

## Diversité taxonomique et structure du peuplement macrobenthique des eaux de l'Oued Hassar après installation de la station d'épuration de Mediouna (Casablanca, Maroc)

### *Taxonomic diversity and structure of Hassar creek's macrobenthic community after Mediouna WWTP installation (Casablanca, Morocco)*

Abdelmottalib NAHLI\*, Said OUBRAIM & Mohamed CHLAIDA

Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement (LEE), Hassan II University of Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'sik, BP 7955-Sidi Othman, Casablanca, Maroc. \*(abdelmottalib.nahli@gmail.com)

**Résumé.** Afin de protéger le cours d'eau de l'Oued Hassar et préserver les activités agricoles et d'élevage avoisinantes, la Lyonnaise des eaux de Casablanca (Lydec) a mis en fonctionnement, en Avril 2013, la station d'épuration (StEp) des eaux usées de la localité de Mediouna (Sud-Est de Casablanca). L'impact des eaux usées épurées de cette StEp, dotée d'un réacteur biologique membranaire (RBM), sur la richesse bioécologique de ce cours d'eau a été évalué à travers un suivi spatio-temporel de la diversité taxonomique et de la structure de ses macroinvertébrés benthiques et comparé avec des travaux antérieurs sur le même site. Les résultats montrent que la macrofaune présente une richesse taxonomique globale de 85 taxons appartenant majoritairement à 3 groupes faunistiques : Annélides, Mollusques et Arthropodes (Insectes) avec une dominance notable des Annélides, Ephéméroptères et Diptères. L'analyse de la structure biotypologique de l'Oued Hassar montre que la répartition des taxons est gouvernée par la charge organique et par le degré de minéralisation des eaux. En amont, les eaux riches en matière organique et faiblement à moyennement minéralisées, s'installent les taxons polluo-tolérants (Oligochètes et Chironomidés). En aval, la charge organique des eaux diminue et leur degré de minéralisation augmente permettant la colonisation du biotope par des taxons polluosensibles et tolérants une minéralisation ce qui témoigne d'une nette amélioration de la qualité des eaux. Parallèlement, les indices de diversité taxonomique du peuplement macrobenthique subissent un accroissement d'amont en aval de ce cours d'eau. Ces résultats témoignent d'une amélioration de l'état écologique de cet hydrosystème avec un début d'installation du processus de sa résilience bioécologique.

**Mots Clés :** eaux épurées, macroinvertébrés, résilience, Mediouna, Oued Hassar, Maroc.

**Abstract.** In order to protect Hassar creek and preserve neighboring agricultural and livestock activities, the "Lyonnaise des Eaux de Casablanca" (Lydec) put in operation, in April 2013, the wastewater treatment plant (WWTP) of Mediouna locality (South East of Casablanca). The impact of this WWTP' treated wastewater, equipped with a membrane biological reactor (MBR), on the bio-ecological richness of Hassar creek was assessed through a spatio-temporal monitoring of the taxonomic richness and the benthic macroinvertebrates structure in comparison with anterior studies on the same site. The results indicate that this macrofauna has a global taxonomic richness of 85 taxa belonging mainly to 3 faunistic groups: Annelids, Molluscs and Arthropods (Insects) with a notable dominance of Annelids, Ephemeroptera and Diptera. The analysis of the bio-typological structure of Hassar creek shows that the taxa distribution is controlled by the organic load and mineralization degree of water. In upstream, water is rich in organic matter and slightly to moderately mineralized, the pollution-tolerant taxa proliferate (Oligochaete and Chironomidae). While downstream, water organic load decreases and its mineralization degree increases, allowing the biotope colonization by pollution-sensitive taxa that tolerate mineralization, and attest a clear improvement of water quality. Simultaneously, the taxonomic diversity indices undergo an upstream-downstream increase. These results show an improvement of this hydrosystem ecological status with a start of its bio-ecological resilience process.

**Keywords:** purified water, macroinvertebrates, resilience, Mediouna, Hassar creek, Morocco.

#### **Abridged English version**

Anthropogenic pressures lead to a degradation of the water quality of Casablanca suburban watercourse (Hassar, Bouskoura, Merzeg ...) and a loss of their bio-ecological richness by the discharges of raw sewage (Fouad, 2013; Mounjid, 2014). The treatment of this wastewater seems to be primordial solution to protect these hydrosystems and to preserve Casablanca region's water resources. Indeed, the "Lyonnaise des Eaux de Casablanca" (Lydec) has installed Mediouna wastewater treatment plant (WWTP), in April 2013, to protect Hassar creek and reduce the nuisances associated to discharged raw sewage of Mediouna locality. This treatment plant is equipped by MBR system, allowing

an effective treatment of Mediouna raw sewage before their discharge in Hassar creek. This hydrosystem has received this raw sewage for more than a decade and the field systematic observations have shown that it has lost much of its biological richness and only a limited number of macroinvertebrates taxa had remained, especially Annelids and Diptera (Fouad, 2013). However, Mediouna WWTP offers an opportunity for this watercourse ecological resilience which recovers gradually its macrobenthic population richness. This work aims to evaluate the bio-ecological quality of this ecosystem and its ecological resilience ability after Mediouna WWTP implementation.

### Methodology

Seven sampling stations were fixed for this study taking into account several parameters including water flow, the nature of bed and substrate, the proximity of the rural agglomerations and the possibilities of access offered. The macroinvertebrates samples are carried out during one year from November 2013 to October 2014. The number of samples is fixed at six (06) per station, in a total sampling surface of 0.15 m<sup>2</sup> per station. Collected macroinvertebrates samples are fixed in labelled plastic containers with 10% formalin solution (Foto Menbohan *et al.*, 2010). In the laboratory, these samples are washed with water and then sorted under a binocular loupe and identified from referenced books and keys of benthic macroinvertebrates determination (Guignot 1947 ; Poisson 1957 ; Brinkhurst 1971 ; Klemm 1972 ; Stewart & Loch 1973 ; Schuster & Etnier 1978 ; Lafont 1983 ; Dethier 1985 ; Pinder & Brinkhurst 2000 ; Epler 2001 ; Tachet *et al.* 2006 ; Moisan & Pelletier 2008 ; Harrold et Guralnic 2010 ; Moisan 2010 ; Tachet *et al.* 2010 ; Webb & Suter 2011 ; Martin & Ait Boughrouss 2012 ; Leung *et al.* 2013). The results of macroinvertebrates identification allowed calculating the standard ecological metrics and indices: taxonomic diversity, Shannon-Wiener, Evenness, Simpson and Hill indices, relative abundance and fauna density. In addition, the macroinvertebrate faunal structure is analyzed by Correspondence Factor Analysis (CFA) to identify the specific affinities and differences between macroinvertebrates' populations of the studied stations.

### Results

The specific richness (S) of Hassar creek macroinvertebrates population reached 85 taxa during this study and varies between 22 taxa (S<sub>1</sub>) and 60 taxa (S<sub>5</sub>). Generally, the macrobenthic population of Hassar creek is characterized by low species diversity of zoological groups, in particular, low intrageneric diversity which is in perfect agreement with results observed in many Moroccan watercourses (El Agbani 1984; Badri 1985; Dakki 1986 et 1987; Qninba 1986; El Alami-El Moutaouakil 1989; Fekhaoui *et al.* 1993; Talami 1998; Oubraim 2002; Abbou & Fahde 2017b; etc...). This low taxonomic diversity of macroinvertebrates population is explained by the combined effect of strong mineralization and high water temperature that prevent the installation of a diversified fauna.

This taxonomic richness remains lower than the reported richness in the same site between 1996 and 1998 (Oubraim 2002). However, this taxonomic richness value (85 taxa) confirms a recovery of the structural and functional attributes of Hassar creek, deteriorated by a chronic anthropogenic stress during more than a decade.

The macroinvertebrates richness shows a spatial and temporal progression and increases during the spring/summer period (May/August 2014). Nevertheless, this richness declines relatively during the autumn and winter seasons (November 2013 and February 2014). Spatially, in upstream stations (S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>), the pollution-tolerant taxa, particularly Chironomidae (*Chironomus sp.*) and Tubificidae (*Tubifex*

*sp.* and *Limnodrilus sp.*), proliferate and constitute a large part of the macroinvertebrates population. This proliferation would be linked to the low water oxygenation and the organic matter input from riparian agglomerations wastewater (Nahli *et al.* 2015 and 2016). However, in downstream stations, macrobenthic population composition experiences a gradual appearance of pollution-sensitive taxa such as Ephemeroptera (*Baetis pavidus*) and Trichoptera (*Hydropsyche maroccana*) from the first swampy area (S<sub>3</sub>).

This spatial distribution of macroinvertebrates taxa was elucidated by the diversity indices. So, Shannon-Wiener index (H') shows a progressive evolution from upstream to downstream and confirms that the macroinvertebrates population tends to be more diversified and organized away from treated water (S<sub>1</sub>), grey wastewater and solid waste (S<sub>2</sub>/S<sub>5</sub>) discharge point. Evenness (E) indicates that Hassar creek macroinvertebrates population is unbalanced in the most studied stations. In turn, Simpson and Hill indices confirm that this macroinvertebrates population is more diversified in downstream stations.

As a result, the classical descriptors (diversity, evenness ...) reveal that Hassar creek' macroinvertebrates population is represented by a fairly important number of specialized taxa in comparison with results reported by several works on Moroccan rivers which contain a high taxonomic richness (El Agbani 1984; Badri 1985; Dakki 1986 and 1987).

Abundance analysis of collected taxa shows that macroinvertebrates population is dominated by Insects group (48.60%) followed by Annelids (38.98%), Crustaceans (8.98%), Gastropod Molluscs (2.94%) and Planar taxa (0.25%). Furthermore, the population density is important in upstream stations (S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>) and S<sub>5</sub> station, which is associated to Diptera and Oligochaeta proliferation. These taxa are adapted to the organic pollution conditions and a low oxygenation of upstream water (Giudicelli *et al.* 1981; Grzybkowska 1993; Dumnicka 2002; Morais *et al.* 2004; Fagrouch *et al.* 2011). Nonetheless, population density falls in downstream stations and reached an average of 7278.33 ind.m<sup>-2</sup> (S<sub>7</sub>). This macroinvertebrates density regression would be related to the water organic load and its oxygenation degree (Grzybkowska 1993; Miltner & Rankin 1998; Dumnicka 2002). These results are confirmed by the analysis of the faunal typological structure which shows that the taxa distribution is controlled by the organic load and mineralization degree of water. In upstream stations, water is rich in organic matter and slightly to moderately mineralized, the pollution-tolerant taxa proliferate (Oligochaeta and Chironomidae). In downstream, water organic load decreases and its mineralization degree increases, allowing the biotope colonization by pollution-sensitive taxa (Ephemeroptera and Trichoptera) that tolerate mineralization, and attest a clear improvement of water quality.

Finally, the water quality enhancement of Hassar creek leads to a gradual progress in taxonomic diversity of macroinvertebrates population and indicates an improvement in the ecological condition of this hydrosystem and its ecological resilience ability after Mediouna WWTP installation.

## INTRODUCTION

Les cours d'eau périurbains du grand Casablanca (Hassar, Bouskoura, Merzeg...) sont des écosystèmes aquatiques vulnérables soumis à des pressions anthropiques liées au développement urbain et industriel que connaît la région (Fouad *et al.* 2013 ; Mounjid *et al.* 2014). Il en résulte une dégradation de la qualité physicochimique de leurs eaux et une

perte de leurs richesses bioécologiques suite aux rejets d'eaux usées brutes émanant de ces différentes activités. Le traitement de ces eaux usées paraît primordial pour la protection de ces hydrosystèmes et pour la préservation des ressources hydriques de la région. C'est ainsi que la Lyonnaise des eaux de Casablanca (Lydec) a mis en fonctionnement en Avril 2013, dans le cadre de son schéma d'assainissement liquide, la station d'épuration (StEp) de Mediouna pour protéger les



ressources en eau de l'Oued Hassar et réduire les nuisances liées aux eaux usées brutes. Cette StEp est dotée d'un système de traitement du type Réacteur Biologique Membranaire (RBM) permettant un traitement tertiaire des effluents liquides avant leur déversement dans l'Oued Hassar. En effet, ce cours d'eau périurbain recevait jusqu'à 2013, pendant plus d'une décennie (1996-2013), les eaux usées brutes du centre urbain de Mediouna entraînant la perte d'une grande partie de sa richesse biologique antérieure (Oubraïm 2002) qui s'est réduite à un peuplement macrobenthique formé d'un nombre limité de taxons, particulièrement des Annélides et des Diptères (Fouad 2013). La nouvelle StEp offre une opportunité pour la résilience écologique de ce cours d'eau qui pourrait récupérer progressivement sa richesse macrobenthique. Cette étude de la diversité et de la structure des peuplements des macroinvertébrés de ce milieu a pour objectif d'évaluer, par comparaison avec les travaux antérieurs, sa qualité bioécologique et les potentialités de sa résilience écologique après la mise en place de cette station d'épuration.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

L'Oued Hassar est un cours d'eau à faible débit situé au Sud-Est de Casablanca (Fig. 1). C'est un affluent de l'Oued Mellah qui constitue, en plus de l'Oued Nfifikh, le principal cours d'eau de la région du sahel de Mohammedia-Benslimane. Cette dernière correspond à un plateau incliné vers la mer et traversé par les deux longues et larges vallées de ces deux cours d'eau (ABHBC 2004).

Sur le plan géologique, la zone d'étude fait partie de la région Ouest de la Meseta côtière marocaine caractérisée par une structure géologique subtabulaire à formations d'âges secondaire, tertiaire et quaternaire (Limos continentaux) succédant à un socle primaire plissé. Ces formations, discordantes et constituant une couverture perméable, correspondent à des dépôts quartzitiques du Cambro-Ordovicien, pélitico-basaltiques du Permo-Trias, marno-calcaires du Crétacé et grésocalcaires du Plio-Quaternaire. Le socle paléozoïque, imperméable, plissé et tectonisé, est de nature schisteuse d'âge Cambrien (Khatami 1992).

Le climat de la région du bassin versant de l'Oued Hassar est du type méditerranéen semi-aride avec des précipitations annuelles atteignant à peine les 400 mm et avec des températures moyennes annuelles comprises entre 13 et 23 °C.

Sur le plan hydrologique, l'Oued Hassar draine une partie des eaux de la nappe phréatique de Berrchid au niveau de plusieurs sources localisées le long de son trajet vers la zone des "Cascades" où se localise le point de confluence avec l'Oued Mellah (Fig. 1). Mais la succession des périodes de sécheresse que connaît le Maroc a contribué à l'assèchement de sa source principale située à 3 Km de la localité de Mediouna et seules quelques sources secondaires, parfois salées, continuent à couler le long du lit de ce milieu plus particulièrement au niveau de sa 1ère zone marécageuse en amont de la station S<sub>3</sub> "Ain Haçar" et juste en amont de la station S<sub>5</sub> "Ain Gandoula" (Nahli *et al.* 2015).

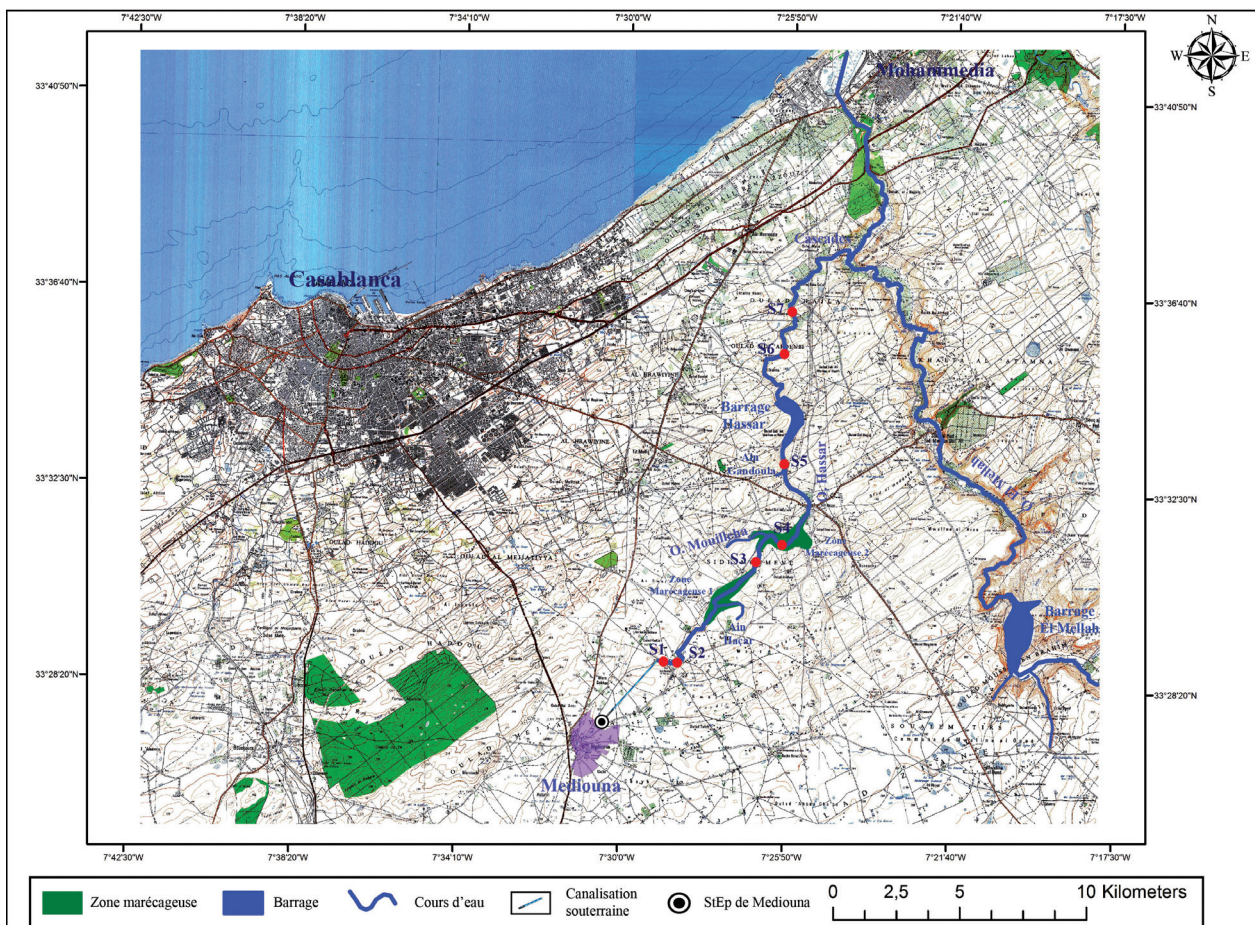


Figure 1. Localisation du site d'étude et stations de prélèvement (Nahli 2017)

Figure 1. Localisation du site d'étude et stations de prélèvement (Nahli 2017)

Malgré la construction de la StEp de Mediouna, l'Oued Hassar subit encore d'autres effets des activités humaines au niveau de quelques points de déversement d'eaux usées, grises en particulier, et de déchets solides près des agglomérations rurales de Sidi Brahim et Sidi Hajjaj et au voisinage de certaines exploitations agricoles.

### Stations d'étude et méthodologies de travail

Le choix des stations de prélèvement a été réalisé en tenant compte de plusieurs paramètres englobant le débit du

cours d'eau, la nature du lit et du substrat, la proximité des agglomérations rurales et des possibilités d'accès offertes. Ainsi, sept (7) stations de prélèvements sont fixées (Fig. 1) : Point de Rejet Mediouna (S<sub>1</sub>), Sidi Brahim (S<sub>2</sub>), Zone Marécageuse 1 (S<sub>3</sub>); Zone Marécageuse 2 (S<sub>4</sub>), Sidi Hajjaj (S<sub>5</sub>), Station Après Barrage (S<sub>6</sub>) et Station Route Anassi (S<sub>7</sub>). Parmi ces stations, trois ont été étudiées par Oubraim (2002) et Fouad (2013) : Sidi Brahim (S<sub>2</sub>), Zone Marécageuse 2 (S<sub>4</sub>) et Sidi Hajjaj (S<sub>5</sub>). Les caractéristiques hydro-morphologiques de l'ensemble des stations étudiées sont rapportées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques hydro-morphologiques des stations étudiées.

Table 1. Hydro-morphological characteristics of studied stations

Station	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
(Débit (l/s	40,51	25,79	45,87	40,91	59,76	60,73	67,40
Végétation	Juncus sp., Herbes et/ou Algues filamenteuses et parfois : Phragmites sp., Nerium oleander						
Substrat	Vase et sédiments sableux	Vase et galets		Vase et sédiments sableux		Sédiments sableux et galets	Vase et sédiments sableux

Les prélèvements mensuels des macroinvertébrés sont réalisés sur un cycle d'une année (Novembre 2013 à Octobre 2014). Cet échantillonnage, qui pour des raisons logistiques n'a débuté qu'en Décembre 2013 pour la station S7, est effectué à l'aide d'un filet de type Surber ayant un vide de maille de 500 µm et une surface d'échantillonnage de 0,025 m<sup>2</sup>. Le nombre de prélèvements est fixé à six (06) par station conformément à d'autres études des cours d'eau marocains (El Agbani 1984; Fekhaoui 1990; Berrahou *et al.* 2000), soit donc une surface totale d'échantillonnage de 0,15 m<sup>2</sup>.

Les échantillons de macroinvertébrés benthiques récoltés sont conservés dans des récipients en plastique étiquetés avec une solution de formol à 10% (Foto Menbohan *et al.* 2010). Au laboratoire, ces échantillons sont lavés à l'eau, puis triés sous loupe binoculaire. L'identification des spécimens récoltés est réalisée à l'aide d'ouvrages et de clés de détermination des macroinvertébrés benthiques référencés (Guignot 1947; Poisson 1957; Brinkhurst 1971; Klemm 1972; Stewart & Loch 1973; Schuster & Etnier 1978 ; Lafont 1983; Dethier 1985; Pinder & Brinkhurst 2000; Epler 2001; Tachet *et al.* 2006; Moisan & Pelletier 2008; Harrold et Guralnick 2010; Moisan 2010; Tachet *et al.* 2010; Webb & Suter 2011; Martin & Ait Boughrouss 2012; Leung *et al.* 2013). Les résultats d'identification établie à la famille et poussée, quand c'est possible, jusqu'au genre ou l'espèce, ont permis de calculer un ensemble de métriques et d'indices :

- La richesse taxonomique (S) : correspond au nombre de taxons récoltés (Ramade 2003) et reflète la diversité d'un échantillon (Resh *et al.* 1995), elle indique la capacité du milieu à soutenir des taxons diversifiés.

- L'indice de diversité de Shannon-Wiener (H') : permet d'apprécier la diversité d'un peuplement. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

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

s : nombre total des taxons de l'échantillon ; pi : abondance relative d'un taxon de rang i.

ni : nombre total d'individus du taxon de rang i ; n : nombre total d'individus de tous les taxons de l'échantillon.

- L'équitabilité de Pielou (E) : informe sur la distribution du nombre d'individus par espèces. Cet indice est calculé par la formule suivante :

$$E = H'/H_{max}$$

Où H<sub>max</sub> = Log<sub>2</sub> (S) ; S est le nombre de taxons

- L'indice de Simpson (1949) qui détermine la probabilité que deux individus, sélectionnés aléatoirement d'une population donnée, soient de la même espèce. Cette probabilité est calculée par la formule suivante :

$$D = \sum_{i=1}^s \frac{Ni(Ni-1)}{N(N-1)}$$

S : nombre de taxons

Ni : nombre d'individus du taxon donné

N : nombre total d'individus.

Ainsi, cet indice varie dans un intervalle de 0 à 1. Plus il se rapproche de 0, plus les chances d'obtenir des individus d'espèces différentes sont élevées et donc plus la diversité de l'échantillon est importante.

- L'indice de Hill (1973) qui permet d'associer les deux indices de diversité de Shannon- Wiener et de Simpson et paraît plus synthétique pour une étude complète de la structure de la communauté macrobenthique (Routledge 1979; Legendre & Legendre 1984; Grall & Hily 2003). En effet, cet indice utilise la sensibilité de l'indice de Shannon- Wiener aux effectifs des espèces rares et celle de l'indice de Simpson aux effectifs des espèces abondantes. L'indice de Hill se calcule par la formule suivante :

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

1/D : l'inverse de l'indice de Simpson

e<sup>H'</sup> : exponentielle de l'indice de Shannon- Wiener



En effet, plus l'indice de Hill est proche de 1 plus la diversité est faible. Par ailleurs, l'utilisation de ces trois indices (H', D et Hill) de manière concomitante nous permettra de mener une étude plus complète sur la structure des communautés macrobenthiques de l'Oued Hassar.

- L'abondance relative des groupes faunistiques est calculée par le rapport du nombre d'individus des taxons récoltés dans une unité de surface au nombre total d'individus de tous les taxons confondus. Quant à la densité, elle est calculée par le rapport du nombre total d'individus récoltés à la surface totale d'échantillonnage.

En outre, une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est appliquée à une matrice des densités maximales annuelles des taxons, de type « taxons\*(stations/prélèvements) », considérant qu'elles représentent l'optimum écologique des taxons au niveau de leurs stations (Dakki 1985). Cette analyse permettra de dégager les affinités et les différences spécifiques entre les peuplements des 7 stations étudiées de l'Oued Hassar. En effet, cet outil AFC a montré son efficacité dans l'étude de la biotypologie et la dynamique saisonnières du peuplement des macroinvertébrés benthiques dans le bassin méditerranéen, notamment les cours d'eau marocains (Bouzidi 1989; El Agbani 1984; Musso *et al.* 1991; El Alami & Dakki 1998; El Imrani & Kettani 2012; ...).

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Richesse et diversité taxonomique

Au cours de notre étude, la richesse taxonomique (S) a atteint globalement un total de 85 taxons, mais qui fluctue entre 23 taxons cumulés annuellement en S<sub>1</sub> et 60 taxons au niveau de S<sub>6</sub> (Tab. 2).

Ce peuplement macrobenthique se caractérise par une faible diversité spécifique des groupes zoologiques, en particulier, une faible diversité intragénérique. En effet, en tenant compte uniquement des taxons qui ont été identifiés jusqu'au niveau de l'espèce, nous remarquons que l'inventaire faunistique (Tab. 2) relève la présence de deux genres seulement qui présentent plus d'une espèce : il s'agit de l'Oligochète *Limnodrilus* (avec 3 espèces) et du Diptère *Chironomus* (2 espèces). Ces résultats sont en parfait accord avec ceux obtenus par de nombreux chercheurs marocains (El Agbani 1984; Badri 1985; Dakki 1986 et 1987; Qninba 1986; El Alami-El Moutaouakil 1989; Fekhaoui *et al.* 1993; Talami 1998; Oubraim 2002; Abbou & Fahde 2017 b) qui ont étudié plusieurs cours d'eau de plaines au Maroc. Ces auteurs pensent que les faibles diversités spécifiques observées dans ces hydrosystèmes pourraient être attribuées à leurs conditions hydrochimiques. De plus, Giudicelli *et al.* (1985) ont signalé qu'un appauvrissement taxonomique graduel, affectant tous les groupes zoologiques, s'observe suivant l'axe Nord-Sud depuis l'Europe jusqu'en Afrique du Nord.

Dans notre cas, nous pensons que sous l'effet conjugué des fortes minéralisations et des températures des eaux, qui augmentent en absence naturelle du couvert végétal et sa dégradation par l'homme et le bétail (pâturage), se créeraient

des conditions contraignantes qui empêchent l'installation d'une faune riche et diversifiée.

Sur le plan temporel, la richesse taxonomique des macroinvertébrés enregistrée au niveau de notre cours d'eau varie entre 3 taxons enregistrée en février 2014 en S<sub>2</sub> et 30 taxons notée en avril 2014 en S<sub>6</sub> (Fig. 2). Cette richesse subit également une augmentation bien visible durant la période printano-estivale (mars-juin 2014) mais elle diminue relativement durant les saisons d'automne et d'hiver (novembre 2013 à février 2014). Cette richesse taxonomique de notre peuplement macrobenthique reste inférieure à celle signalée dans les travaux d'Oubraim (2002) (soit 110 taxons, si nous excluons les taxons des sources Hassar et Mouilha actuellement à sec). Fouad (2013), en revanche, et suite aux observations systématiques sur le terrain signale un appauvrissement drastique voire même une disparition d'un grand nombre de taxons de la macrofaune benthique sur une grande partie du continuum de l'Oued et ce en comparaison avec l'état du milieu entre 1996 et 1998. Le déversement des eaux usées brutes de Mediouna couplé à l'assèchement des sources principales (Hassar et Mouilha) de ce cours d'eau aurait été à l'origine de cette extinction de la diversité faunistique. De même, nous pensons que la valeur de la richesse taxonomique obtenue dans notre travail (soit 85 taxons) témoigne de la récupération progressive des attributs structuraux et fonctionnels de cet hydrosystème qui a subi des dommages causés par un stress anthropique chronique, pendant plus d'une décennie.

Sur le plan spatial, on remarque qu'en amont de ce cours d'eau (S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>), on assiste à une prolifération des espèces polluo-tolérantes représentées principalement par les Chironomidés (*Chironomus sp.*) et les Tubificidés (*Tubifex sp.* et *Limnodrilus sp.*). Ces organismes polluo-tolérants (Echaubard & Neveu 1975) sont dotés d'une grande capacité de recolonisation du biotope (Pires *et al.* 2000) et seraient favorisés par les conditions de faible oxygénation des eaux des stations amont, avec des teneurs moyennes en oxygène dissous de 4,91 et 3,86 mg/l enregistrées respectivement en S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> et une charge organique relativement élevée, avec des moyennes de DBO<sub>5</sub> de 29,58 en S<sub>1</sub> et de 38,22 mg/l en S<sub>2</sub> (Nahli *et al.* 2016; Nahli 2017). En fait, ces conditions de faible oxygénation des eaux sont étroitement liées aux apports de matière organique encore persistante au niveau des eaux usées épurées de Mediouna et surtout aux eaux grises infiltrées des agglomérations avoisinant les stations amont. Plus en aval, la composition de la faune macrobenthique révèle l'apparition progressive, à partir de la zone marécageuse 1 (S<sub>3</sub>), de taxons faiblement polluo-tolérants notamment les Éphéméroptères (*Baetis pavidus*) et les Trichoptères (*Hydropsyche maroccana*). Toutefois, on note que le groupe des Plécoptères est totalement absent dans ce milieu probablement à cause des températures des eaux qui sont relativement élevées (17,4 – 25,01 °C en moyenne) et des teneurs en O<sub>2</sub> relativement basses (Nahli *et al.* 2015 et 2016). L'apparition des taxons des eaux propres, particulièrement en S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> et notamment en S<sub>5</sub>, serait certainement liée au phénomène d'autoépuration qui se manifeste par la diminution de la charge organique, avec des moyennes de DBO<sub>5</sub> qui chutent à 16,5, 18,89 et 31,68

Tableau 2. Inventaire faunistique et richesse taxonomique globale des stations étudiées

Table 2. Faunistic inventory and overall taxonomic richness of studied stations

Groupes faunistiques et taxons		Code	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	Nb. de taxons
<b>Hydrozoaires</b>										<b>1</b>
Hydridae		Hyd	-	-	-	-	+	-	-	
<b>Plathelminthes</b>										<b>1</b>
Planaires										
Dugesiidae	<i>Dugesia gonocephala</i> (Dugès)	Dgo	-	-	+	+	+	+	-	
<b>Annélides</b>										<b>15</b>
Lumbriculidae	<i>Lumbriculus variegatus</i> (Muller)	Lva	+	+	+	-	+	+	+	
Naididae	<i>Uncinia uncinata</i> (Orstedt)	Uun	+	+	+	+	-	-	-	
Tubificidae	<i>Branchiura sowerbyi</i> (Beddard)	Bso	-	-	-	-	-	+	-	
	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparède)	Lho	+	+	+	+	-	+	+	
	<i>Limnodrilus udekemianus</i> (Claparède)	Lpr	-	-	+	-	-	-	-	
	<i>Limnodrilus sp.</i>	Lim	+	+	+	+	+	+	+	
	<i>Tubifex tubifex</i>	Ttu	+	+	+	+	+	+	+	
Lumbricidae	<i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny)	Été	+	+	+	+	-	+	+	
Enchytraeidae			+	+	+	+	+	+	+	
Haplotaxidae	<i>Haplotaxis sp.</i>	Hap	+	-	-	-	-	-	-	
Glossiphoniidae	<i>Hemiclepsis sp.</i>	Hem	-	-	-	-	+	-	-	
	<i>Glossiphonia sp.</i>	Glo	-	-	-	-	+	-	-	
	<i>Helobdella sp.</i>	Hel	-	-	+	-	+	-	-	
Hirudidae	<i>Hirudo sp.</i>	Hir	-	-	-	-	-	+	-	
Erpobdellidae	<i>Erpobdella octoculata</i> (Linné)	Eoc	-	-	+	+	+	+	+	
<b>Gastéropodes</b>										<b>7</b>
Planorbidae	<i>Planorbis sp.</i>	Pla	-	-	+	-	+	-	-	
Hydrobiidae	<i>Mercuria similis</i> (Draprnaud)	Msi	-	+	+	+	+	+	+	
Melaniidae	<i>Melanopsis praemorsa</i> (Linné)	Mel	+	-	+	+	+	+	+	
Physidae	<i>Physa acuta</i> (Draprnaud)	Pac	-	+	+	+	+	+	+	
Thiaridae	<i>Melanoides sp.</i>	Mela	-	-	+	-	-	+	-	
Lymnaeidae		Lym	-	-	+	-	-	-	-	
Bythinellidae	<i>Bythinella sp.</i>	Byt	-	-	-	-	-	+	-	
<b>Crustacés</b>										<b>4</b>
Ostracodes	<i>Cyprididae</i>	Cyp	-	-	+	+	+	+	+	
Gammaridae	<i>Gammarus pulex</i> (Gauthieri)	Gpu	+	-	+	+	+	-	-	
Asellidae	<i>Proasellus sp.</i>	Ase	-	+	+	-	-	+	+	
Atyidae	<i>Atyaephyra desmaresti</i> (Milet)	Ade	+	-	+	+	+	+	+	
<b>Mégaloptères</b>										<b>1</b>
Sialidae	<i>Sialis sp.</i>	Sia	-	-	-	+	-	-	-	
<b>Ephéméroptères</b>										<b>4</b>
Caenidae	<i>Caenis sp.</i>	Cae	-	+	+	+	+	+	+	
Baetidae	<i>Baetis pavidus</i> (Grandi)	Bpa	+	+	+	+	+	+	+	
	<i>Procloeon pennulatum</i> (Eaton)	Cpe	-	-	-	-	+	-	-	
	<i>Cloeon dipterum</i> (Linné)	Cdi	+	+	+	+	+	+	+	
<b>Odonates</b>										<b>5</b>
Aeshnidae		Aes	-	-	-	+	+	-	-	
Libellulidae		Lib	-	-	+	+	+	+	+	
Cordulegastridae	<i>Cordulegaster sp.</i>	Cord	-	-	-	+	-	-	-	
Lestidae		Les	-	+	-	+	+	-	+	
Corduliidae		Cor	-	-	-	-	+	+	+	
<b>Hétéroptères</b>										<b>8</b>
Corixidae	<i>Micronecta scholtzi</i> (Fieber)	Msc	-	-	+	+	+	+	+	



	<i>Corixa affinis</i> (Leach)	Cle	-	-	-	+	+	-	-	
Notonectidae	<i>Notonecta sp.</i>	Notc	-	-	+	-	+	-	-	
	<i>Nychia sp.</i>	Nyc	-	-	-	+	+	-	-	
Naucoridae	<i>Naucoris sp.</i>	Nau	-	-	+	+	+	+	-	
Nepidae	<i>Nepa rubra</i>	Nep	-	+	+	+	+	+	-	
Mesoveliidae	<i>Mesovelia sp.</i>	Mes	-	-	-	-	+	-	+	
Pleidae	<i>Plae leach</i>	Plea	-	+	-	+	+	+	+	
<b>Coléoptères</b>									<b>16</b>	
Gyrinidae	<i>Gyrinus sp.</i>	Gyr	-	-	-	-	-	-	+	
Dytiscidae	<i>Copelatus sp.</i>	Cop	-	-	+	+	+	+	+	
	<i>Dytiscus sp.</i>	Dyt	-	+	+	+	+	+	+	
	<i>Laccophilus sp.</i>	Lac	-	+	+	+	+	+	+	
Noteridae	<i>Noterus sp.</i>	Not	-	-	-	-	-	-	+	
Haliplidae	<i>Haliphus sp.</i>	Hal	-	-	+	+	+	+	-	
Dryopidae	<i>Dryops sp.</i>	Dry	-	-	-	+	-	+	+	
Hydrophilidae	<i>Hydrous sp.</i>	Hyd	-	-	-	+	+	+	+	
	<i>Berosus sp.</i>	Ber	-	-	+	+	+	+	-	
	<i>Enochrus sp.</i>	Eno	-	-	-	-	-	+	-	
	<i>Hydrophilus sp.</i>	Hph	-	-	-	-	-	+	-	
	<i>Helochaeres sp.</i>	Hch	+	+	-	-	-	+	-	
Hydraenidae	<i>Hydraena sp.</i>	Hydr	-	-	+	+	-	-	+	
Hygrobiidae	<i>Hygrobia sp.</i>	Hyg	-	-	-	+	+	-	-	
Elmidae	<i>Normandia sp.</i>	Nor	-	-	+	-	-	+	-	
	<i>Riolus sp.</i>	Rio	+	+	-	+	-	+	+	
<b>Trichoptères</b>									<b>2</b>	
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche maroccana</i> (Navas)	Hma	-	-	+	+	+	+	+	
Ecnomidae	<i>Ecnomus sp.</i>	Eec	-	+	-	-	-	+	-	
<b>Diptères</b>									<b>21</b>	
Ceratopogonidae	<i>Culicoides sp.</i>	Cul	-	+	+	+	+	+	+	
Simuliidae	<i>Whilhelmia pseudoquinum</i> (Seguy)	Wps	-	+	+	+	+	+	+	
Ephydriidae	<i>Scatella sp.</i>	Scat	-	+	-	+	+	+	+	
Dixidae		Dix	-	-	+	+	-	+	+	
Tipulidae		Tip	+	+	-	-	+	+	+	
Tabanidae		Tab	-	-	+	+	+	+	+	
Chironomidae										
Ss F. Tanypodinae	<i>Tanypus sp.</i>	Tpu	-	+	+	+	+	+	+	
Ss F. Chironominae										
Chironomini (tribu.)										
	<i>Chironomus plusmosus</i> (Linné)	Cpl	+	+	+	+	+	+	+	
	<i>Chironomus thummi</i> (Kieffer)	Cth	+	+	+	+	+	+	+	
	<i>Chironomini sp.</i>	Chi	+	+	+	+	+	+	+	
	<i>Cryptochironomus sp.</i>	Crc	-	-	+	+	+	+	+	
	<i>Cryptotendipes sp.</i>	Crt	-	-	-	-	-	+	+	
	<i>Microtendipes sp.</i>	Mte	-	+	+	+	+	+	+	
	<i>Dicrotendipes sp.</i>	Dte	-	+	+	+	+	+	+	
	<i>Polypedilum sp.</i>	Ppi	-	-	-	+	+	+	+	
Tanytarsini (tribu.)		Tan	+	+	+	+	+	+	+	
Ss F. Orthocladiinae		Sci	+	+	+	+	+	+	+	
Sciomyzidae		Psy	-	-	-	-	-	-	+	
Psychodidae		Limo	+	+	+	+	+	+	+	
Limoniidae		Ocl	-	+	-	+	-	-	-	
Anthomyiidae		Ant	-	-	-	-	-	+	-	
<b>Richesse taxonomique globale</b>			23	35	51	57	57	60	51	<b>85</b>

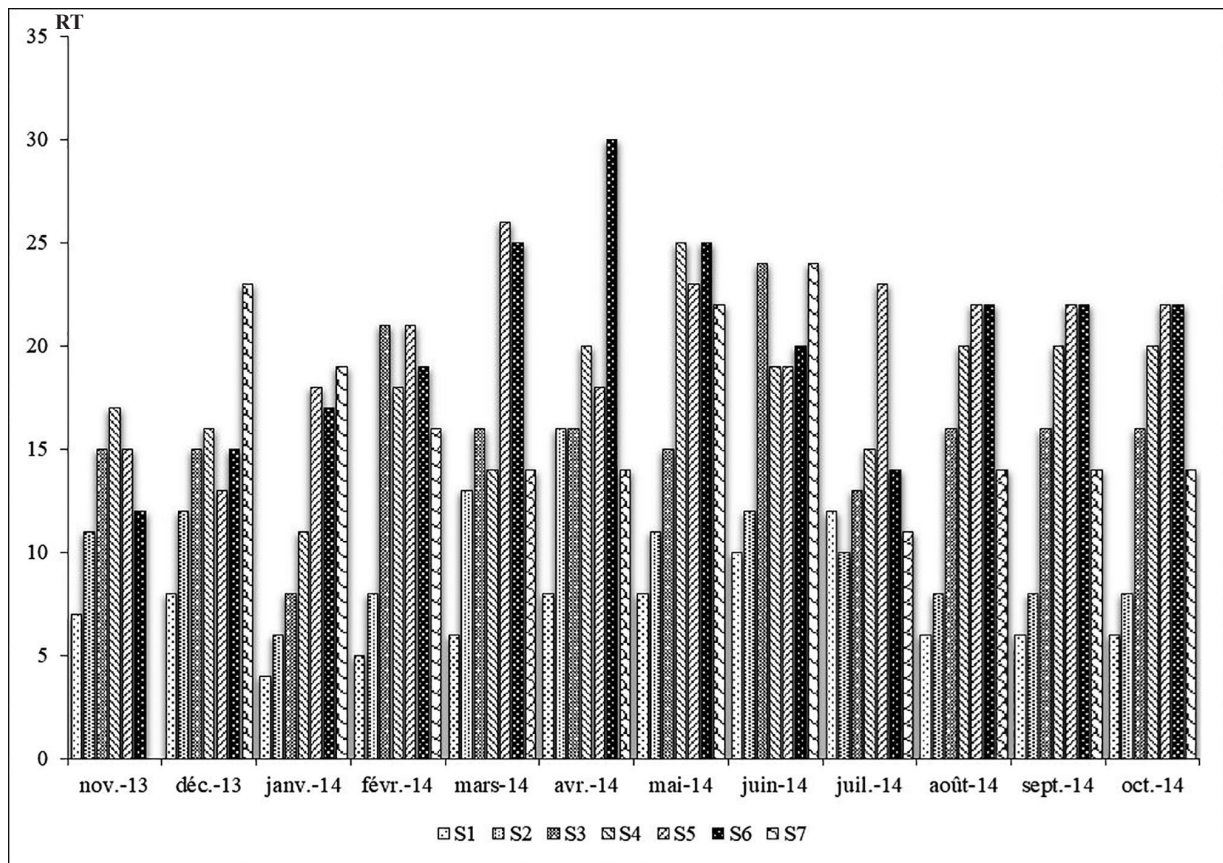


Figure 2. Variations spatio-temporelles de la richesse taxonomique (RT) du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar

Figure 2. Spatio-temporal variations of macrobenthic population taxonomic richness of Oued Hassar

mg/l respectivement en  $S_3$ ,  $S_4$  et  $S_5$ , et par l'augmentation des teneurs en oxygène des eaux qui atteignent des moyennes de 6,45 mg/l en  $S_3$ , 6,25 mg/l en  $S_4$  et 4,88 mg/l en  $S_5$  (Nahli *et al.* 2016; Nahli 2017). Cette amélioration de la qualité du biotope offrirait les conditions requises pour avoir une diversité des niches écologiques qui seront exploitées par plusieurs taxons et particulièrement les plus sensibles à la pollution. Bien au contraire au niveau des stations amont  $S_1$  et  $S_2$ , l'infiltration des eaux usées grises et l'épandage des déchets solides des agglomérations riveraines (Nahli *et al.* 2015) contribuent à la diminution de la richesse taxonomique et favoriseraient un foisonnement des Oligochètes et Diptères. Au niveau de la station  $S_6$ , la richesse diminue légèrement suite aux variations du débit à cause de la discontinuité instaurée par la digue du barrage Hassar qui constitue un facteur perturbateur pour la faune comme l'ont signalé Bouzidi (1989) et Fekhaoui (1990) dans d'autres cours d'eau au Maroc. De leur côté, Bredenhand et Samways (2009) rapportent que la diversité taxonomique du peuplement macrobenthique peut diminuer jusqu'à deux fois à l'aval d'une retenue. Cette diminution serait liée en partie à l'impact de la sédimentation d'éléments fins et/ou vaseux (Kairo *et al.* 2011) qui varie selon le mode de gestion des débits (Maynard & Lane 2012). Mbaka et Mwaniki (2015) signalent que des variations de l'abondance et de la richesse des assemblages de macroinvertébrés sont également observées en aval des petites retenues de barrages. Plus récemment, Belliard *et al.* (2016) mentionnent que la diminution de la richesse taxonomique en aval de la retenue

dépend fortement du groupe taxonomique considéré et du contexte environnemental local.

Cette richesse taxonomique chute encore plus en  $S_7$  à cause de la diminution de la densité et la disparition des taxons moins polluo-tolérants (e.g. Ephéméroptères et Trichoptères) suite à l'enrichissement des eaux par la matière organique, comme le confirme la teneur moyenne de la  $DBO_5$  qui s'élève à 22,26 mg/l (Nahli *et al.* 2016; Nahli 2017), et aux perturbations dues au lavage des produits maraichères dans les eaux de ce cours d'eau (Nahli *et al.* 2015 & 2016).

En dépit de ces variations spatiales, la richesse taxonomique moyenne du peuplement macrobenthique augmente globalement de l'amont vers l'aval conformément au gradient de richesse signalé dans des cours d'eau marocains peu perturbés (Berrahou 1988; Fagrouch 2011) (Fig. 3). Les fluctuations mensuelles de la composition du peuplement observées au niveau des différentes stations étudiées indiquent que la richesse paraît sensible aux perturbations anthropiques et régresse au niveau des stations impactées par les activités humaines suite à une élimination des taxons polluo-sensibles (Prenda & Gallardo-Mayenco 1996; Paul & Meyer 2001).

L'indice de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) varie entre un minimum de 0,78 bits enregistré en  $S_5$  au mois de mai 2014 et un maximum de 3,54 bits notée en  $S_4$  au mois de septembre 2014 (Fig. 4). En termes de valeurs moyennes, cet indice montre une augmentation de l'amont vers l'aval passant de 1,49 bits en  $S_2$  à 2,62 bits en  $S_6$  (Fig. 5). Les faibles valeurs



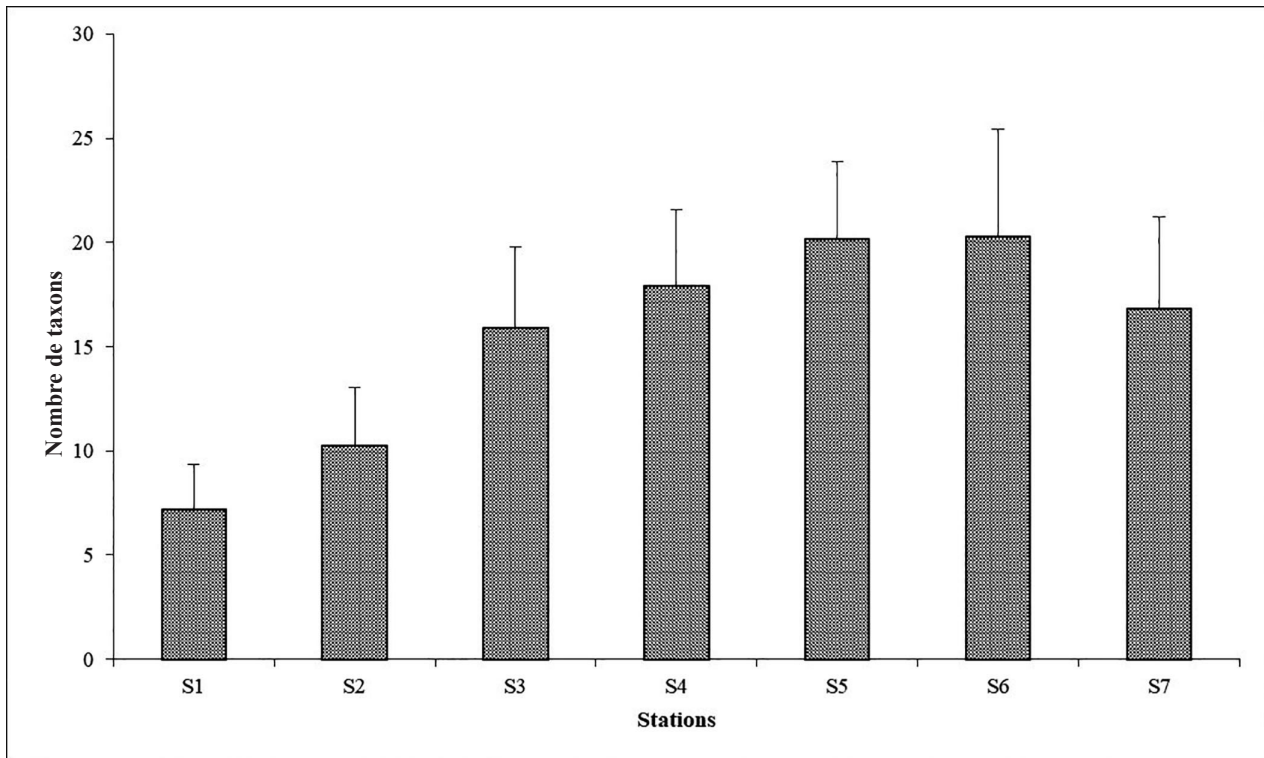


Figure 3. Evolution spatiale de la richesse taxonomique moyenne du peuplement macrobenthique

Figure 3. Spatial evolution of the average taxonomic richness of the macrobenthic population

moyennes enregistrées en amont témoignent d'une diversité réduite du peuplement liée à une prolifération des taxons des Oligochètes et des Diptères connus pour leur polluo-tolérance vis-à-vis des conditions du milieu notamment la charge des eaux en matière organique provenant de la StEp de Mediouna ( $S_1$ ) et surtout des déversements d'eaux usées grises du Douar Sidi Brahim ( $S_2$ ). Plus en aval, l'indice  $H'$  augmente suite à l'amélioration de la qualité des eaux du cours d'eau par autoépuration et dilution des eaux au niveau des zones marécageuses et lors de leur passage dans la retenue du barrage Hassar. En effet, cette amélioration favoriserait la diversification du peuplement macrobenthique par réinstallation de taxons faiblement polluo-tolérants en s'éloignant des points de rejets polluants ( $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$ ). Néanmoins, ces valeurs de l'indice  $H'$  montrent que la diversité du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar reste globalement faible à moyenne et s'avère inférieures à celle enregistrée par Oubraim (2002) dans ce même hydrosystème entre 1996 et 1998 à l'époque où les eaux usées brutes de Mediouna étaient moins importantes et subissaient la dilution par les différentes sources (essentiellement Hassar et Mouilha) ainsi que par les eaux des zones marécageuses. En effet, lors de cette période, l'indice  $H'$  avoisinait 4 en  $S_4$  et chutait à 1,90 en  $S_2$  (Oubraim 2002). Plus tard en 2009-2010, le milieu était plus impacté par les eaux usées brutes et s'avérait presque dépourvu de taxons polluo-sensibles (Fouad 2013). Les valeurs moyennes de l'équitabilité ( $E$ ) calculées au niveau des différentes stations de prélèvement sont globalement faibles à moyennes et varient entre 0,47 en  $S_5$  et 0,64 en  $S_3$  (Fig. 5) révélant ainsi que le peuplement est relativement peu équilibré à très déséquilibré au niveau de ce cours d'eau. En revanche, les valeurs réelles de cet indice dépassent 0,7 au niveau de plusieurs stations (Fig. 6) notamment lors de la période hivernale (janvier et février 2014) et en été 2014 (juin à septembre). Néanmoins, ce peuplement reste légèrement moins structuré par rapport à son état antérieur enregistré par

Oubraim (2002) qui a noté une équitabilité moyenne variant entre 0,59 ( $S_2$ ) et 0,7 ( $S_4$ ).

Par comparaison à d'autres cours d'eau marocains, les valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et de l'indice de l'Équitabilité ( $E$ ) de la présente étude paraissent inférieures à celles rapportées au niveau de l'Oued Moulouya (Lamri & Belghyti 2011) et l'Oued Sebou à proximité de la ville de Fès (Fekhaoui *et al.* 1993) et proches de celles obtenues dans l'Oued Boufekrane (Karrouch & Chahlaoui 2009) et dans le moyen Sebou (Abbou & Fahde 2017a).

L'indice de Simpson ( $D$ ), qui permet une estimation non biaisée de la diversité du peuplement macrobenthique (Pielou 1969), suit la même évolution que l'indice de diversité de Shannon-Wiener (Fig. 7). Les valeurs moyennes les plus élevées sont enregistrées en amont du cours d'eau (0,39 en  $S_1$  et 0,49 en  $S_2$ ) (Fig. 5). Ces valeurs moyennes élevées de cet indice confirment, une fois de plus, la faible diversité du peuplement macrobenthique dans les stations amont de ce cours d'eau. Au niveau des deux zones marécageuses ( $S_3$  et  $S_4$ ), la valeur moyenne de cet indice chute pour atteindre respectivement 0,27 pour la 1ère et 0,32 pour la 2ème. Cependant, au niveau de la station  $S_5$  la valeur moyenne de l'indice de Simpson s'accroît pour atteindre 0,36 ce qui montre que la diversité du peuplement benthique régresse encore une fois à l'entrée de la retenue du barrage Hassar suite aux impacts des agglomérations avoisinantes (Hôpital psychiatrique/Sidi Hajjaj). En revanche, en aval de cette retenue, les valeurs de l'indice de Simpson diminuent et enregistrent une moyenne globale de 0,26 témoignant d'une amélioration de la diversité du peuplement macrobenthique avant qu'elle ne baisse de nouveau plus loin au niveau de la station  $S_7$ , où la valeur de l'indice de Simpson tend vers une moyenne de 0,36 à cause de l'effet des impacts locaux liés au lavage des produits maraichers au niveau des eaux de notre cours d'eau.

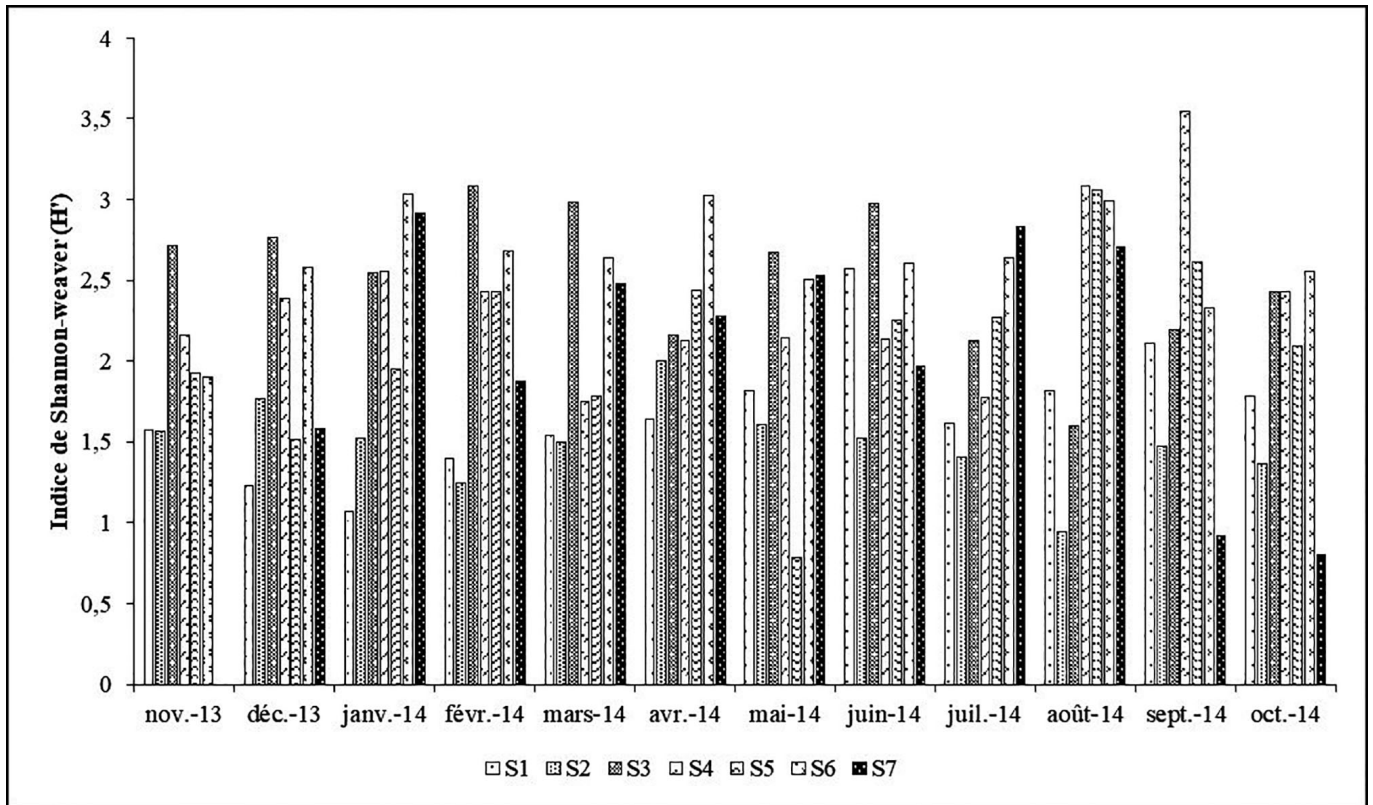


Figure 4. Variations spatio-temporelles de l'indice de diversité de Shannon-Weiner ( $H'$ )

Figure 4. Spatio-temporal variations of Shannon-Weiner diversity index ( $H'$ )

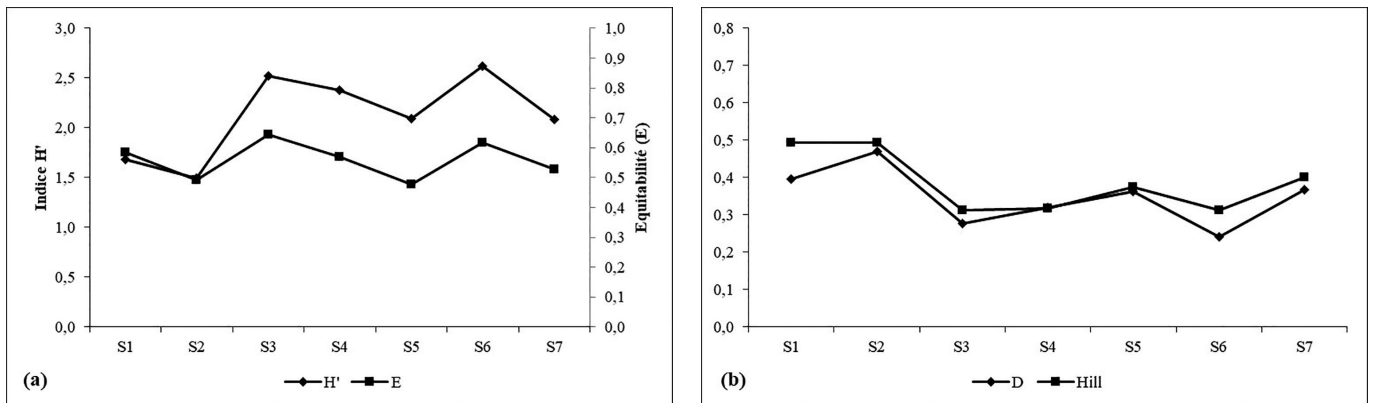


Figure 5. Valeurs moyennes par station des indices de Shannon-Wiener et Equitabilité (a), Simpson et Hill (b)

Figure 5. Mean values of Shannon-Wiener and Evenness (a), Simpson and Hill indices (b) per station

Sur le plan des variations des valeurs réelles et saisonnières, l'indice D varie entre un minimum de 0,10 calculé en septembre 2014 (début d'automne) au niveau de  $S_4$  et un maximum de 0,77 enregistré en mai 2014 (Printemps) au niveau de  $S_5$  (Fig. 7). En effet, au niveau des stations amont  $S_1$  et  $S_2$ , la plus forte diversité du peuplement est enregistrée en été et en hiver avec des valeurs de l'indice D qui atteignent au niveau de ces deux stations respectivement 0,18 en juin 2014 et 0,35 en décembre 2013. Le peuplement macrobenthique se diversifie d'avantage au début des saisons du printemps et de l'automne particulièrement au niveau des zones marécageuses avec des valeurs de l'indice D atteignant 0,16 au niveau de  $S_3$  en février 2014 et 0,10 en septembre 2014 au niveau de  $S_4$ . Ceci montre que les deux zones marécageuses jouent un rôle

important dans l'augmentation de la diversité du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar suite à l'amélioration des conditions du milieu parallèlement à l'éloignement des points de rejets et d'impacts de la zone amont. Plus en aval, la plus forte diversité du peuplement macrobenthique est enregistrée en période estivale où les valeurs de l'indice de Simpson atteignent 0,15 au niveau de  $S_5$  (août 2014) et 0,16 au niveau des deux stations  $S_6$  et  $S_7$  (juillet et août 2014).

En comparaison avec d'autres cours d'eau marocains, les valeurs moyennes de l'indice de Simpson s'avèrent proches de celles rapportées par Fagrouch *et al.* (2011) au niveau de l'Oued Za et par Lamri *et al.* (2011) dans l'Oued Moulouya mais elles restent supérieures à celles enregistrées dans le moyen Sebou par Abbou et Fahde (2017a).



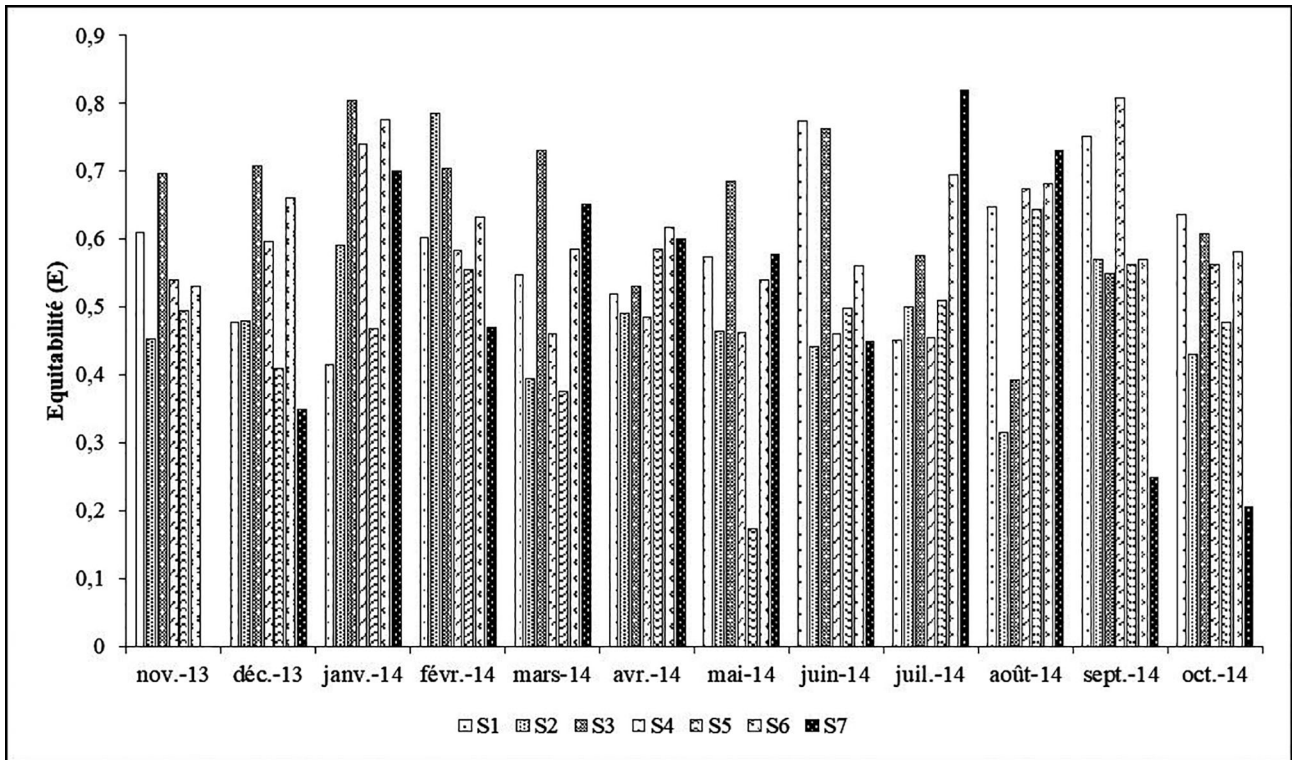


Figure 6. Variations spatio-temporelles de l'indice d'Equitabilité (E)

Figure 6. Spatio-temporal variations of Evenness index (E)

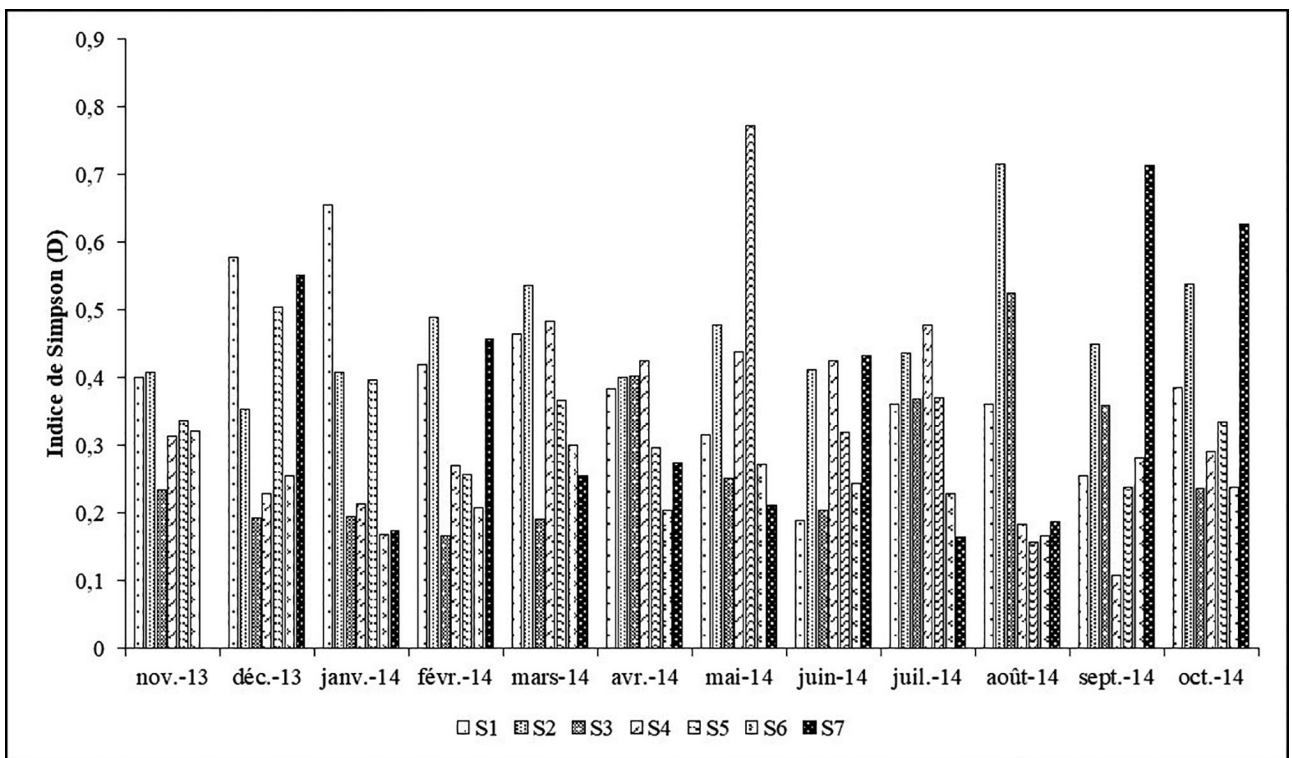


Figure 7. Variations spatio-temporelles de l'indice de Simpson (D)

Figure 7. Spatio-temporal variations of Simpson index (D)

L'indice de Hill, qui associe les deux indices de diversité de Shannon et celui de Simpson, semble plus réaliste dans la mesure de la diversité du peuplement macrobenthique de ce cours d'eau et affecte aux deux stations amont, les plus impactées par le déversement des eaux usées épurées ( $S_1$ ) et grises ( $S_2$ ), la même diversité (Fig. 8). En effet, les valeurs moyennes de l'indice de Hill tendent à diminuer d'amont en aval du cours d'eau passant de 0,49 en  $S_1$  et  $S_2$  à 0,37 et 0,40 enregistrées respectivement en  $S_5$  et  $S_7$ , reflétant ainsi une nette diversification du peuplement macrobenthique des stations en aval.

En termes de valeurs réelles, l'indice de Hill le plus faible est enregistré au niveau des zones marécageuses (0,25 en  $S_3$  au mois de juin 2014 et 0,24 en  $S_4$  au mois d'août 2014) et en aval de la retenue du barrage Hassar (0,23 en  $S_6$  au mois de mars et avril 2014) témoignant d'une diversification plus élevée du peuplement de ces stations (Fig. 8). Parallèlement, les valeurs maximales sont notées pour les stations les plus anthropisées soit 0,59 en  $S_1$  et  $S_2$  (février 2014), 0,58 en  $S_5$  (mai 2014) et 0,71 en  $S_7$  (octobre 2014).

Cette évolution spatiale des valeurs moyennes et réelles de l'indice de Hill confirme que le peuplement macrobenthique devient plus diversifié en s'éloignant des stations siège des déversements/infiltrations des eaux usées traitées ( $S_1$ ), des eaux grises ( $S_2/S_3$ ) et des activités de lavage des produits agricoles et de linge ( $S_7$ ).

En définitive, les descripteurs classiques utilisés ont permis de montrer que la faune benthique récoltée dans l'ensemble de nos stations est représentée par un nombre assez important de taxons spécialisés en comparaison à celle rapportée au Maroc par El Agbani (1984) dans l'Oued Bou Reg-reg, Badri (1985) dans l'Oued Tensift, Dakki (1986 et 1987) au haut Sebou, Fekhaoui *et al.* (1993) au niveau du moyen Sebou et par Talami (1998) à l'Oued Oukaimden et au bas Tensift. De même et par comparaison à d'autres travaux plus récents, notre macrofaune d'invertébrés présente une richesse taxonomique légèrement inférieure à celle enregistrée par Lamri *et al.* (2011) au niveau de l'Oued Moulouya et proches de celles obtenues par Karrouch & Chahlaoui (2009) dans l'Oued Boufekrane et par Abbou & Fahde (2017b) dans le moyen Sebou.

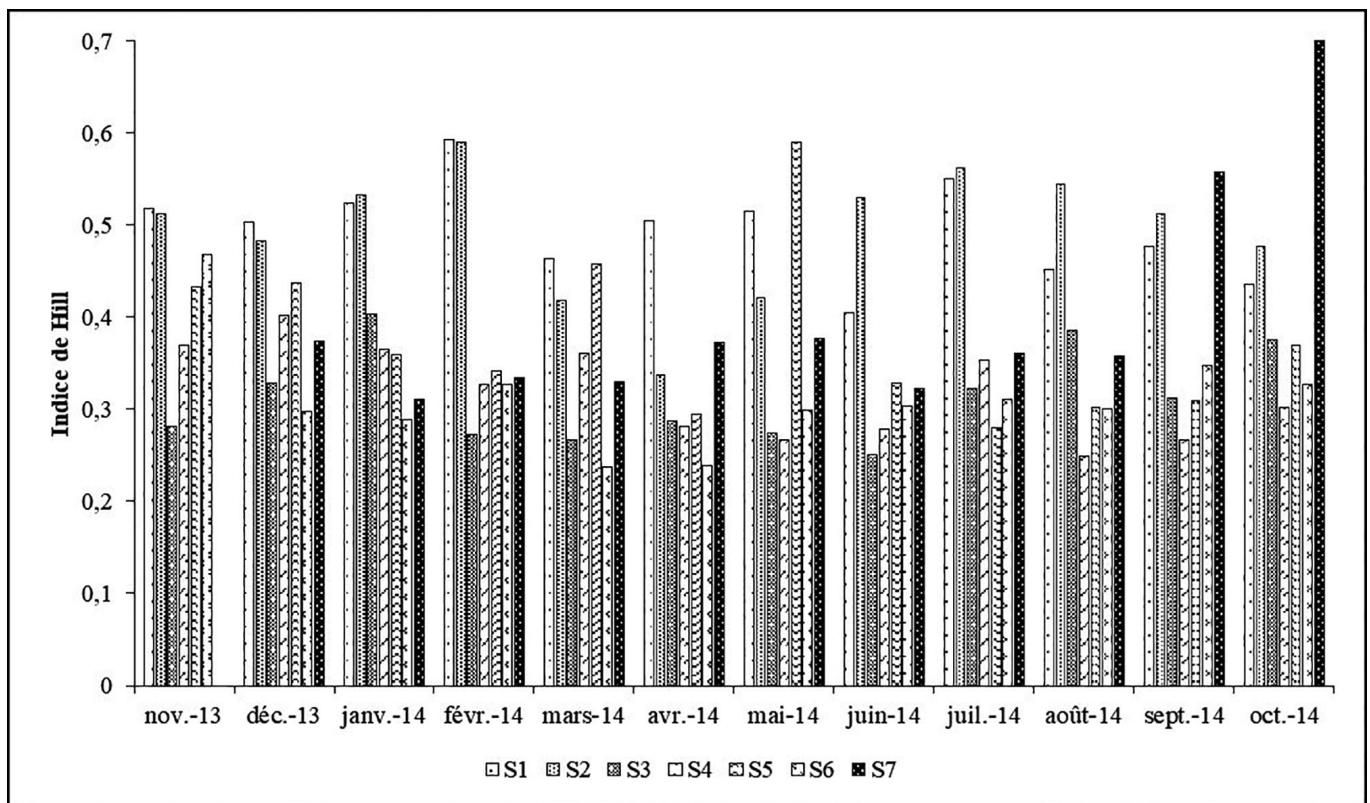


Figure 8. Variations spatio-temporelles de l'indice de Hill

Figure 8. Spatio-temporal variations of Hill index

### Abondance relative et densité globale de la faune

#### Abondance relative

L'analyse des résultats des abondances relatives moyennes de l'ensemble des taxons récoltés au cours de notre étude (Fig. 9) montre que le groupe des Insectes est le plus dominant (48,60%) suivi par les groupes des Annélides (38,98%), des Crustacés (8,98%), des Mollusques Gastéropodes (2,94%) et enfin celui des Planaires (0,25%).

Sur le plan spatial, l'abondance relative des différents groupes faunistiques varie selon les deux types de stations amont et aval. Au niveau des deux stations amont ( $S_1$  et  $S_2$ ), le

peuplement macrobenthique est dominé par les Annélides et les Diptères. En effet, les Annélides dominent le peuplement des stations amont mais aussi celui de la station aval  $S_7$  avec des abondances relatives moyennes de 74,98% en  $S_1$ , 67,06% en  $S_2$  et 48,45% en  $S_7$  (Fig. 10). Les Diptères arrivent en 2<sup>e</sup> position avec des abondances relatives moyennes respectives de 24,65% en  $S_1$  et 38,02% en  $S_2$ . Pour ce qui est des autres groupes faunistiques, les abondances relatives enregistrées restent plus faibles. Ainsi les abondances du groupe des Gastéropodes ne dépassent pas 6,4% en  $S_3$ , 4,92% en  $S_4$  et 4,77% en  $S_6$  et celles des groupes des Hétéroptères, Coléoptères, Odonates et Planaires restent faibles et atteignent

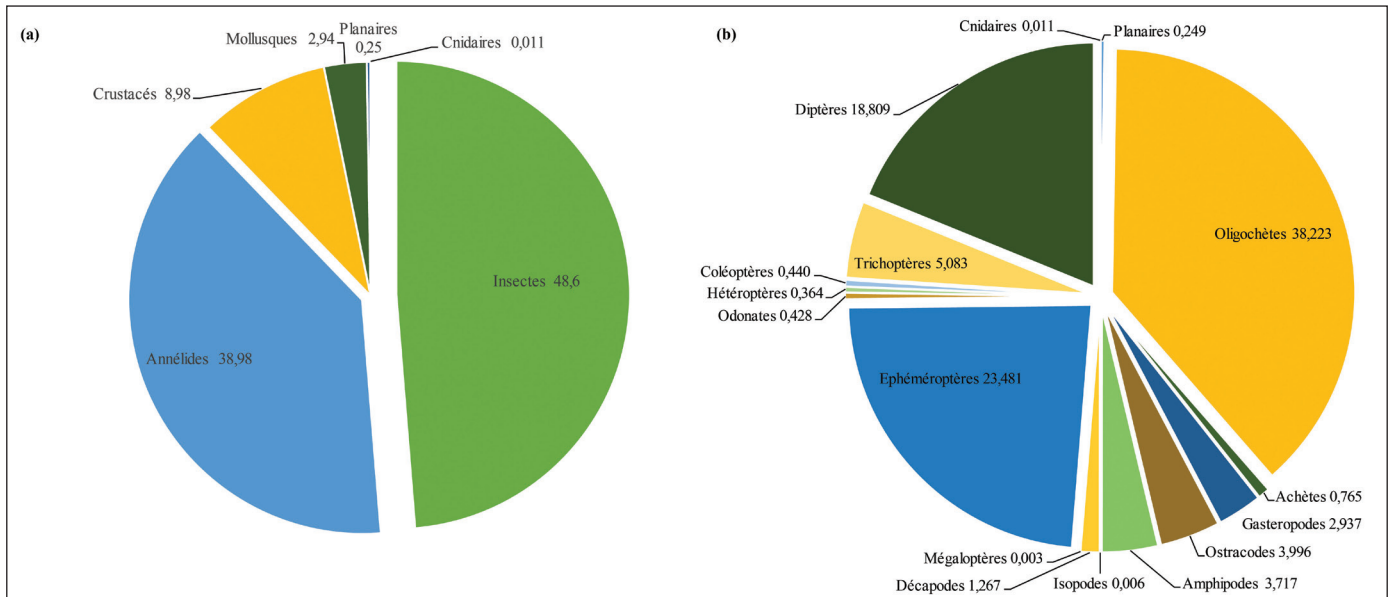


Figure 9. Abondance relative moyenne (%) des groupes dominants (a) et de l'ensemble des groupes taxonomiques du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar (b)

Figure 9. Average relative abundance (%) of the major groups (a) and all taxonomic groups of Hassar creek's macrobenthic population (b)

à peine une moyenne maximale de 1,92 % en S<sub>4</sub> pour les Coléoptères.

Plus en aval, les abondances relatives des Annélides et des Diptères diminuent progressivement au détriment du groupe des Ephéméroptères qui atteint une abondance relative de 30,59% en S<sub>3</sub> avant de dominer le peuplement des stations S<sub>4</sub> et S<sub>5</sub> avec respectivement des taux de 46,09% et 42,40% (Fig. 10). Parallèlement à cette colonisation/dominance du groupe des Ephéméroptères en S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> et S<sub>5</sub>, les Trichoptères apparaissent en S<sub>3</sub> avec une abondance moyenne de 8,39% et surtout en S<sub>6</sub> (en aval de la retenue de l'Oued Hassar) où ils atteignent une abondance relative de 19,98%. Les Crustacés, apparaissent également en S<sub>3</sub> (zone marécageuse 1) mais deviennent plus abondants dans la station S<sub>5</sub> atteignant un taux 24,79%.

En comparaison avec les résultats de la composition taxonomique du peuplement macrobenthique signalée par Oubraim (2002) dans ce même cours d'eau, l'abondance relative moyenne des Plathelminthes, des Gastéropodes, des Diptères et des Coléoptères a globalement diminué (Tab. 3). En revanche, cette abondance a montré un accroissement pour les Annélides et le reste des Insectes, notamment pour les Ephéméroptères, Trichoptères et Odonates. Pour le reste des autres groupes faunistiques, les abondances relatives moyennes s'avèrent relativement comparables à celles enregistrés dans cette étude. Cette comparaison montre que la macrofaune d'Invertébrés semble s'activer dans le milieu mais elle garde encore des séquelles des impacts anthropiques principalement liés aux eaux usées grises et aux déchets solides des agglomérations riveraines.

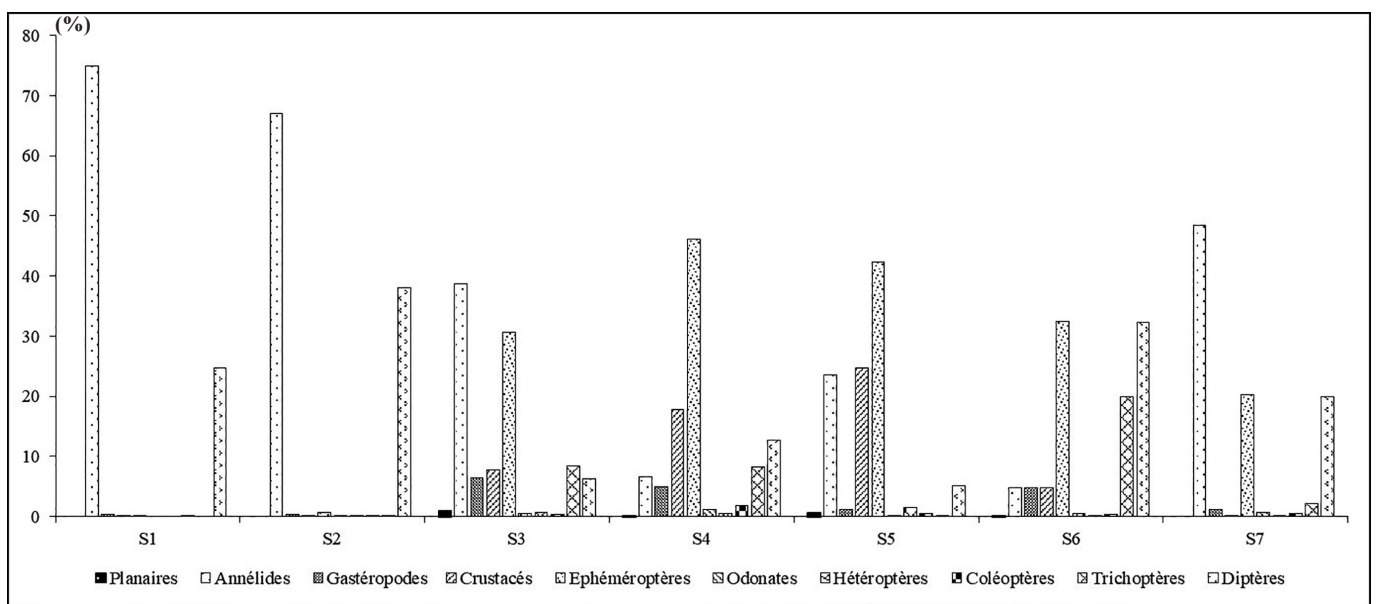


Figure 10. Variation spatiale de l'abondance relative moyenne (%) des groupes du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar

Figure 10. Spatial variation of mean relative abundance (%) of Hassar creek's macrobenthic groups



Par ailleurs, la composition taxonomique du peuplement macrobenthique de notre cours d'eau s'avère distincte de celle rapportée dans plusieurs travaux hydrobiologiques des cours d'eau marocains et cela pourrait être lié à un contraste des facteurs naturels et anthropiques influençant cette faune macrobenthique. A titre d'exemple, Abbou et Fahde (2017b) ont signalé que le peuplement macrobenthique du Sebou moyen présente une dominance d'Ephéméroptères (37%) suivis par les Diptères (24%) et les Crustacés (13%) (Tab. 3). Cependant, au niveau de ce même cours d'eau et plus exactement dans la partie qui se trouve en aval de la ville de Fès, Fekhaoui *et al.*

(1993) notent que le peuplement macrobenthique est dominé par le groupe des Oligochètes (88,4%), comme pour le cas du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar, suivi par les Diptères (7%), les Trichoptères (2,1%) et les Ephéméroptères (1,8%). En revanche, Karrouch et Chahlaoui (2009) rapportent que le peuplement macrobenthique de l'Oued Boufekrane présente une dominance des Crustacés et des Mollusques (69%) suivis par les Annélides et les Plathelminthes (19%) et le groupe des Ephéméroptères, Odonates et Plécoptères (4%) (Tab. 3).

Tableau 3. Comparaison de l'abondance relative moyenne (%) du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar avec quelques cours d'eau marocains

Table 3. The average relative abundance (%) of the macrobenthic population of Hassar creek comparison with some Moroccan rivers

Abondance relative moyenne (%)	Oued Sebou moyen (Abbou et Fahde, 2017b)	Oued Sebou aval (Fekhaoui <i>et al.</i> , 1993)	Oued Boufekrane (Karrouch & Chahlaoui, 2009)	Oued Hassar (Oubraim, 2002)	Oued Hassar (Présente étude)
Cnidaires	-	-	-	-	0,01
Plathelminthes	-	0,02	-	0,37	0,25
Annélides	9,54	88,43	19	29,8	38,98
Gastéropodes	5	0,3	-	17,39	2,94
Crustacés	13	0,07	69	9,08	8,98
Mégaloptères	-	-	-	-	0,003
Ephéméroptères	37	1,8	-	12,06	23,48
Odonates	1	0,03	4	0,26	0,43
Hétéroptères	1	0,01	3	0,34	0,36
Coléoptères	4	0,2	-	0,77	0,45
Trichoptères	6	2,1	2	4,4	5,08
Diptères	24	7	3	25,53	18,81

### Densité globale du peuplement macrobenthique

Les résultats obtenus au cours de notre étude montrent que les densités du peuplement macrobenthique varient entre un minimum de 545 ind.m<sup>-2</sup> enregistré en S<sub>3</sub> au mois de janvier 2014 et un maximum de 46865 ind.m<sup>-2</sup> noté le même mois au niveau de la station S<sub>1</sub> (Fig. 11). Au même moment les densités moyennes du peuplement calculées suivent une évolution spatiale décroissante de l'amont (22697,36 ind.m<sup>-2</sup> en S<sub>1</sub>) vers l'aval (7278,33 ind.m<sup>-2</sup> en S<sub>7</sub>).

En effet au niveau des stations amont (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>), les densités du peuplement macrobenthique s'avèrent élevées parallèlement à une faible richesse taxonomique en raison de la prolifération de quelques taxons polluo-tolérants (Diptères et Oligochètes). Ces taxons saprophiles dits "stratégues-r", caractérisés par leur grande fécondité et capacité à recoloniser les milieux perturbés ou dégradés (Pires *et al.*, 2000) et qui s'adaptent donc mieux aux conditions de pollution organique des stations amont et au manque d'oxygénation de leurs eaux comme l'ont signalé d'autres auteurs dans des milieux similaires (Giudicelli *et al.* 1981; Grzybkowska 1993; Dumnicka 2002; Morais *et al.* 2004; Fagrouch *et al.* 2011).

Au niveau des stations aval, la densité du peuplement macrobenthique diminue à partir de S<sub>3</sub> et S<sub>4</sub> et plus loin en S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub> en raison de l'apparition des groupes polluo-sensibles qualifiés de "stratégues-K" au détriment des taxons "stratégues-r". Ces taxons "stratégues-K" exploitent efficacement les ressources biotiques et les habitats du milieu tout en s'éloignant des points de rejet (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> et S<sub>5</sub>) (Annexe 1). Ce gradient décroissant des densités du peuplement macrobenthique est étroitement lié à la charge organique et au degré d'oxygénation des eaux (Grzybkowska 1993; Miltner & Rankin 1998; Dumnicka 2002).

En effet en aval, l'épuration des eaux du milieu favoriserait plus les taxons sensibles à la pollution qui sont plus dominants et exploitent équitablement les conditions et par conséquent le peuplement devient plus équilibré.

Par comparaison à d'autres cours d'eau, les densités moyennes enregistrées au niveau de notre milieu, notamment en amont, restent faibles par rapport à celles signalées à l'Oued Za (Fagrouch *et al.* 2011) qui reçoit les eaux usées brutes de Taourirt. Cependant, elles dépassent celles enregistrées au niveau de l'Oued Sebou en aval de la ville de Fès (Fekhaoui *et al.* 1993). Malgré les fortes densités enregistrées en amont, elles reflètent une forte capacité d'accueil des eaux de notre cours d'eau.

### Structure typologique du peuplement macrobenthique

Les résultats de l'Analyse Factorielle des Correspondances montrent que l'axe F<sub>1</sub> du plan F<sub>1</sub>\*F<sub>2</sub> oppose les deux stations amont (S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>), qui reçoivent l'effet organique lié aux effluents liquides traités de Mediouna et aux eaux grises de Sidi Brahim, aux stations aval (S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub>) caractérisées par un effet organique modéré (Fig.12). Ainsi, la partie négative de cet axe F<sub>1</sub> est occupée par un groupe des taxons polluo-résistants, caractérisant les eaux riches en matière organique et formés essentiellement d'Annélides Oligochètes (*Tubifex tubifex*, *Eiseniella tetraedra*, *Limnodrilus sp.*, *Lumbriculus variegatus*, *Haplotaxis sp.*, *Enchytraeidae*, *Uncinia uncinata*) et de Diptères (*Chironomus thummi*, *Chironomus plumosus*, *Psychodidae*). A l'opposé sur la partie positive de cet axe, se positionnent les taxons polluo-sensibles des eaux moyennement à faiblement polluées notamment les taxons: *Hydropsyche maroccana*, *Micronecta scholtzi*, *Cloeon dipterum*, *Caenis sp.*, *Baetis pavidus*, *Atyaephyra desmaresti*, *Gammarus pulex*, *Cyprididae*) (Fig.12).

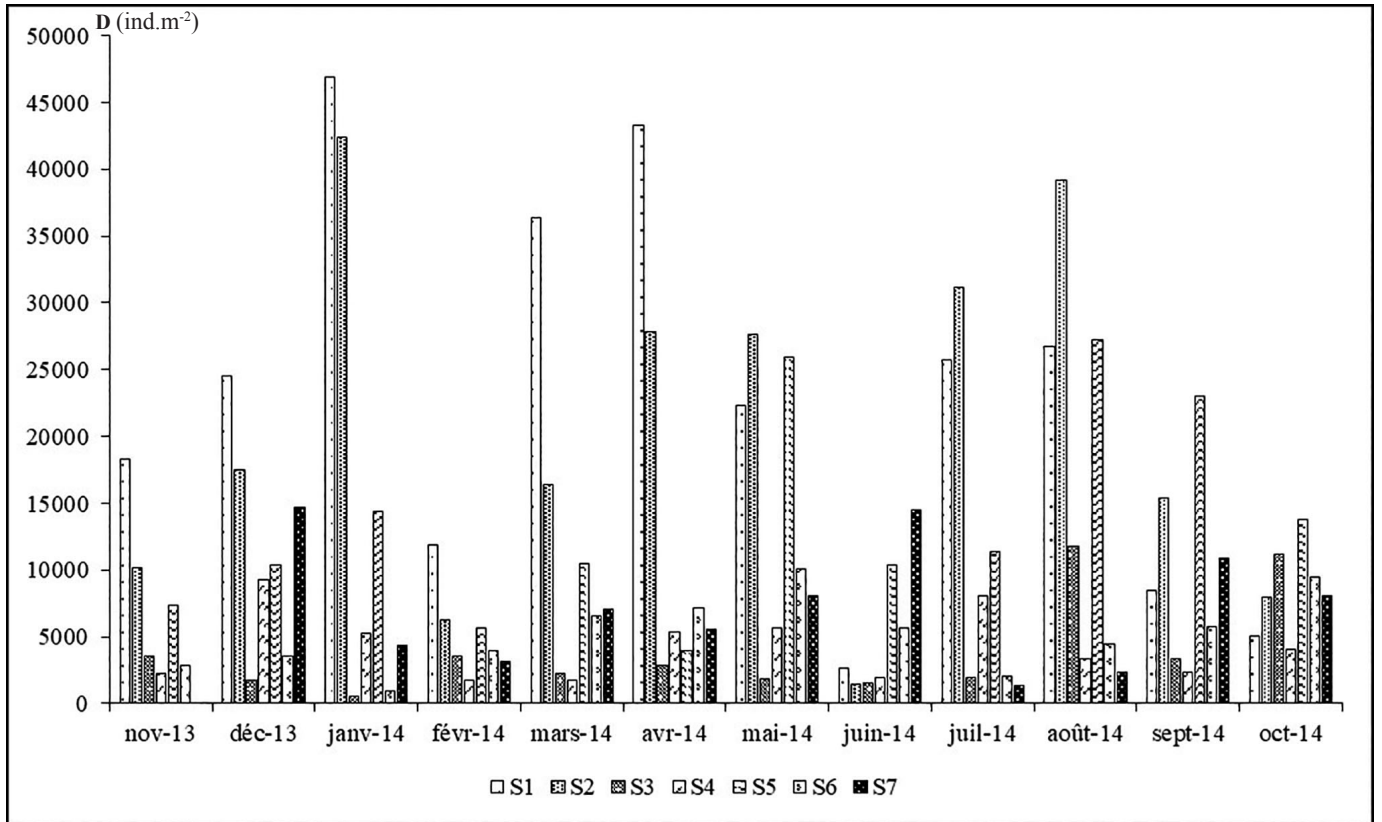


Figure 11. Densité globale (ind.m<sup>-2</sup>) du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar

Figure 11. Overall density (ind.m<sup>-2</sup>) of Hassar creek's macrobenthic population

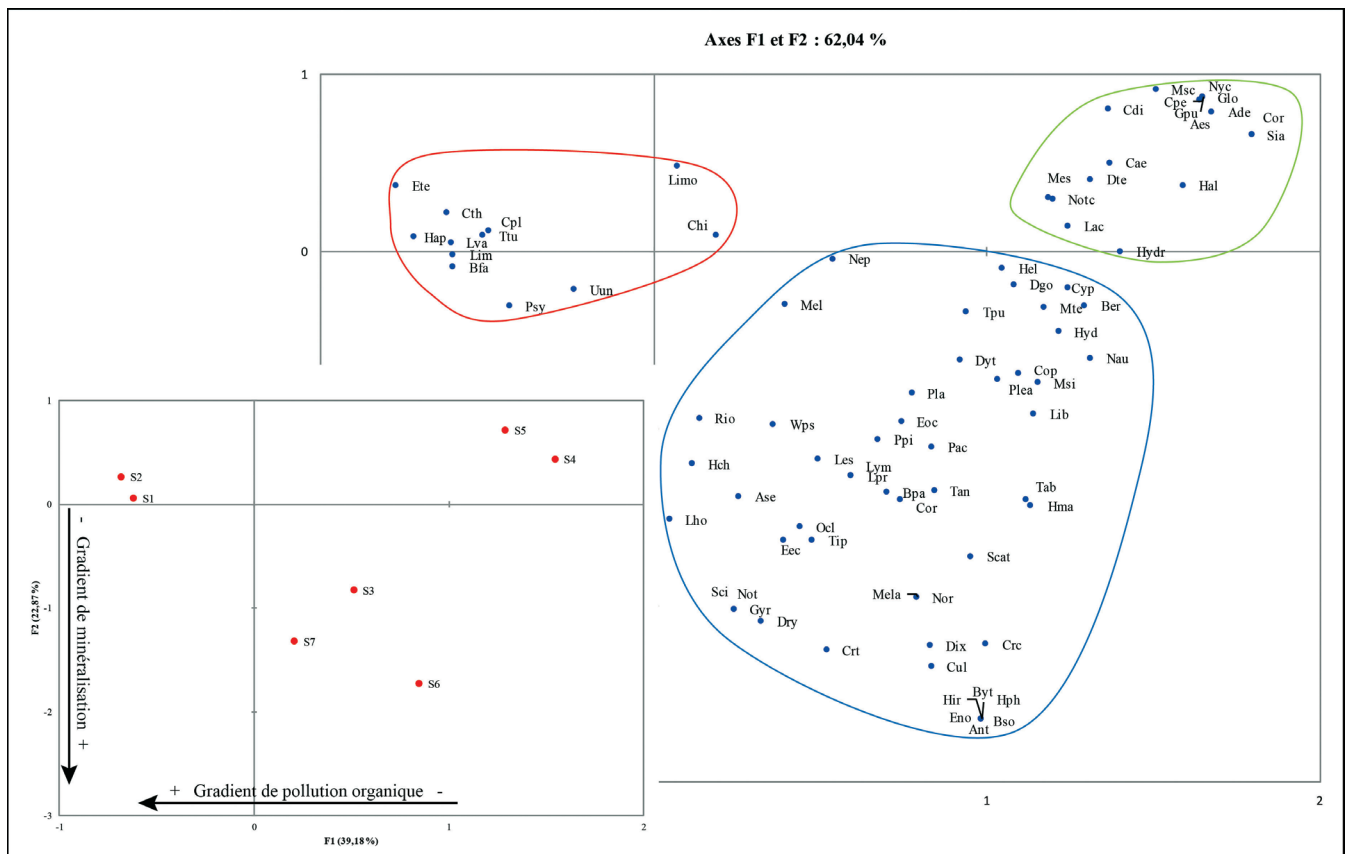


Figure 12. Projection des stations et des taxa sur le plan factoriel F1\*F2 de l'ACF

Figure 12. Projection of stations and taxa on the F1\*F2 factorial plan of FAC

Sur l'axe F<sub>2</sub>, les stations aval (S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub>) sont classées selon le degré de minéralisation des eaux. Ainsi, la partie positive de cet axe est formée par une contribution globalement faible des taxons : *Gammarus pulex*, *Atyaephyra desmaresti*, *Caenis sp.*, *Procloeon pennulatum*, *Cloeon dipterum*, *Corixa affinis*, *Micronecta scholtzi*, *Notonecta sp.*, *Nychia sp.*, *Laccophilus sp.*, *Haliphus sp.*, *Hygrobia sp.*, *Dicrotendipes sp.*, *Glossiphonia sp.*, *Hemiclepsis sp.*, qui auraient une préférence à des eaux peu à moyennement minéralisées. En revanche, la partie négative de cet axe F2 est formée par une forte contribution des taxons : *Hydropsyche maroccana*, *Baetis pavidus*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Erbobdella octoculata*, *Orthocladiinae*, *Cryptochironomus sp.*, *Tanytarsini sp.*, *Culicoides sp.*, *Dixidae*, *Scatella sp.*, *Polypedilum sp.*, *Tipulidae*, *Physa acuta*, *Mercuria similis*, *Libellulidae*, qui semblent avoir une préférence pour les eaux avec un degré de minéralisation plus élevé (Fig. 12).

### CONCLUSION

D'après les résultats de ce travail, les descripteurs classiques de la structure et l'analyse typologique du peuplement macrobenthique de l'Oued Hassar, lieu de déversement des eaux épurées par la StEp de Mediouna, montrent que la faune macrobenthique est représentée par un nombre assez important de taxons spécialisés dont la répartition dépend de la charge organique et du degré de minéralisation des eaux de ce milieu. En effet, l'installation et la prolifération des taxons polluo-tolérants en amont et l'apparition progressive des taxons polluo-sensibles en aval de ce cours d'eau signifient une nette amélioration amont-aval de la qualité de ses eaux grâce au phénomène d'autoépuration. En outre, l'évolution des indices de diversité révèle que le peuplement macrobenthique se diversifie progressivement de l'amont vers l'aval parallèlement à cette amélioration. Cette évolution progressive de la diversité taxonomique des macroinvertébrés benthiques témoigne d'une amélioration de l'état écologique global de ce cours d'eau suite à la mise en place de la StEp de Mediouna, qui serait à l'origine d'un début du processus de la résilience écologique du milieu. Néanmoins, l'effet des eaux usées grises et des déchets solides rejetés par certaines agglomérations rurales semble ralentir le retour de ce milieu à son état écologique antérieur.

Un tel résultat mérite d'être confirmé par l'utilisation d'autres indicateurs performants particulièrement les indices biotiques d'évaluation de la qualité des eaux. Par ailleurs, un suivi de ce processus de résilience écologique devrait être étalé dans le temps sur une période plus longue d'au moins deux années.

Certes, cette étude hydrobiologie a permis d'avoir une idée claire sur l'évolution de la structure, la typologie et la diversité du peuplement macrobenthique de ce cours d'eau, sévèrement dégradé, après l'installation du système de traitement des eaux usées de Mediouna.

### REFERENCES

- Abbou F. & Fahde A. 2017a. Bio-évaluation de la qualité de l'eau du moyen Sebou par application d'indices biotiques. *Larhyss Journal*, 30, 239-252.
- Abbou F. & Fahde A. 2017b. Structure et diversité taxonomique des peuplements de macroinvertébrés benthiques du réseau hydrographique du bassin du Sebou (Maroc). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11, 4, 1785-1806.
- Agence du Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia (ABHBC) 2004. *Mission 1*, 43 p.
- Badri A. 1985. *Etude hydrobiologique d'un cours d'eau de plaine en zone semi-aride : le Tensift. Impacts des crues sur la biocénose*. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, 124 p.
- Belliard J., Rosset V., Usseglio-Polatera P. *et al.* 2016. Chapitre IV : Ecologie. In : *Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique : Expertise scientifique collective*. Agence Française de la Biodiversité, 325 p.
- Berrahou A. 1988. *Recherches hydrobiologiques sur un cours d'eau des Beni-Snassene (Maroc Nord-Oriental). Impact des crues sur les macroinvertébrés benthiques*. Thèse 3ème cycle, Université Mohamed V, 124 p.
- Berrahou A., Chavanan G. & Richoux P. 2000. Etudes sur la Basse Moulouya (Maroc oriental) : 6. Les Coléoptères aquatiques de l'Oued Zegzel. *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, 69, 3, 44-50.
- Bouzidi A. 1989. *Recherches sur les cours d'eau des massifs du Hauts-Atlas (Maroc). Bio-écologie des macroinvertébrés et distribution spatiale des peuplements*. Thèse Doctorat d'Etat, Université Aix-Marseille III, 190 p.
- Bredenhand E. & Samways M. J. 2009. Impact of a dam on benthic macroinvertebrates in a small river in a biodiversity hotspot: Cape Floristic Region, South Africa. *Journal of Insect Conservation*, 13, 3, 297-307.
- Brinkhurst R.O. 1971. *A guide for the identification of British Aquatic Oligochaeta*. Freshwater biological association scientific publication, n° 22, 2nd Edition, 53 p.
- Dakki M. 1986. *Recherches hydrobiologiques sur le Haut Sebou (Moyen Atlas) ; une contribution à la connaissance faunistique, écologique et historique des eaux courantes sud-méditerranéennes*. Thèse Doctorat d'Etat, Université Mohamed V, 214 p.
- Dakki M. 1987. Ecosystèmes d'eau courante du haut Sebou (Moyen Atlas): études typologiques et analyses écologique et biogéographique des principaux peuplements entomologiques. *Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série zoologie*, n° 42, 1-99.
- Dethier M. 1985. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises, insectes : Hétéroptères aquatiques et ripicoles, genres et principales espèces. In : *Bulletin mensuel de la société linnéenne de Lyon*, n°10 ; n° 1 et n° 6, 1-44.
- Dumnicka E. 2002. Upper Vistula river: response of aquatic communities to pollution and impoundment. X. Oligochaete taxocens. *Polish Journal of Ecology*, 50, 237-247.
- Echaubard M. & Neveu A. 1975. *Perturbations qualitatives et quantitatives de la faune benthique d'un ruisseau à truite, la Couse Pavin (PUY-DE-DOME), dues aux pollutions agricoles et urbaines*. Laboratoire de Zoologie, Biologie Animale et écologique, INA-INRA, 24 p.
- El Agbani M.A. 1984. *Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouregreg (plateau central marocain): Essai de biotypologie*. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Claude Bernard, Lyon 1, 147 p.



- El Alami El Moutaouakil M. 1989. *Etude hydrobiologique d'un réseau hydrographique nord-rifain, l'Oued Laou: typologie, écologie et biogéographie des Ephéméroptères*. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Mohamed V, 183 p.
- El Alami M. et Dakki M. 1998. Peuplements d'Ephéméroptères et de Trichoptères de l'Oued Laou (Rif occidental, Maroc): distribution longitudinale et biotypologie. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, série multidisciplinaire*, n° 21, 51-70.
- El Imrani K. et Kettani K. 2012. Dynamique de la structure des communautés benthiques après des perturbations hydrologiques et morphologiques dans l'Oued Ez-Zarka (bassin Martil, Rif occidental, Maroc). *Méditerranée*, 118, 7-17.
- Epler J.H. 2001. *Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina*. North Carolina Department of Environment and Natural Resources, Division of Water Quality, 526 p.
- Fagrouch A., Berrahou A. & El Halouani H. 2011. Impact d'un effluent urbain de la ville de Taourirt sur la structure des communautés de macroinvertebrés de l'oued Za (Maroc oriental). *Journal of Water Science*, 24, 2, 87-101.
- Fekhaoui M. 1990. *Recherches hydro biologiques sur le moyen Sebou soumis aux rejets de la ville de Fès : suivi d'une macropollution et évaluation de ces incidences sur les composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème*. Thèse Doctorat d'Etat, Université Mohammed V, 165 p.
- Fekhaoui M., Dakki M. & El Agbani M.A. 1993. Faune benthique d'une rivière polluée du Maroc : l'oued Sebou à l'aval de la ville de Fès. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, n°17, 23-40.
- Foto Menbohan S., Zebaze Togouet S.H., Njine T. *et al.* 2010. Macroinvertebrés benthiques du cours d'eau Nga: Essai de caractérisation d'un référentiel par des analyses biologiques. *European Journal of Scientific Research*, 43, 1, 96 - 106.
- Fouad S. 2013. *Diagnostic de la qualité physico-chimique et microbiologique du cours d'eau de l'Oued Hassar (Nord Est de Casablanca) : Impacts et risques sanitaires liés aux eaux usées de Mediouna*. Thèse Doctorat, Université Hassan II-Casablanca, 140 p.
- Fouad S., Cohen N., Hajjami K. & Chlaida M. 2013. *Qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de l'Oued Hassar : impacts des eaux usées de la localité de Mediouna (périurbain de Casablanca, Maroc)*. ScienceLib Editions Mersenne, 5 (130113), 15 p.
- Giudicelli J., Dakki M. & Dia A. 1985. Caractéristiques abiotiques et hydrobiologiques des eaux courantes méditerranéennes. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 22, 2094-2101.
- Giudicelli J., Legier P., Musso J.J. *et al.* 1981. *Effect of a perturbation due to organic pollution on macroinvertebrates communities in a mediterranean river : the Tavignano (Corsica)*. Université Aix Marseille III, Laboratoire de Biologie Animale, Ministère de l'Environnement (Comité Eau) contrat n° 78-128, 96 p.
- Grall J. et Hily C. 2003. *Traitement des données stationnelles (faune)*. I. Rebert, Rennes : Ifremer, 76 p.
- Grzybkowska M. 1993. *Chironomidae w bentosie i dryfie odcinków rzek o różnej rzędowości w Polsce Środkowej*. Łódź. *Acta Universitatis Lodzianensis*, 119 p.
- Guignot F. 1947. *Faune de France 48 : Coléoptères hydrocanthares*. Fédération française des sociétés des sciences naturelles, office central de faunistique, Paris, 286 p.
- Harrold M. N. & Guralnick R. P. 2010. *A Field Guide to the Freshwater Mollusks of Colorado*. Colorado division of wildlife, 2nd edition, 1-132.
- Hill M.O. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427-432.
- Kairo K., Mols T., Timm H. *et al.* 2011. The effect of damming on biological quality according to macroinvertebrates in some estonian streams, central-baltic europe: a pilot study. *River Research and Applications*, 27, 7, 895-907.
- Karrouch L. & Chahlaoui A. 2009. Bio-évaluation de la qualité des eaux de l'Oued Boufekrane (Meknès, Maroc). *Biomatec Echo*, 3, 6, 6-17.
- Khatami A. 1992. *Hydrogéologie du sahel de Mohammedia-Ben Slimane: Etude hydrochimique, indices des irrigations et des apports atmosphériques sur l'évolution des eaux et des sols*. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 205 p.
- Klemm D. J. 1972. *Biota of Freshwater Ecosystems Identification Manuel n°8 : Freshwater leeches (Annelida : Hirudinea) of North America*. Environmental Protection Agency, 53 p.
- Lafont M. 1983. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. *In : Bulletin mensuel de la société linnéenne de Lyon*, n° 4, 108-135.
- Lamri D. & Belghyti D. 2011. *Bio-évaluation de la qualité des eaux par application des indices biotiques : cas de l'oued Moulouya (Maroc)*. ScienceLib Editions Mersenne, 3 (110905), 21 p.
- Legendre L. et Legendre P. 1984. *Écologie numérique, deuxième édition. Tome 1: Le traitement multiple des données écologiques*. Masson, Paris et les Presses de l'Université du Québec, 260 p.
- Leung A., Edward D. et Pinder A. 2013. *Photographic guide and keys to the larvae of Chironomidae (Diptera) of south-west Western Australia: PartII. Orthoclaadiinae*. University of western Australia, Department of environment and conservation, 56 p.
- Martin M. & Ait Boughrou A. 2012. *Guide taxonomique des oligochètes dulçaquicoles du Maghreb*. Abc Taxa, 12, I-VIII, 186 p.
- Maynard C. M. & Lane S. N. 2012. Reservoir compensation releases: impact on the macroinvertebrate community of the derwent river, northumberland, UK-a longitudinal study. *River Research and Applications*, 28, 6, 692-702.
- Mbaka J.G., Mwaniki M.W. 2015. A global review of the downstream effects of small impoundments on stream

- habitat conditions and macroinvertebrates. *Environmental Reviews*, 23, 3, 257-262.
- Miltner R. et Rankin E. 1998. Primary nutrients and the biotic integrity of rivers and streams. *Freshwater Biology*, 40, 145-158.
- Moisan J. & Pelletier L. 2008. *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat grossier*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p.
- Moisan J. 2010. *Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 82 p.
- Morais M, Pinto P, Guilherme P *et al.* 2004. Assessment of temporary streams : the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. *Hydrobiologia*, 516, 229-249.
- Mounjid J., Cohen N., Fadlaoui S. *et al.* 2014. Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique du cours d'eau Merzeg (périurbain de Casablanca, Maroc). *Larhyss Journal*, 18, 31-51.
- Musso J.J., Prévot G., Légier P., Playoust C. 1991. Contribution à la connaissance des cours d'eaux méditerranéens de basse altitude : le réseau hydrographique de l'Arc (Bouches du Rhône, France). Etat des peuplements en référence aux perturbations anthropiques. *Annales de Limnologie*, 27, 1, 75-85.
- Nahli A. 2017. *Etude des potentialités de résilience du cours de l'Oued Hassar après installation de la station d'épuration de Mediouna (Casablanca, Maroc)*. Thèse Doctorat, Université Hassan II-Casablanca, 252 p.
- Nahli A., Hebabaze S. & Chlaida M. 2016. Assessment of the physicochemical quality of Hassar stream after installing Mediouna wastewater treatment plant (Casablanca, Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*, 7, 2, 519-524.
- Nahli A., Hebabaze S., Belmatrik S. *et al.* 2015. Diagnostic préliminaire de la qualité physicochimique des eaux de l'Oued Hassar après installation de la station d'épuration de Mediouna (Casablanca, Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 13, 4, 965-978.
- Oubraim S. 2002. Qualités physico-chimiques et biologiques des cours d'eau du réseau hydrographique de la meseta occidentale Marocaine, cas de L'Oued Mellah. Thèse Doctorat d'état, Université Hassan II- Mohammedia, 208 p.
- Paul M., Meyer J. 2001. Streams in the urban landscape. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 32, 333-365.
- Pielou E.C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience, New York, 294 p.
- Pinder A.M. & Brinkhurst R.O. 2000. A review of the Tubificidae (Annelida: Oligochaeta) from Australian inland waters. *Memoirs of museum victoria*, 58, 1, 39-75.
- Pires A. M., Cowx I. G. & Coelho M. 2000. A benthic macroinvertebrate community of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana Basin (Portugal). *Hydrobiologia*, 435, 167-175.
- Poisson R. 1957. Faune de la France n° 61 : Hétéroptères aquatiques. Fédération française des sociétés de sciences naturelles, office central de faunistique, 263 p.
- Prenda J. & Gallardo-Mayenco A. 1996. Self-purification, temporal variability and the macroinvertebrate community in small lowland Mediterranean streams receiving crude domestic sewage effluents. *Archiv fur Hydrobiologie*, 136, 159-170.
- Qninba A. 1986. Structure, dynamique et microdistribution de quelques peuplements d'invertébrés benthiques de l'oued bouregreg (Plateau Central Marocain). Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Mohammed V, 135 p.
- Ramade F. 2003. *Éléments d'écologie Écologie appliquée: action de l'Homme sur la biosphère*. Dunod, 3ème Edition, Paris, 190 p.
- Resh V.H., Norris R.H. & Barbour M.T. 1995. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian Journal of Ecology*, 20, 108-121.
- Routledge R. D. 1979. Diversity indices: Which ones are admissible? *Journal of Theoretical Biology*, 76, 4, 503-515.
- Schuster G.A. & Etnier D.A. 1978. *A manual for the identification of the larvae of the caddisfly genera Hydropsyche Pictet and Symphitopsyche Ulmer in Eastern and Central North America (Trichoptera:Hydropsychidae)*. Environmental monitoring and support laboratory office of research and development U.S. environmental protection agency Cincinnati, OHIO, EPA-600/4-78-060, 129 p.
- Stewart P. L. & Loch J. S. 1973. A guide for the identification of two sub-families of larval Chironomidae: the Chironominae and Tanypodinae found in benthic studies in the Winnipeg river in the vicinity of Pine falls, Manitoba in 1971 and 1972. Department of the environment fisheries and marine service, Fisheries Operations Directorate, Central Region, Technical Report Series, n° CEN/T-73-12, 1-46.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. *et al.* 2010. *Invertébrés d'eau douce. In : Systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions, Paris, 601 p.
- Tachet H., Richoux P., Bourneaux M. *et al.* 2006. *Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions, 587 p.
- Talami Z. 1998. *Application des méthodes biologiques et chimiques pour la détermination de la qualité des eaux des rivières du haut atlas marocain. Cas des Oueds Tensift, Oukaimeden et Ourika*. Thèse Doctorat, Université Cadi Ayyad, 228 p.
- Webb J.M. & Suter P.J. 2011. Identification of larvae of Australian Baetidae. *Museum Victoria Science Reports*, 15, 1-24.

Manuscrit reçu le 18/07/2018

Version révisée acceptée le 25/11/2019

Version finale reçue le 04/12/2019

Mise en ligne le 06/12/2019

Annexe 1. Abondances moyennes (Ind.m<sup>-2</sup>) des différents taxons du peuplement macrobenthique de l'Oued HassarAppendix 1. Different taxa's mean abundances (Ind.m<sup>-2</sup>) of Hassar creek's macrobenthic population

Groupes faunistiques et taxons		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
<b>Hydrozoaires</b>								
Hydridae		-	-	-	-	6,11	-	-
<b>Platyhelminthes</b>								
Planaires								
Dugesidae <i>Dugesia gonocephala</i> (Dugès)		-	-	40,00	1,11	40,00	0,56	-
<b>Annélides</b>								
Lumbriculidae <i>Lumbriculus variegatus</i> (Muller)		830,56	670,00	1,67	-	22,78	11,11	112,73
Naididae <i>Uncinia uncinata</i> (Orstedt)		13,33	33,33	23,33	1,67	-	-	-
Tubificidae <i>Branchiura sowerbyi</i> (Beddard)		-	-	-	-	-	1,11	-
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparède)		166,67	55,56	43,89	2,78	-	1,11	831,52
<i>Limnodrilus udekemianus</i> (Claparède)		-	-	1,67	-	-	-	-
<i>Limnodrilus sp.</i>		6668,33	1393,33	254,44	11,11	53,89	50,56	295,15
<i>Tubifex tubifex</i>		12641,11	12202,22	636,11	293,33	2643,89	107,22	2607,88
Lumbricidae <i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny)		1,11	4122,22	93,33	3,33	-	7,78	3,03
Enchytraeidae		2639,44	564,44	35,00	4,44	7,78	8,33	246,06
Haplotaxidae <i>Haplotaxis sp.</i>		25,00	-	-	-	-	-	-
Glossiphoniidae <i>Hemiclepsis sp.</i>		-	-	-	-	47,78	-	-
<i>Glossiphonia sp.</i>		-	-	-	-	1,11	-	-
<i>Helobdella sp.</i>		-	-	0,56	-	0,56	-	-
Hirudidae <i>Hirudo sp.</i>		-	-	-	-	-	0,56	-
Erpobdellidae <i>Erpobdella octoculata</i> (Linné)		-	-	95,00	2,22	13,33	2,22	33,33
<b>Gastéropodes</b>								
Planorbidae <i>Planorbis sp.</i>		-	-	2,22	-	0,56	-	-
Hydrobiidae <i>Mercuria similis</i> (Draprnaud)		-	1,11	87,22	56,11	3,33	56,11	1,82
Melaniidae <i>Melanopsis praemorsa</i> (Linné)		83,33	-	62,22	93,33	133,33	126,11	29,09
Physidae <i>Physa acuta</i> (Draprnaud)		-	23,33	32,22	70,00	31,67	51,67	52,12
Thiaridae <i>Melanoides sp.</i>		-	-	1,11	-	-	1,67	-
Lymnaeidae		-	-	0,56	-	-	-	-
Bythinellidae <i>Bythinella sp.</i>		-	-	-	-	-	1,11	-
<b>Crustacés</b>								
Ostracodes		-	-	216,67	612,22	562,78	220,00	32,12
Gammaridae <i>Gammarus pulex</i> (Gauthieri)		1,67	-	35,56	1,67	3403,89	-	-
Asellidae <i>Proasellus sp.</i>		-	0,56	1,11	-	-	0,56	0,61
Atyidae <i>Atyaephyra desmaresti</i> (Milet)		0,56	-	0,56	455,56	533,33	0,56	4,85
<b>Mégaloptères</b>								
Sialidae <i>Sialis sp.</i>		-	-	-	1,11	-	-	-
<b>Ephéméroptères</b>								
Caenidae <i>Caenis sp.</i>		-	0,56	171,67	722,22	5206,11	199,44	144,24
Baetidae <i>Baetis pavidus</i> (Grandi)		1,11	1,11	1527,78	1444,44	287,78	1583,33	2009,09
<i>Procloeon pennulatum</i> (Eaton)		-	-	-	-	3,33	-	-
<i>Cloeon dipterum</i> (Linné)		0,56	25,56	1,11	16,67	479,44	12,78	2,42
<b>Odonates</b>								
Aeshnidae		-	-	-	0,56	1,11	-	-
Libellulidae		-	-	22,78	30,00	12,22	21,11	13,94
Cordulegastridae <i>Cordulegaster sp.</i>		-	-	-	0,56	-	-	-
Lestidae		-	0,56	-	6,11	6,67	-	10,91
Corduliidae		-	-	-	-	0,56	0,56	1,21
<b>Hétéroptères</b>								
Corixidae <i>Micronecta scholtzi</i> (Fieber)		-	-	9,44	5,00	234,44	0,56	0,61



Notonectidae	<i>Corixa affinis</i> (Leach)	-	-	-	0,56	37,78	-	-
	<i>Notonecta sp.</i>	-	-	0,56	-	1,11	-	-
	<i>Nychia sp.</i>	-	-	-	1,11	1,67	-	-
Naucoridae	<i>Naucoris sp.</i>	-	-	0,56	4,44	5,00	3,89	-
Nepidae	<i>Nepa rubra</i>	-	2,22	0,56	2,22	0,56	0,56	-
Mesoveliidae	<i>Mesovelia sp.</i>	-	-	-	-	2,78	-	0,61
Pleidae	<i>Plae leach</i>	-	0,56	-	2,78	1,11	3,33	0,61
<b>Coléoptères</b>								
Gyrinidae	<i>Gyrinus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	0,61
Dytiscidae	<i>Copelatus sp.</i>	-	-	1,11	17,78	8,33	7,22	7,88
	<i>Dytiscus sp.</i>	-	0,56	1,67	2,78	21,67	5,00	9,70
	<i>Laccophilus sp.</i>	-	0,56	2,78	10,56	10,00	1,11	1,82
Noteridae	<i>Noterus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	0,61
Haliplidae	<i>Haliplus sp.</i>	-	-	0,56	17,78	6,11	0,56	-
Dryopidae	<i>Dryops sp.</i>	-	-	-	0,56	-	0,56	4,85
Hydrophilidae	<i>Hydrous sp.</i>	-	-	-	5,00	3,33	2,22	3,64
	<i>Berosus sp.</i>	-	-	1,11	2,22	1,67	0,56	-
	<i>Enochrus sp.</i>	-	-	-	-	-	0,56	-
	<i>Hydrophilus sp.</i>	-	-	-	-	-	2,22	-
	<i>Helochaeres sp.</i>	0,56	0,56	-	-	-	1,11	-
Hydraenidae	<i>Hydraena sp.</i>	-	-	0,56	3,33	-	-	0,61
Hygrobiiidae	<i>Hygrobia sp.</i>	-	-	-	1,11	6,11	-	-
Elmidae	<i>Normandia sp.</i>	-	-	1,11	-	-	0,56	-
	<i>Riolus sp.</i>	0,56	1,67	-	0,56	-	1,67	1,82
<b>Trichoptères</b>								
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche maroccana</i> (Navas)	-	-	302,22	421,11	9,44	1055,56	86,67
Ecnomidae	<i>Ecnomus sp.</i>	-	0,56	-	-	-	1,67	-
<b>Diptères</b>								
Ceratopogonidae	<i>Culicoides sp.</i>	-	0,56	2,22	1,11	3,89	106,11	23,03
Simuliidae	<i>Wilhelmia pseudoquinum</i> (Seguy)	-	7,22	1,11	2,78	0,56	24,44	6,06
Ephydriidae	<i>Scatella sp.</i>	-	2,22	-	1,11	5,00	40,00	1,21
Dixidae		-	-	2,78	2,78	-	44,44	6,06
Tipulidae		0,56	3,33	-	-	1,11	9,44	4,85
Tabanidae		-	-	1,67	1,67	5,56	8,89	0,61
Chironomidae								
Ss F. Tanypodinae	<i>Tanypus sp.</i>	-	2,78	41,67	29,44	21,11	2,78	1,82
Ss F. Chironominae								
Chironomini (tribu.)								
	<i>Chironomus plusmosus</i> (Linné)	42,78	1655,56	13,33	71,11	79,44	5,56	563,03
	<i>Chironomus thummi</i> (Kieffer)	4034,44	6409,44	285,00	21,11	306,67	52,78	29,70
	<i>Chironomini sp.</i>	175,00	252,22	8,33	38,89	129,44	100,00	61,82
	<i>Cryptochironomus sp.</i>	-	-	7,22	23,33	1,67	127,22	12,73
	<i>Cryptotendipes sp.</i>	-	-	-	-	-	2,22	4,24
	<i>Microtendipes sp.</i>	-	18,89	11,11	78,33	29,44	107,78	21,21
	<i>Dicrotendipes sp.</i>	-	3,89	10,56	13,89	210,56	50,00	44,24
	<i>Polypedilum sp.</i>	-	-	-	1,67	16,11	3,33	38,18
Tanytarsini (tribu.)		1,11	31,11	2,22	52,78	41,67	254,44	71,52
Ss F. Orthoclaadiinae		2,22	183,89	13,89	110,56	23,33	1027,22	483,03
Sciomyzidae		-	-	-	-	-	-	4,24
Psychodidae		134,44	1,11	0,56	0,56	1,67	9,44	12,12
Limoniidae		-	1,11	-	0,56	-	-	-
Anthomyiidae		-	-	-	-	-	0,56	-