

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID-TLEMCCEN
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de L'Univers

Département d'Ecologie et Environnement

Laboratoire de recherche
Ecologie et gestion des écosystèmes naturels

MEMOIRE

Présenté par :

Melle BOUSSAID FATIMA ZOHRA

En vue de l'obtention du

Diplôme de Magister

En Ecologie et Biodiversité des Ecosystèmes Continentaux

Option : Ecosystème Aquatique

Thème

*Dynamique de la faune aquatique dans la zone
des sources : Cas de l'oued Tafna*

Soutenu devant le jury de soutenance :

Président	: Mr ELHAITOU	Ahmed	MCA	Université de Tlemcen
Encadreur	: Mme BELAIDI	Nouria	Professeur	Université de Tlemcen
Examineur:	Mr MERZOUG	Djemoi	Professeur	Université de Oum EL Bouagui
Examineur:	Melle TALEB	Amina	Professeur	Université de Tlemcen
Invité	: Mr MAHI	Abdelhakim	MAA	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2013/2014

Remerciements

Un seul nom sur la première page de ce travail, ne veut pas dire pour autant, travail d'une seule personne. Bien au contraire, cette thèse est un fruit d'une collaboration, et j'ai le grand plaisir à remercier ici tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce modeste travail :

*Je tiens à remercier plus particulièrement **Madame BELAÏDI – ALIANE Nouria**, Professeur au département d'écologie et Environnement de la faculté des sciences de la nature et de la vie, et des sciences de la terre et de l'univers de l'université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, qui m'a confié ce sujet et m'a initié à la recherche scientifique. Sa gentillesse et sa modestie, son enthousiasme pour la recherche, sa compétence scientifique resteront pour moi un exemple. Qu'elle trouve dans ces quelques mots l'expression de ma vive reconnaissance.*

Je remercie aussi tous les membres de mon jury qui, à chaque étape de mon cursus de formation, m'ont prodigué d'utiles conseils:

***Monsieurs El Haitoum Ahmed**, Maître de conférences à la faculté des sciences de la nature et de la vie, et des sciences de la terre et de l'univers de l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, d'avoir assuré ma formation et accepté de me faire l'honneur de présider le jury.*

***Melle TALEB Amina**, Professeur au département d'écologie et Environnement de la faculté des sciences de la nature et de la vie, et des sciences de la terre et de l'univers de l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, je la remercie pour ses conseils, pour ses remarques et pour l'intérêt avec lequel elle a suivi ce travail. Je la remercie également d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

Monsieur MERZOUG Djemou , Professeur à l'Université de Oum EL Bouagui, pour avoir accepté d'être membre de ce jury. Je suis très honoré qu'il ait accepté de juger mon travail.

Monsieur MAHI Abdelhakim, Maîtres Assistant au département d'écologie et Environnement, de la faculté des sciences de la nature et de la vie, et des sciences de la terre et de l'univers de l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toute l'équipe d'Hydrobiologie du Laboratoire d'écologie et de gestion des écosystèmes naturels pour leur soutien.

Je tiens exprimer mes remerciements les plus respectueuses a Monsieur YAHIAOUI Amar., médecin chef de l'unité de base (salle de soins) d'Ain Tellout pour sa grande humanité, sa gentillesse, sa simplicité, son encouragement et son soutien moral.

Mes remerciements vont également à mon pays, l'Algérie, qui m'a permis de terminer cette formation, en me fournissant les ressources nécessaires disponibles. Que tous ceux qui ont contribué à faciliter cette étude dans ce cadre trouvent ici le témoignage de ma sincère gratitude.

*Enfin, Grand merci à tous ceux qui m'ont
Soutenu pendant toute cette période.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

** A mes parents*

** A ma famille*

** A mes Amies*

** A mes collègues du laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes
Naturels et tous ceux de la faculté des sciences de l'Université ABOU BEKR
BELKAIID DE TLEMCEM.*

** A mes collègues de l'unité de base (salle de soins) d'Aïn Tellout .*

.....Fatima zohra

ملخص:

يعتبر الوسط الشبه الجوفي واحد من بين الأنظمة غير المتجانسة و الأكثر ديناميكية في العالم. هذا التنوع مرتبط بالكائنات المائية ليست فقط الموجودة في السطح بل حتى الموجودة ما بين المياه السطحية و الجوفية.

في هذا السياق تدرج دراستنا حول كيفية التوزيع العمودي للافقاريات المائية ضمن الوسطين (السطحي و شبه الجوفي) اعلى وادي يقع في منطقة الينابيع في حوض تافنة. قمنا بسحب عينات حيوانية خلال ثمانية خرجات ميدانية خلال سنة سمحت لنا بمراقبة الكائنات الحيوانية للوسط شبه الجوفي المتمركزة في المنطقتين (المرتفعة و المنخفضة) في عمقين مختلفين (30سم و60سم) والوسط السطحي الواقعتين في حوض تافنة خلال مرحلتين (ارتفاع و انخفاض مستوى الماء)

دراسة الحيوانات المائية و التحليل الاحصائي يبين التوزع العمودي غير المتساوي للكائنات الحية في عمق من 0 الى 60سم

الكلمات المفتاحية: التوزيع العمودي, اللافقاريات, المنطقة الشبه الجوفية, المنطقة السطحية, تافنة.

Résumé

La zone hyporhéique compte parmi les écosystèmes les plus hétérogènes et dynamiques du monde. Cette hétérogénéité est liée à la mosaïque des habitats aquatiques présents en surface mais également dans la zone d'interface entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

C'est dans ce contexte que s'est inscrite notre étude sur la distribution verticale des invertébrés aquatique à travers les deux biotopes (superficiel et hyporhéique) dans une zone de source de l'oued Tafna. L'échantillonnage de la faune a été effectué sur huit campagnes qui ont permis d'établir un suivi annuel de la faune aquatique dans la zone hyporhéique, au niveau de deux faciès (seuil et mouille) et deux profondeurs (30 cm et 60cm) et le milieu superficiel de différent habitat de la zone de source (T0) pendant deux périodes hydrologique (hautes eaux, étiages)

L'analyse faunistique et le traitement statistique ont montré une distribution verticale hétérogène des organismes vivant dans la couche de (0-60cm) de profondeur.

Les mots clés : distribution verticale, macro invertébrés, zone hyporhéique, zone benthique, Tafna

Summary:

The hyporheic zone count among the ecosystems most heterogeneous and dynamic of the world. This heterogeneity is related to the mosaic of the habitats watery and terrestrial present on the surface but also at the zone of interface between surface water and subsoil waters.

It is in this context that our study on the vertical distribution of invertebrate fauna was registered through the two biotopes (surface and hyporheic) of wadi of the head of the basins located in a zone of source of Tafna. The sampling of fauna was carried out on eight campaigns made it possible to establish an annual follow-up of the watery fauna of medium hyporheic of two points (threshold, damping) and two depth (30cm, 60cm) and the surface medium of differing habitat of the station from the zone of source (T0) laying two periods hydrological (high waters, low water levels)

The faunistic analyses and the statistical processing showed a distribution vertical heterogeneous of the organizations living in the layer of (0-60cm) of depth.

Key words: vertical distribution, macro invertebrates, hyporheic zone, benthic zone, Tafna.

Liste des figures

Figure 01: La zone hyporhéique. Modifié d'après Malard *et al.* (2000).

Figure 02: Les mouvements hydriques au sein d'une séquence mouille-seuil-mouille.

Figure 03: Classification des organismes aquatiques en fonction de leurs affinités en milieu souterrain d'après Marmonier *et al.*, (1993).

Figure 04: Echanges entre le cours d'eau et la zone hyporhéique.

Figure 05 : Modèle descriptif de la dynamique de la zone hyporhéique (Sophocleous, 2001 d'après Williams, 1993).

Figure 06: Les facteurs responsables de la distribution d'habitat local des sédiments (d'après Ward *et al.* 1998 modifié par Gayraud, 2001).

Figure 07: Réseau Hydrographique du bassin versant de la Tafna (ANAT, 2008).

Figure 08: Carte géologique du Nord-Ouest Algérien (Source BENEST ,1985).

Figure 09: Variations mensuelles des précipitations.

Figure 10: Variations annuelles des précipitations de la station de Sebdu.

Figure 11: Variations mensuelles des températures de la station de Sebdu.

Figure 12: Indice de l'aridité de De Martonne (station de Sebdu).

Figure 13: Climagramme pluviométrique du quotient d'Emberger Q2 de la station de Sebdu.

Figure 14: Diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (Station de Sebdu durant les deux périodes).

Figure 15: Localisation des stations étudiées dans le bassin versant de la Tafna.

Figure 16: Coupes transversales d'un Oued et situation des piézomètres.

Figure 17: Filet Surber de 300 μ m de vide maille.

Figure 18:Équipement d'échantillonnage de Bou-Rouch.

Figure 19: Variation spatio-temporelle des paramétré physico-chimique de l'eau superficiel et de l'eau hyporhéique.

Figure 20:Distribution spatio –temporelle des éléments granulométrique.

Figure 21: Composition de la faune superficielle.

Figure 22: Composition de la faune hyporhéique.

Figure 23 : Distribution spatio -temporelle de la faune.

Figure 24: Variation verticale de la richesse taxonomique dans les deux sites au cours des deux périodes hydrologiques.

Figure 25 : Variation verticale de l'indice de Shannon dans les deux sites au cours des deux périodes hydrologiques.

Figure 26 : Plan factoriel des puits après discrimination (Axe1-Axe2).

Figure 27 : distribution de la faune dans les différents puits (après discrimination).

Figure 28: Evolution temporelle dans le plan factoriel (Axe1-Axe2).

Liste des Tableaux

Tableau 01: Données géographiques des stations météorologique.

Tableau 02: Précipitations et des températures moyennes mensuelles et annuelles durant les deux périodes.

Tableau 03: Les moyennes annuelles des précipitations des deux périodes.

Tableau 04: Amplitude thermiques des stations durant les deux périodes.

Tableau 05: Indice de continentalité.

Tableau 06: Indice de De Martonne.

Tableau 07: Etages bioclimatiques des stations météorologiques durant deux périodes en fonction de m et Q2 d'Emberger (1955).

Sommaire

Introduction	01
---------------------------	----

Analyse Bibliographique	04
--------------------------------------	----

Chapitre I : Milieu Physique

I. Présentation du bassin versant de la Tafna	17
---	----

II. Cadre géologique	21
----------------------------	----

III Climatologie régionale	23
----------------------------------	----

IV. Description de la zone d'étude : la haute Tafna.....	37
--	----

Chapitre II : Matériel et Méthode

I. Analyse physico-chimiques	41
------------------------------------	----

I. 1-La température	41
---------------------------	----

I. 2 -L'oxygène dissous	41
-------------------------------	----

I. 3- Le PH	41
-------------------	----

I. 4- La conductivité électrique	41
--	----

II. Analyse granulométrique.....	41
----------------------------------	----

III. Prélèvements faunistiques.....	43
-------------------------------------	----

III .1-Prélèvement dans le milieu superficiel	43
---	----

III. 2-Prélèvement dans le milieu hyporhéique.....	43
--	----

III. 3-Traitement des échantillons au laboratoire	46
---	----

IV. 4-Traitement des données faunistiques.....	46
--	----

IV. 4-1ANOVA	46
--------------------	----

IV 4-2Test de Kruskal- Wallis	46
-------------------------------------	----

IV. 4-3 Indices de diversité	47
------------------------------------	----

IV. 4-4 Analyse factorielle des correspondances AFC	47
---	----

Chapitre III : Résultat et Interprétations

I-Données physico-chimiques	49
-----------------------------------	----

I. 1-Température	49
I. 2-Oxygène dissous	50
I. 3-pH	51
I. 4 -Conductivité.....	51
II. granulométrie	54
II. 1- Sable grossier	54
II. 2- Sable fin	54
II. 3-Limon grossier	55
II. 4 - Limon fin	55
II. 5- Argile	55
III. Résultat faunistiques	58
III.1-Composition de la faune superficielle	58
III. 2- Composition de la faune hyporhéeique	62
III. 3-Comparaison des faunes superficielles et hyporhéesiques	65
III. 4- Distribution verticale de la faune.....	66
III. 5 -Evolution longitudinale	68
III. 6- Dynamique verticale de la faune en fonction des périodes hydrologiques.....	69
III. 7- Variation spatio -temporelle de la Structure des communautés	77
III. 7-1Richesse Taxonomique.....	77
III. 7-2 Indice de Shannon	78
IV. Résultats de l'analyse statistique.....	81
IV. 1-Evolution spatiale.....	81
IV. 2-Evolution temporelle.....	82
Discussion	86
Conclusion.....	90
Références Bibliographique.....	92

Introduction



Introduction

Les cours d'eau ne sont pas limités aux seules eaux superficielles, il existe à l'intérieur des sédiments des interstices où peuvent circuler l'eau, les nutriments, la matière organique et les organismes aquatiques. Ainsi, il se développe en association intime avec le système de surface un habitat original, le milieu interstitiel (Dole-Olivier et Marmonier, 2008).

La zone hyporhéique désigne la zone saturée de sédiment constituant le lit des cours d'eau dans laquelle l'eau de surface s'infiltré et se mélange à l'eau interstitielle des sédiments Orghidan (1959).

La zone hyporhéique est une composante intégrale de l'hydrosystème, et trois notions permettent de caractériser les processus de contrôle qui se déroulent à son niveau: La notion d'écotone entre le cours d'eau et l'aquifère, la perméabilité qui permet les processus d'échanges entre les compartiments adjacents et la connectivité qui détermine la quantité et la qualité des échanges entre les différents compartiments (Payrard, 2008).

L'épaisseur variable (de quelques centimètres à une centaine de mètres) de cette zone représente une continuité de la dimension verticale du milieu lotique (Naiman et *al*, 1988) et constitue un biotope " souterrain " particulier. Le biotope hyporhéique est composé d'un mélange de sédiments de natures diverses, il présente une très forte hétérogénéité spatiale. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques, la granulométrie, la perméabilité, la porosité définissent une mosaïque complexe de "micro-habitats" et de peuplements associés (Payrard, 2008).

La biodiversité de la zone hyporhéique est caractérisée par le mélange hétérogène d'un grand nombre d'espèces, écologiquement très diverses. Elle abrite des espèces épigées et des espèces hypogées (Dole-Olivier et Marmonier , 2008) dont la densité diminue généralement avec la profondeur (Maridet et *al*,1992). En effet, la distribution verticale de la faune hyporhéique est influencée par la profondeur, la porosité, l'oxygène dissous, la granulométrie des sédiments et la géomorphologie de lit (Dole-Olivier et Marmonier, 1992; Dole-Olivier, 1998 ; Hose et *al*, 2004 ; Maridet ,1994 ; Olsen et Townsend, 2003)

En Europe, les études portant sur ce milieu ont largement été abordées pour son importance dans le fonctionnement des hydrosystèmes et de nombreux travaux ont décrit et synthétisé les relations complexes qui existent entre la structure des communautés hyporhéique, leur biodiversité, et les échanges hydriques qui s'établissent à travers cette zone à plusieurs échelles. Nous citons ceux de Fowler et Scarsbrook (2002), Wood et *al*, (2010).

En Algérie, les recherches dans le domaine du milieu interstitiel ont débuté au cours des années 80 au niveau du bassin versant de la Tafna (Gagneur et Chaoui Boudghrane ,1991) et se sont ensuite multipliées. Ces études ont mis en évidence le rôle du milieu hyporhéique sur le fonctionnement de l'écosystème oued (Belaidi et *al*, 2004 ; Taleb et *al*, 2008; Bouzid, 2009; Taleb et al. Sous presse). D'autre ont mis l'accent sur la biodiversité de l'hyporheos (Rezzougui, 2009 ; Korichi ,2009 ; Benhadji, 2013).

Les recherches menées jusqu'à présent, ont permis de mettre en évidence un mouvement des invertébrés entre les deux compartiments, superficiel et hyporhéique. Cependant, la distribution verticale à l'intérieur des sédiments reste partiellement comprise.

L'objectif principal de cette étude est de poursuivre les travaux déjà réalisés par l'équipe d'Hydrobiologie du laboratoire « Ecologie et gestion des écosystèmes naturels » de l'université de Tlemcen sur la dynamique des invertébrés au sein du milieu hyporhéique. Dans un contexte général de la compréhension du fonctionnement des écosystèmes oueds, cette étude vise à montrer la migration verticale des espèces benthiques et hyporhéiques dans la zone interstitielle et comprendre comment les facteurs environnementaux influencent-ils ces déplacements verticaux dans un système « Oued » qui est un cours d'eau des régions arides d'Afrique du Nord.

Nos investigations ont porté sur la zone de source de la Tafna, une zone relativement non anthropisée, afin de mettre en évidence cette dynamique verticale entre le milieu benthique et son sous écoulement et dans la zone hyporhéique à deux profondeurs (30 cm et 60 cm) pendant un cycle hydrologique (haut eaux et étiage).

Le présent mémoire est structuré en cinq chapitres :

- ❖ Chapitre 1 : Analyse bibliographique.
- ❖ Chapitre 2 : Etude de milieu physique
- ❖ Chapitre 3 : Matériel et méthode.
- ❖ Chapitre 4 : Résultat et interprétation.
- ❖ Chapitre 5 : Discussions.

Analyse

Bibliographique

La zone hyporhéique fut identifiée pour la première fois par Orghidan (1959) qui définit le terme de biotope. La zone hyporhéique désigne la zone saturée de sédiment constituant le lit des cours d'eau dans laquelle l'eau de surface venant du cours d'eau s'infiltré et se mélange à l'eau interstitielle des sédiments

Les échanges entre ces compartiments peuvent fluctuer en fonction du gradient hydraulique, favorisant une infiltration des eaux de surface si le gradient hydraulique est négatif, ou l'exfiltration des eaux de nappe si le gradient est positif. Ces frontières vont donc varier avec les saisons et en fonction des caractéristiques géomorphologique du lit du cours d'eau (Olsen et Townsend, 2003).

La zone hyporhéique est un milieu interstitiel dont la structure physique est dépendante de la granulométrie des sédiments du lit des cours d'eau. Cette structure est fonction de la taille des « grains » qui la composent et de leur arrangement (Peyrard, 2008). La granulométrie joue un rôle central dans la conductivité hydraulique du milieu et donc sur l'alternance de zones de «Downwelling» et de « upwelling ». Ces échanges se déroulent sur des échelles spatio-temporelles très variables, pouvant aller du simple seuil avec un temps de séjour de l'eau de surface dans les interstices très court, à une échelle plus grande d'un secteur de cours d'eau avec des temps de résidence de l'eau très long (Brunke et Gonser, 1997).

La zone hyporhéique agit comme un filtre physique gouverné par les caractéristiques granulométriques du sédiment et la circulation de l'eau, comme un filtre biochimique contrôlé par les processus biologique et chimique, et enfin comme un filtre photique (Boulton et *al*, 2010). Le fond des cours d'eau est généralement constitué d'une succession de zones de bas fond (mouilles) et de haut fond (seuils). Les unités géomorphologiques de haut fond favorisent les échanges hydriques verticaux entre l'eau de surface et l'eau interstitielle (Gayraud et *al*, 2001).

L'eau de surface peut pénétrer de manière localisée dans le lit profond en amont d'un seuil (zone d'infiltration), puis ressortir de manière plus diffuse en aval (zone d'exfiltration) après un transit plus ou moins long au sein des sédiments. La correspondance de ces alternances seuil /

mouille avec les bancs de galets se traduit par une pénétration de l'eau en tête du banc et une résurgence localisée en queue de banc (Dole-Olivier, 1998).

Le milieu interstitiel peut présenter des concentrations en matière organique, en nutriments, en oxygène dissous équivalentes à celles de l'eau de surface dans les zones d'infiltration et des concentrations inférieures dans les zones d'exfiltration. Ce gradient chimique peut fortement varier en fonction des régimes hydrologiques (Fowler et Scarsbrook, 2002).

Le gradient de la température dans la zone hyporhéique est déterminé par les échanges hydrique entre le cours d'eau et l'aquifère, il est important pour le développement des invertébrés et l'activité microbienne, il varie en fonction des factures climatique (Peyrard, 2008).

Les sédiments déterminent l'environnement du cours d'eau et correspond précisément à l'habitat des communautés interstitielles. La porosité est la relation entre le volume d'eau contenu dans un échantillon de sédiment et le volume total de l'échantillon. La majorité de l'eau transite librement à travers l'espace interstitiel et adhère très peu aux surfaces sédimentaires, du fait de l'importante diminution de la surface de contact avec l'augmentation du diamètre des matériaux (Gayraud, 2001).

Les concentrations en oxygène dissous dans le compartiment hyporhéique dépendent de la perméabilité, de la porosité des sédiments, de la saturation des espaces interstitiels par l'eau et de l'intensité de la respiration des microorganismes du sédiment. Cette dernière est liée à l'activité bactérienne, qui dépend à son tour de la disponibilité en carbone assimilable présent dans la matrice sédimentaire (Gnouma, 2002).

Les sédiments à faible porosité et perméabilité présentent généralement de faibles concentrations en oxygène dissous. Les concentrations en oxygène dissous sont souvent plus élevées dans des sédiments grossiers et homogènes (Gayraud, 2001 ; Gnouma, 2002). On observe la formation d'un gradient d'oxygène dans le milieu, avec de fortes concentrations en surface (liées à la photosynthèse et aux échanges avec l'atmosphère), et une diminution avec la profondeur (liée à la respiration des microorganismes lors de la dégradation de la matière organique) (Peyrard, 2008).

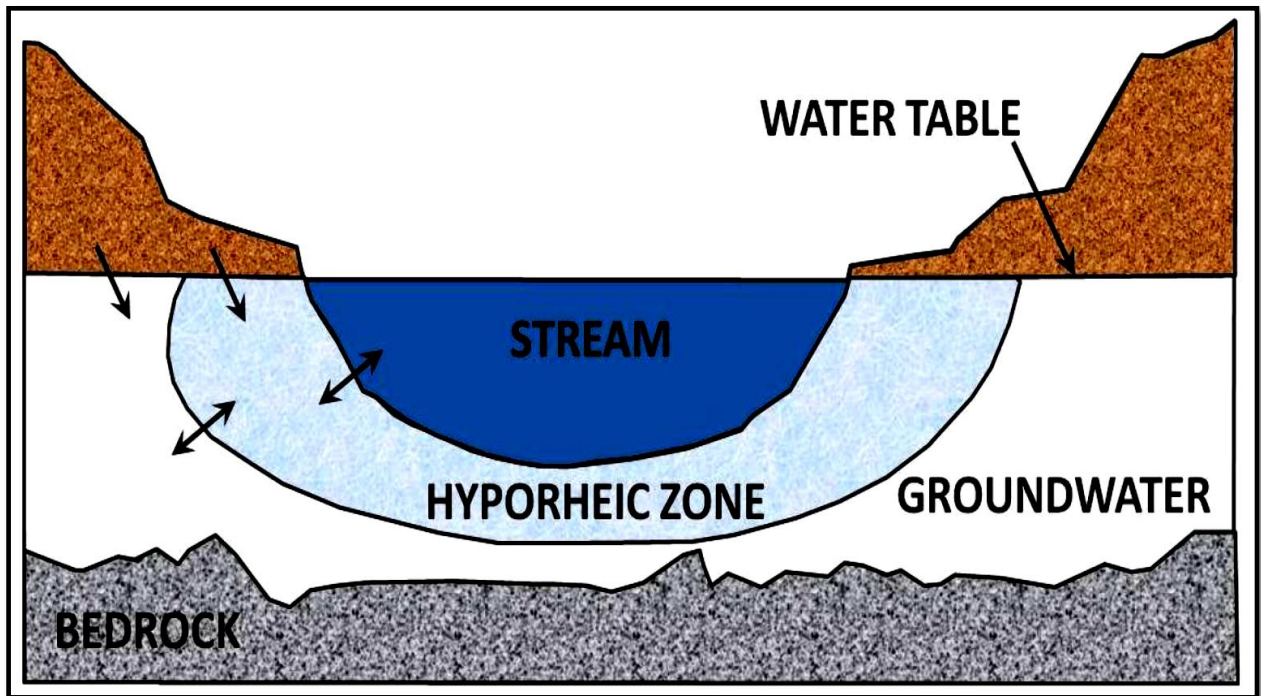


Figure 01: La zone hyporhéique d'après Malard et al, (2000).

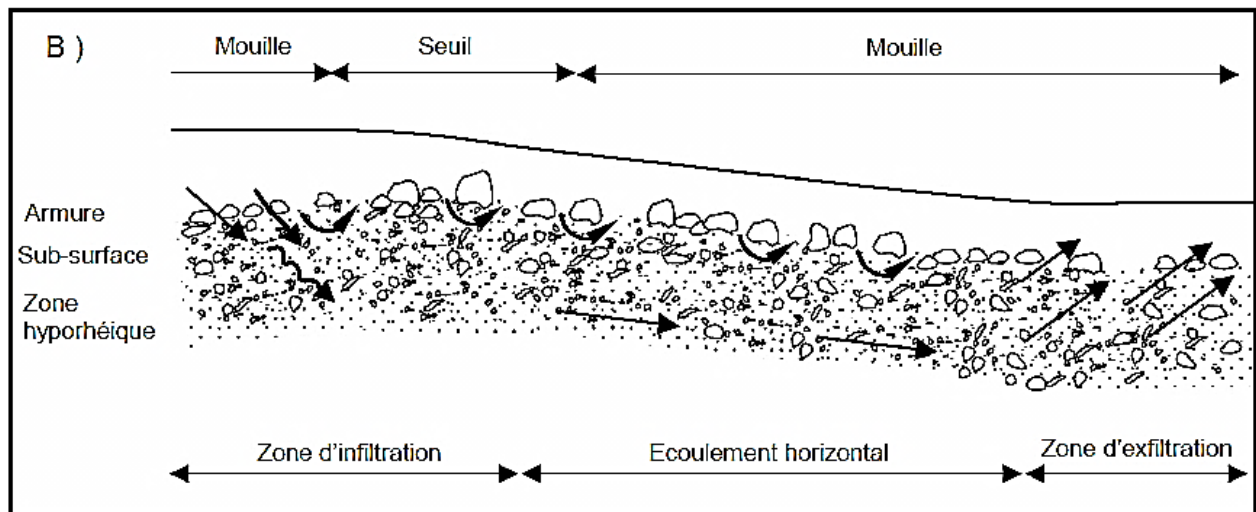


Figure 02 : Les mouvements hydriques au sein d'une séquence mouille-seuil-mouille d'après Gayraud et al, (2002)

La faune hyporhéique (l'hyporheos) est fortement structurée par tous les processus hydro biogéochimiques, avec des organismes épigés pigmentés et oxygène-dépendants en surface et des organismes hypogés dépigmentés et résistants au manque d'Oxygène en profondeur. Cette faune peut être divisée entre les résidents permanents dans le milieu et les résidents temporaires. De nombreux invertébrés choisissent ce milieu uniquement pour leur développement larvaire ou embryonnaire (Maridet et *al*, 1996).

I. Composition et structuration de l'hyporhéos :

Les espaces interstitiels entre les particules de sédiments dans la zone hyporhéique sont occupés par une grande diversité d'invertébrés aquatiques, appelée hyporheos (Orghidan ,1959). L'hyporheos comprend de nombreux types d'organismes tels que des crustacés, rotifères, acariens aquatiques et les stades juvéniles de la plupart des insectes aquatiques (Datry et *al* ,2012).

D'après Marmonier et *al*, (1993) la zone hyporhéique abrite des communautés d'invertébrés dont la richesse et la composition varient en fonction de la connectivité entre les eaux souterraines et les eaux de Surface. Ces communautés comportent généralement (Figure n 3) (1) des organismes épigés présents de manière accidentelle dans les habitats souterrains où ils peuvent jouer le rôle de proies (**stygoxènes**) ; (2) des organismes épigés capables d'exploiter les ressources des habitats souterrains et d'y réaliser une partie ou la totalité de leur cycle de vie (**stygoiphiles**) et se divisent en trois groupes: des organismes occupent habituellement les habitats épigés et ils résident la zone hyporhéique pendant le début de leur développements (l'hyporhéos occasionnels) , des organismes capables de compléter leur cycle de vie dans la zone hyporhéique et vivent dans les eaux de surface (l'hyporhéos permanent) , des organismes caractérisent par un stade larvaire hyporhéique et un stade adulte aérien (les amphibiens); (3) et des organismes souterrains qui sont des formes spécialisées réalisant la totalité de leur cycle de vie dans les eaux souterraines (**stygoibies**).

De nombreux travaux ont décrit et synthétisé les relations complexes qui existent entre la structure des communautés hyporhéique, leur biodiversité, et les échanges hydriques qui

s'établissent à travers cette zone à plusieurs échelles (Dole- Olivier et Marmonier, 1992; Maridet et al,1992 ; Maridet et al, 1996 ; Dole-Olivier et al, 1997; Malard et al , 2002; Olsen et Townsend , 2003; Tiliman et al, 2003; Varricchione et al,2005 ; Fenoglio et al ,2006 ; Bowker et al , 2006 ; Claret et al , 2007 ; Datry et al , 2007; Datry et Larned, 2008).

La biodiversité dans la zone hyporhéique dépend majoritairement du sens des échanges qui s'établissent entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Malard et al, 2002). L'abondance d'organismes de surface dans la zone hyporhéique est maximale dans les zones d'infiltration d'eau de surface, surtout au moment des crues dans des cours d'eau présentant une bonne perméabilité des sédiments (Dole-Olivier et al, 1997).

Les interstices du lit des cours d'eau, à la fois en tant que nurserie et refuge, sont propices au développement et au maintien d'une communauté d'invertébrés benthiques souvent très abondante (Maridet et al, 1996).

La densité d'organismes dans la zone hyporhéique diminue généralement avec la profondeur (Olsen et Townsend, 2003; Dole-Olivier et Marmonier, 1992; Dole-Olivier, 1998 ; Hose et al, 2004 ; Maridet, 1994), et la comparaison des densités observées en surface avec l'abondance cumulée sur toute l'épaisseur de sédiments colonisés par la faune interstitielle souligne la forte capacité biogénique de cette zone. Les facteurs qui régissent cette colonisation sont essentiellement d'ordre granulométrique et hydrologique (Maridet et al, 1992).

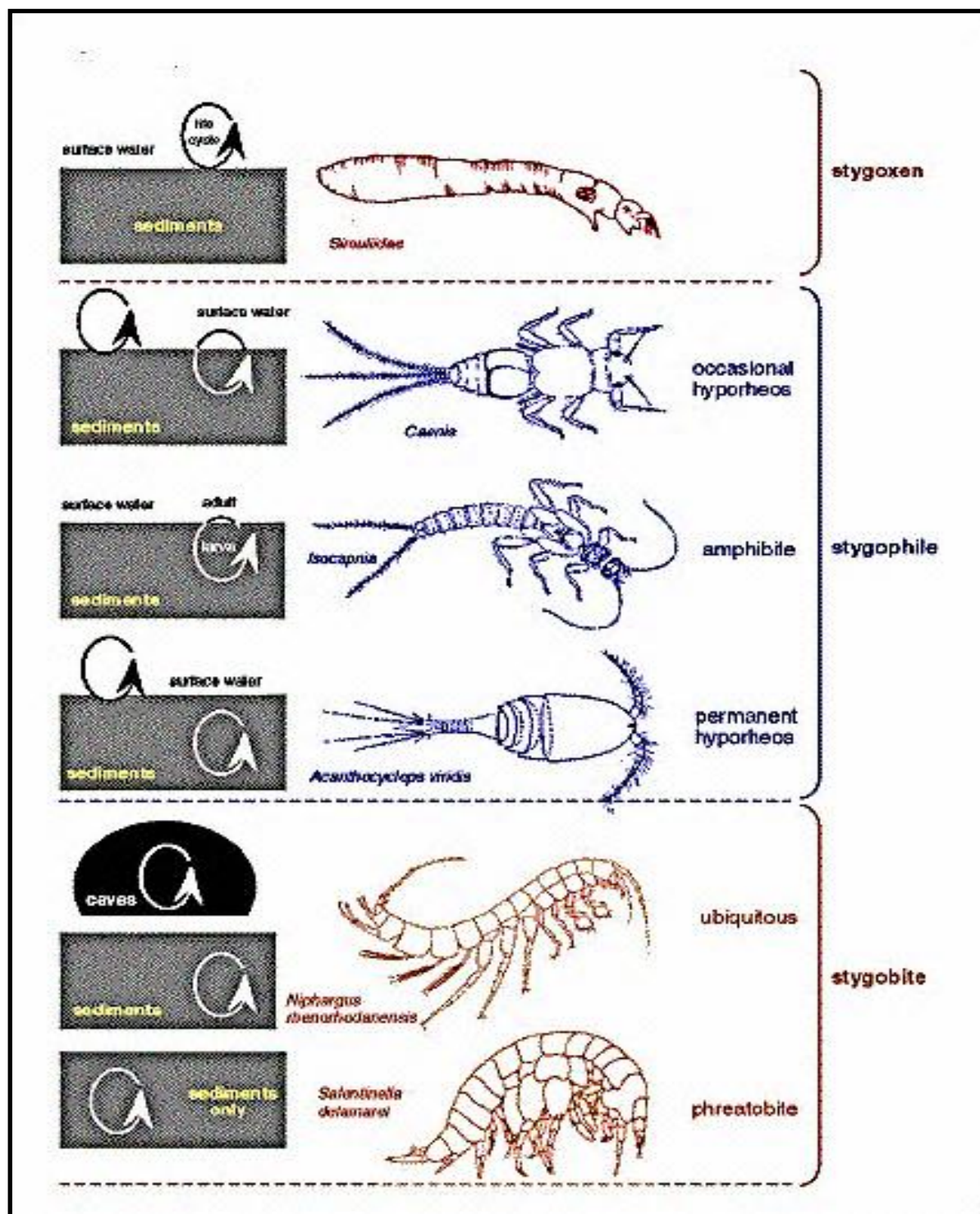


Figure 03: Classification des organismes aquatiques en fonction de leurs affinités en milieu souterrain (d'après Marmonier *et al*, 1993).

II. La dynamique spatio-temporelle de faune hyporhéique :

Le modèle de la distribution de la faune hyporhéique est influencé par les conditions environnementales telles le substrat, la porosité, l'oxygène dissous, la qualité et la quantité de la matière organique, et la température (Dole-Olivier et Marmonier, 1992; Gayraud, 1992; Maridet, 1994; Dole-Olivier, 1998; Olsen et Townsend, 2003; Hose et al, 2004; Steiger et al, 2005; Bruno et al, 2009).

La zone hyporhéique représente une zone de refuge pendant les perturbations du régime hydrique (haute eaux / étiages) et les conditions défavorable des milieux (la pollution, la haute température et la minéralisation) (Belaidi et al., 2004; Resh et al., 2012). Pour certains insectes (Ephéméroptères, Trichoptères, Plécoptères, Coléoptères ou Diptères), les œufs peuvent éclore et les larves résider dans la zone hyporhéique pendant les premiers stades de développement, tandis que la majeure partie de leurs cycles de vie prédominent dans la zone benthique, ou occasionnellement en hyporhéique (Dole-Olivier et al, 1997).

L'échange hydrologique peut avoir une grande influence sur la distribution verticale des nutriments, la dynamique de la matière organique, et la disponibilité de l'oxygène (Maridet et al, 1992; Thomas et al, 2003). Parallèlement, il influe la distribution verticale et la composition potentiellement latérale des invertébrés hyporhéique (Dole-Olivier et Marmonier, 1992; Fowler et Scarsbrook, 2002; Olsen et Townsend, 2003).

II. 1 - Mouvements verticaux :

L'importance du milieu hyporhéique dans la dynamique et la distribution verticale de la faune hyporhéique est démontrée par Claret et al, 2007; Dole-Olivier et Marmonier, 1992; Olsen et Townsend, 2003). Les études montrent que la densité est maximale entre 15cm et 30cm. Plus de 75% des invertébrés se localisent à 15 cm de profondeur, et elle diminue avec la profondeur (Maridet et al, 1992,1996). La distribution de la faune hyporhéique est fortement influencée par la concentration de l'oxygène et les processus hydro biogéochimiques. La densité des organismes épigés pigmentés et oxygène-dépendants augmentent en surface et diminuent avec la profondeur, la densité des organismes hypogés dépigmentés et résistants au manque d'oxygène augmentent en profondeur (Olsen et Townsend, 2003).

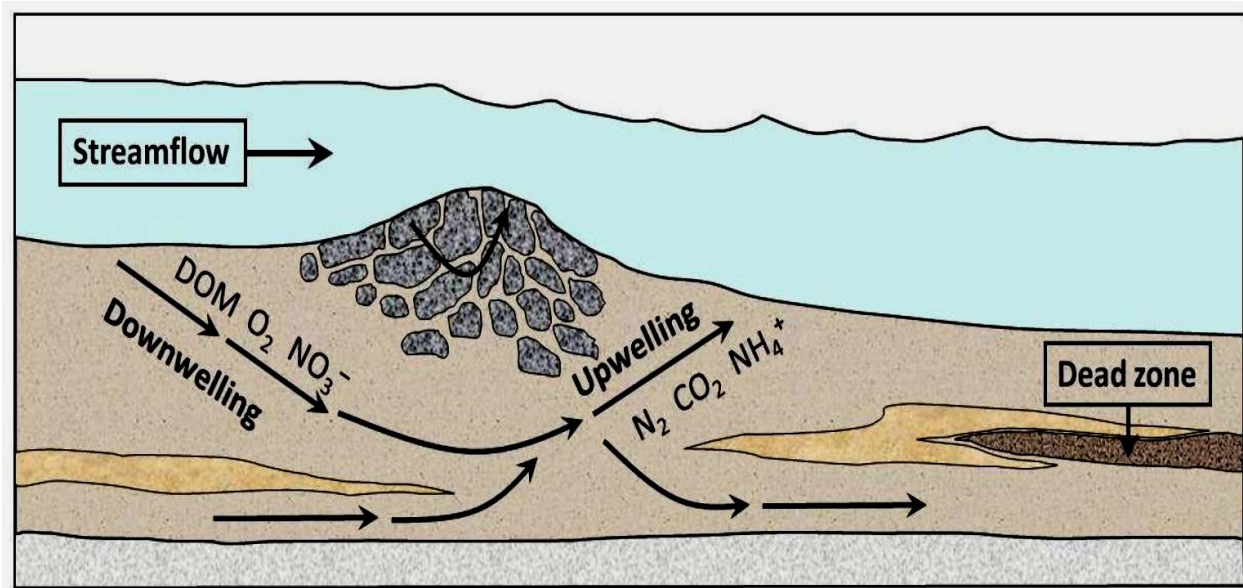


Figure 04 : Echanges entre le cours d'eau et la zone hyporhéique d'après Feris *et al*, (2003)

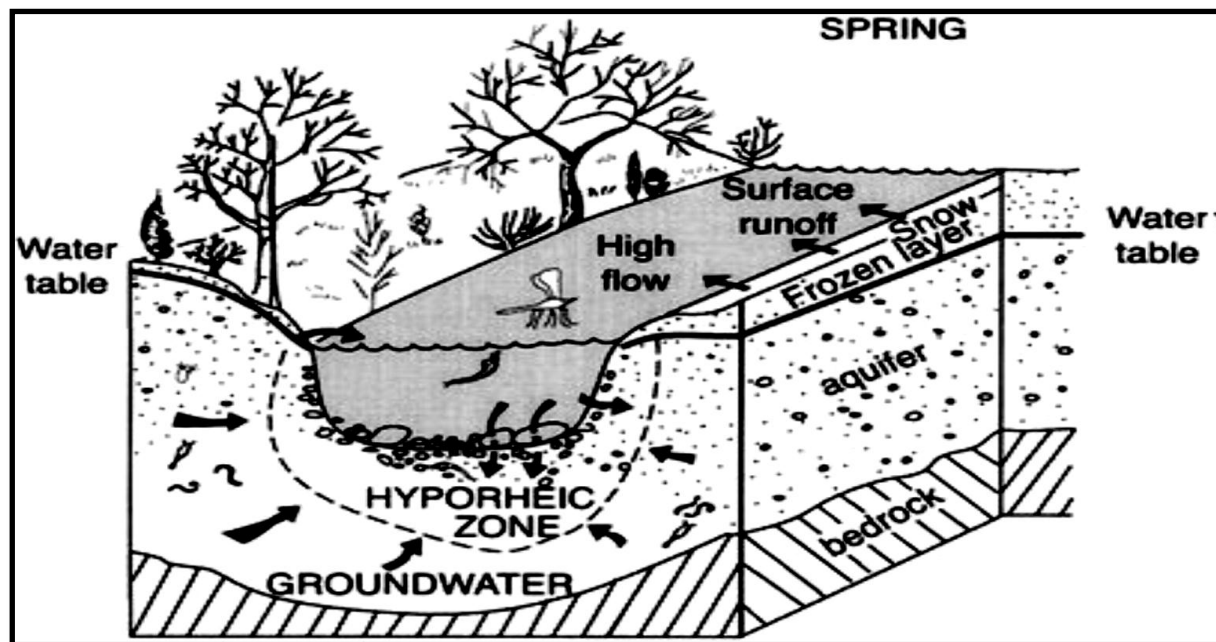


Figure n°05 : Modèle descriptif de la dynamique de la zone hyporhéique (Sophocleous, 2001 d'après Willams, 1993).

Les mouvements verticaux actifs des organismes à l'intérieur des sédiments peuvent être le résultat de réponses adaptatives à des variations des caractéristiques hydrologiques, mais également une réponse à des changements de milieu au cours de leur cycle de développement (Dole-Olivier et Marmonnier, 1992).

La porosité et la taille des taxons déterminent la mobilité des invertébrés en milieu benthique et hyporhéique, la limitation de la mobilité des invertébrés est liée à la réduction de la lumière, la variation d'oxygène dissous, et la disponibilité de la matière organique (Gayraud, 2001 ; Gnouma, 2002 ; Peyrard, 2008).

Dans les stations alimentées en eau superficielle il y a apport d'invertébrés benthiques dans les interstices et effet refuge on peut même observer un lessivage de la faune de surface. Mais dans les stations alimentées en eau souterraine, la structure des peuplements interstitiels reste inchangée (Dole-Olivier et Marmonnier, 1992).

II. 2-Mouvements spatiaux :

Le milieu interstitiel peut présenter une densité des invertébrées et une richesse taxonomique équivalentes à celles de l'eau de surface dans les zones d'infiltration et inférieures dans les zones d'exfiltration (Varricchione et al, 2005 ; Dole-Olivier et al, 1997).

Les invertébrés épigés tels que les diptères et les larves de coléoptère sont les groupes les plus abondants dans les zones des infiltrations, tandis que les invertébrés hypogés comme les amphipodes et les copépodes sont les plus dominants dans les zones d'exfiltration (Fowler et Scarsbrook, 2002).

Les caractéristiques morphologiques telles que la petite taille et le corps allongé facilitent les mouvements des organismes benthiques à l'intérieur des sédiments de la zone hyporhéique (Dole-Olivier et Marmonnier, 1992).

II. 3-Mouvements temporels :

Nombreux sont les chercheurs qui pensent que la saison affecte la composition de l'hyporhéos en abondance et en communauté (Varricchione et al, 2005 ; Belaidi et al, 2004).

Selon Dole- Olivier et Marmonier (1992), l'effet des crues sur les peuplements des invertébrés est donc complexe, mais il existe toujours des zones où les organismes benthiques semblent pouvoir résister à l'intérieur des sédiments pendant ces perturbations. On peut alors parler de 'refuge en tache'. la zone hyporhéique représente donc une zones de refuge pendant les perturbations de l'environnement (Olivier et *al* , 1998,1997 ; Hose et *al* ,2004 ; Boulton et *al*, 2010). Une part des organismes benthiques stockés dans les sédiments au cours des crues sont capables de regagner les habitats de surface. Le milieu interstitiel contribue donc à la résilience des communautés benthiques, à leur retour à l'équilibre après les perturbations (Belaidi et *al*, 2004).

Les crues ne sont pas les seuls évènements au cours des quels le milieu interstitiel joue un rôle dans la résilience du système, pendant les assèchements, les interstices des sédiments peuvent là encore héberger une partie de la faune benthique et contribuer à la recolonisation du système superficiel (Dole- Olivier et Marmonier ,1992 ; Resh et *al*, 2012).

Le compartiment hyporhéique pour la majorité des insectes est temporairement utilisé comme une zone refuge pour se protéger contre les variations des conditions environnementales des eaux de surface (l'augmentation brutale du débit, les températures extrêmes, la dessiccation, les prédateurs), pour d'autres la vie dans le milieu interstitiel est prédominante, avec une étape épigée restreinte à la phase d'émergence puis le stade aérien de l'adulte (Dole- Olivier et *al* ,1997).

III. Facteurs responsables de la distribution verticale de la faune hyporhéique :

Les facteurs qui régissent la colonisation de la zone interstitielle sont essentiellement d'ordre granulométrique, hydrologique et physicochimique.

III. 1-Les facteurs physicochimiques :

Le milieu superficiel charge les eaux souterraines en oxygène dissous, la matière organique et les nutriments qui sont des besoins essentiels pour la faune hyporhéique en particulier les espèces stygobies (Schmidt et Hahn, 2012). Le manque d'oxygène en profondeur provoque la diminution, voire la disparition des espèces épigées (Maridet et *al*, 1992).

D'autre part, les recherches montrent que la variation de la température, de la matière organique et de l'oxygène dissous diminue avec le temps de résidence et la distance du passage dans le substrat (Fowler et Scarsbrook, 2002).

III. 2-La granulométrie des sédiments :

La structure de la zone hyporhéique est dépendante de la texture des sédiments du lit des cours d'eau. Les sédiments fins réduisent les échanges entre les deux milieux (Gayraud, 2001 ; Gnouma, 2002 ; Peyrard, 2008). Le complexe organo-minéral favorise le colmatage des interstices qui se traduit par la diminution de la perméabilité réduisant ainsi les phénomènes de downwelling et d'upwelling (Gayraud *et al*, 2002).

III. 3-La géomorphologie de lit :

La formation seuil et mouille est le premier caractère géomorphologique qui caractérise les cours d'eau (Hendricks, 1993). Les organismes épigés colonisent des profondeurs plus grandes dans les zones d'infiltration que dans les zones d'exfiltration et les organismes hypogés peuvent vivre près de la surface dans les zones d'exfiltration (Dole-Olivier *et al*, 1997).

L'écoulement des eaux de surface provoque une perméabilité des sédiments du lit ; les échanges à travers la zone hyporhéique en amont du seuil, l'eau superficielle s'infiltré dans les sédiments, se mélange aux eaux souterraines, avant de rejaillir dans une mouille en zone d'exfiltration (Datry, 2008).

IV. Etat de connaissance en Algérie:

En Algérie, la faune hyporhéique a fait l'objet d'un certain nombre de travaux, particulièrement ceux de Gagneur et Chaoui-boudghène (1991) et Belaidi *et al*, (2004) qui ont mis en évidence la composition et la dynamique de faune hyporhéique et superficielle et l'impact de pollution sur la dynamique de la faune dans les oueds d'une région semi-aride. En parallèle, les processus biogéochimiques ont été abordés au niveau de cette zone, à deux échelles spatiales, locale et régionale (Taleb *et al*, 2008), mettant en évidence le rôle du milieu hyporhéique dans le fonctionnement des écosystèmes "oueds".

Le laboratoire d'hydrobiologie s'est investi dans ce domaine et a organisé les recherches autour de nombreux programmes sous cet axe de recherche dans un objectif de caractériser l'hyporhéos au niveau de l'oued Tafna, afin de constituer une banque de donnée sur la biodiversité du sous-écoulement (Sabri, 2003 ; Rezougi, 2008; Korichi, 2008).

Récemment des études plus exhaustives ont été entreprises sur la biodiversité et la structure de la faune interstitielle (Benhadji, 2013). Toutefois, aucune étude ne s'est penchée sur les mouvements des invertébrés à l'intérieur du sédiment des oueds d'une région semi-aride.

De nombreuses études ont montré que la distribution verticale des organismes était influencée par la concentration en oxygène (Olsen et Townsend, 2003), par les mouvements entre l'eau de surface et l'eau interstitielle, par la qualité et la taille des interstices (Gayraud, 2001), par la distribution des nutriments (Maridet et al, 1992), et par des modifications saisonnières (Dole-Olivier et Marmonnier, 1992).

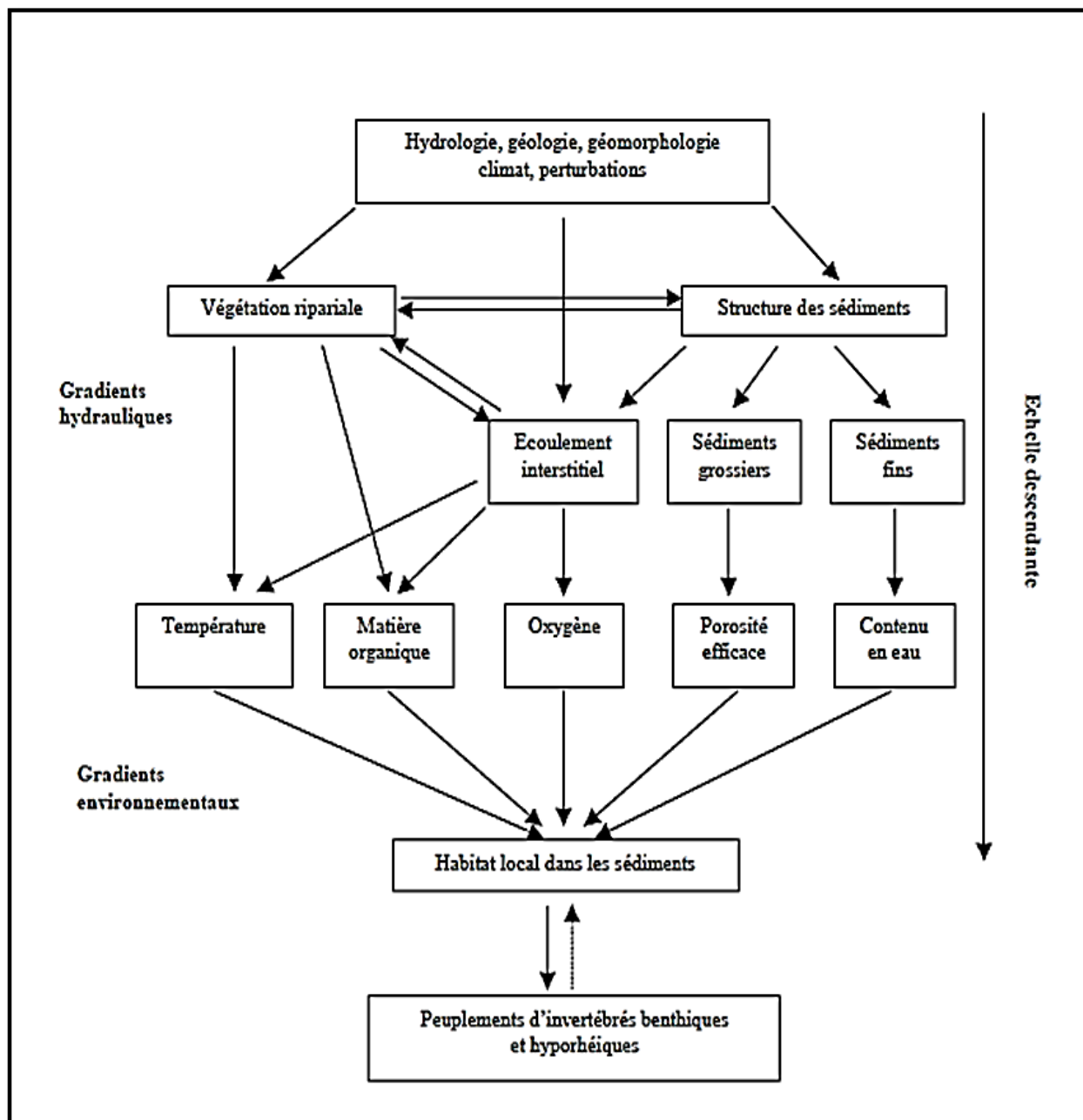


Figure 06 : Les facteurs responsables de la distribution d’habitat local des sédiments (d’après Ward et al.1998 modifié par Gayraud , 2001).

Milieu



Physique



I. Présentation du bassin versant de la Tafna :

Le bassin versant de l'Oued Tafna est situé à l'extrême Nord-Ouest d'Algérie et s'étend jusqu'au territoire marocain (23 %), Il couvre la totalité de la wilaya de Tlemcen avec une superficie de 7245 km² (Fig. 7). Il est limité :

- Au Nord-Ouest par Djebels Traras (1021 m).
- Au Nord-Est par Djebels Tessala.
- Au Sud par les monts de Tlemcen entre la Méditerranée et les hautes plaines Oranaises.
- À l'Est par Djebel Sebâa Chioukh.
- À l'ouest par les monts de Béni-Snassen (Maroc).

Il est composé dans sa partie Sud-Est par les monts de Tlemcen (de 1576 m à 1843 m d'altitude), et dans sa partie Nord on trouve des plateaux de 200 à 500 m d'altitude. Il est formé par une barrière montagneuse au sud (800-1400 m d'altitude) axée WSW-ENE, dominant largement au Nord, les régions des plaines de Maghnia, de Hennaya et de Sidi-Abdelli.

Le principal cours d'eau du bassin est la Tafna (170Km de long). Il jaillit des monts de Tlemcen d'abord avec un écoulement souterrain, et son exurgence se trouve au niveau de Ghar Boumaaza à 1100m d'altitude. Il atteint la Méditerranée au niveau de la plage de Rachgoune (Fig. 7). De l'amont vers l'aval la Tafna est alimentée par trois principaux affluents :

❖ L'oued Khemis :

Draine la vallée des monts de Tlemcen avec un sous bassin de 340 Km², il atteint la Tafna au niveau du barrage de Béni Bahdel à une altitude de 660 Km², et c'est l'affluent rive gauche.

❖ L'Oued Mouilah :

Affluent rive gauche de la Tafna, situé au nord-ouest de l'Algérie, avec une superficie de sous-bassin de 2 650 km², l'Oued s'écoule sur une longueur de 124 km. Il prend naissance dans la région d'EI Abed, en Algérie, à 1250 m d'altitude, puis pénètre au Maroc et prend le nom de Oued Isly et suit un cours intermittent. Il redevient permanent en aval près de Oujda (Maroc)

pour s'appeler Oued Bounaïm et pénétre en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation de Oued Mouilah. Il reçoit sur sa rive droite Oued Ourdeffou.

❖ **L'oued Isser :**

Affluent rive droite de la Tafna, long de 81 km, avec une superficie de sous-bassin de 1140 km². Il prend sa source à Ain Isser au Sud d'Ouled Mimoun, Sa confluence avec Oued Tafna a lieu dans la plaine de Remchi à 80 m d'altitude. La limite du bassin à l'aval coïncide avec le barrage El Izdihar, il est caractérisé par deux zones distinctes. Au sud, les pentes sont très fortes dépassant les 30% représentant une zone montagneuse constituée essentiellement par des terrains calcaires fissurés du Jurassique. La zone médiane du bassin correspond aux plaines où les pentes sont douces <10%. C'est le siège des particules charriées par l'oued. Au nord-ouest, une zone de collines à pente douce 15 à 30%, est constituée par des marnes miocènes.

Le cours de cet oued peut se subdiviser en trois parties : la haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.

❖ **Haute Tafna :**

D'une superficie de 1016 Km² et d'un périmètre de 165 km, ce bassin est régularisé par le barrage de Béni Bahdel. Elle s'étend depuis la résurgence de l'Oued Tafna au niveau de Ghar Boumaaza au sud de Sebdo, il creuse son chemin en recevant des ramifications. Il traverse une vallée encaissée. Aux environs de Beni Bahdel, il reçoit l'Oued Sebdo et l'Oued Khemis. A l'aval du barrage, il se reforme grâce aux résurgences.

❖ **Moyenne Tafna :**

La moyenne Tafna s'étend depuis le village Tafna jusqu'à la confluence avec l'Oued Isser. Elle comprend, en rive gauche une partie du versant sud des monts des Traras et en rive droite une partie du versant Nord des monts de Tlemcen. Il reçoit de nombreux affluents dont l'Oued Mouilah et l'Oued Boukiou sur sa rive gauche. La vallée de la « Moyenne Tafna » : C'est une dépression Tertiaire comprise entre le massif Secondaire des monts de Tlemcen au Sud, le massif des Traras et la moitié de la chaîne de Tessala (principalement les collines de Sebâa Chioukh) au

Nord. Cette vallée est en majorité formée par des terrains Miocènes, Argileux d'âge Serravalien (Guardia, 1975).

❖ **Basse Tafna :**

La vallée de la « Basse Tafna » : Comprise entre le massif des Traras (Béni Khelad) à l'Ouest, et la région volcanique d'Ain Témouchent (Ouled Ben Adda) à l'Est. L'Oued Tafna traverse les plaines de Remchi où il reçoit l'Oued Isser, et perce la muraille des montagnes des Traras pour enfin rejoindre la mer Méditerranée. Elle est caractérisée par ses terrains Tertiaires.

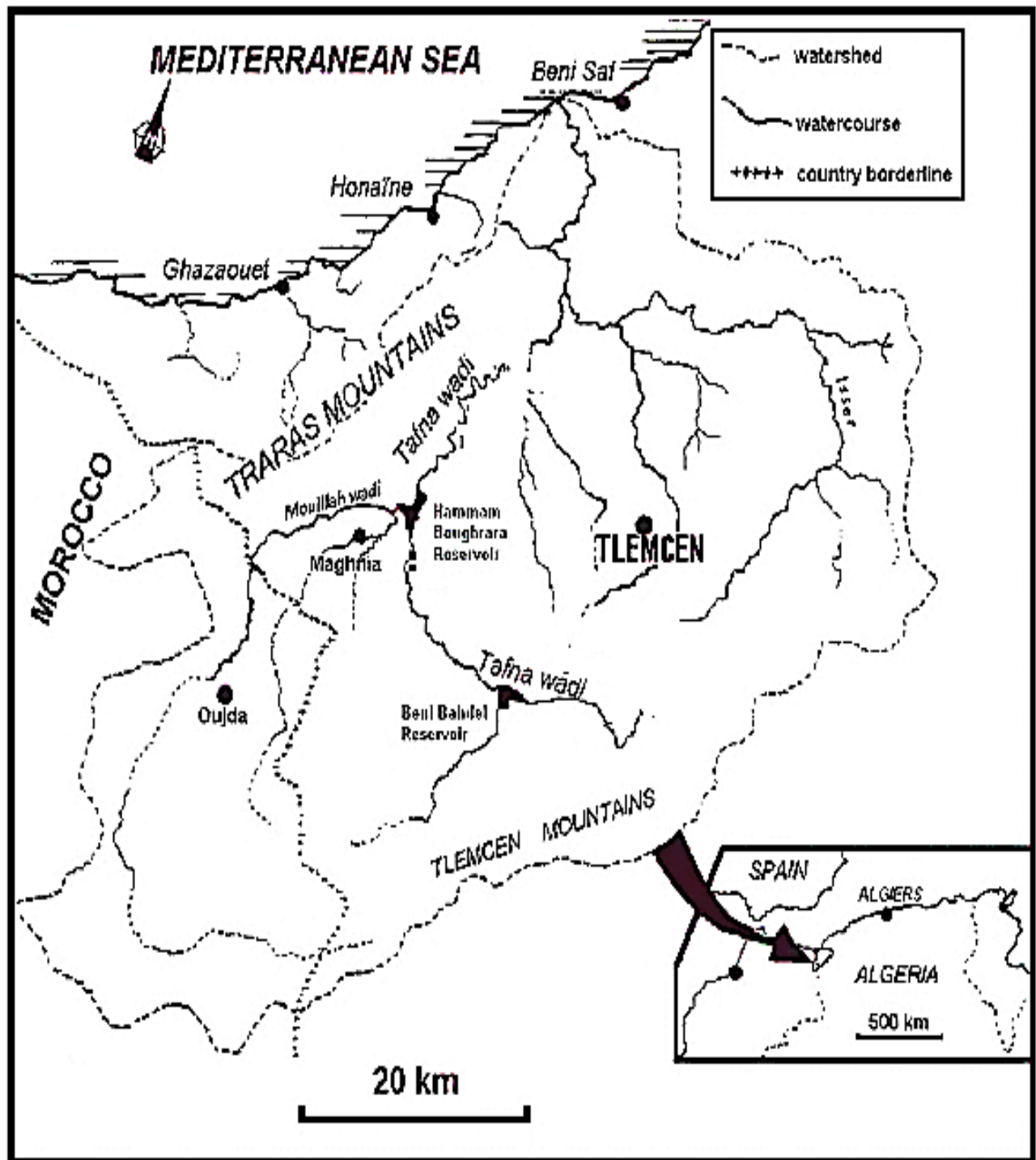


Figure 07:Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Tafna (Belaidi et al, 2011 modifié).

II. Cadre géologique :

D'après Chaumont (1965), le bassin versant de la Tafna présente trois formations géologiques bien distinctes :

❖ Région du nord:

Les massifs montagneux des monts des Beni-Snassen et des Traras sont constitués de formations jurassique moyen et inférieur qui se prolongent sous les puissantes assises marneuses du Miocène à faciès tantôt argileux calcaire marneux ou encore grés-marneux.

❖ Région sud :

Les massifs calcaires des monts du Tlemcen sont constitués par des dépôts carbonatés du Jurassique supérieur calcaires et gréseux.

❖ Au centre :

La dépression inter-montagneuse de la région de la plaine des Amgals et de Maghnia causée par les dépôts marins du Miocène supérieur et inférieur ainsi que des alluvions de sable et de gravier.

D'après Aime (1991), les différents substrats géologiques de l'Oranie nord occidental sont regroupés en quatre principales formations (Fig. 8):

- ❖ Les formations carbonatées.
- ❖ Les formations non carbonatées.
- ❖ Les formations volcaniques.
- ❖ Les formations quaternaires.

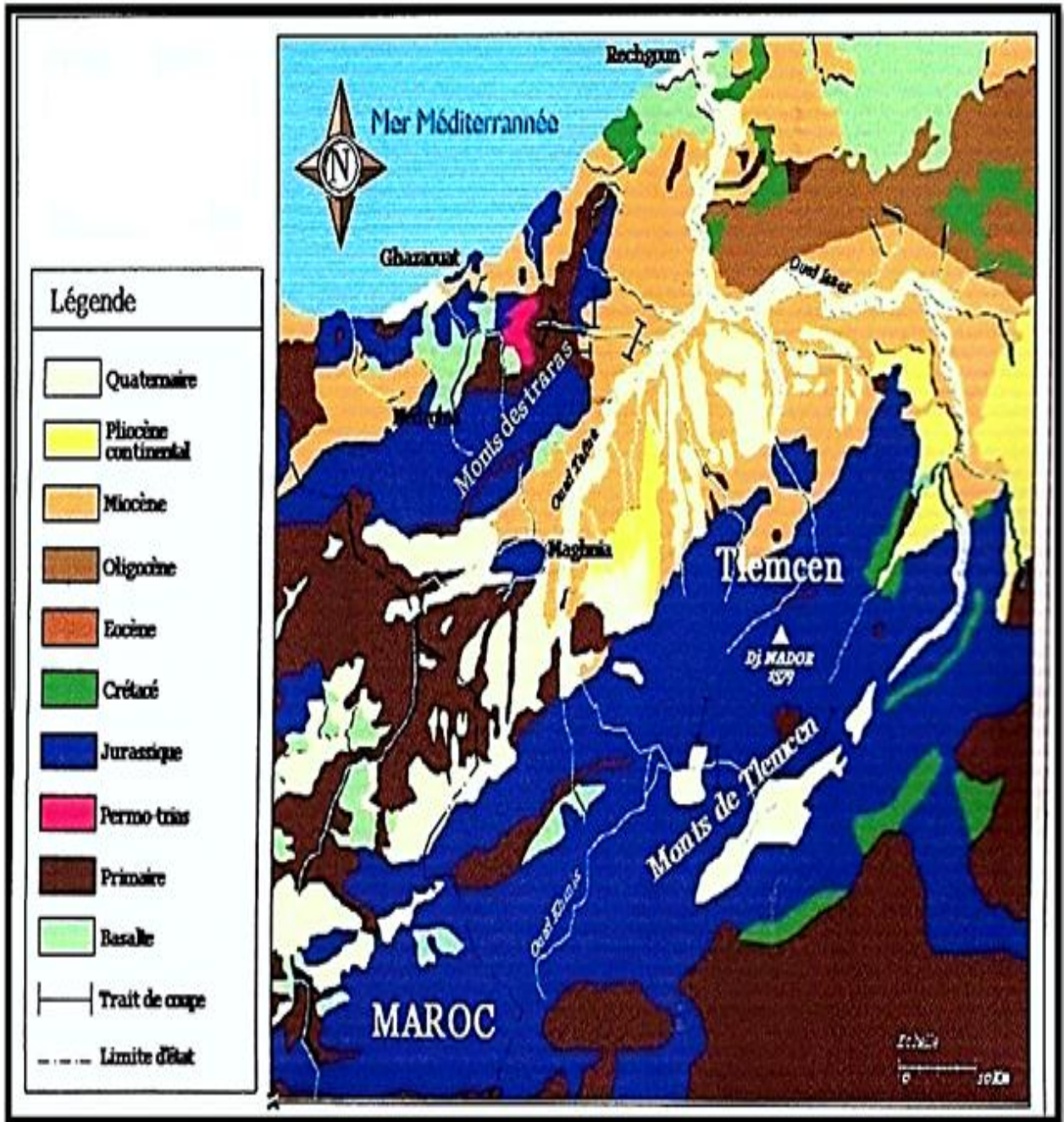


Figure 08 : Carte géologique du Nord-Ouest Algérien (Source BENEST 1985)

III. Climatologie régionale :

Cette analyse bioclimatique a pour objectif de suivre l'évolution des paramètres climatique de la région d'étude. Une comparaison entre l'ancienne et la nouvelle période a aussi été envisagée.

Pour la nouvelle période (NV) (1981-2011), nous avons utilisé les résultats fournis par l'ONM. Pour l'ancienne période (AC), nous avons considéré les données de Seltzer (1913-1938). Nous avons utilisé les données climatiques de la région de Sebdu.

Tableau n°1: Données géographiques de station météorologique.

Stations	Latitude	Altitudes	Longitudes	Orientation
Sebdu	32° 42' 00''N	1100 m	1° 18' 30'' W	N-S

III. 1- Les facteurs climatiques :

III. 1-1 La pluviosité:

Ce sont des précipitations surtout liquides qui constituent le facteur essentiel, leur quantité moyenne mensuelle et annuelle est l'un des paramètres qui permet de caractériser le climat. La pluviosité est le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat (Djebaili , 1978).

Tableau n°2: Précipitations et des températures moyennes mensuelles et annuelles durant les deux périodes

Période		Moyennes mensuelles des précipitations et des températures												T°C (moy)	P(mm) (annuelle)	M	m
		J	F	M	AV	M	J	JT	AT	S	O	N	D				
AC (1913-1938)	P	43	41	37	25	34	15	5	7	19	32	35	42		326		
	T	7.5	9.95	8.57	12.25	12.1	21	30.55	23	23.25	18.8	14.5	19.15	16.71		36.7	3.8
NV (1981-2011)	P	41.1	37.9	35.2	27.1	26.5	8.7	4	6.2	17.5	25	35.3	36.1		300.5		
	T	8.19	9.87	12.1	15.74	20.16	35.46	41.74	41.46	35.75	28.14	22.61	14.06	17.6		36.8	3.97

III. 1-1-1 Le régime mensuel:

Le régime des précipitations de la zone d'étude est représenté par les tableaux n° 2 et la figure 9, nous permettant de distinguer deux périodes en cours de l'année:

La première période pluvieuse s'étale de Novembre à Avril, avec un maximum de 43 mm et 41.1mm qui se situe au mois de janvier pour l'ancienne et la nouvelle période respectivement. La période sèche coïncide avec la saison estivale. Elle s'étale de Mai à Octobre avec un minimum de 5mm et 4mm au mois de Juillet pour l'ancienne et la nouvelle période respectivement.

III. 1-1-2 Régime annuel :

Les précipitations moyennes annuelles établies sur un grand nombre d'année (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle.

Tableau n°3: Les moyennes annuelles des précipitations des deux périodes.

Stations	AC	NV
P (moyennes annuelles)	326	300,5

Dans la zone d'étude, l'ancienne période se caractérise par des précipitations nettement plus importantes que la nouvelle. La moyenne annuelle de la période 1913-1938 est de 326 mm, celle de la période 1981-2011 est de 300.5mm. Ceci traduit un déficit de 25mm en moyenne durant les 30 dernières années.

III. 1-1-3 Variation inter annuelle des précipitations:

Le volume des précipitations diffère d'une année à l'autre car les précipitations sont très irrégulières. L'intérêt de cette étude est de montrer les fluctuations qu'a subies la région d'étude sur plusieurs années.

Afin de pouvoir comparer les résultats interannuels, nous avons les données des 30 dernières années. Le tableau 4 et la figure 4 montrent la répartition des précipitations interannuelles dans la station de Sebdoou pour la période (1981-2011):

14 années ont une pluviométrie inférieure à la moyenne de 300.5mm, 1995 représente l'année la plus humide avec un maximum de 694 mm et 2011 représente l'année la plus sèche avec un minimum de 105.82 mm.

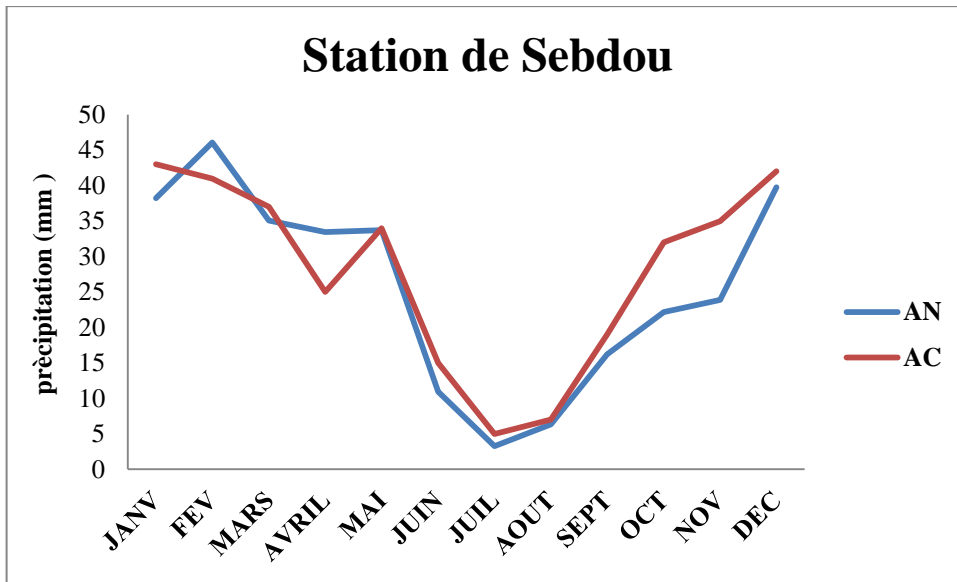


Figure 9 : Variations mensuelles des précipitations.

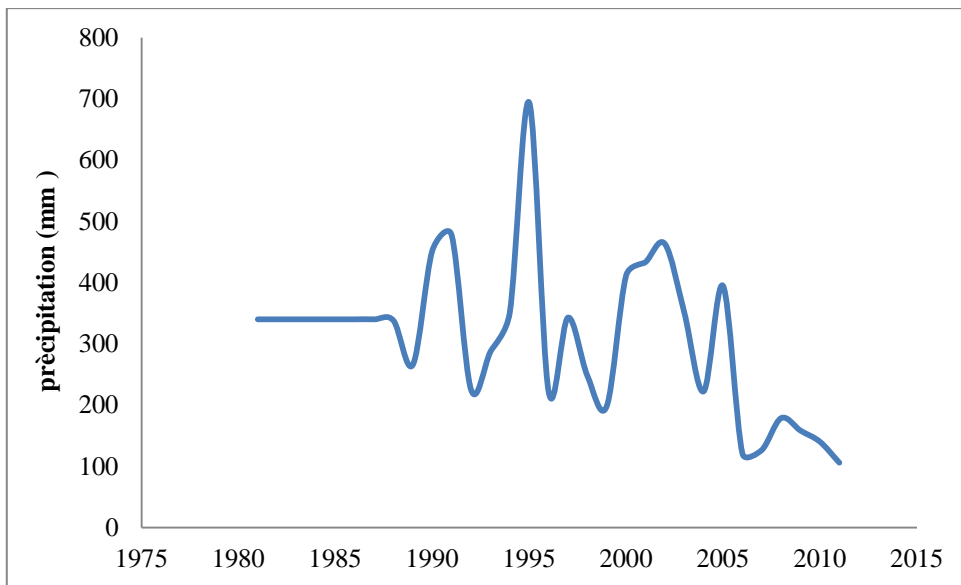


Figure 10: Variations annuelles des précipitations de la station de Sebdoou .

III. 1-2 Critères thermiques:

La caractérisation de la température en un lieu donné se fait à partir de quatre variables au minimum :

Les températures moyennes mensuelles ;

- Les températures maximales « M » ;
- Les températures minimales « m » ;
- L'écart thermique.

III. 1-2-1 Les températures moyennes mensuelles:

Les températures moyennes mensuelles pour la station de Sebdou sont comprises entre 8.19°C au mois de Janvier et 41.46 °C au mois d'Août pour la nouvelle période (1981-2011). La température moyenne annuelle est de 17.6°C. Pour l'ancienne période elle varie entre 7.5°C au mois de Janvier et 30.55 °C au mois de Juillet. La moyenne annuelle n'est que de 16.71°C, traduisant une augmentation d'environ 1.11°C en moyenne à la période actuelle.

Tableau n°4: Amplitude thermiques des stations durant les deux périodes.

Période	T moyennes (°C)	M °C	m °C	M-m
AC	16.71	36.7	3.8	32.9
NV	17.77	36.8	3.97	32.83

III. 1-2-2 La température moyenne des maxima du mois le plus chaud "M" et les minima du mois le plus froid « m » :

Pour les deux périodes, les mois les plus chauds pour la station de Sebdou sont Juillet et Août avec des maxima de 32.83°C et 32.9°C respectivement. Pour les deux périodes, le mois le plus froid est Janvier avec des minima de 3.97°C et 3.8°C respectivement.

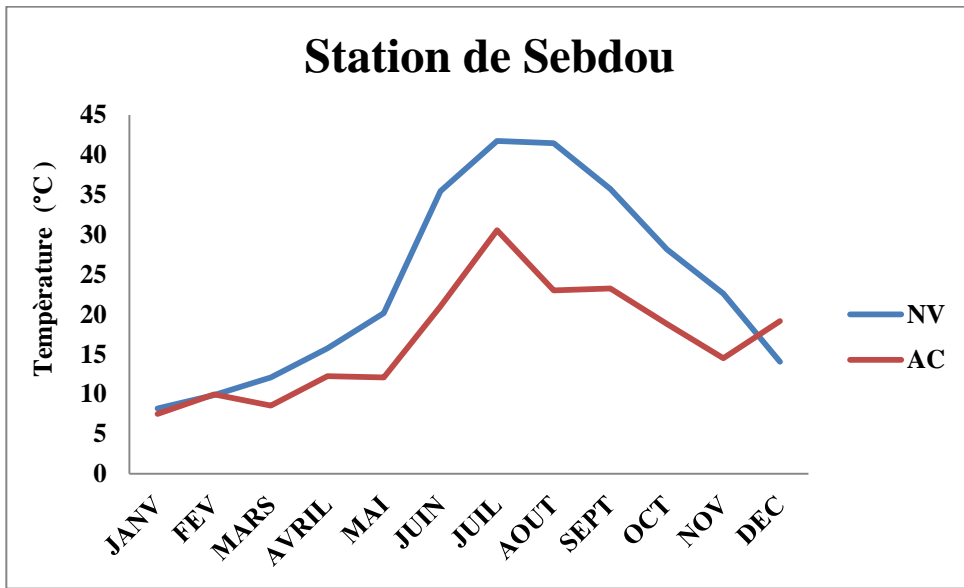


Figure 11: Variations mensuelles des températures de la station de Sebdou

III. 1-2-3 Indice de continentalité:

L'indice de continentalité est défini par rapport à l'amplitude thermique moyenne (M-m). Il permet à son tour de préciser l'influence maritime ou au contraire continentale d'une région donnée. D'après Alcaraz (1983) quatre types de climats peuvent être calculés à partir de M et m.

Tableau n° 5: Indice de continentalité

Période	M-m °C	Type du climat
AC	32.9	climat semi-continental
NV	32.83	climat semi-continental

A partir de cette classification, on remarque le passage de type semi continental pour la station de Sebdou pour les deux périodes.

III. 1-3 Synthèse bioclimatique:

Cette synthèse est faite à partir des travaux d'Emberger (1930-1955), Bagnouls et Gaussen (1953), et De Martone (1926) appliquées sur nos données météorologiques pour le but d'apprécier le climat de la région d'étude.

III. 1-3-1 Classification des ambiances bioclimatiques en fonction de « T », « m » :

En réalité l'analyse d'un seul paramètre comme les précipitations, le « M » ou le « m » ne peut individuellement donner une image réelle du milieu par contre les combinaisons permettent de mieux concerner le problème (Quézel ,1974; Rivas-Martinez, 1975; Ozenda, 1975, 2002).

Quézel et Médail (2003). Au terme de ces études, il s'avère que la station de Sebdou appartient à l'étage thermo méditerranéen pendant les deux périodes.

III. 1-3-2 Indice de DE MARTONNE :

De Martonne (1926) a défini cet indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprimé par la relation suivante:

$$I = \frac{P(mm)}{T^{\circ}C + 10}$$

I : indice de De Martone.

P : pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en (°C).

Tableau n°6: Indice de De Martone

Période	I (mm/°C)	Type de climat
AC	12.2	climat semi-aride
NV	10.89	climat semi-aride

L'indice de De Martonne de la station diminue de 12.2 à 10.89 entre les deux périodes. La station est dans le semi-aride sec à drainage temporaire avec une aridité croissante.

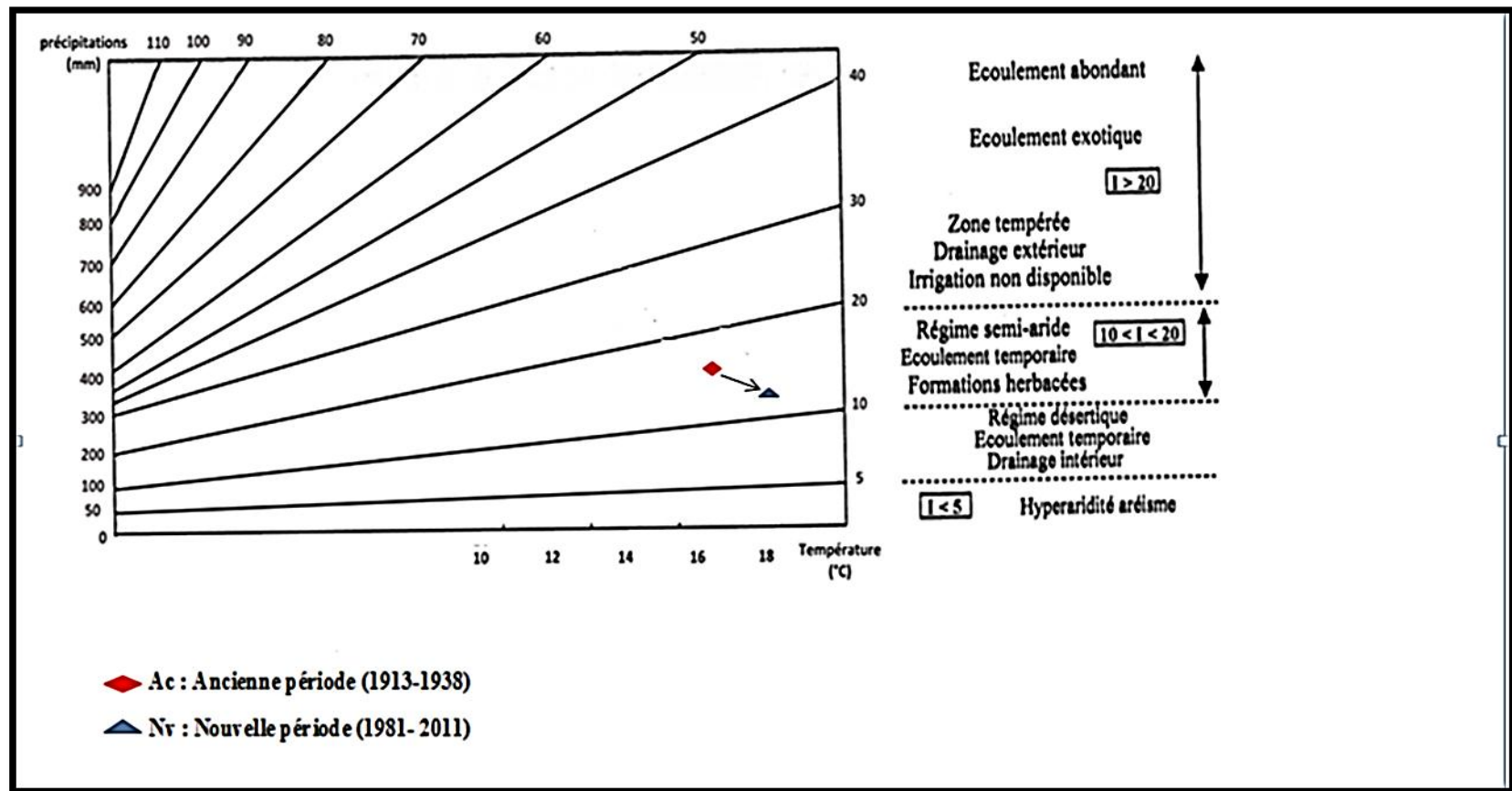


Figure 12: Indice de l'aridité de DE MARTONNE (station de Sebdo)

III. 1-3-3 Quotient pluviothermique d'Emberger :

Emberger en 1952, a établi un quotient pluviothermique le Q2, qui est spécifique au climat méditerranéen. Il est plus fréquemment utilisé en Afrique du nord et en France méditerranéenne. Le quotient (Q2) a été formulé de la façon suivante.

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

P : pluviosité moyenne annuelle

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

m : moyennes des minima du mois le plus froid « m » ($t^{\circ}k = t^{\circ}C + 273$).

Tableau n° 7: Etages bioclimatiques des stations météorologiques durant deux périodes en fonction de m et Q2 d'EMBERGER (1955).

Période	m	Q2	Etage bioclimatique
AC	3.8	33.78	Semi-Aride inférieur à hiver tempéré
NV	3.97	31.19	Aride supérieur à hiver tempéré

L'étude comparative de ces résultats montre qu'il y a une diminution du taux du Q2 durant la période récent par rapport à l'ancienne période. Les valeurs du Q2 sont 33.78 durant l'ancienne période et 31.19 pour la nouvelle période. Le climagramme d'Emberger de la station de Sebdu montre un redressement d'étage semi - aride inférieur à hiver tempéré vers un étage aride supérieur à hiver tempéré.

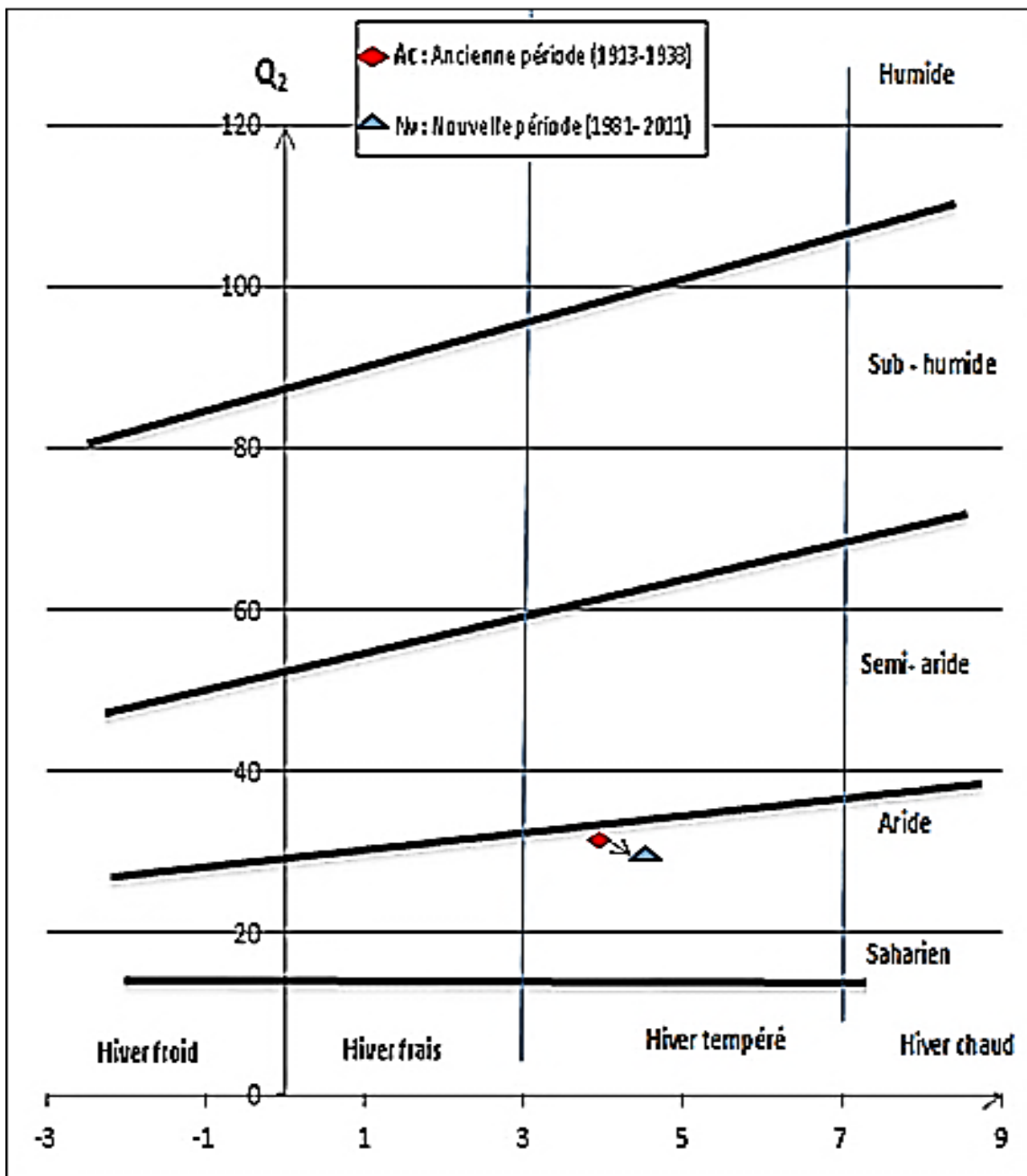


Figure n°13 : Climagramme pluviothermique du quotient d'Emberger Q_2 de la station de Sebdu

III. 1-3-4 Diagrammes ombrothermique de Bagnouls et Gaussen :

Bagnouls et Gaussen (1953) ont établi un diagramme qui permet de dégager la durée de la période sèche en s'appuyant sur la comparaison des moyennes mensuelles des températures en °C avec celles des précipitations en mm ; en admettant que le mois est sec lorsque « P est inférieur ou égal à 2T ».

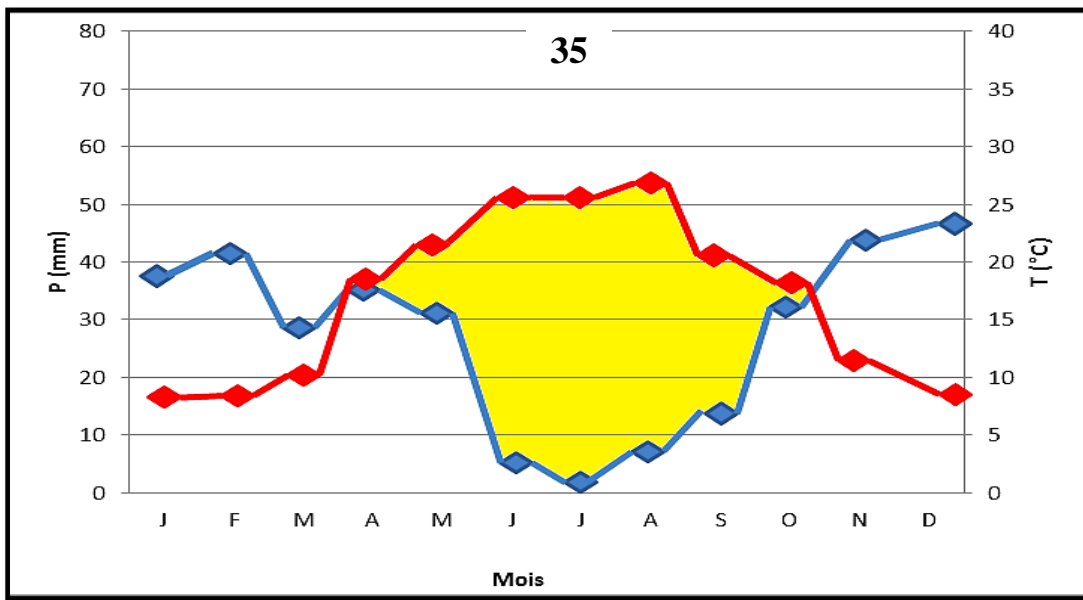
Donc, pour la détermination de la période sèche, on doit se référer à ces diagrammes ombrothermiques, en considérant le mois sec lorsque $P \leq 2T$ avec:

Les diagrammes ombrothermiques sont établis pour la période ancienne (1913-1938) et pour la nouvelle période (1981 -2011). Comme le montre la figure 14, la station est caractérisée par une sécheresse estivale qui s'étend de 6 à 7 mois, la comparaison des diagrammes établie par chacune des périodes pour la station nous permet d'identifier une accentuation nette de la période sèche pour la nouvelle (de Avril à Octobre) période par rapport à l'ancienne période (de mai à octobre).

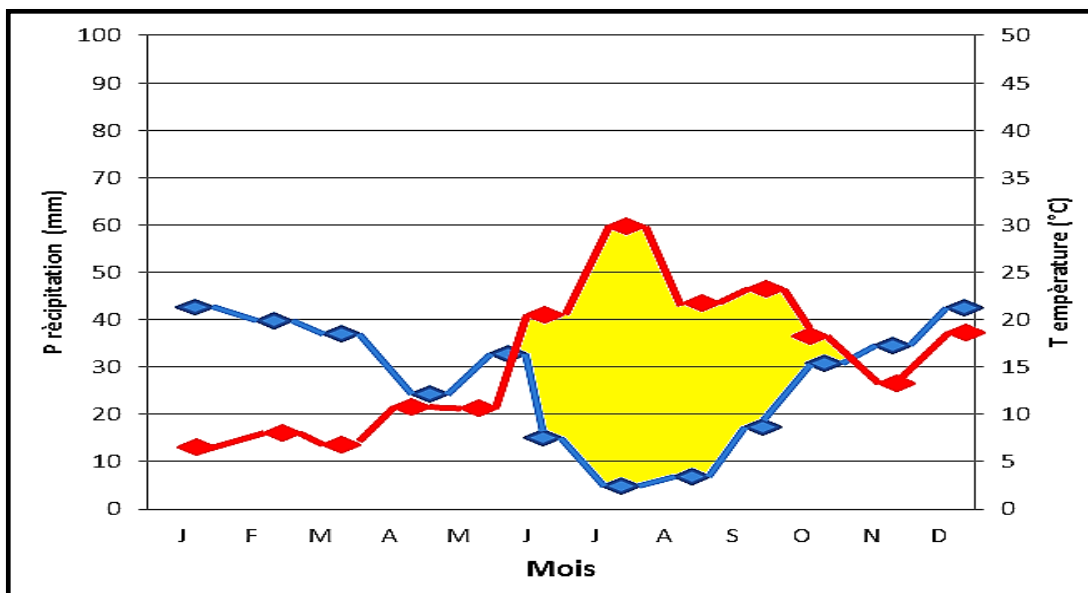
III. 2 – CONCLUSION :

L'analyse des données climatiques montre que la région est sous un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec.

Nouvelle période (1981 -2011)



L'ancienne période (1913 -1938)



Période de sécheresse

 Précipitation

 Température

Figure n°14: Diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gausson (Station de Sebdoou durant les deux périodes).

IV. Description de la zone d'étude : la Haute Tafna :

La station de Ghar Boumâaza est encaissé ³⁶ les massifs de l'Atlas tellien, sa superficie est de 256Km². C'est une zone karstique par excellence, se situe sur une colline couverte d'une végétation clairsemée. Du côté gauche de la route nationale 22, reliant Tlemcen à Sebdou, Ghar Boumâaza est limité au Nord par le mont Echebreg haut de 1.351m et l'Oued Essafssaf, à l'Ouest par la forêt de Daher El Berhal, à l'Est par la forêt de Merchiche et au sud par El Habalet et Sebdou. Ghar Boumaaza est limité :

La station T0 représente le contrebas de la grotte de Ghar Boumaaza. Elle est considérée comme la source de l'oued Tafna. Elle est caractérisée par :

- **Altitude : 1100 m**
- **Latitude : 32 ° 42' 00'' N**
- **Longitude : 1 ° 18' 30'' w**
- **Orientation : N - S**

En période des hautes eaux, le cours superficiel et souterrain est en continuité. Dès que l'écoulement se réduit, la rivière souterrain n'atteint plus l'entrée de la grotte ou ne subsiste le plus souvent qu'une mare. L'origine de l'eau de la grotte sont les pluies qui tombent sur le plateau dolomique de Terny au Sud et au Sud-Est de Djabel. L'entrée de la grotte apparait sur une colline couverte et le cours commence plus loin de la grotte (**environ 100 m**). Le débit d'écoulement est fort et la couleur de l'eau est claire avec un substrat hétérométrique constitué de bloc, de galets et de pierres ainsi que du sable.

La station T0 est située dans une garrigue ou l'on rencontre du chêne vert peu développé avec la présence d'autres espèces, telles que *Ampelo des mamauritanicum*, *Calycotome intermedia*, *Chamaerops humilis* et *Asphodelus microcarpus*.

Deux sites A et B distant de 500 m environ, ont été choisis dans notre station d'étude

❖ **Le site A :**

Le site A se trouve en amont de la station, caractérisé par un fort écoulement avec une eau claire, un substrat composé principalement de ga ³⁷ de blocs ainsi que de sable. Aucun couvert végétal au niveau de site A. le site A représenté un seuil.

❖ **Le site B :**

Le site B se trouve à environ 500 m en aval du site A, l'écoulement au niveau de site B est plus lent que le site A, il est caractérisée par un substrat formé de pierres et des éléments fins (argile, limon et sable) et l'absence de couvert végétale. Il est considéré de point de vue géomorphologique comme une mouille.

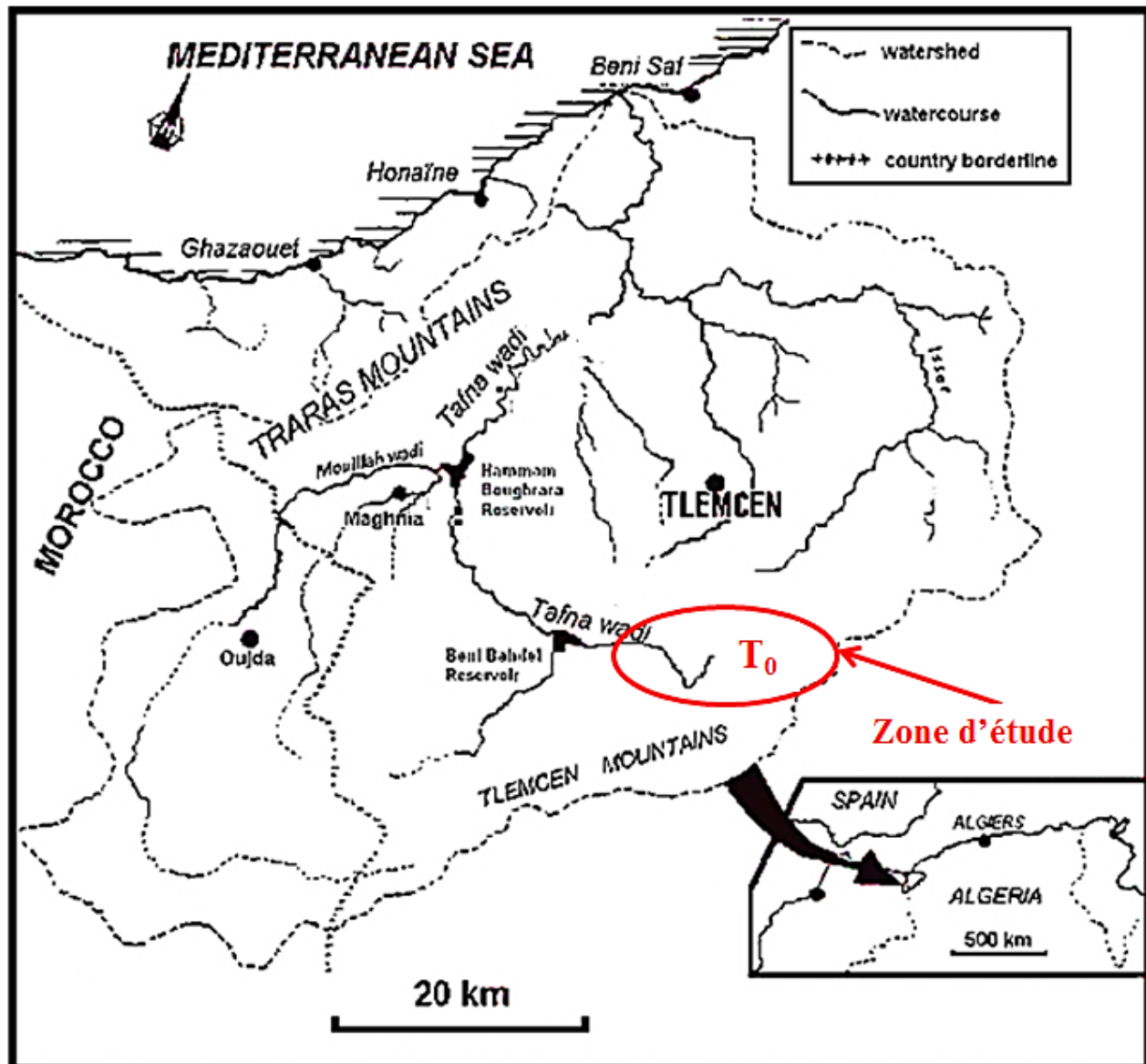


Figure n°15 : Bassin versant de la Tafna et localisation de la station étudiée



Photo de la station T_0 (le site A)



Photo de la station T_0 (le site B)

Matériel

et Méthodes

Au cours de cette étude, huit campagnes d'échantillonnages ont permis d'établir un suivi annuel de la faune aquatique, de Mars 2011 à Avril 2012. Les prélèvements faunistiques sont accompagnés de l'analyse de quelques paramètres physicochimiques de l'eau:

Les prélèvements ont eu lieu dans le milieu superficiel et dans le milieu hyporhéique de la station T0, au niveau de deux sites A (seuil) et B (mouille). Les deux rives et deux profondeurs (30cm, 60cm) sont échantillonnées au niveau de chaque site.

I. Analyses physico-chimiques :

Quelques paramètres physicochimiques classiques sont mesurés en utilisant un appareil multi paramètre de terrain multi line (P4) de type (WTW).

I. 1-La température :

Elle est mesurée à l'aide de l'appareil multi paramètre et est exprimée en °C

I. 2 -L'oxygène dissous :

Le taux d'oxygène est exprimée en pourcentage de saturation (%) au en mg / L

I. 3- Le PH :

Il est relevé grâce à un pH mètre

I. 4- La conductivité électrique :

La conductivité est relevée par un conductimètre, et exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

II. Analyses granulométriques :

L'analyse granulométrique a pour but de quantifier pondéralement en pourcentage les particules du sédiment (sables, limons et argiles), et de définir la texture du sédiment. La méthode utilisée est celle de Casagrande (1934) basée sur la vitesse de sédimentation des particules dont la vitesse de chute est régie par la loi de stocks. Pour cette étude, nous avons prélevés des sédiments dans les deux rives au cours de 2 campagnes: l'une au cours de l'étiage, l'autre au cours des hautes eaux afin de considérer les deux périodes hydrologique naturelles.

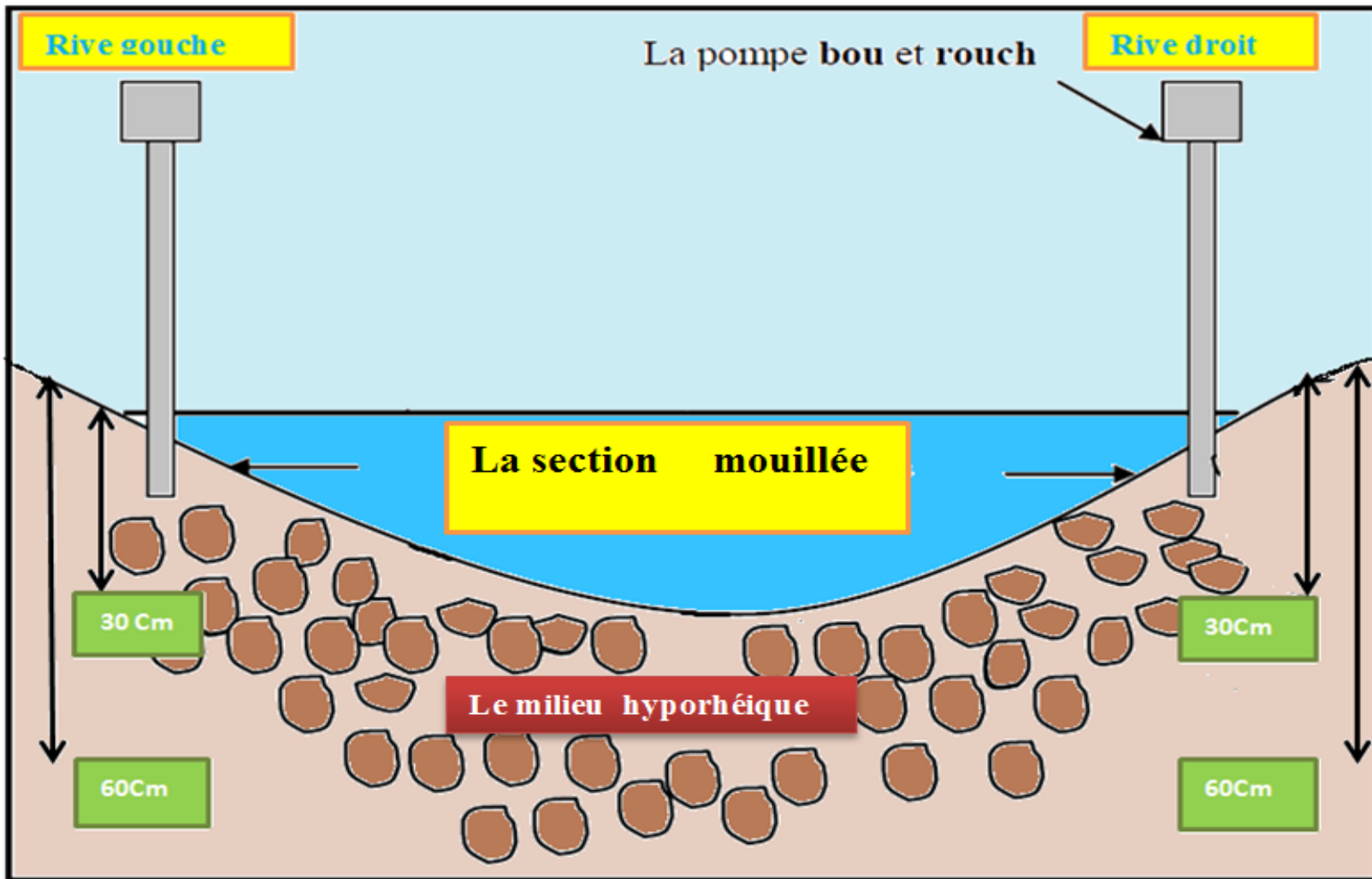


Figure 16 : Coupes transversales d'un Oued et situation des piézomètres.

III. Prélèvements faunistiques:

III. 1-Prélèvement dans le milieu superficiel :

Les prélèvements de la faune benthique ont été réalisés en utilisant un filet de type Surber de 300µm de vide maille. On immerge le filet jusqu' au fond du cours d'eau dans le sens contraire du courant, puis on racle le substrat dans une surface de 1/10 m² et on lave les prélèvements à l'intérieur du filet, selon les technique d'échantillonnage des eaux courantes peu profondes (Lamotte et Bourliere ,1971). Au cours de chaque campagne, 3 mésohabitats différents définis par deux paramètres physiques du milieu (le substrat et la vitesse du courant) ont été échantillonnés à chaque campagne.

Les échantillons obtenus sont fixés au formol à 5% dans un bocal et transportés ensuite au laboratoire

III. 2-Prélèvement dans le milieu hyporhéique

Les invertébrés ont été prélevés dans le milieu hyporheique en utilisant la pompe Bou-Rouch (Bou et Rouch 1967, Bou 1974). Deux profondeurs sont échantillonnées (30cm et 60cm) à chaque campagne au niveau de chaque rive (RD et RG) dans les deux sites (A et B).

❖ Principe :

La pompe se révèle rentable pour les biologistes (Bou1974), car elle permet d'aspirer le milieu interstitiel s'étant reconstitué autour de la crépine, le premier prélèvement aspire d'importantes quantités des matériaux solides ainsi que les animaux qui s'y étaient installés. Le but de la méthode des sondages tubé sera donc de prélever le maximum de matériaux à l'aide d'un courant d'eau afin d'entraîner les animaux interstitiels libres et fixés qui seront séparés ultérieurement des sédiments. La technologie de la pompe est par conséquent essentielle car il ne s'agit pas d'une pompe à eau dont l'étanchéité serait vite compromise par l'abondance des matériaux solide en suspension dans l'eau. L'appareil doit perturber au maximum le milieu pour

provoquer un « rabattement de la faune » plus ou moins localisé à la profondeur de la crépine (Bou, 1974).

Le volume échantillonné est limité à 10 litres. Le mélange de sédiments et d'eau obtenu par pompage est versé dans un seau de 10 litres et élu trié plusieurs fois pour séparer les animaux des sédiments. Le surnageant est filtré à travers un filet de vide de maille de 150 μm .



Figure 17 : Filet Surber

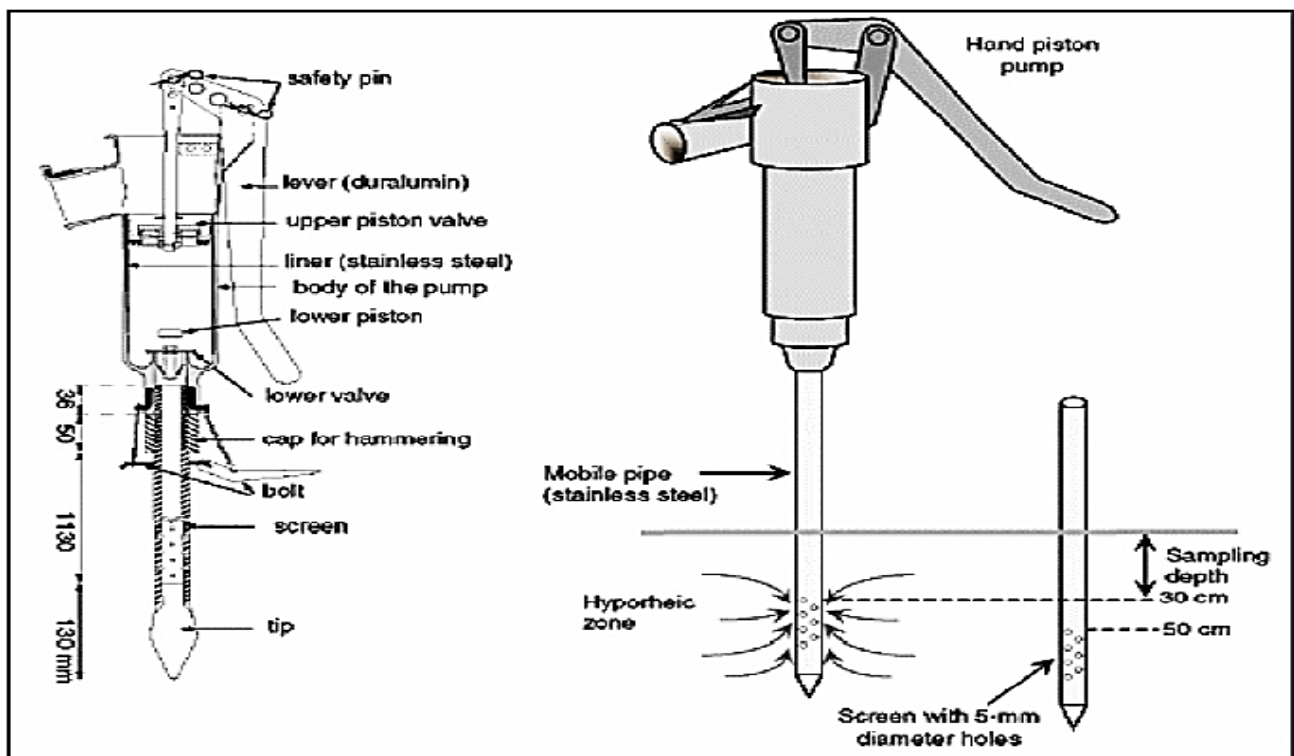


Figure 18 : Schéma de la pompe Bou-Rouch (Pascalis , 2006).

III. 3-Traitement des échantillons au laboratoire :

Les organismes sont triés et conservés dans de l'alcool à 70% avant d'être identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire. Les déterminations ont été réalisées à l'aide de la clef des macros invertébrées aquatiques (Tachet et *al*, 1980 ; Tachet et *al*, 2000). La détermination a été menée au niveau taxonomique le plus précis possible en fonction du groupe considéré (disponibilité des clefs de détermination), du stade de développement et de l'état des spécimens. Le niveau de détermination n'étant pas le même pour tous les groupes zoologiques, nous parlerons de « taxon » pour désigner une unité systématique quelconque.

IV. Traitement des données

IV. 1- ANOVA :

C'est un test statistique qui permet de comparer les moyennes de plusieurs populations supposées normales et de même variance à partir d'échantillons aléatoires simples et indépendants les uns des autres. En pratique, le but de l'analyse de variance est de tester l'influence d'un ou de plusieurs facteurs ou effets sur une variables traduisant l'influence de ce (ou ces) facteur (s). Tester l'influence d'un facteur sur la variable étudiée revient à tester l'existence ou l'absence de différences entre les diverses modalités de ce facteur.

La variabilité spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et des peuplements faunistiques des eaux a été mise en évidence à l'aide des tests statistiques, en utilisant le logiciel "Minitab version16". représenté par analyses de variances (ANOVA), Dans notre cas l'Anova1 a été utilisé pour tester les différences qui pouvaient exister entre les différents sites (A, B), les différents profondeurs (superficiel, 30cm, 60cm) prospectés et entre les différentes périodes hydrologiques (hautes eaux et étiage).

IV. 2- Test de Kruskal-Wallis :

Des analyses de variances (ANOVA) et de tests a posteriori de Fisher ont permis l'étude de la variabilité temporelle des peuplements faunistiques. Des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis suivi de tests a posteriori (Multiple comparison between treatments) ont été utilisés pour mettre en évidence les différences spatiales.

La comparaison des échantillons granulométrique prélevés a été effectuée à l'aide d'un test de comparaison non paramétriques de Kruskal-Wallis qui a permis de savoir si les textures du sol présentaient une différence significative entre les deux point (A et B) choisies et entre les périodes hydrologiques (étiages/haut eaux).

IV. 3- Indices de diversité :

La diversité peut se définir comme une mesure de la composition faunistique d'un écosystème, en termes de nombre d'espèces et de leur abondance relative. 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 fondent sur le principe selon lequel, dans un milieu non perturbé, les communautés sont relativement diversifiées (richesse spécifique élevée et uniformité de distribution).

Parmi les nombreux indices de diversité existants, nous avons choisi l'indice de Shannon (1949) qui est couramment utilisé en Écologie aquatique en tant que paramètre synthétique de la structure des communautés : H' fondé sur la théorie de l'information qui considère séparément deux composantes de la diversité : le nombre d'espèces et la régularité de leur distribution de fréquence.

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

P_i : représente l'abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon ($p_i = n_i/N$).

Un indice de diversité élevé correspond à des conditions de milieu favorables permettant l'installation de nombreuses espèces.

IV. 4-4 Analyse factorielle des correspondances AFC :

L'analyse factorielle des correspondances traite des tableaux de contingence (tableaux de dépendance) dans lesquels un couple (i, j) correspond à un nombre positif k_{ij} qui est en général le résultat d'un dénombrement.

Les données de base sont habituellement regroupées dans un tableau. On étudie simultanément, sur une population, deux variables qualitatives I, J pouvant prendre respectivement n et p valeurs (ou modalités). On note k_{ij} le nombre d'individus appartenant simultanément aux catégories i et j des variables I et J.

Dans notre cas nous avons traité les résultats faunistiques par une analyse factorielle des correspondances (AFC) pour déterminer la répartition saisonnière (étiages/haut eaux), verticale (superficiel ,30cm ,60cm) et spatiale (A, B) de la faune identifiée en réalisant une analyse discriminante inter-classe (between group analysis) au moyen du logiciel **ADE4** de Chessel et Doledec , (1991).

Références

Bibliographique

Référence Bibliographique

1. **Aimé, S., 1991.** Etude écologique de la transition entre les bioclimats sub-humides, semi-arides et arides dans l'étage thermo- méditerranéen du tell Oranais (Algérie Nord occidentale). Thèse. *Doct. Es-Sci. Univ. Aix-Marseille III. 185p + annexes.*
2. **Alcaraz , L., 1982.** La végétation de l'Ouest Algérien. Thèse. *Doct. Univ. Perpignan.415p.*
3. **Arignon, J., 1976.** Aménagement écologique et piscicole des eaux douces, *3^{ème} édition, Ecol, Fo, Appl : 54-55.*
4. **Bagnouls, F., et Gaussen, H., 1953 .** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist.Nat. Toulouse (88). Pp : 3-4 et 193-239*
5. **Belaidi , N., Taleb ,A ., et Gagneur , J .,2004.** Composition and dynamics of hyporheic and surface fauna in relation to the management of a polluted reservoir. *Int J Lim 40:237–248.*
6. **Bendiouis,C., Chaoui Boudghène ,S., 1991 .**Contribution à l'étude de la qualité des eaux des puits de la ville de Tlemcen à partir d'une étude faunistique, *Mém ,Ing ,Fac ,Sc, Univ, Tlemcen (Algérie):53p*
7. **Benhadji, N., 2013.**Etude de la faune hyporéique des zone source dans les de Tlemcen .*Mém.Mag Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 143p*
8. **Berrady ,I., Essafi ,K., et Mathieu ,J., 2000.** Comparative physico-chemical and faunal studies of two thermal spring brooks near Sidi Harazem (Morocco)., *Ann. Limnol.-Int. J. Lim., 36(4): 261- 274.*
9. **Bou ,C., 1974.** Recherche sur les eaux souterraines. Les méthodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles. *Annexe. Spéolo, 29, 4, p. 611-619.*
10. **Bou ,C., Rouch, R., (1967) .**Un nouveau champ de recherches sur la faune aquatique souterraine.

- 11. Boutin, C., et Boulanouar , M., 1984.** Premières données sur la faune des puits des environs de Marrakech (Maroc occidental). *Verh. Intern.Verein. Limnol.*, 22: 1762-1765.
- 12. Bouzid, S., 2008.** Etude de la dynamique du phosphore dans la Tafna, *Thèse de Magistère, Univ, Tlemcen: 207p*
- 13. Bowker ,J., Sweeting, W., Wright ,N., Clarke1, R., Arnott. S.,2006.** The distribution of benthic and hyporheic macroinvertebrates from the heads and tails of riffles. *Hydrobiologia (2006) 563:109–123*
- 14. Bowker, Y., Sweeting,W., Wright ,N., Clarke, R., et Arnott,S., 2006.** The distribution of benthic and hyporheic macroinvertebrates from the heads and tails of riffles. *Centre for Ecology & Hydrology, Winfrith Technology Centre, DT2 8ZD, Dorchester, Dorset, UK*
- 15. Brunke, M., Gonser, T., 1997-** The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology* 37 (1), 1–33
- 16. Bruno, C., Bruno, M., Carolli ,M ., and Silveri,L., 2009.** Impact of hydropeaking on hyporheic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). *Via E. Mach 1,38010 S. Michele all'Adige (TN), Italy*
- 17. Calaret ,C., Marmonier ,P., Dole -Olivier M. J., Creuze DES Chatelliers, M., Boulton, A.J. ,et Castella E., 1999.** A functional classification of interstitial invertebrates: supplementing measures of biodiversity using species traits and habitat affinities. *Archiv. für. Hydrobiologie, 145: 385-403*
- 18. Casagrande A., 1934 –** Die oraemeter methodzûr bestimmung der koruverbeilung von boden. Berlin. 66p.
- 19. Chaumont, M., 1965.** Les influences des régimes climatiques en France, en Espagne et en Afrique du nord et leurs conséquences hydrologiques. Ed. A. Manguin.
- 20. Chessel ,D., et Doledéc., 1991.** Recent developments in linear ordination methods for environmental sciences. *Advances in Ecology, India* 1:133-155.
- 21. Datry ,T., Dole-Olivier ,M-J., Marmonier ,P., Claret ,C., Perrin, J-F., Lafont, M. et ., Breil P., 2008.** La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et

restauration des cours d'eau. Cemagref Lyon, UR BELY, *Biologie des écosystèmes Aquatiques In:Ingénieries - E A T, n° 54.*

22.Datry, T., Lafont, M., et Larned, S.T., 2010- Hyporheic annelid distribution along a flow permanence gradient in an alluvial river. *Aquat. Sci. (2010) 72:335–346*

23.Datry, T., Larned, S.T ., Scarsbrook, M.-R., 2007.Responses of hyporheic invertebrate assemblages to large-scalevariation in flow permanence and surface-subsurface exchange, *Freshwater Biology , n° 52, p. 1452-1462.*

24.Datry, T., Larned, S.-T., 2008- River flow controls ecological processes and invertebrate assemblages in subsurfaceflowpaths of an ephemeral river reach, *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*

25.Datry, T., Larned, S.T., 2008. River flow controls ecological processes and invertebrate assemblages in subsurfaceflowpaths of an ephemeral river reach, *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*

26.De martonne , E., 1927. Traité de géographie physique I, notions générales, hydrographie. Ed. A. Colin. Paris: 496p.

27.Djebaili, S., 1978.Recherches phytoécologiques et phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Saharien Algérien. *Thèse. Doct. Univ. Languedoc .Montpellier. 229p + annexes*

28. Dole-Olivier ,M.J., et Marmonier P., 1992. Patch distribution of interstitial communities: prevailing factors. *Freshwater Biology, 27: 177-191.*

29. Dole-Olivier, M. J., Marmonier, P., and Beffy, J. L., 1997. Response of invertebrates to lotic disturbance: is the hyporheic zone a patchy refugium *Freshwater Biology, 37:257–276.*

30. Dole-Olivier, M.J., 1998. Surface water-groundwater exchanges in three dimensions on a backwater of the Rhône River. *Freshwat.Biol.40:93-109.*

31. Dole-Olivier, M.J., et Marmonier, P., 1992a. Patch distribution of interstitial communities: prevailing factors. *Freshwater Biology, 27: 177-191.*

- 32.Dole-Olivier, M.J., et Marmonier, P., 1992b.** Effects of spates on interstitial assemblages' structure. Disturbance- perturbation relationship, rate of recovery. *Hydrobiologia* 230: 49-61.
- 33.Dole-Olivier, M.J., et Marmonier, P., 1992c.**Effects of spates on the vertical distribution of the interstitial community. *Hydrobiologia*. 230: 49-61.
- 34.Emberger L., 1955** – Une classification biogéographique des climats. *Recueil. Trav.Lab. Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier. pp : 3-43*
- 35.Feris, K.P., RamseyA, P.W., Frazar, C., Rillig, M.C., Gannon, J.E. & Holben, W.E.,2003.** Structure and seasonal dynamics of hyporheic zone microbial communities in free-stone rivers of the western United States Microbial. *Ecology* 46:200-215.
- 36.Fowler, R. T., and Scarsbrook ,M. R., 2002.** Influence of hydrologic exchange patterns on water chemistry and hyporheic invertebrate communities in three gravel-bed rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 36:471-482.
- 37.Gagneur ,J et Chaoui-Boudghane ,C., 1991.** Sur le rôle du milieu hyporhéique pendant l'assèchement des oueds de l'ouest Algérien. *Stygologia*, 6: 77-89.
- 38.Gaujous , D., 1993.** La pollution dans les milieux aquatiques. Aide-mémoire. *Editions Technique et Documentation*. 212 p.
- 39.Gaujous, D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2ème Ed. 217p.
- 40.Gayraud ,S., Philippe, M., 2001.** Does subsurface interstitial space influence general features and morphological traits of the benthic macroinvertebrate community in streams *Arch. Hydrobiol.*, 151, 667-686.
- 41.Gayraud, S., Herouin, E ., Philippe, M .,2001.** Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macro invertébrés . (1) *Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative, 3 Bis Quai Chauveau, 69336 LYON Cedex 09, France.*
- 42. Gibert, J., Mathieu, J. & Fournier, F. eds., 1997.** Groundwater / surface water ecotones: biological and hydrological Interactions and management options. *Cambridge University Press, Cambridge.*

- 43. Gnouma, R., 2002.** Etude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de Grézieu-La-Varenne à l'aide de traceurs isotopiques (oxygène 18) . *Unité de Recherche Hydrologie-Hydraulique*.
- 44. Guardia , P., 1975.** Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord occidentale. *Thèse .Doct. Nice. 256 p., 139 fig., 5 pl.*
- 45. Hahn, H. J., 2006.** A first approach to a quantitative ecological assessment of groundwater habitats: The GW Fauna-Index. *Limnologica, 36, 119–137.*
- 46. Hendricks ,S.P., 1993.** Microbial ecology of the hyporheic zone: a perspective integrating *hydrology and biology. 12(1): 70-78.*
- 47. Hose, G., Jones ,P .,et Richard ,P., 2004.** Hyporheic macroinvertebrates in riffle and pool areas of temporary streams in south eastern Australia. *Hydrobiologia (2005) 532: 81–90*
- 48. Jeffrey, T., Varricchione, Steven A., Thomas and G. Wayne Minshall1., 2005.** Vertical and seasonal distribution of hyporheic invertebrates in streams with different glacial histories . *Aquat Sci. 434 – 453*
- 49. Korichi ,N ., 2008.** Contribution à l'étude de la faune hyporéique et la faune superficielle de la haute Tafna nord-ouest Algérie. *Mém. Ing. Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 61p*
- 50. Lamotte ,M., et Bourlière ,E F., 1971.** Problèmes d'écologie : L'échantillonnage des peuplements animaux des milieux aquatiques. *Édit. MASSON, Paris, 294 p*
- Long-term population and community patterns of benthic macroinvertebrates and fishes in Northern California Mediterranean-climate streams *Hydrobiologia .DOI 10.1007/s10750-012-1373-9*
- 51. Malard, F., Ward, J.V., Robison, C.T., 2000.** An expanded perspective of the hyporheic zone, *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte .Limnologie , n° 27, p. 431-437.*
- 52. Malard, F., Tockner, K., Dole-Olivier, M.J., et Ward, J. V., 2002 .** A landscape perspective of surface subsurface hydrological exchanges in river corridors. *Freshwater Biology, 47, 621-640.*

- 53. Maridet , L., Philippe, M., 1995.** Influence of substrate characteristics on the vertical distribution of stream macroinvertebrates in the hyporheic zone. *Folia. Fac. Sci. Nat.Univ.Masarykiana Brunensis, Biologia, 21, 101-105.*
- 54. Maridet, L., 1994.** La végétation rivulaire, facteur de contrôle du fonctionnement écologique des cours d'eau : influences de la communautés benthique et hyporheique et sur les peuplements de poissons dans trois cours du massif central, *Thèse de Doctorat, Univ, Claude Bernard- Lyon I: 117p.*
- 55. Maridet, L., Philippe, M., Wasson ,J.G., et Mathieu,J., 1996.**Spatial and temporal distribution of stream macroinvertebrates and trophic variables within the bed sediment of threestreams differing by their morphology and riparian vegetation. *Archiv für Hydrobiologie 136: 41–64.*
- 56. Maridet, L., Wasson , J.G. et Philippe , M., 1992.**Vertical distribution of fauna in the bed sediment of three running water sites: Influence of physical and trophic factors. *RegulatedRiver: Research & Management, 7: 45- 55.*
- 57.Marmonier ,P., Dole-Olivier, M.J., et Creuzé des Châtelliers , M., 1992.**Spatial distribution of interstitial assemblages in the floodplain of the Rhône river. *Regulated Rivers: Research &Management 7, 75-82.*
- 58.Marmonier, P., Dole-Olivier ,M.J.,et Creuze des Chatelliers,M.,1992.** Spatial distribution of interstitial assemblages in the floodplain of the Rhone River. *Regulated Rivers 7: 75–82.*
- 59.Marmonier, P., et Creuzé des Châteliers M., 1991.** Effects of spates on interstitial assemblages of the Rhône River. Importance of spatial heterogeneity. *Hydrobiologia, 210: 243-251.*
- 60.Mermillod-Blondin , F., Creuzé des Châteliers ,M., Marmonier ,P., et Dole-Olivier ,M.J ., 2000.**Distribution of solutes, microbes and invertebrates in river sediment along a riffle-pool-riffle sequence. *Freshwater Biology, 44: 255-269*
- 61. Morette, A., 1964.** Précis d'hydrobiologie. *Masson, Paris, 532p.*

- 62. Mosslacher , F., 2000.** Sensitivity of groundwater and surface water crustaceans to chemical pollutants and hypoxia: implications for pollution management. *Arch. Hydrobiol.*, 149(1): 51-66.
- 63. Muller, K., 1982.** The colonization cycle of freshwater insects. *Ecologia* 52: 202–207.
- 64. Naiman, R.J., Décamps ,H., Pastor ,J., et Jhonston, C.A., 1988 a .** The potential importance of boundries to fluvial ecosystems. *Jrl. N. Am. Benthol. Soc.*7 (4): 289- 306.
- 65. Naiman, R.J., Holland, M.M., Décamps, H., and Risser , P.G., 1988b.** A new Unesco programme: research and management of land/inland water ecotones. *Biology international, Special Issue. 17:107-136.*
- 66. Nisbet ,M., et Verneaux , J., 1970.** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Ann.Limnol.*, 6, 2: 161-190.
- 67. Olsen , DA., Townsend, C.R ., 2003.** Hyporheic community composition in a gravel-bed stream: influence of vertical hydrological exchange, sediment structure and physiochemistry. *Freshwater Biology* 48: 1363-1378.
- 68. Orghidan , T., 1959.** Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers. Der hyporheische Biotop. *Arch. F. Hydrobiol.*, 55(3): 392- 414.
- 69. Ozenda ,P ., 1975 c.** Sur les étages de végétation dans les montagnes du Bassin méditerranéen. *Doc.Cartogr. Ecol. XVI : 1-32*
- 70. Ozenda ,P .,2002.** Sur la définition d'un étage de végétation supra- méditerranéen en Grèce.- Veroffenti. d.*Geobot. Inst. ETH Zurich*, 55, 84-98
- 71.Ozenda, P ., 1975 b.** Les limites de la végétation méditerranéenne en montagne en relation avec le projetde Flora Mediterranea.- *Coll. Intern. du CNRS* 235 : 335-343
- 72. Painchaud, J., 1997.** La qualité de l'eau des rivières du Québec : État et tendances. Directiondes écosystèmes aquatiques. *Rapport du Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec.* 55p.

- 73. Pascalis ,S., 2006.** Protocols for the ASsesment and Conservation of Aquatic Life In the Subsurface : www.pascalis-project.com.
- 74. Payrard ,D., 2008.** Un model hydrobiogéochimique pour décrire les échanges entre l'eau de surface et la zone hyporheique de grande plaine alluviale, *Thèse de Doctorat, Univ, Toulouse III- Paul Sabatier: 276p.*
- 75. Pryce, D., Willby, N., and Givear, D., 2010.** An investigation into the hyporheic zone of gravel bed rivers in Scotland and its associated fauna. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No.397.
- 76. Resh, H., Beche, A., Lawrence, E., Mazor ,D., McElravy ,P., O'Dowd ,P., Carlson,M., 2012.** Long-term population and community patterns of benthic macroinvertebrates and fishes in Northern California Mediterranean-climate streams. *Hydrobiologia* .DOI 10.1007/s10750-012-1373-9
- 77. Rezzougi , A .,2008.** Contribution à l'étude des Oligochètes dans le milieu hyporéique et benthique de la haute Tafna. *Mém. Ing. Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 46p*
- 78. Rivas -Martinez, S., 1975.** Mapa de la vegetación de la provincia de Ávila. *Anales Inst. Bot . Cavanilles 32(2): 1493-1556.*
- 79. Rodier, J., 1996 .**L'analyse de l'eau, Eaux naturelles - eaux résiduaires- eau de mer ,8ème edt ,Dunod: 1383p,
- 80. Rosen, S.T., 1998.** Review of Carol Tenny Aspectual Roles and the Syntax-Semantics Interface. *Language, 74 (4), 847-850*
- 81. Rouch ,R.,1988.** Sur la répartition spatiale des crustacés dans le sous-écoulement d'un ruisseau des Pyrénées. *Ann. Limnol. -Int. J. Lim., 24: 213- 234.*
- 82. Rulik, M., 1994 .** Vertical distribution of coars organic matter in bed sediments (Morava river, Czech Republic).- *Regulated Rivers : Research & Management 9 :65-69.*
- 83. Sabri ,S .,2002.** Contribution à l'étude de la faune hyporéique et la faune superficiel dans la région de moyenne Tafna. *Mém. Ing. Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 54p.*

- 84. Schmidt S. I., H. J. Hahn., 2012.** What is groundwater and what does this mean to fauna – An opinion. *Limnologica* 42, 1– 6. Elsevier.
- 85. Steiger,J.,Tabacchi, E., Dufour ,S .,Corenblit, D., Peiryd, J-L 2006.**Hydromorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel – floodplain river systems : A review for the temperate zone *River Res. Applic. 21: 719–737*
- 86. Tachet , H., Bournaud, M., Richoux PH., 1980.** Introduction à l'étude des vertébrés d'eau douce, *Ed Univ de Lyon I, Association française de limnologie : 155p.*
- 87.Tachet , H., Bournaud, M., Richoux PH., et Usseglio - Polatera PH., 2000.** Invertébrés des eaux douces : *Systématique, Ecologie, Biologie. Ed CNRS-Paris : 588p.*
- 88.Taleb, A., Belaidi, N., Sanchez-Pérez, J.M., Vervier, P., Sauvage, S., Gagneur., 2008.**The role of the hyporheic zone of a semi-arid gravel bed stream located downstream of a heavily polluted reservoir (Tafna wadi, Algeria). *River Research and Applications, Volume 24, Issue 2, pages 183-196.*
- 89.Thierrin ,J ., steffen, P., cornaz ,S., Vuataz , F ., Loaser .,2001.** Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. Édité par l'Office de l'environnement, des forêts et du Paysage et la Société. *Hydrogéologie de Suisse, p. 91*
- 90.Thomas, SA ., Valett, HM., Webster, JR ., Mulholland , PJ., 2003.** A regression approach to estimating reactive solute uptake in advective and transient storage zones of stream ecosystems. *Advances in Water Resources* 26 (9): 965-976.
- 91.Tiziano ,B., Cucco ,M., Fenoglio , S., et Giorgio Malacarne, G.,2006.**Colonisation patterns and vertical movements of stream invertebrates in the interstitial zone: a case study in the Apennines, NW Italy .*Hydrobiologia (2006) 568:67–78*
- 92.Tufféry , 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.*
- 93.Varricchione ,T., Steven, A., Thomas ,A., and Minshall , G .,2005.**Vertical and seasonal distribution of hyporheic invertebrates in streams with different glacial histories. *Department of Biological Sciences, Idaho State University, Campus Box 8007, Pocatello, ID 83209, USA*

- 94. Ward ,J.V., 1998.** Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes and aquatic conservation. *Biological conservation* 83, 3: 269-278.
- 95. Ward, J.V., Bretschko, G., Brunke, M., Danielopol, D., Gibert, J., Gonser, T., et Hildrew, A.G., 1998.**The boundaries of river systems: the metazoan perspective. - *Freshwater Biology* 40: 531-569.
- 96. Williams ,D.D., 1989.** Towards a biological and chemical definition of the hyporheic zone in two Canadian rivers. *Freshwater Biology*, 22: 189-208.
- 97. Williams, D.D., 1984.** Hyporheic zone as a habitat for aquatic insects and associated arthropods . Pages 430- 455 in *the ecology of Aquatics Insects. Resh V.H. & Rosenberg D.M. (eds.). Praeger Publishers, New York.*
- 98. Wood, P-J., Boulton, A-j., Little,S ., and Stubbington. R., 2010.** Is the hyporheic zone refugium for aquatic macroinvertebrates during severe low flow conditions. *Fundam. Appl. Limnol., Arch. Hydrobiol. Vol. 176/4, 377-390*