statistique Appliquée.* 35 (4) : 55-72.
70. CHESSMAN, B.C., (1995).— Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates : a procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and a biotic index. *Aust. J. Ecol.* 20: 122-129.
71. CORNET, A. (1951).— Le problème géologique du chott Echchergui. 70^{ème} congrès A.F.A.S., Tunis, fasc.1 : 115-131.
72. COSTELLO, M.J., POHLE, G. & MARTIN, A. (2004).— Evaluating biodiversity in marine environmental assessments. Research and Development Monograph Series, vol. 2001. Canadian Environmental Assessment Agency, Ottawa. Available at http://www.ceaa.gc.ca/015/001/019/title_e.htm.
73. CÔTE, M. (1974).— Les régions bioclimatiques de l'Est algérien. Constantine : Centre universitaire de recherche, d'étude et de réalisation de Constantine (Curer).
74. CÔTE, M. (2003).— Société d'étude et de recherche sur L'Aurès antique, *revues annuelle, Paris.* (1): 100.
75. COURT, (1987).— Le gout économique et social de la pollution de l'eau, 190 p.
76. 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.
77. CROYLE, B.T. (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 p
78. CULP, J.M. & DAVIES, R.W. (1982).— Analysis of longitudinal zonation and river continuum concept in the Oldman-South Saskatchewan River system. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1258-1266.
79. CUMMINS, K.W., MINSHALL, G.W., CUSHING C.E. & PETERSON R.C. (1984).— Stream ecosystem theory. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 22: 1818-1827.
80. DAGET, J. (1976).— Les modèles mathématiques en écologie. Masson Ed., Paris, 172 pp.
81. DAJOZ, R. (1985).— Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliqué. 5^{ème} édition. Gauthier Villard, Paris, 505 pp.

82. DAKKI, M. (1979).— *Recherches hydrobiologiques sur un cours d'eau du Moyen- Atlas (Maroc)*. Thèse de 3^{ème} cycle. Aix- Marseille III, 126 p.
83. DAKKI, M. (1985).— Sur le choix des données en biotypologie des eaux courantes par l'analyse factorielle des correspondances. *Bull. Ecol.* 16 (4) : 285-296.
84. 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. Sci. Rabat, Maroc, 181 p.
85. DAKKI, (1986b).— Biotypologie et gradient thermique spatio-temporel. Etude sur un cours d'eau du Moyen Atlas (Maroc). *Bull. Ecol.* 17 (2).
86. DAKKI, (1987).— Ecosystème d'eau courante du haut Sebou (Moyen Atlas) ; Etudes typologiques et analyses écologiques et biogéographie des principaux peuplements entomologiques. *Trav. Inst. Sci. Serie Zoologie.* 42 : 99 p.
87. DAKKI, M. (1992).— Etude Nationale sur la biodiversité de la faune aquatique continentale (Invertébrés et poissons). Projet PNUE/ GEF/6105-92. 121 p.
88. DAKKI, M. & EL AGBANI, M. N. (1983).— Ephéméroptères d'Afrique du nord 3, éléments pour la reconnaissance de la faune marocaine. *Bull. Inst. Sci. Rabat.* 7 : 115-126.
89. DEATH, R.G. (2009).— Disturbance and riverine benthic communities: what has it contributed to general ecological theory?, *River Research and Applications.* 26: 15-25.
90. DECAMPS, H. (1971).— La vie dans les cours d'eau. Press universitaires de France N°1452, Paris, 128 p.
91. DEL ROSARIO, R. B. & RESH V. H. (2000).— Invertebrates in intermittent and perennial streams: is the hyporheic zone a refuge from drying? *J. N. Am. Benthol. Soc.* 19: 680-696.
92. DELARTIGUE, L.T. (1904).— Monographie de l'Aurès. Constantine, 285 pp.
93. DESPAX, R. (1965).— Ordre des Ephéméroptères. In : P.P. Grassé (Ed.), traité de Zoologie. Anatomie, Systématique et Biologie. Masson et Cia, Paris, Tome IX : 279-309.
94. DESPREZ, M. (1981).— Etude du macrozoobenthos intertidal de l'estuaire de la Seine. Thèse de 3^{ème} cycle. Rouen, Paris, France, 186 p.
95. DIA, A. (1983).— *Recherches sur l'écologie et la biogéographie des cours d'eau du Liban méridional*. Thèse es-Sci. Marseille, France, 302 p.
96. DJEMAÏ, M. & MESBAH, M. (2007).— Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux du bassin versant de l'oued Aissi (Grande Kabylie, Algérie). *Bull. Serv. Géol. Nat.* 19 (1) : 51-70.
97. DOLEDEC, S. & CHESSEL, D. (1987).— Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I. Description d'un plan d'observation complet par projection de variables. *Acta Oecologica. Oecol. Gener.* 8 (3): 403-426.

98. DUSSART, B.H. (1966).— Limnologie- L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Ed., Paris, 678 pp.
99. DYNESIUS, M. & NILSSON, C. (1994).— Fragmentation and flow regulation of river systems in the northeast third of the world. *Science*. 266 : 753-282.
100. EATON, A.E. (1868).— On some points in the Anatomy of the immature *Caenis macrura*, Stephens. *Transactions of the Entomological Society of London*. 279–282.
101. EATON, A.E. (1899).— List of Ephemeridae hitherto observed in Algeria, with localities. *Ent. Month. Mag.* 35: 4-5.
102. EFFENBERGER, M., ENGEL, J., DIEHL, S. & MATTHAEI, C.D. (2009).— Press removal of a dominant taxon following a pulsed disturbance: effects on the microdistribution of stream invertebrates, (Manuscript prepared for submission to *Journal of the North American Benthological Society*).
103. EL AGBANI, M.A. (1984).— *Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Bou Regreg (Plateau central Marocain), Essai de biotypologie*. Thèse de 3^{ème} cycle. Écologie des eaux continentales, Université Claude Bernard. Lyon I, France, 146 p.
104. EL AGBANI, M.A., DAKKI, M. & BOURNAUD, M. (1992).— Etude typologique de Bou Regreg (Maroc) : les milieux aquatiques et leurs peuplements en macroinvertébrés. *Bull. Ecol.* 23 (1-2): 103-113.
105. EL ALAMI, M. (1986).— *Contribution à l'étude écologique de deux cours d'eau méditerranéens (oued Laou et oued Martil)*. Mém. C.E.A. Fac. Sci., Rabat, Maroc, 78 p.
106. EL ALAMI, M. (1989).— *Étude hydrobiologique d'un réseau hydrographique Nord-Rifain, l'Oued Laou: Typologie, écologie et biogéographie des Éphéméroptères*. Thèse de 3^{ème} cycle. Univ. Mohamed V. Fac. Sc., Rabat, Maroc, 187 p.
107. EL ALAMI, M. (2002).— *Taxonomie, écologie et biogéographie des Éphéméroptères du Rif (Nord du Maroc)*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Abdelmalek Essaadi. Faculté des Sciences, Tétouan, Maroc, 402 p.
108. EL ALAMI, M. & DAKKI, M. (1998).—Peuplements d'Ephéméroptères et de Trichoptères de l'Oued Laou (Rif Occidentale, Maroc) : distribution longitudinale et biotypologie. *Bull. Inst. Sci. Rabat*. 21 : 51-79.
109. EL ALAMI, M., DAKKI, M., ERRAMI, M. & ALBA-TERCEDOR, J. (2000).— Nouvelles données sur les Baetidae du Maroc (Insecta: Ephemeroptera). *Zool. Baetica*. 11: 105-113.
110. EL MEZDI, Z. & GIUDICELLI, J. (1987).— Etude d'un écosystème limnique peu connu: les khetaras de la région de Marrakech (Maroc) Habitats et peuplement. *Sci. Eau*. 6 (3) : 281-297.
111. EL MEZDI, Z. (1985).— Les Khetaras de la région de Marrakech (Maroc) : un biotope hydrobiologique remarquable. *Vert. Internat. Verein. Limnol.* 22 : 2106-2109.

112. EL OUALI LALAMI, A., MERZOUKI, M., EL HILLALI, O., MANIAR, S. & IBNSOUDA KORAICHI, S. (2011).— Pollution des eaux de surface de la vallée de Fès au Maroc : Typologie , origine et conséquences. *Larhyss Journal*. 9 : 55-72.
113. EMBERGER, L. (1930).— La végétation de région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux, 1 graphique. *Revue générale de botanique*. Paris. 42 : 38 p.
114. EMBERGER, L. (1955).— Une classification biogéographique des climats. *Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sci. Serv. Bot. Montpellier*. 7 : 3-43.
115. 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.
116. FEUILLADE, J. (1972).— Etude de la physico-chimie d'un réseau de rivière du Morvan. I. Variations horaires. *Ann. Hydrobiol.* 3 (I) : 47-57.
117. FOECKLER, F. (1991).— Classifying and evaluating alluvial flood plain waters of the Danube by water mollusc associations. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 24 : 1881-1887
118. FRONTIER, S. (1976).— Utilisation des diagrammes rangs-fréquence dans l'analyse des écosystèmes. *J. Rech. Océanogr.* 1 (3) : 35-48.
119. GAGNEUR, J. & CHAOUI-BOUDGHANE, C. (1991).— Sur le rôle du milieu hyporhéique pendant l'assèchement des oueds de l'Ouest Algérien. *Stygologia*. 6 (2): 77-89.
120. GAGNEUR, J. & THOMAS, A. (1992).— The main abiotic environmental factors influencing Mayflies distribution in semi-arid regions of Western Algeria. 7th International Conference on Ephemeroptera, Orono, Maine, USA.
121. GAGNEUR, J. & THOMAS, A. G. B. (1988).— Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie I. Répartition et écologie (1. Partie) (Insecta Ephemeroptera). *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*. 124: 213 – 223.
122. GAGNEUR, J., THOMAS, A.G.B. & VITTE, B. (1985).— Première citation d'une espèce du genre *Paraleptophlebia* en Afrique du Nord. *P.cincta* (Retzius, 1783) et son écologie (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*. 121 : 141-143.
123. GALLARDO, B. (2009).— *Aquatic community patterns across environmental gradients in a mediterranean foodplain and their application to ecosystem restoration*. Thèse de Doctorat. Université de Girona. Zaragoza, Espagne, 155 p.
124. GANTIDIS, N., PERVOLARAKIS, M. & FYTIANOS, K., (2007).— Assessment of the quality characteristics of two lakes (Koronia and Volvi) of N. Greece. *Environ. Monit. Assess.* 125: 175-181.
125. GATTOLLIAT, J. L. (2000).— Three new species of *Afroptiloides* (Insecta : Ephemeroptera) and first report of this genus from Madagascar. *Mitt schweiz ent Ges.* 73: 305-315.

126. GATTOLLIAT, J.L. (2001).— The genus *Cloeodes* (Ephemeroptera: Baetidae) in Madagascar. *Revue Suisse de Zool.* 108: 387-402.
127. GATTOLLIAT, J. L. & SARTORI, M. (2008).— What is *Baetis rhodani* (Pictet, 1843) (Insecta, Ephemeroptera, Baetidae)? Designation of a neotype and redescription of the species from its original area. *Zootaxa*. 1957: 69-80.
128. GAUTHIER, H. (1928).— *Recherche sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie*. Thèse Doctorat es- Sciences. Minerva, Alger, Algérie, 149 p.
129. GIMENEZ-CASALDUERO, 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).
130. GIUDICELLI, J. (1968).— *Recherches sur le peuplement, l'écologie et la biogéographie d'un réseau hydrographique de la Corse centrale, I-II*. Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille, France, 437 p.
131. GIUDICELLI, J. & DAKKI, M. (1984).— Les sources du Moyen Atlas et du Rif : faunistique (description de deux espèces nouvelles de Trichoptères), écologie, intérêt biogéographique. *Bij. Tot. De Dierkunde*. 54 (1) : 83-100.
132. GIUDICELLI, J., DAKKI, M. & DIA, A. (1985).— Caractéristiques abiotiques et hydrobiologiques des eaux courantes méditerranéennes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22 : 2094-2101.
133. GIUDICELLI, J., DIA, A. & LEGIER, P. (1980).— Etude hydrologique d'une rivière de région méditerranéenne, l'Argens (Var, France) Habitats, hydrochimie, distribution de la faune benthique. *Bijdragen tot de Dierkunde*. 50 (2) : 303-341.
134. GLEMAREC, M. (2003).— Les indices biotiques en milieu marin. In "bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion". *Alzieu (Coord.) Eds. Ifremer*. 31-50.
135. GRALL, J. & NOLWENN, C. (2005).— Une synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du macrobenthos en milieu côtier. Rapport du Réseau Benthique REBENT, Dec., 2005, 65.
136. GAUJOUS, D. (1993).— La pollution dans les milieux aquatiques. Aide-mémoire. Editions Technique et Documentation. 212 p.
137. HAFIANE, M. (2009).— *Adaptation d'un indice biologique pour l'évaluation de la qualité des eaux de l'oued El Harrach (W. Blida et Alger)*. Mémoire de Magister. FSB, U.S.T.H.B. Alger, Algérie, 87 p.
138. HAFIANE, M., ARAB, A., BEBBA, N. & ARIGUE, S. F. (2011).— Contribution des eaux courantes dans la biodiversité entomologique (Cas d'oued El Harrach). *Actes du Séminaire International sur la Protection des végétaux*. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach, Dép. Zool. Agri. Forest., du 18 à 21 avril 2011.

139. HAMEL, A. (2009).— *Hydrogéologie des systèmes aquifères en pays montagneux à climat semi-aride. Cas de la vallée d'oued El Abiod (Aurès)*. Mémoire de Magister en Géologie. Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire. Université de Constantine. Constantine, Algérie, 231 p.
140. HAMZAOU, D. (2009).— *Impact des changements climatiques sur la répartition de la faune benthique de l'oued Saoura (W. Bechar)*. Mémoire de Magister. FSB, U.S.T.H.B. Alger, Algérie, 80 p.
141. HAOUCHINE, N. (2010).— *Evaluation de la qualité hydrobiologique du réseau hydrographique de l'oued El Harrach (W. de Blida et Alger)*. Mémoire de Magister. FSB, U.S.T.H.B. Alger, Algérie, 87 p.
142. HAOUCHINE, S. (2011).— *Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie*. Mémoire de Magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques, Tizi Ouzou, Algérie, 117 p.
143. HELD, U. (2010).— Pièges des corrélations : les coefficients de corrélation de Pearson et de Spearman. *Forum Med. Suisse*. 10 (38) : 652 - 653
144. HILY, C. (1984).— Spatio-temporal variability of Chaetozone setose (Malmgren) populations on an organic gradient in the Bay of Brest, France. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 112: 201-216.
145. HOTELLING, H. (1933).— Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. *Journal of Educational Psychology*. 24: 417-441 and 498-520.
146. HOTELLING, H. (1936).— Relations Between Two Sets of Variates. *Biometrika*. 28: 321-337.
147. HUBBARD, M.D. (1990).— Mayflies of the word: a catalog of the family and genus group taxa (Insecta, Ephemeroptera). Flora and Fauna handbook 8, Sandhill Crane Press, Gainesville, Florida, 119 pp.
148. HYNES, H.B.N. (1970a).— The ecology of stream insects. *Ann. Rev. Ento.*, 15: 25-42.
149. HYNES, H.B.N. (1970b).— The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press, Liverpool, 555p.
150. ILLIES, J. (1961).— Versuch einer allgemein biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 46 : 205-213.
151. ILLIES, J. & BOTOSANEANU, L. (1963).— Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. Intern. Verein. Limnol.* 12 : 1-57.
152. KARROUCH, L. (2010).— *Bio-évaluation de la qualité des eaux courantes de la région Meknès (Centre- Sud, Maroc) – Impact sur l'environnement et la sante*. Thèse de Doctorat es Sciences en biologie. Faculté des sciences, Meknès, 216 p.

153. KAUSHAL, S.S., LIKENS, G.E., JAWORSKI, N.A., PACE, M.L., SIDES, A.M., SECOR, D.H. & WINGATE, R.L. (2010).— Rising stream and river temperatures in the United States. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 100323112848094 DOI:10.1890/090037
154. KIMMINS, D.E. (1938).— A new Moroccan Ephemeropter. *Ann. Mag. Nat. His.* 11 (1): 302-305.
155. KLUGE, N.J. (2004).— Mayflies (Ephemeroptera) of East European Plain. www.insecta.bio.spbu.ru/z/faun-eur.htm
156. KRAIEM, M.M. (1987).— Contribution à l'hydrobiologie du réseau hydrographique de l'Ichkeul (Tunisie). *Archs. Inst. Pasteur Tunis.* 64 (4) : 463-475.
157. KRAIEM, M.M. (1986).— Contribution à l'étude hydrobiologique de trois cours d'eau du Nord-Ouest de la Tunisie. Présentation, physico-chimie et aperçu faunistique. *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon.* 55: 96-104.
158. KUNDEWICZ, Z.W., MATA, L.J., ARNELL, N.W., DÖLL, P., KABAT, P., JIMENEZ, B., MILLER, K.A., OKI, T., SEN, Z. & SHIKLOMANOV, I.A. (2007) .— Freshwater resources and their management. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.* 173–210.
159. LAFFITTE, R. (1939).— *Etude géologique de l'Aurès*. Thèse Sci. Paris. B.S.G.A. 1^o série. N°11, 484 p.
160. LANG, C. & REYMOND, O. (1993).— Empirical relationships between diversity of invertebrate communities and altitude in rivers : application to biomonitoring. *Aquat. Sci.* 55 (3): 188-196.
161. LARDICI C., GALASSI, R. & QUAGLI, E. (1992).— Les peuplements de Polychètes dans le golfe de Follonica (Mer Méditerranée occidentale). *Cah. Biol. Mar.* 33: 25-41.
162. LE BRIS, H. (1988).— Fonctionnement des écosystèmes benthiques côtiers au contact d'estuaires : la rade de Lorient et la baie de Vilaine. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. Université de Bretagne Occidentale. Brest, France, 311 p.
163. LEBART, L. MORINEAU, A. & PIRON, M. (1997).— Statistique exploratoire multidimensionnelle. 2^e édition, Dunod, 439 p.
164. LEBRETON, J.D, CHESSEL, D., PRODON, R. & YOCCOZ, N. (1988).— L'analyse des relations espèces-milieu par l'Analyse canonique des correspondances. I. Variables de milieu quantitatives. *Acta Oecologia. Oecol. Gener.* 9 : 53-67.
165. LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. (1979).— Ecologie numérique I. Le traitement multiple des données écologiques. Masson Paris et Presses de l'université du Québec, 197 p.

166. LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. (1984a).— Ecologie numérique I. Le traitement multiple des données écologiques. 2^{ème} Ed., Masson Paris et Presses de l'Université du Québec, 260 p.
167. LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. (1984b).— Ecologie numérique II. La structure des données écologiques. Collection d'Ecologie 13, Masson Paris et Presses de l'Université du Québec, 335 p.
168. LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. (1998).— Numerical ecology. Elsevier, Amsterdam, 853 p.
169. LESTAGE, J.A. (1925).— Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par Gautier et liste des espèces connues actuellement de l'Afrique du nord. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du nord*. 16 : 8-18.
170. LEVEQUE, C. (1996).— Ecosystème aquatique, les fondamentaux. Ed., Hachette, Paris, 160 p.
171. LEYNAUD, G. & VERREL, J.L. (1980).— Modifications du milieu aquatique sous l'influence des pollutions. In : Pesson P. (ed.). La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques. Gauthier-Villars : 1-28.
172. LOUNACI, A. (1987).— *Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d'invertébrés benthiques du bassin de l'oued Aïssi (Grande Kabylie)*. Thèse de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Institut des Sciences de la Nature, Alger, 133 p.
173. LOUNACI, A. (2005).— *Distribution de la faune benthique des cours d'eau de la Kabylie*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. Tizi Ouzou, 142 p.
174. LOUNACI, A., BROSSE, S., AIT MOULOUD, S., LOUNACI-DAOUDI, D., MEBARKI, N. & THOMAS, A.G.B. (2000a).— Current knowledge of benthic invertebrate diversity in an Algerian stream: a species check-list of the Sébaou River basin (Tizi-Ouzou). *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*. 136 : 43-55.
175. LOUNACI, A., BROSSE, S., THOMAS, A.G.B. & LEK, S. (2000b).— Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an Algerian stream : the Sébaou wadi. *Annls Limnol.* 36 (2): 123-133.
176. LOUNACI-DAOUDI, D. (1996).— *Travaux sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des insectes aquatiques du réseau hydrographique du Sébaou*. Thèse de Magister. Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Tizi Ouzou, 152 p.
177. MACADAM, C. & BENNETT, C. (2010).— A Pictorial Guide to British Ephemeroptera, Edition FSC, 128 p.
178. MACAN, T.T. (1961).— A key to the NYMPHS of the British species of EPHEMEROPTERA. Freshwater Biological Association, Scientific publication N°20, Westmorland, U.K., 63 p.

179. MAITLAND, P.S. (1990).— *Biology of fresh waters*, 2^{ème} édition. Ed. Blackie, London, 276 p.
180. MAKHOUKH, M., SBAA, M., BERRAHOU, A. & CLOOSTER, M., (2011).— Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). *Larhyss Journal*. 1112-3680 (09) :149-169.
181. MALZACHIER, P. (1984).— Die europäischen Arten der Gattung *Caenis* Stephens (Insecta: Ephemeroptera). The European species of the genus *Caenis* Stephens (Insecta: Ephemeroptera). *Stuttgarter Beiter. Naturk.*, A, 373: 1-48.
182. MAQBOUL, A., AOUJDAD, R., FEKHAOU, M., FADLI, A. & TOUHAMI, A. (2001).— *Riv. Idrobiol.* 40 (2-3) :129-152.
183. MARY, N. (1999).— *Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la NOUVELLE-CALEDONIE, proposition d'un indice biotique fonde sur l'étude des Macroinvertébrés benthiques*. Thèse de Doctorat. Univ. Fran du Pacifique. France, 200 p.
184. MEBARKI, M. (2001).— *Etude hydrobiologique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie (Parc National du Djurdjura, oued Sébaou et oued Boghni) : faunistique, écologie et biogéographie des macroinvertébrés benthiques*. Thèse de Magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Tizi Ouzou, Algérie, 178 p.
185. MEHARZI, M.K.E. (2010).— *Forêt, géosystème et dynamique du milieu (le cas de l'Aurès)*. Thèse de Doctorat. Univ. Mentouri de Constantine. Constantine, Algérie, 258 p.
186. MENANI, M.R. (2008).— *Hydrogéologie du massif des Aurès – Etude de vallées typiques*. Rapport de recherche annuel. Université de Batna. Batna, Algérie, 18 p.
187. MOHATI, A. (1985).— *Recherche hydrobiologique sur un cours d'eau du haut Atlas de Marrakech (Maroc) : l'oued Ourika, écologie, biotypologie et impact des activités humaines sur la qualité des eaux*. Thèse de 3^{ème} cycle. Fac. Sci., Marrakech, Maroc, 108 p.
188. MOUBAYED, Z. (1986).— *Recherches sur la faune, l'écologie et la zoogéographie de trois réseaux Hydrographiques du Liban : l'Assi, le Litani et le Beyrouth*. Thèse d'Etat. Univ. Paul Sabatier. Toulouse, France, 496 p.
189. MOUNI, L., MERABET, D., ARKOUB, H. & MOUSSACEB, K. (2009).— Étude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). *Science et changements planétaires*. 20 (4) : 360-6.
190. MUDULI, B.P. & PANDA, C.R. (2010).— Physico chemical properties of water collected from Dhamra estuary. *Internationnal Journal of Environmental Sciences*. 3 (1): 334-342.
191. MÜLLER-LIEBENAU, I. (1969).— Revision der europäischen Arten der gattung *Baetis* Leach, 1815 (Insecta, Ephemeroptera). *Gewässer and Abwässer*, 48/49 : 1-214.
192. NAVÁS, L. (1913).— Notas entomologicas, 4 Excursiones alrededores de Zagora. *Bol. Soc. Aragon, Cienc. Nat.* 12 (5): 61-69.

193. NAVÁS, L. (1922).— Insectos de la excursión de D. Ascensio Codina a Marruecos. *Trab. Mus.Ci. Nat. Barcelona*. 4: 119-127.
194. NAVÁS, L. (1928).— Excursiones por la provincia de Gerona. *Bull. Inst. Catal. Hist. Nat.* (2) 8 (1-2) : 37-53.
195. NAVÁS, L. (1929).— Insectes Névroptères et voisins de Barbarie (Septième série). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*. 20 : 57-60.
196. NAVÁS, L. (1935).— Insectos de Berberia. *Bol. Soc. Ent. Esp. Madrid*. 18 : 45-50 et 77-100.
197. NICHOLAS, J.D., BOULINIER, 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 p.
198. NISBET, M. & VERNAUX, J. (1970).— Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annls. Limnol.* 6 : 161-190.
199. OMERNIK, J. M. (1987).— Ecoregions of the conterminous United States, *Annals of the resources*. In: *Proceedings of the Global Natural Resource Monitoring and Assessment Symposium, Preparing for the 21st Century*, Venice, Italy, September 24-30, 1989, pp. 936-947.
200. O.N.M., (2012).— Office national de la météorologie
201. ORMEROD, S.J. & EDWARDS, R.W. (1987).— The ordination and classification of macroinvertebrate assemblages in the catchment of the River Wye in relation to environmental variables. *Freshwater Biol.* 17: 533-546.
202. OUAHSINE, H. (1993).— *Les Biocénoses d’Invertébrés benthiques dans un torrent du Haut Atlas (Maroc) : Le Tiferguine. Structure et répartition du peuplement – régime alimentaire. Dynamique des populations et productions des espèces dominantes*. Univ. Cadi Ayyad. Fac. Sci., Marrakech, Maroc, 234 p.
203. OUAHSINE, H. & LAVANDIER, P. (1988).— Développement larvaire de *Baetis rhodani* (Ephemeroptera) dans un torrent du Haut-Atlas de Marrakech (Maroc). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*. 124 : 69-72.
204. OUYANG, Y., NKEDI-KIZZA, P., WU, Q.T., SHINDE, D. & HUANG, C.H. (2006).— Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Res.* 40 : 3800-3810.
205. PEARSON, TH.A. & ROSENBER, R. (1978).— Macrobenthic successions in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and marine biology. Rev.* 16 : 229-311.
206. PERU, N. & THOMAS A. (2001).— Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d’Afrique du Nord. 7. Description complémentaire de *Baetis berberus* Thomas, 1986. [Ephemeroptera, Baetidae]. *Ephemera*. 3(2): 75-82.

207. PIHAN, J.C. & MOHATI, A. (1983).— Etude hydrobiologique de deux torrents du Haut-Atlas de Marrakech l'assif Tiferguine et l'assif Oukaïrmeden. Impact des activités humaines. *Bull. de la Fac. Sci. De Marrakech*. 2 : 23-61.
208. QNINBA, A.J. (1986).— *Structure, dynamique et microdistribution de quelques peuplements d'invertébrés benthiques de l'oued Bou Regreg (Plateau central marocain)*. Thèse de 3^{ème} cycle. Fac. Sci., Rabat, Maroc, 135 p.
209. RAMADE, F. (2003).— Elément d'écologie. Ecologie fondamentale. 3^{ème} édition, Dunod, Paris, Rapport bibliographique. Ecole doctorale Vie-Agro-Santé Université de Rennes. 23p.
210. RAMDANI, M. (1980).— *Recherches hydrobiologiques sur un plan d'eau de la zone littorale des environs de Rabat, la Merja de Sidi Boughaba (Maroc)*. Thèse de 3^{ème} cycle. Univ. Aix-Marseille III. 134 p.
211. RAMDANI, M. (1981).— Recherches hydrobiologiques sur la merja de Sidi Boughaba ; littoral atlantique du Maroc : Etude Physico-chimique et analyse faunistique. *Bull. Inst. Sci. Rabat*. 5 : 37-137.
212. RAVICHANDRAN, S. (2003).— Hydrological influences on the water quality trends in Tamiraparani Basin, south India. *Environ. Monit. Assess.* 87: 293-309.
213. REMINI, B. (2005).— L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : exemples algériens. *Larhyss Journal*. 4 : 81-89.
214. RERBOUDJ, A.M. (2005).— *Essai de quantification de l'érosion et perspective de la protection du barrage des gazelles contre l'envasement*. Mémoire de Magister. Département de Sciences de la Terre, Université de Batna. Batna, Algérie, 147 p.
215. 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.
216. REZOUGUI, A. (2012).— *Contribution à l'analyse des tendances d'évolution de peuplement des macroinvertébrés benthiques dans un contexte de réchauffement climatique. Cas de sous bassin de la Tafna*. Thèse de Magister. Université de Tlemcen. Tlemcen, Algérie, 100 p.
217. RICHARDS, C., HOST, G.E. & ARTHUR, J.W. (1993).— Identification of predominant environmental factors structuring stream macroinvertebrate communities within a large agricultural catchment. *Freshwat. Biol.* 29: 285-294.
218. ROBINSON, C.T. & MINSHALL G.W. (1986).— Effects of disturbance frequency on stream benthic community structure in relation to canopy cover and season. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 5 (3): 237-248.
219. RODIER, J. (1984).— L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. Dunod 7^e Ed., Paris, 1365 p.

220. RODIER, (1996).— L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. Dunod 8^e Ed., Paris, 1383 p.
221. RODIER, (2009).— L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. Dunod 9^e Ed., Paris, p.
222. ROGERS, S.I., CLARKE K.R. & REYNOLDS J.D. (1999).— The taxonomic distinctness of coastal bottom dwelling fish communities of the North-East Atlantic. *Journal of Animal Ecology*. 68: 769-782.
223. SALAS, F., PATRI'CIO, J., MARCOS, C., PARDAL, M.A., PE'REZ-RUZAFI, A. & MARQUES, J.C., (2006).— Are taxonomic distinctness measures compliant to other ecological indicators in assessing ecological status? *Mar. Pollut. Bull.* 52, 162–174
224. SALVIET, S.J., BRITTAI, J.E. & LILLEHAMMER, A. (1987).— Stoneflies and river regulation – a review. In Craig J.F. et Kemper F.B. (Eds.), *Regulated Streams*. Plenum Publishing Corporation. 117-129.
225. SANCHEZ-PEREZ, J.M., TREMOLIERES, M., SCHNITZLER, A. & CARBIENER, R. (1991).— Evolution de la qualité physico-chimique des eaux de la frange superficielle de la nappe phréatique en fonction du cycle saisonnier et des stades de succession des forêts alluviales rhénanes (Querco-Ulmetum minoris Issl. 24). *Acta Oecol.* 12 (5) : 581-601.
226. SUNDARAY, S.K., PANDA, U.C., NAYAK, B.B. & BHATTA, D. (2006).— Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of the Mahanadi river–estuarine system (India)—a case study. *Environ. Geochem. Health*. 28 : 317-330.
227. SAOUD, Y. (1995).— *Malacologie des eaux continentales et épidémiologie de la Bilharziose Vésicale dans la péninsule Tingitane (Nord du Maroc)*. Thèse de Doctorat d'Etat Es-Science. Univ. Abdelmalek Essaadi. Fac. Sci. Tetouan, Maroc, 300 p.
228. SARTORI, M. & BRITTAI, J.E. (2015).— Order Ephemeroptera. In Thorp and Covich's *Freshwater Invertebrates*. Ecology and General Biology (*Fourth Edition*), Academic Press: 873-891.
229. SAUVAGE, CH. (1963).— Le coefficient pluviométrique d'Emberger, son utilisation et la représentation géographique de ses variations au Maroc. *Ann. Ser. Phys. Globe météo. Inst. Sc. Ch.* 20: 11.
230. 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.
231. SEBIHI, A. & SOUIDI, S. (2008).— *Variabilité climatique et hydrologique à l'aval du bassin versant de l'Oued El Abiod*. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique. Hydraulique Urbaine, Université de Biskra. Biskra, Algérie, 71 p.
232. SEKHI, S. (2010).— *Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau Tiout, Hadjadj et Moghrar (Wilaya de Naâma)*. Mémoire de Magister. FSB, U.S.T.H.B. 117 p.

233. SHANNON, C.E. & WEAVER, W. (1949).— The mathematical theory of communication. University of Illinois. Press Urbana, IL, USA, 117 p.
234. SIMBOURA, N., PAPATHANASSIOU, E. & SAKELLARIOU, D. (2007).— The use of a biotic index (Bentix) in assessing long term effects of dumping coarse metalliferous waste on soft bottom benthic communities. *Ecol. Indicators*, in press.
235. SIMPSON, E.H. (1949).— Measurement of diversity. *Nature*. 163: 688-688.
236. SLEPUKHINA, T.D. (1984).— Comparison of different methods of water quality evaluation by means of Oligochaetes. *Hydrobiologia*. 115: 183-186.
237. SOLDAN, T. & GAGNEUR, J. (1985).— *Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929: Description de la larve (Ephemeroptera, Heptageniidae). *Annls Limnol.*, 21(2): 141-144.
238. SOLDAN, T., GODUNKO, R.J. & THOMAS, A.G.B. (2005).— *Baetis chelif* n. sp., a new species of mayfly from Algeria with notes on *B. sinespinosus* n. stat. (Ephemeroptera: Baetidae). *Genus*, 16 (2): 155-165.
239. SOLDAN, T. & THOMAS, A.G.B. (1983a).— New and little-known species of mayflies (Ephemeroptera) from Algeria. *Acta. Ent. Bohemoslov.* 80: 356-376.
240. SOLDAN, T. & THOMAS, A.G.B. (1983b).— *Baetis numidicus* n.sp., Ephéméroptères nouveau d'Algérie (Baetidae). *Annls. Limnol.* 19 (3): 207-211.
241. SOLDAN, T. & THOMAS, A.G.B. (1985).— *Centroptilum dimorphicum* sp.n., a new species of mayfly (Ephemeroptera, Baetidae) from Algeria. *Acta. Ent. Bohemoslov.* 82: 180-186.
242. SONATRACH, (1999).— Etude hydrogéologique de la vallée d'Oued Abdi et Bouzina. Wilaya de Batna.
243. STAZNER, B. & HIGLER, B. (1986).— Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation pattern. *Freshwater Biol.* 16: 127-139.
244. STUDEMANN, A., LANDOLT, P., SARTORI, M., HEFTI, D. & TOMKA, I. (1992).— Ephemeroptera. *Insecta Helvetica. Fauna*. 9: 175 p.
245. TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNAUD, M. & USSEGLIO-POLATERA, P. (2006).— *Invertébrés d'eau douce: Systématique, Biologie, Ecologie*. 15^e édition, CNRS Edition, Paris, France, 587 p.
246. TATE C.M. & HEINY, J.S. (1995).— The ordination of benthic invertebrate communities in the South Platte River Basin in relation to environmental factors. *Freshwat. Biol.* 33: 439-454.
247. TER BRAAK, C.J.F. (1986).— Canonical Correspondence Analysis : a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*. 67 : 1167-1179.
248. TER BRAAK, C.J.F. (1987).— The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*. 69:69-77

249. THOMAS, A.G.B. (1981).— *Travaux sur la taxonomie, la biologie et écologie des insectes torrenticole de sud-ouest de la France (Ephéméroptères et Diptères : Dixidae, Cecidomiidae, Rhagionidae, et Athéricidae) avec quelques exemples de perturbations par l'homme*. Thèse de Doctorat. Uniser Paul Sabatier, Toulouse, France, 330 p.
250. THOMAS, A.G.B. (1998).— A provisional checklist of the Mayflies of North Africa [Ephemeroptera]. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*. 134: 13-20.
251. THOMAS, A.G.B. & BOUDIZI, A., (1986).— Trois Ephéméroptères nouveaux du Haut Atlas marocain (Heptageniidae, Baetidae, Leptophlebiidae). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*. 122 : 7-10.
252. THOMAS, A.G.B., BOUZIDI, A., SARTORI, M., ASSEF, S. & AJAKANE, A. (1992).— Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 5. *Baetis oukaimeden* n. sp. du Haut Atlas marocain: description et écologie (Ephemeroptera, Baetidae). *Bull. Soc. Ent. Suisse*. 65: 369-377.
253. THOMAS, A.G.B. & DAKKI, M. (1979).— Ephéméroptères d'Afrique du Nord: I. *Ecdyonurus rotschildi* Navas, 1929, description des imagos. *Annls. Limnol.* 14 (3) : 197-201.
254. THOMAS, A.G.B. & GAGNEUR, J. (1994).— Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 6. *Alainites sadati* n. sp. d'Algérie (Ephemeroptera, Baetidae). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*. 130 : 43-45.
255. THOMAS, A.G.B. & SARTORI, M. (1989).— Mayflies (Insecta, Ephemeroptera) of Saudi Arabia. *Fauna of Saudi Arabia*. 10: 87-94.
256. 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). *Annls. Limnol.* 24 (1): 61-65.
257. TOWNSEND, C.R., SCARSBROOK, M.R. & DOLÉDEC, S. (1997).— The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams, *Limnology & Oceanography*. 42 (5): 938-949.
258. 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.
259. 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.
260. VERMEULEN, A.C. (1995).— Elaborating chironomid deformities as bioindicators of toxic sediment stress : the potential application of mixture toxicity concepts. *Ann. Zool. Fennici*. 32 : 265-285.
261. VERNEAUX, J. (1973).— *Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie*. Thèse d'Etat. Univ. Besançon, 260 p.

262. 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. *Annls. Limnol.* 10 (2): 131-162.
263. VERRIER, M.L. (1952).— Ephéméroptères récoltés par M. Paul Rémy au Hoggar et au Tidikelt. *Bull. Soc. Zool. France.* 77 (5-6): 292-304.
264. VINÇON, G. & THOMAS, A.G.B. (1987).— Etude hydrobiologique de la vallée d'Ossau (Pyrénées-Atlantiques). I. Répartition et écologie des Ephéméroptères. *Annls. Limnol.* 23 (2) : 95-113.
265. WARD, J.V. & STANFORD, J.A. (1982).— Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects. *Ann. rev. Entomol.* 27: 97-117.
266. WARD, J.V. (1992).— Aquatic insect Ecology. I. Biology and Habitat. *Jhon Willey & Sons, Inc. New York*, 8-139.
267. WARWICK, R.M. & CLARKE, K. R. (1998).— Taxonomic distinctness and environmental assessment. *J Appl Ecol.* 35:532-543.
268. WHILES, M.R. & WALLACE, J.B. (1992).— First-year benthic recovery of a headwater stream following a 3-year insecticide-induced disturbance. *Freshwater Biology.* 28: 81-91.
269. WHITTIER, T.R., HUGHES, R.M. & LARSEN, D.P. (1988).— Correspondence between Ecoregions and spatial patterns in stream ecosystems in Oregon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45 : 1264-1278.
270. WILLIAMS, D.D. (1996).— Environmental constraints in temporary fresh waters and their consequences for the insect fauna. L. *Journal of the North Amer. Benthol. Soc.* 15 : 634-650.
271. YASRI, N. (2009).— *Diversité, écologie et biogéographie des macroinvertébrés de quelques affluents du Mazafran*. Mémoire de Magister. Faculté des Sciences Biologiques, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Alger, Algérie, 96 p
272. ZAMORA-MUNOZ, C. & ALBA-TERCEDOR, J. (1992).— Caracterización y calidad de las aguas del rio Monachil (Sierra Nevada, Granada), Factores físico-qímicos y comunidades de macroinvertabrados acuáticos. Ed. Anel. A.M.A. Granada, 157 p.
273. ZOUGGAGHE, F. (2010).— *Etude des communautés de macroinvertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie)*. Thèse de Doctorat. Université A/Mira de Béjaia. Béjaia, Algérie,
274. ZOUGGAGHE, F. (2013).— Macro-invertébrés benthiques du bassin versant de la Soummam: Systématique, Biogéographie & Ecologie. Éditions Universitaires Européennes, 64 pp.
275. ZOUGGAGHE, F. & MOALI, A. (2007).— Variabilité spatio-temporelle des macro-invertébrés benthiques du bassin versant de la Soummam. Université de Bejaia. Bejaia Algérie, ECO-3224.

276. ZOUGGAGHE, F. & MOALI, A. (2009).— Variabilité structurale des peuplements de macro-invertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie, Afrique du Nord). *Rev. Ecol. (Terre Vie)*. 64 (4) : 305-321.
277. ZOUGGAGHE, F. & MOALI, A. (2012).— Répartition rive-chenal des macro-invertébrés benthiques dans des rivières Algériennes (Soummam et ses affluents). *Rev. Ecol. (Terre Vie)*. 67 (2) : 237-250.
278. ZOUGGAGHE, F., MOUNI, L. & TAFER, M. (2014).— Qualité biologique du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam (Nord de l'Algérie). *Larhyss Journal*, 17 : 21-33.
279. ZRELLI, S. (2014). *Les Ephéméroptères de la Tunisie : Taxinomie et Ecobiologie*. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences de Bizerte, Zarzouna 7021, Tunisie, 524 p.
280. ZRELLI, S., BEJAOU, M., KORBA, M. & BOUMAIZA, M. (2006).— First record of the genus *Brachycercus* Curtis, 1834 in Tunisia (Ephemeroptera, Caenidae). *Zoologica Baetica*. 17: 91-92.
281. ZRELLI, S., BOULAABA, S., BEJAOU, M., BOUMAIZA, M. & SARTORI, M. (2015).—Description et répartition de *Potamanthus luteus* Linnaeus 1767 (Ephemeroptera, Potamanthidae) en Tunisie. *Entomol. Faun. – Faun. Entomol.* 68 : 213-218.
282. ZRELLI, S., BOUMAIZA, M., BEJAOU, M., GATTOLLIAT, J.L. & SARTORI M. (2011a).— New reports of mayflies (Insecta: Ephemeroptera) from Tunisia. *Revue Suisse de Zoologie*. 118: 3-10.
283. 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.
284. ZRELLI, S., SARTORI, M., BEJAOU, M. & BOUMAIZA, M. (2011b).— *Rhithrogena sartorii*, a new mayfly species (Ephemeroptera: Heptageniidae) from North Africa. *Zootaxa*. 3139: 63–68.

ملخص

للمساهمة في التعرف على التنوع البيولوجي و كذا حفظ التنوع البيولوجي للثروة الحيوانية للمناطق الرطبة بالأوراس تحت تأثير العوامل البيئية، قمنا بالدراسة للثروة الحيوانية لليوميات خلال الفترة من يناير 2008 إلى ديسمبر 2009 في 16 محطة على امتداد 3 أودية من بين أهم الأودية بالأطلس الصحراوي : وادي الأبيض، وادي الحي و وادي عبيدي. سمحت هذه الدراسة بتحليل التوزيع الطولي و العرضي لليوميات عبر قطاع شرق-غرب يمتد على ولايتي باتنة و بسكرة. سمحت لنا هذه الدراسة بجمع 60615 فرد وزعت على 12 نوع تنتمي إلى 4 عائلات: Baetidae، Caenidae، Heptageniidae و Leptophlebiidae. وتتميز ال Baetidae بتوزيع مكاني- زمني عالي، فهي العائلة الأكثر وفرة و الأكثر تنوعا ب 8 أنواع، حيث *Baetis pavidus* هي الأبرز ب 35676 فردا (58.86 %). هذا النوع سريع الرجوع للوسط بعد الاضطرابات الهيدرولوجية، حسب دراسة أثر الفيضانات. التنوع المعبر عنه بالعديد من المؤشرات البيئية الهيكلية يبدو بوضوح أنه بسيط، عاكسا بذلك التأثير السلبي للمناخ شبه الجاف إلى الصحراوي الذي يميز منطقة الدراسة. عموما المحطات الأكثر تنوعا هي M'ch، AvK و Bz بنسبة 80 %.

التنوع المكاني-الزمني ل 19 عامل بيئي و فيزيائي-كيميائي لمياه لمستجمعات المياه لدينا يبدو عموما طبيعيا، بعيدا عن المحطة الشديدة التلوث بوادي الحي، AVT التي تستقبل تقريب مفرط للنفايات السكنية لمدينة عين التوتة، و التي بذلك تعكس صورة للتلوث الحاد نسبيا بوادي الحي مقارنة بالأودية الأخرى. الدراسة الإحصائية للعوامل اللاحيوية ب ACP و الحويوية ب AFC أظهرت تقسيم واضح للمناطق من المنبع إلى المصب، 3 مجموعات حددت على التصاميم العامية: تلك المناطق العليا التي تحتوي على الأنواع التي تفضل المرتفعات و التي تفضل المياه الباردة، تلك المناطق الوسطى التي تشمل أنواع بصفات بيئية كثيرة إلى قليلة الاختلاف (نادرة أو حصرية أو وسيعة المعاش)، وأخيرا محطات المناطق الدنيا التي تضم الأنواع المحبة للحرارة. نتائج ال ANOVA بينت أن التغير المكاني له أثر أكبر من التغير الزمني سواء للعوامل غير الحويوية أو الحويوية. لهذا، ال ACC التي تسلط الضوء على العلاقة بين الأنواع التي جمعناها، العوامل البيئية ومحطات دراستنا، قد تم تحديدها فقط في 9 عوامل اللاحيوية التي أشارت إلى اختلافات كبيرة على عتبة ال 5 %. النتائج المحصل عليها أكدت أن مجتمعنا يمكن تصنيفه إلى: أنواع تقتصر على الارتفاعات العالية و تفضل المحطات ذات درجة الحرارة الباردة، قليلة المواد المعدنية و التي تتحمل التيارات السريعة: *B. rhodani* et *B. sinespinosus* ؛ الأنواع التي تفضل الارتفاعات المنخفضة، المحبة للحرارة و التي تتحمل تراكيز كبيرة من المواد المعدنية: *C. (Ch) luctuosa*, *P. stagnicola*, *L. neglectus*, *C. (Ch) atlas*, *C. dipterum* و *C.gr. simile* ؛ و أنواع واسعة النطاق في الانتشار و التي يستمر تواجدها بغض النظر عن الظروف البيئية *B. Pavidus*، أو أنواع نادرة و محدودة أو حصرية: *E. rothschildi*, *C. cf. macrura* و *Ch. dimorphicum*.

الكلمات المفتاحية : اليوميات، التنوع البيولوجي، وادي الأبيض، وادي الحي، وادي عبيدي، التصنيف الزمني-المكاني ، التصنيف الحيوي، أثر الفيضانات.

Résumé

Pour contribuer à la connaissance de la qualité biologique et physicochimique et à la conservation de la biodiversité faunistique des zones humides du massif des Aurès sous l'impact des paramètres environnementaux, une étude faunistique des Ephéméroptères a été entamée depuis janvier 2008 à décembre 2009 sur 16 stations réparties le long des 3 oueds parmi les plus importants de l'Atlas Saharien : oued El Abiod, oued El Hai et oued Abdi. Cette étude a permis d'analyser la distribution longitudino-transversale des Ephéméroptères suivant un transect Est-Ouest se prolongeant sur les wilayas de Batna et Biskra. L'étude faunistique nous a permis de recenser un total de 60615 individus répartis en 12 espèces appartenant à 4 familles : Baetidae, Caenidae, Heptageniidae et Leptophlebiidae. Les Baetidae se caractérisent par une grande répartition spatio-temporelle, ils constituent la famille la plus abondante et la plus diversifiée avec 8 espèces, dont *Baetis pavidus* est la plus dominante avec 35676 ind. (58,86 %). Cette espèce est rapidement réinstallée après les perturbations hydrologiques, selon l'étude d'impact des crues. La diversité spécifique, exprimée par plusieurs indices écologiques de structure, est nettement faible, témoignant de l'effet négatif du climat semi aride à saharien de la région d'étude. En général, l'importance des espèces est marquée principalement dans les stations M'ch, AvK et Bz avec 80 %. Le suivi spatio-temporelle de 19 paramètres mésologiques et physico-chimiques des eaux de nos bassins versants paraît globalement normale, en dehors de la station très polluée de l'oued El Hai, AvT qui reçoit un déversement excessif des rejets domestiques de la ville d'Ain Touta et qui de ce fait fournit l'image d'une pollution relativement accentuée à cet oued par rapport aux autres cours d'eau prospectés. L'étude statistique des paramètres abiotiques par l'ACP et biotiques par l'AFC montrent une nette zonation de l'amont vers l'aval, 3 groupements repérés sur les plans factoriels : celles du cours supérieur qui renferment les espèces alticoles préférant les eaux fraîches, celles du cours moyen qui englobent des taxons à écologie plus ou moins différente (rares ou exclusives ou eurytopes), et enfin les stations du cours inférieur qui abritent les espèces thermophiles. Les résultats de l'ANOVA montrent une nette variabilité mais beaucoup plus spatiale que temporelle que ce soit pour les paramètres abiotiques ou biotiques. Pour cela, l'ACC menée, pour mettre en évidence la relation entre les espèces recensées, les facteurs environnementaux et les stations prospectées, a été limitée seulement à 9 paramètres abiotiques signalant des différences significatives au seuil 5 %. Les résultats obtenus confirment que notre peuplement peut être classé en : Espèces inféodées aux hautes altitudes et préfèrent les stations à température fraîche, peu minéralisée et supportent des courants rapides : *B. rhodani* et *B. sinespinosus* ; espèces préférant les basses altitudes, thermophiles et supportent les grandes concentrations de minéralisation : *C. luctuosa*, *P. stagnicola*, *L. neglectus*, *C. (Ch) atlas*, *C. dipterum* et *C.gr. simile* ; et espèces à large répartition qui peuvent subsister quelque soit les conditions du milieu : *B. pavidus*, des espèces rares et limitées ou exclusives : *E. rothschildi*, *C. cf. macrura* et *Ch. dimorphicum*.

Mots clés : Ephéméroptères, Biodiversité, Oued El Abiod, Oued El Hai, Oued Abdi, Typologie spatio-temporelle, Biotypologie, Impact des crues.