

## BIOSURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE DES EAUX DE L'OUED OUISLANE (MEKNES, MAROC)

### [ INTEGRATED ENVIRONMENTAL BIOMONITORING OF THE WATERS QUALITY IN OUISLANE RIVER (MEKNES, MOROCCO) ]

*Lahcen KARROUCH<sup>1</sup>, Abdelkader CHAHLAOU<sup>1</sup>, and Adil ESSAHLE<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Biology, Faculty of Sciences Meknes, University of Moulay Ismail, B.P.11.201 Zitoune, Meknes, Morocco

<sup>2</sup>Health-Environment Service, Provincial Delegation of Health in El Hajeb, Morocco

---

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The valley of the Ouislane River (Meknes) undergoes anthropic pressure, which acts mainly on the river water quality. A study of the impacts of anthropogenic activities on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Ouislane River was conducted. This study focused on five stations: from the source to the exit of the city of Meknes, with a monthly sampling frequency in 2010. We analyzed twelve physicochemical parameters and determined the diversity (Shannon-Wiener and Evenness Index) as well as the biological index through the benthic macroinvertebrates, based on the SEQ-V.2 scoring system. The relationships between the physicochemical and the macrobenthic data were investigated by biotopology analysis (PCA and FCA) and Pearson correlation analysis. According to the SEQ-Eau, The results obtained show that the water quality in station (O1) is of good quality, but the ecological functioning of the river is very disturbed "polluted" when it passes through the agglomeration of Meknes (O2). Downstream, the water quality is average in the O4-O5 section. Four variables are involved actively in the individualization of the physico-chemical environment: COD, dissolved oxygen, TSS and BOD5. The total number of macrobenthic taxa and their overall richness indices and diversity indices were significantly higher at the station (O1) than other stations. The analyses showed that the richness and diversity indices were generally influenced by the total suspended solids, chemical oxygen demand and biology oxygen demand of the river water. This study also highlighted the impacts of anthropogenic activities on the distribution and species diversity of macrobenthic invertebrate. Some sensitive (Trichoptera) and resistant species (*Tubifex* sp.) are identified as potential bioindicators of river ecosystems. The data obtained in this study supported the use of the bioindicator concept (Innovative Biotechniques for biomonitoring water quality) for North Africa Rivers because it is more efficient than conventional methods.

**KEYWORDS:** water quality, Multivariate Statistical Techniques, Benthic Macroinvertebrates, Morocco.

**RÉSUMÉ:** Dans la vallée de l'Oued Ouislane, les activités urbaines, industrielles et agricoles s'intensifient d'une année à une autre et par conséquent, les polluants affectent la qualité du milieu aquatique et sa composition faunistique. Cette étude a porté sur cinq stations sur le lit de l'Oued Ouislane depuis la source à la sortie de la ville de Meknès, avec une fréquence de prélèvement mensuel (en 2010). Nous avons analysé douze paramètres physico-chimiques et déterminer la diversité (indice de Shannon-Wiener et Équitabilité) ainsi que l'indice biologique par le biais des macroinvertébrés benthiques. Les relations entre les données physico-chimiques et macroinvertébrées ont été étudiées par analyse biotopologique (ACP et AFC) et par analyse de corrélation de Pearson. Les résultats obtenus montrent que l'eau en amont du cours d'eau (O1) est de qualité assez bonne, par contre le fonctionnement écologique de l'Oued Ouislane est très perturbé lors de son passage dans l'agglomération de Meknès (O2), par comparaison à la grille de la qualité des eaux superficielles (SEQ-Eau). En aval, la qualité d'eau est moyenne dans le tronçon O4-O5. Quatre variables interviennent activement dans l'individualisation de l'environnement physico-chimique: DCO, oxygène dissous (O<sub>2</sub>), matière en suspension (MES) et DBO5. Le nombre total de taxons macroinvertébrés

benthiques et leurs indices de richesse-diversité étaient significativement plus élevés dans la station amont (O1) que dans les autres stations. L'analyse biotypologique montre que les indices de richesse et de diversité étaient généralement influencés par la demande chimique en oxygène et la matière en suspension (MES), la demande biologique en oxygène. Cette étude a également mis en évidence les impacts des activités anthropiques sur la répartition et la diversité des macroinvertébrés benthiques. Certaines espèces sensibles (Trichoptères) et résistantes (*Tubifex sp.*) sont identifiées comme des bioindicateurs potentiels d'écosystèmes fluviaux. Les données obtenues dans cette étude ont appuyé l'utilisation du concept de bioindicateurs (Innovation Biotechniques pour la Biosurveillance la qualité de l'eau) pour les rivières de l'Afrique du Nord parce qu'il est plus efficace que les méthodes conventionnelles.

**MOTS-CLEFS:** Qualité de l'Eau, Techniques statistiques multivariées, Macroinvertébrés Benthique, Maroc.

## 1 INTRODUCTION

La pollution de l'environnement est devenue dans les dernières décennies un des problèmes majeurs qui conditionnent l'avenir de notre civilisation. En effet, la dégradation de plus en plus étendue résultant de la pollution de l'écosphère compromet la stabilité des écosystèmes et par conséquent le renouvellement des ressources naturelles. Les espèces vivantes, végétales ou animales, occupant les espaces pollués, subissent des agressions auxquelles elles doivent s'adapter ou qui compromettent leur intégrité, voire leur survie [1], [2]. La protection de l'environnement est devenue de nos jours l'un des problèmes du quotidien. Les gouvernements, aussi bien que les ONG ne cessent de déployer de plus en plus d'efforts dans ce contexte. La pollution des écosystèmes aquatiques représente, par ailleurs, l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation de l'environnement. Pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement [3]. Au cours ces dernières années, la région de Meknès a connu un développement industriel important. L'influence anthropique sur l'Oued Ouislane se manifeste par différentes activités industrielles comprennent les tanneries, la brasserie, le textile, la cimenterie, les huileries, les conserveries, la forge et la poterie [4]. Les activités agricoles sont pratiquées sur l'ensemble du bassin versant ou directement dans les petites parcelles en bordure de la rivière et les déchets industriels sont rejetés directement dans l'Oued Ouislane (Tableau 1). Toutes ces activités affectent la qualité de l'eau et provoquent des modifications plus ou moins marquées des communautés vivantes, particulièrement les macroinvertébrés [5], [6], [7], [8]. La structure des communautés de macroinvertébrés benthiques est souvent utilisée comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les écosystèmes aquatiques, et peut fournir une foule d'informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat [9]. Les organismes aquatiques réagissent à toutes les altérations physico-chimiques et la biocénose garde longtemps la trace d'une pollution même passagère. Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat [10], [11], [12], [13]. Leurs utilisations en tant qu'indicateur de perturbation ont fait l'objet de plusieurs études dont nous citons entre autres, celles de Sylvestre [14] et Moisan [15]. Dans ces conditions, les objectifs principaux de ce travail sont d'une part, la détermination de l'impact des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux de l'Oued Ouislane et d'autre part étudier les relations entre les paramètres physico-chimiques et la biodiversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Ouislane, en utilisant des méthodes multimétriques (ACP, AFC et t-test). Afin d'identifier les paramètres physicochimiques provoquer des changements significatifs dans la répartition et la diversité des macro- invertébrés benthiques.

Tableau 1. Flux des rejets industrielles et agricoles en kg/jour [16]

| STATION | ACTIVITES EN AMONT                         | FLUX DE REJETS (KG/JOUR) |       |     |      |
|---------|--|--------------------------|-------|-----|------|
|         |  | M.O                      | M.E.S | M.P | M.A  |
| O1      | - Activité agricole                        | -                        | -     | 35  | 44   |
| O2      | - Celliers de Meknès                       | 7                        | 0,7   | 0,4 | 0,2  |
|         | - Huiliers de Meknès et Conserves de Aïcha | 2110                     | 930   | 15  | 25   |
|         | - Moulin Essadiyane                        | 10                       | 105   | 1,5 | 1,0  |
|         | - Centre laitière                          | 2200                     | 10    | 20  | 10   |
| O3      | - Abattoir (bovin et ovins)                | 232                      | 241,2 | 3,4 | 48,5 |
|         | - BRANOMA                                  | 27,3                     | 6,8   | 0,8 | 0,6  |
|         | - Moulin (Atlas )                          | 52,5                     | 289,5 | 8,8 | 0,7  |
|         | - Ismailiya Rubrique                       | -                        | 170   | -   | -    |
| O4      | - LAFARGE ciment                           | -                        | 790   | -   | -    |
|         | - Activités agricoles                      | -                        | -     | 30  | 42   |
| O5      | - Activités agricoles                      | -                        | -     | 25  | 30   |

**M.O** : Matière organique; **M.E.S** : Matière en suspension; **M.P** : Matière phosphatée; **M.A** : Matière azotée.

## 2 MATRIEL ET METHODES

### 2.1 ZONE D'ÉTUDE ET SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

Le cours d'eau Oued Ouislane est l'un des affluents du bassin de Sebou, son bassin versant se trouve à 15 km au sud de la ville de Meknès (**Figure 1**). La lithologie du bassin versant est constituée de Tirs (sol riche en matières organiques) et calcaire (roche mère). Sur le plan climatique, La moyenne annuelle de la température est 18 C° avec des valeurs extrêmes de 7 C° et 40 C° enregistrés pendant les mois de Janvier et Juillet. La moyenne annuelle de la pluviométrie est de 450 mm, avec un maximum en janvier. La vitesse de courant devienne importante durant la période hivernale et printanière. L'hydrogéologie de la zone d'étude constituée de deux aquifères importants: la nappe profonde ( $\geq 150$  m) et l'aquifère peu profond (la nappe phréatique) ( $\leq 20$  m). Les eaux de deux aquifères sont utilisées pour l'approvisionnement en eau potable ainsi que pour l'irrigation et l'industriel. Compte tenu de l'objectif général de l'étude, pour un échantillonnage plus représentatif du cours d'eau, nous avons choisi cinq stations sur le lit de l'Oued Ouislane (**Figure 1**). La station O1 est située en au-dehors des activités anthropiques, le choix de cette station est primordial, du fait qu'elle est considérée comme station de référence (témoin). Les stations O2 et O3 sont choisies dans une zone de grande influence anthropique (domestique, industrielle et agricole). Les points O4 et O5 sont localisés en aval de l'agglomération de Meknès. Les **tableaux 2 et 3** présentent les caractéristiques des stations étudiées.

### 2.2 MESURES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Quatre paramètres physico-chimiques ont été enregistrés mensuellement sur le terrain. La température et la conductivité ont été mesurées par un conductimètre du type CONSORT K 912, le pH a été mesuré, par un pH-mètre modèle HANNA Hi 8519N, et l'Oxygène dissous (O<sub>2</sub>) par une oxymétrie du type THERMO ORION 810. Deux répliques d'échantillons d'eau de chaque station ont été prélevées dans les bouteilles (polyéthylène 500 ml). Les échantillons d'eau ont été préservés par l'ajout de 2 ml d'acide chlorhydrique concentré (pH $\leq$ 2). Des échantillons d'eau ont été acheminés dans une glacière à une température basse ( $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ) pour arrêter les activités métaboliques des organismes dans l'eau. Les autres paramètres physico-chimiques : Dureté totale (TH), nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), chlorures (Cl<sup>-</sup>), demande biologique en oxygène après 5 jours (DBO<sub>5</sub>), demande chimique en oxygène (DCO), Orthophosphates (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) et matières en suspension (MES) sont dosés au laboratoire. Les techniques analytiques utilisées sont celles décrites par Rodier [17], avec un spectrophotomètre modèle *Hach Dr2000* à une longueur d'onde spécifiée. Des mesures mensuelles sont régulièrement effectuées au niveau des stations choisies durant la période allant du mois de janvier à décembre 2010.

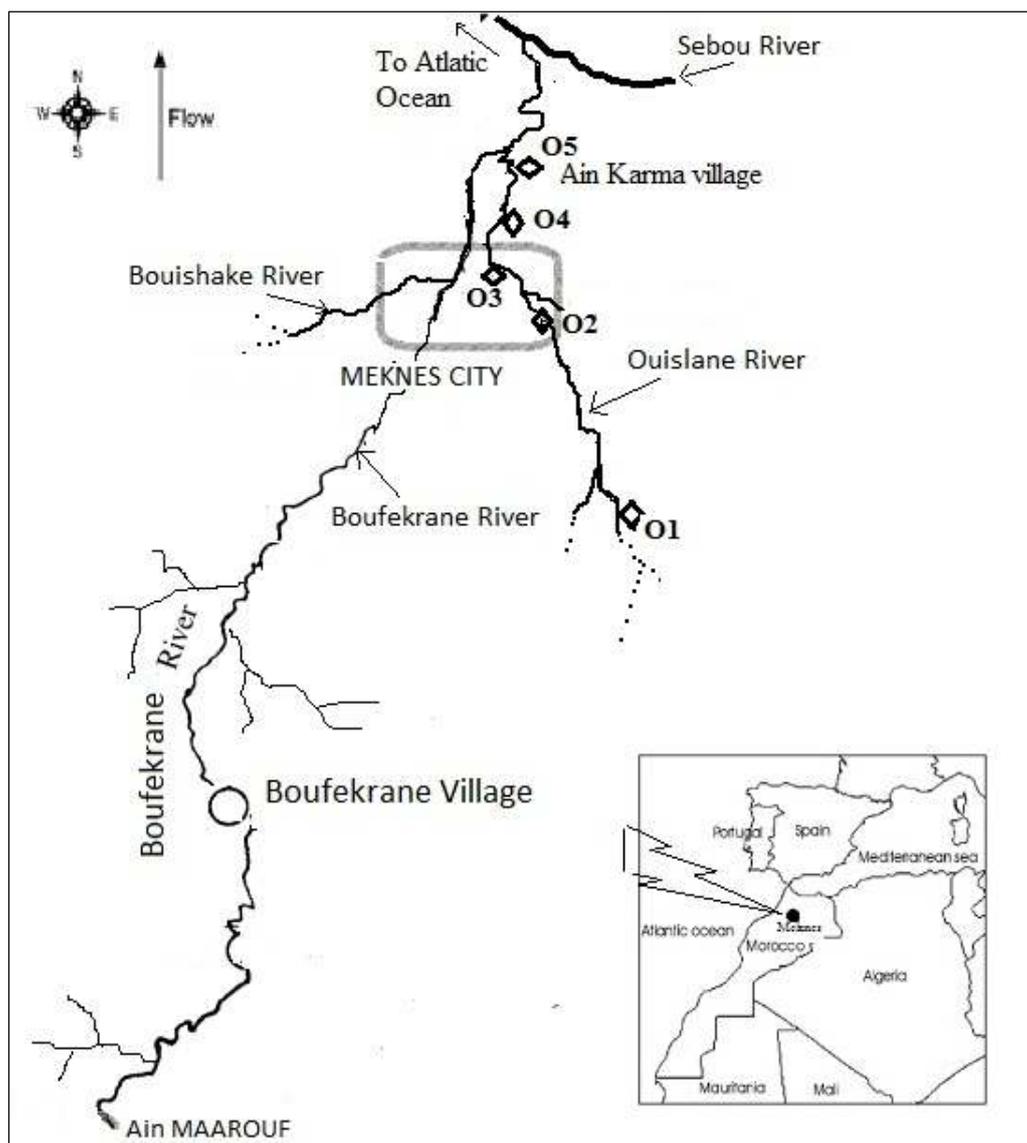


Fig. 1. Situation géographique et stations d'échantillonnage le long de la rivière Ouislane

Tableau 2. Caractéristiques morphodynamiques moyennes des stations étudiées

| Paramètres |              |             |                |                            |               |
|------------|--------------|-------------|----------------|----------------------------|---------------|
| Stations   | Altitude (m) | Largeur (m) | Profondeur (m) | Distance de la source (km) | Vitesse (m/s) |
| O1         | 560          | 3           | 1              | 0,03                       | 0,75          |
| O2         | 550          | 2           | 0,7            | 5                          | 1             |
| O3         | 550          | 1,5         | 0,5            | 8                          | 1,2           |
| O4         | 530          | 2           | 1              | 14                         | 1,2           |
| O5         | 500          | 3           | 0,5            | 25                         | 1,2           |

Tableau 3. Description des stations étudiées et leurs caractéristiques biotiques et abiotiques.

| Paramètres |   |  |  |
|------------|---|--|--|
| Stations   | Substrats de fond (Habitat abiotique)   | Végétations Aquatique (Habitat Biotique)   | Observations et Raison d'être  |
| O1         | - Hygropétrique(roche affleurante, Blocs) ;<br>- Megalithal (Dalles,...)  | - Phytal1 : Hydrophytes en général, y compris macrophytes et mousses   | - Site de références peu touchées par les nuisances anthropogéniques   |
| O2         | - Microlithal (gravier grossier, gravier fin et sable)<br>- Acal (gavier fin),<br>- Psammal (sable, 0.063-2mm)  | - Phytal2 : Algues filamenteuses, Bactéries des eaux usées ;<br>- Xylal : Bois mort<br>- MOP-C (Mat.Org.part.grossière)    | - Site dans le tronçon traverse la ville de Meknès<br>- Avoir l'influence des rejets domestiques de quartier Bassatine     |
| O3         | - Acal ,<br>- Psammal ,<br>- Pélal<br>- argyllal (limons et vases, argile)  | - MOP-C;<br>- MOP-F (Mat.Org.part.fine);<br>- Bactéries, Sapropel  | - Influence par les rejets égouts principaux de la commune Ouislane<br>- Avoir l'impact des rejets sur le cours d'eau.     |
| O4         | - Mésolithal (galets avec gravier et sable).<br>- Microlithal (gravier grossier, gravier fin et sable) ; Acal (gavier fin à moyen, 0.2 2 cm), Psammal (sable) | - Phytal1 : hydrophytes ;<br>- Phytal2 : algues filamenteuses ;<br>- Xylal : Bois mort<br>- MOP-C (Mat.Org.part.grossière) | - située en aval de l'agglomération de Meknès ;<br>commune Ouislane<br>- estimer le degré de autoépurations de cours d'eau |
| O5         | - Mésolithal (galets avec gravier et sable).<br>- Microlithal (gravier grossier, gravier fin et sable)  | - Phytal1 : hydrophytes ;<br>- Phytal2 : algues filamenteuses ;<br>- Xylal : Bois mort<br>- MOP-C (Mat.Org.part.grossière) | - site en aval de la ville<br>- Capacité autoépuration de cours d'eau dans le trançon O3-O5                                |

### 2.3 ECHANTILLONNAGE, IDENTIFICATION DES MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques répond à un protocole standardisé Association Française de Normalisation (AFNOR) [18]. Il est fait à l'aide d'un filet de Surber (maille: 0,3 mm, zone de capture: 0,1 m<sup>2</sup>) a été utilisé sur des sites d'échantillonnage comportant des substrats d'eau courante peu profonde (Oued Ouislane est un cours d'eau peu profond). L'échantillonneur Surber a été placé au fond contre le flux. Après la séparation et le tri, toute la faune capturée a été placée dans des bouteilles en plastique et conservée avec de l'éthanol à 10%. En laboratoire, pour faciliter le tri, nous avons procédé à une sélection par taille des échantillons à l'aide d'une colonne de trois tamis à mailles décroissantes, 2 mm, 1 mm et 0,3 mm. Les groupes zoologiques sont séparés dans des piluliers contenant de l'alcool à 70 % afin d'identifier et de déterminer la variété taxonomique de l'échantillon et son groupe faunistique indicateur. L'identification spécifique a été faite en utilisant les descriptions originales marocaines (collections de l'Institut Scientifique de Rabat) et méditerranéennes. Les clés utilisées dans cette étude étaient [19], (oligochètes aquatiques du Maroc), [20] (Annélides et Oligochètes), [21] (Crustacés), [22] (Mollusques) et [23] (Introduction à l'étude des macroinvertébrés d'eau douce). Pour les insectes, les clés utilisées étaient [24] (Hétéroptère aquatique du Maroc commenté et inventaire), [25] (Atlas préliminaire des crustacés décapodes d'eau douce), [26] (Contribution à la connaissance des coléoptères aquatiques et des hémiptères du Maroc oriental: catalogue faunique), [27] and [28] (Diptère Chironomidiés: larves aquatiques) et [29] (faune continentale de l'Enquête Nationale sur la Biodiversité). Après l'identification, les taxons sont placés dans des pilules de verre contenant du formaldéhyde ou de l'éthanol pour les spécimens dont la coquille ou la carapace peut être détruite par le formol (crustacés, mollusques).

### 2.4 ANALYSE DE DONNÉES

#### 2.4.1 INDICES DE DIVERSITÉ ET BIOLOGIQUE (I.B.G.N)

L'évaluation des conditions biologiques a été réalisée en trois étapes et basée sur le calcul des indicateurs (les métriques) de qualité (évaluation numérique):

1. **L'Indice Biologique Général Normalisé (I.B.G.N)** est déterminé grâce aux relevés des macroinvertébrés aquatiques (insectes adultes, nymphes et larves ou vers, mollusques....) selon la norme AFNOR 1992 [18].
2. **Indice de Shannon-Wiener (H')**:

$$H' = - \sum_{j=1}^s p_j \log p_j$$

S = nombre total d'espèces;  $p_j$  = Abondance proportionnelle ou le pourcentage d'importance, il est calculé comme suit :  $p_j = n_j / N_T$

$n_j$  = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon;

$N_T$  = nombre total d'individus de toutes les espèces de l'échantillon

3. **Indice d'Equitabilité (E)**:

$$E = H' / H'_{\max} \text{ avec } H'_{\max} = \log(s)$$

H' : diversité des espèces

H'max : Le logarithme (log10) du nombre total d'espèces (S) dans l'échantillon

Les indices de la qualité biologique d'Oued Ouislane étaient basés sur les recommandations du travail de suivi biologique de Beauger [30], où chaque famille a un seul score quel que soit le nombre d'individus ou d'espèces enregistrées pour la famille.

#### 2.4.2 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

Le coefficient de corrélation de Pearson a permis d'établir les corrélations entre les variables physico-chimiques et biologiques et aussi le t-test a permis de comparer, les variations des paramètres physico-chimiques entre les différentes stations d'échantillonnage. Dans le but d'établir une biotypologie de l'Oued Ouislane, le traitement statistique des données et en particulier l'Analyse des composantes principales (ACP) et l'analyse Factoriel des composantes (AFC) ont été effectuées à l'aide de la version 9 de logiciels XLSTAT 2011. Ces méthodes ont été largement utilisées dans très nombreux domaines se rapportant à l'environnement pour mettre en évidence les associations entre les individus et/ou les variables et afin de mettre en évidence les influences saisonnières et anthropiques sur les cours d'eau [31], [32], [33], [34]. Pour élaboration un matrice de données (données biotypologique) sous forme de tableaux à double entrée de  $n$  espèces et  $p$  stations. Nous avons opté, pour l'expression numérique de l'élément  $np$ , pour la somme des valeurs de l'abondance de chaque espèce  $n$  et dans chaque station  $p$ . Afin de réduire les fortes disparités entre les abondances des taxons à forts effectifs, nous avons procédé à une transformation des abondances en classes correspondant au terme d'une progression géométrique de raison 2 [35] [36]. Cette évaluation semi-quantitative contient encore toute l'information nécessaire à l'analyse (Tableau 4).

**Tableau 4.** Classes et intervalle d'abondance retenue dans l'étude biotypologique.

| Classes | Intervalle d'abondance |
|---------|------------------------|
| 0       | Absence                |
| 1       | [1 ,10]                |
| 2       | [11 ,100]              |
| 3       | [101 ,1000]            |
| 4       | Sup >1000              |

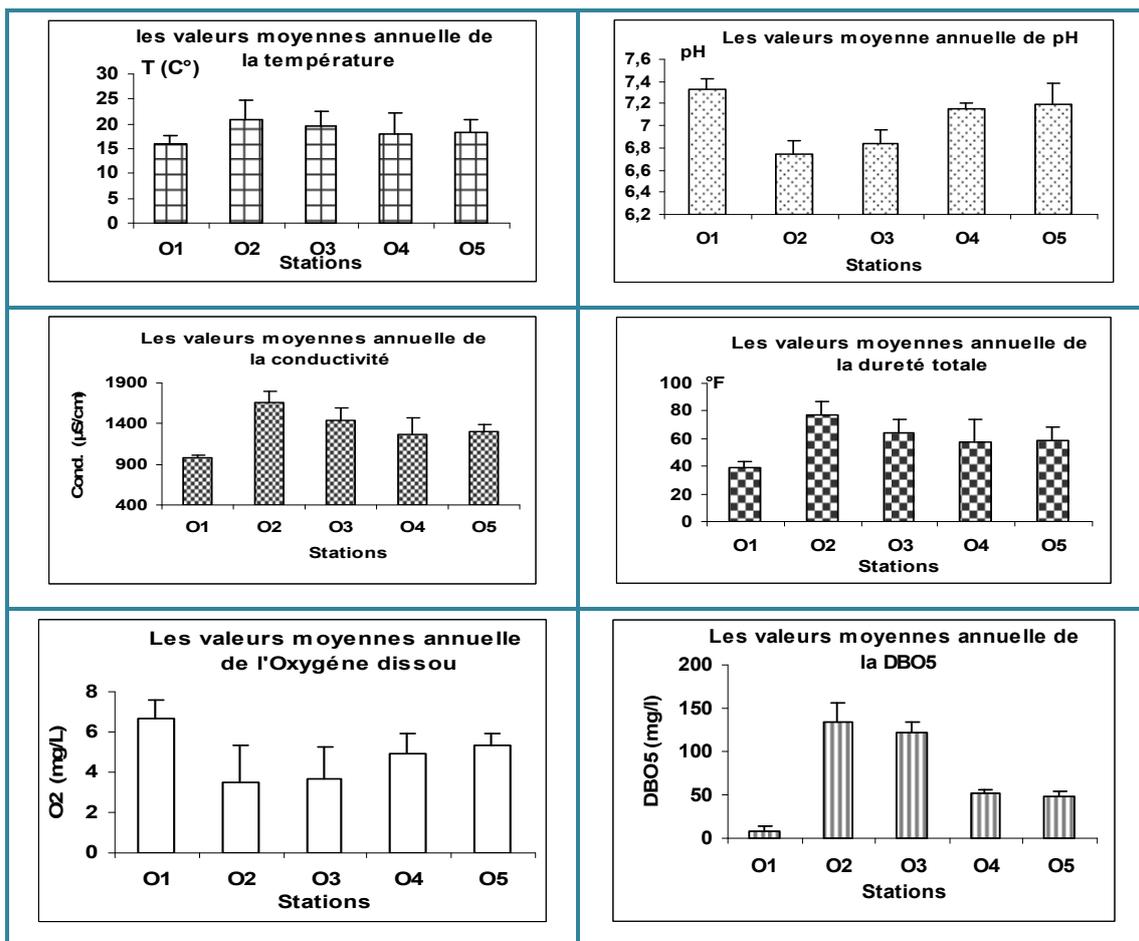
### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

L'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques enregistrés pendant toute la période d'étude est représentée à la figure 2. La comparaison des moyennes de la température, conductivité, dureté totale, chlorures, sulfates, orthophosphates, demande biologique en oxygène, demande chimique en oxygène, et matières en suspension, au niveau des cinq stations étudiées a permis de déceler l'existence d'un gradient généralement croissant de la station O1 à la station O2 et décroissant dans le tronçon O3-O5, exception faite pour la station O3, qui est caractérisé par la présence d'une légère

diminution des concentrations de certains paramètres par rapport à la station O2. Les paramètres physico-chimiques fournissent des indications sur la qualité de l'eau, mais ils sont assujettis à des variations par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques de l'eau [37]. Les résultats montrent également que les paramètres de conductivité et de dureté totale, deux indicateurs de la minéralisation de l'eau, évoluent de manière parallèle sauf au niveau de la station O4 où on note une baisse de la conductivité. Cette baisse s'explique par l'assimilation de certains éléments minéraux par les algues filamenteuses au niveau de la station O4 (voir Tableau 3).

Par contre l'oxygène dissous, le pH et les nitrates suivent un gradient décroissant entre la station O1 et O2 (chute au niveau de la station O2 à cause des rejets polluants importants) et croissant dans la section O3-O5. Les valeurs de pH situent dans l'intervalle recommandé de 6,5 et 8,5 pour la vie aquatique [38]. Le taux d'oxygène dissous est de 70 % (6,96 mg / l), ce qui est supérieur au minimal recommandé (30 %, 2,43 mg / l DO à 25,1°C) pour la protection de la vie aquatique [39], [40]. La dégradation par les microorganismes des matières organiques biodégradables déversées dans le cours d'eau entraîne une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau. À très fortes charges organiques, la concentration en oxygène dissous baisse à des concentrations critiques (taux d'oxygénation pratiquement nul et l'augmentation des indicateurs de pollution : demande chimique en oxygène, demande biologique en oxygène, carbone organique, et orthophosphates [37]. À ces niveaux très bas d'oxygène la fermentation des matériaux organiques s'installe et entraîne l'acidification du milieu (baisse du pH au niveau de la station O2), La diminution de pH peut également être liée aux rejets de produits toxiques d'origine industriels. Ces valeurs peuvent résulter de la nature des terrains traversés par l'eau et du sol de son bassin versant [17]. Selon Mumba [41] le gradient croissant des teneurs en nitrates dans le tronçon O3-O5 est vraisemblablement dû à des phénomènes de lessivage du sol riche en engrais (nitrates, sulfates, etc.). Les niveaux naturels des orthophosphates dans les eaux fluviales varient de 0,5 à 3,05 mg / l [42], alors que les teneurs des  $H_2PO_4^{3-}$  dépassent les valeurs maximales dans l'ensemble des sites étudiées. Cette augmentation serait due à l'effet des apports en eaux usées, agricoles et industrielles chargés des substances polluantes.



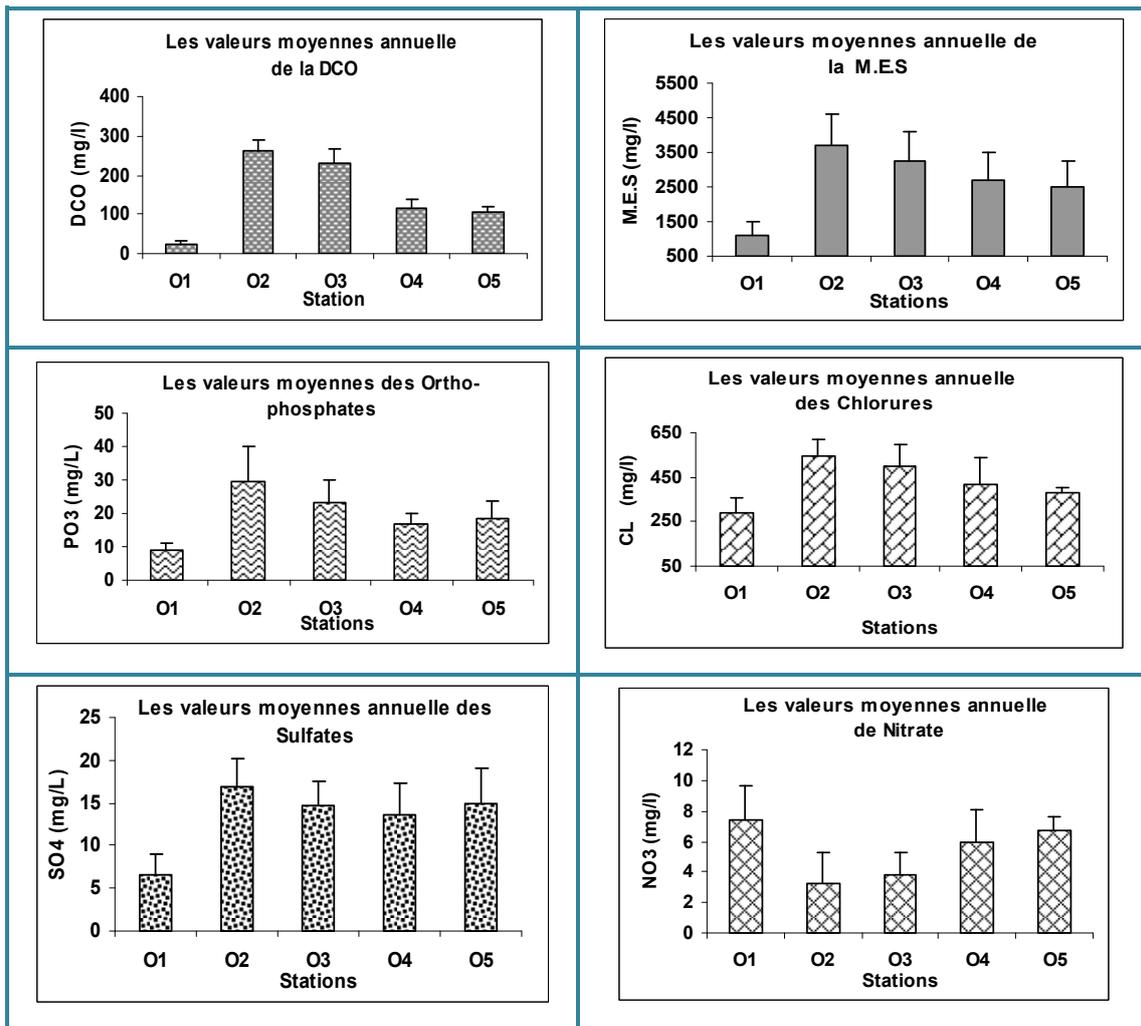


Fig. 2. Les valeurs moyennes annuelles des paramètres physicochimiques au niveau des stations Oued Ouislane (2010).

Les faibles valeurs des températures (15 – 27°C) enregistrées dans les stations pendant la période d'étude pourraient s'expliquer par la localisation de la zone d'étude en milieu périurbaine où la couverture végétale entraîne un faible ensoleillement des cours d'eau et constitue une barrière réduisant l'impact des rayons solaires sur la variation de la température de l'eau [43]. Les valeurs élevées des écarts-types de la majorité des variables témoignent d'une forte dispersion des distributions de celles-ci. Ces écarts-types seraient dus à des variations temporelles et saisonnières (changement climatique) et anthropogéniques. Le tableau 5, qui récapitule les résultats des corrélations de test de Pearson indique que la majorité des paramètres physico-chimiques présentent des corrélations significativement élevées (niveau de signification calculé  $P < 0,05$ ). L'oxygène dissous, nitrates et le pH sont corrélés négativement avec les autres paramètres. La demande biologique en oxygène (DBO5) et la demande chimique en oxygène (DCO) corrélient assez fortement entre eux ( $r_{(DCO-DBO5)} = 0,98$ ) et avec les orthophosphates ( $r_{(DCO-H2PO4)} = 0,67$ ;  $r_{(DBO5-H2PO4)} = 0,64$ ). Cependant, certaines variables présentent des coefficients de signification faible cas de (O<sub>2</sub>) et DBO5 ( $r_{(O2-DBO5)} = -0,668$ ).

Tableau 5. Matrice de corrélation (Pearson (n))

| Variables                                    | T°            | Cond.         | pH            | O2            | DBO5          | DCO           | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | T.H    | MES |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------|-----|
| T°   | 1             |               |               |               |               |               |  |                              |                 |                               |        |     |
| Cond.  | <b>0,290</b>  | 1             |               |               |               |               |  |                              |                 |                               |        |     |
| pH   | <b>0,330</b>  | -0,128        | 1             |               |               |               |  |                              |                 |                               |        |     |
| O2   | -0,013        | <b>-0,350</b> | <b>0,386</b>  | 1             |               |               |  |                              |                 |                               |        |     |
| DBO5   | 0,231         | <b>0,465</b>  | <b>-0,380</b> | <b>-0,668</b> | 1             |               |  |                              |                 |                               |        |     |
| DCO  | 0,245         | <b>0,508</b>  | <b>-0,350</b> | <b>-0,652</b> | <b>0,984</b>  | 1             |  |                              |                 |                               |        |     |
| H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | -0,129        | 0,235         | <b>-0,413</b> | <b>-0,667</b> | <b>0,670</b>  | <b>0,645</b>  | 1  |                              |                 |                               |        |     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | <b>-0,479</b> | -0,244        | 0,013         | <b>0,387</b>  | <b>-0,453</b> | <b>-0,494</b> | -0,050                                       | 1                            |                 |                               |        |     |
| Cl <sup>-</sup>                              | -0,174        | <b>0,255</b>  | <b>-0,292</b> | <b>-0,509</b> | <b>0,302</b>  | <b>0,295</b>  | 0,229  | <b>-0,304</b>                | 1               |                               |        |     |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                | 0,137         | <b>0,311</b>  | -0,025        | <b>-0,403</b> | <b>0,416</b>  | <b>0,436</b>  | 0,243  | -0,148                       | 0,078           | 1                             |        |     |
| TH   | <b>0,556</b>  | <b>0,583</b>  | -0,121        | <b>-0,290</b> | <b>0,354</b>  | <b>0,345</b>  | 0,107  | <b>-0,279</b>                | 0,147           | <b>0,318</b>                  | 1      |     |
| MES  | -0,212        | 0,252         | -0,186        | <b>-0,547</b> | <b>0,535</b>  | <b>0,527</b>  | <b>0,427</b>                                 | -0,170                       | <b>0,311</b>    | <b>0,380</b>                  | -0,058 | 1   |

Les valeurs en **gras** sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

Les perturbations de l'ensemble du système liées à de tels apports ne peuvent pas être décrites par ses seules corrélations (bivariées). Nous proposons d'examiner dans cette partie de l'étude les possibilités offertes par l'analyse multidimensionnelle et en particulier par analyse en composantes principales (ACP). Les résultats de l'analyse en composantes principales effectuée sur la matrice des données pour les 12 variables physico-chimiques sont sur la figure 3. Les valeurs propres (44,92 % et 16,36 %) montrent que la majeure partie des informations est expliquée par le premier axe factoriel qui représente plus de 44,92 % de l'inertie totale (61,28 %). Dans le cas général, une meilleure représentation du nuage de points dans cette conception factorielle se traduit par beaucoup d'inertie [44], [45]. Nous observerons que l'axe principal 1 présente principalement et presque exclusivement les variables à caractère organique alors que l'axe principal 2 représente majoritairement les variables à caractère minéral.

Le cercle de corrélation (Figure 3) montre clairement que la température, la conductivité, les sulfates, les chlorures, les matières en suspension, les orthophosphates, DCO, DBO5 et la dureté totale sont corrélées positivement avec la première composante principale (F1 44,92%), contrairement au pH, les nitrates et l'oxygène dissous qui sont associés négativement à cet axe. Cet axe (F1) permet l'identification de l'enrichissement des variables décrites précédemment en relation avec les apports anthropogéniques le long du lit de l'Oued Ouislane (Tableau 1). De plus le contraste entre les nutriments, la température, l'oxygène dissous et le pH, qui apparaît dans ce graphique pourraient s'expliquer par la relation inverse de la solubilité de l'oxygène dissous et par l'augmentation de la concentration des nutriments (phosphates, sulfates) au cours de l'automne et de l'été, coïncidant ainsi avec l'augmentation de la température et la photosynthèse.

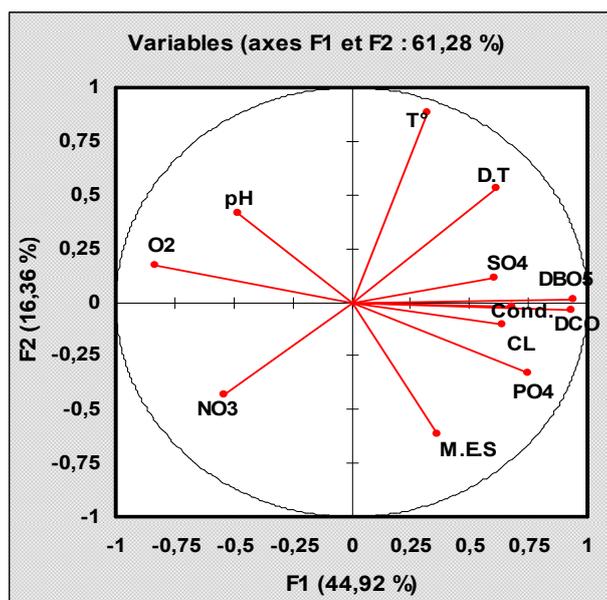
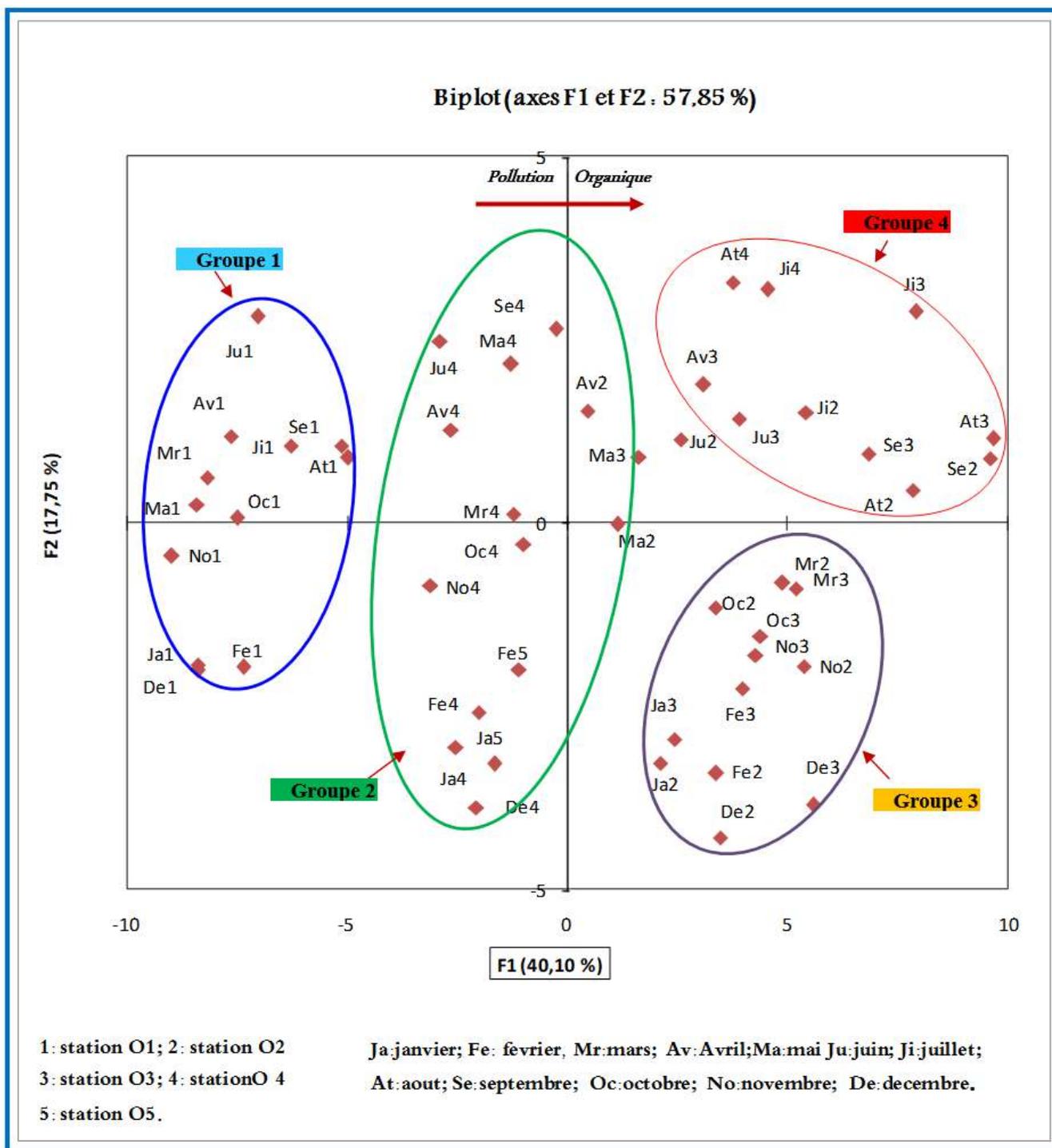


Fig. 3. Analyse en composantes principales (ACP) des variables physico-chimiques.

L'évolution temporelle de la qualité de l'eau a été évaluée par la dispersion du nuage de point correspondant aux différents prélèvements. La figure 4 montre pour l'ensemble des stations la dispersion du nuage de points correspondant à ces stations durant la période d'étude par l'ACP réalisée avec 12 variables. Une dispersion faible est nécessairement caractéristique d'une eau peu modifiée par les variables climatiques et anthropiques. Nous observerons en particulier l'augmentation régulière et importante de la dispersion des points le long de la composante 1 (composante organique). En effet, de la station O1 à la station O5 l'évolution se fait essentiellement selon la composante 1 montrant l'importance de la matière organique et en particulier des rejets anthropiques sur l'évolution de la qualité de l'eau de ces stations et que ce sont les stations 2 et 3 qui présentent les plus grandes amplitudes. Cela est tout à fait corroborer à ce qui a été mentionnée précédemment concernant les rejets industriels et agricoles observé au niveau de ces stations (Tableau 1).

L'A.C.P des individus mois-stations permet d'individualiser quatre groupes :

- ✓ **Groupe 1 :** Ce groupe est constitué exclusivement par les individus 1 (mois-station 1), faiblement dispersée et coordonnée positivement sur la composante 1. Les eaux de ce groupe sont faiblement chargées en éléments dissous, matières organiques et bien oxygènes.
- ✓ **Groupe 2 :** Il est formé principalement par 12 individus (mois-station 4, mois-station 5) qui présente des coordonnées négatives sur l'axe 1 à l'exception des individus Av2, Ma2 et Ma3. La dispersion des individus de ce groupe est beaucoup plus importante le long de la composante 2 (composante minérale).
- ✓ **Groupes 3 et 4 :** Ces deux groupes sont constitués par les individus mois-station O2 et O3. Ils renferment 45% de l'ensemble des individus étudiés. Sur Axe F1, ces individus ont des coordonnées positive et très chargées en matière organique. Les individus du groupe 4 se distinguent par une forte minéralisation au cours de la période d'été. Ce qui se traduit par une augmentation de la DCO, DBO5, MES et une élévation de la minéralisation aboutissant à une accentuation de la contamination de l'eau.



**Fig. 4. Analyse en composantes principales des individus mois-stations**

Station 1: O1; Station 2: O2; Station 3: O3; Station 4: O4; Station 5: O5.

Les principaux résultats physico-chimiques montrent de façon claire un état de dégradation de la qualité de l'écosystème aquatique étudié. Cet état de dégradation existe au niveau de la ville de Meknès (stations O2 et O3). Néanmoins, d'après ces résultats, on peut affirmer que le tronçon entre les stations O4 et O5 exerce un rôle auto-épurateur (oxydations biologiques) pour les polluants organiques biodégradables et pour certains polluants minéraux. Pour mieux rendre compte de la qualité de l'Oued Ouislane, nous nous sommes intéressés aussi à l'étude des communautés des macroinvertébrés qui peuplent ce cours d'eau.

### 3.2 MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES DATA

#### 3.2.1 ABONDANCE QUANTITATIVE DES GROUPES FAUNISTIQUES

L'inventaire faunistique (Tableau 6) de l'Oued Ouislane regroupe 105 taxons des macroinvertébrés benthiques répartis en 42 familles (récoltés en 2010). Les crustacés et les mollusques représentent 53 % de la totalité de la faune benthique récoltée (Figure 5). Les gastropodes sont le groupe le plus riche en taxons, représentant 40 % de la faune totale. Ils sont dominés par les familles des Melanidae, Physidae et Valvatidae. Les plathelminthes et les annélides qui représentent 21 %, sont dominés par la famille des Tubificidae. La classe des insectes représente 26 % de la totalité de la faune récoltée. Les Diptères (10%) sont représentés essentiellement par les chironomes. Les éphéméroptères, odonates et plécoptères occupent la quatrième place avec 5 % de la macrofaune récoltée principalement dans les stations amont loin de toute perturbation anthropique. Les plécoptères représentent 0,3% de la communauté benthique récoltés dans le cours d'eau. L'absence des Plécoptères dans certains cours d'eau d'Afrique du Nord semble être due aux températures estivales élevées en relation avec le cycle hydrologique [46]. Le profil d'évolution de l'abondance des macroinvertébrés benthiques est relativement similaire à celui de la richesse spécifique.

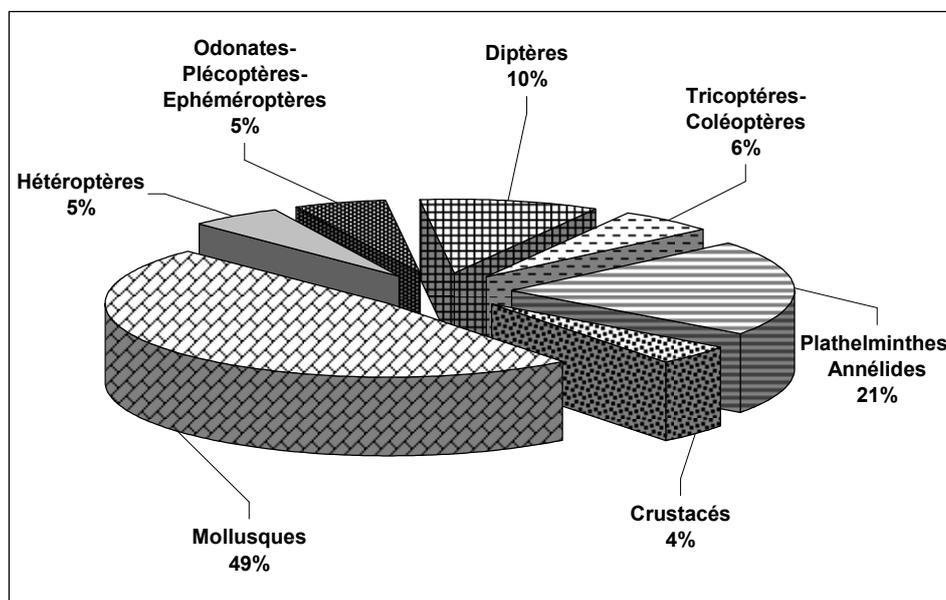


Fig. 5. Spectre Zoologique des stations étudiées Oued Ouislane (2010)

#### 3.2.2 RICHESSE TAXONOMIQUE, INDICE BIOTIQUE (IBGN) ET INDICES DE DIVERSITÉ

L'analyse de la richesse taxonomique montre que les stations O1 et O5 contiennent respectivement 79 et 47 taxons, soit 60 % de l'ensemble de la faune benthique récoltée dans l'Oued Ouislane (Figure 6). Les stations O1 et O5 représentent les stations les plus riches en espèces. La station O1 est située en amont des perturbations anthropiques, alors que la station O5 localisé dans le tronçon du cours d'eau possédant une capacité d'auto-épuration importante. Le lit de l'Oued au niveau de ces stations est constitué par une diversité du substrat et de la végétation aquatique (Tableau 3), conditions favorables au développement d'une faune plus diversifiée. La station O4 est localisée dans une zone où les activités agricoles et domestiques sont moins importantes avec une richesse taxonomique égale 44. L'algue filamenteuse du genre *Spirogyra* est bien développée, ce qui traduit une charge élevée en nutriments principalement les phosphates. Les stations O2 et O3 présentent la plus faible richesse taxonomique, avec 19 et 24 taxons respectivement. La pauvreté en espèces est due aux perturbations sous l'effet de plusieurs facteurs : activités industrielles et rejets domestiques (agglomération de Meknès et commune Ouislane et Dkhissa).

**Tableau 6.** Liste des macroinvertébrés benthiques récoltés (en 2010), leurs gammes d'abondance et les codes de chaque espèce (Oued Ouislane)

| Espèces                        | Code de chaque Espèce | Stations Oued Ouislane |    |    |    |    |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|----|----|----|----|
|                                |                       | O1                     | O2 | O3 | O4 | O5 |
| <i>Polycelis felina</i>        | E1                    | 10                     |    |    |    |    |
| <i>Potamodrilus sp.</i>        | E2                    |                        |    |    | 7  |    |
| <i>Gordiace sp.</i>            | E3                    |                        |    | 9  |    |    |
| <i>Glassiphonia complanata</i> | E4                    | 6                      |    |    | 8  | 4  |
| <i>Hemiclepsis sp.</i>         | E5                    | 1                      |    |    |    |    |
| <i>Helobdella sp</i>           | E6                    |                        |    |    | 3  | 1  |
| <i>Hirudo sanguisuga</i>       | E7                    | 8                      | 9  |    | 7  | 15 |
| <i>Hirudo medicinalis</i>      | E8                    | 2                      |    |    | 2  | 9  |
| <i>Trocheta sp.</i>            | E9                    |                        |    |    |    | 2  |
| <i>Nais christane</i>          | E10                   |                        | 8  |    |    | 4  |
| <i>Stylaria sp.</i>            | E11                   |                        | 8  | 8  | 6  |    |
| <i>Enchytraeus sp.</i>         | E12                   |                        |    | 11 |    |    |
| <i>Eiseniella tetraedra</i>    | E13                   |                        |    | 3  |    |    |
| <i>Branchiura sowerbyi</i>     | E14                   |                        |    | 5  |    | 7  |
| <i>Aulodrilus limnobus</i>     | E15                   |                        | 47 | 1  | 4  | 3  |
| <i>Tubifex tubifex</i>         | E16                   |                        | 57 | 43 |    |    |
| <i>Tubifex ignotus</i>         | E17                   |                        | 38 | 64 |    |    |
| <i>Valvata piscinalis</i>      | E18                   | 24                     |    |    | 13 |    |
| <i>Valvata minuta</i>          | E19                   | 4                      |    |    |    | 3  |
| <i>Valvata fagoti</i>          | E20                   | 2                      |    |    | 4  |    |
| <i>Valvata globulina</i>       | E21                   | 5                      |    | 4  |    | 19 |
| <i>Valvata cristata</i>        | E22                   | 2                      |    |    |    |    |
| <i>Viviparus vivipara</i>      | E23                   | 4                      |    |    |    |    |
| <i>Viviparus fasciata</i>      | E24                   |                        |    |    | 8  |    |
| <i>Bithynia tentaculata</i>    | E25                   | 34                     | 6  | 11 | 14 | 7  |
| <i>Bithynia leachi</i>         | E26                   | 5                      |    |    |    |    |
| <i>Bithynia celtica</i>        | E27                   | 2                      | 2  |    |    | 2  |
| <i>Bythinella viridis</i>      | E28                   | 14                     |    |    | 14 | 9  |
| <i>Bythinella turgida</i>      | E29                   | 2                      |    |    |    | 2  |
| <i>Bythinella bicarinata.</i>  | E30                   | 7                      |    |    |    |    |
| <i>Bythinella bervis</i>       | E31                   |                        |    |    | 13 |    |
| <i>Potamopyrgus mercuria</i>   | E32                   | 31                     |    |    |    |    |
| <i>Potamopyrgus confusa</i>    | E33                   | 25                     |    | 17 | 26 | 21 |
| <i>Hydrobia sp.</i>            | E34                   | 2                      |    |    |    |    |
| <i>Neritina fluviatilis</i>    | E35                   | 13                     |    | 3  |    | 7  |
| <i>Neritina theodoxus</i>      | E36                   |                        |    |    |    | 11 |
| <i>Smaragdia viridis</i>       | E37                   | 4                      |    |    | 2  |    |
| <i>Physa acuta</i>             | E38                   | 50                     |    |    | 44 | 21 |
| <i>Planorbis planorbis</i>     | E39                   | 16                     | 6  |    | 11 |    |
| <i>Planorbis metidjensis</i>   | E40                   | 3                      |    |    |    |    |
| <i>Gyraulus laevis</i>         | E41                   | 2                      |    |    | 2  |    |
| <i>Acroloxus lacustris</i>     | E42                   | 5                      |    |    |    | 3  |
| <i>Succinea debilis</i>        | E43                   | 5                      |    |    |    |    |
| <i>Lymnaea peregra</i>         | E44                   | 39                     |    |    | 13 |    |
| <i>Lymnaea truncatula</i>      | E45                   | 13                     |    | 8  | 21 | 14 |
| <i>Lymnaea stagnalis</i>       | E46                   | 2                      |    |    |    |    |
| <i>lymnaea sp.</i>             | E47                   | 3                      |    |    |    |    |
| <i>lymnaea palustris</i>       | E48                   |                        |    |    | 4  |    |
| <i>Melanopsis praemorsa</i>    | E49                   | 52                     | 7  | 24 | 29 | 20 |
| <i>Melanopsis scalaris</i>     | E50                   | 22                     |    |    |    |    |

|                                  |      |    |    |    |    |    |
|----------------------------------|------|----|----|----|----|----|
| <i>Melanopsis costellata</i>     | E51  | 26 | 14 | 36 | 18 | 12 |
| <i>Ancylus fluviatilis</i>       | E52  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Unio durieui</i>              | E53  | 5  |    |    |    |    |
| <i>Unio cygnea</i>               | E54  | 5  |    |    |    |    |
| <i>Margaritana margaritifera</i> | E55  | 8  |    |    |    |    |
| <i>Gammarus gauthieri</i>        | E56  | 14 |    |    |    |    |
| <i>Gammarus rouxi</i>            | E57  | 4  |    |    |    |    |
| <i>Leptestheria mayeti</i>       | E58  | 38 | 4  | 11 | 14 |    |
| <i>Hydrometra stagnorum</i>      | E59  | 11 |    |    | 3  | 5  |
| <i>Hebrus Curtis</i>             | E60  | 3  |    |    | 3  |    |
| <i>Mesovelgia fureatu</i>        | E61  | 2  |    |    | 7  | 6  |
| <i>Gerris fabricicus</i>         | E62  |    |    | 6  |    |    |
| <i>Nepa cinerea</i>              | E63  | 12 | 3  |    | 9  | 10 |
| <i>Nepa linearis</i>             | E64  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Plea leachi</i>               | E65  | 7  |    |    | 4  | 4  |
| <i>Aphelocheirus aestivalis</i>  | E66  | 3  |    |    | 2  |    |
| <i>Ghomphus sp.</i>              | E67  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Calopteryx sp.</i>            | E68  |    |    |    |    | 4  |
| <i>Platycnemis subdilatata</i>   | E69  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Perla sp.</i>                 | E70  | 1  |    |    |    | 2  |
| <i>Ephemera glaucop</i>          | E71  | 7  |    |    |    | 5  |
| <i>Ephoron virgo</i>             | E72  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Oligoneuriella skour</i>      | E73  | 8  |    |    |    | 7  |
| <i>Rhithrogena sp.</i>           | E74  | 2  |    |    |    |    |
| <i>Caenis luctuosa</i>           | E75  | 2  |    |    |    | 6  |
| <i>Baetis fuscatus</i>           | E76  | 7  |    |    | 8  |    |
| <i>Baetis muticus</i>            | E77  | 4  |    |    |    | 7  |
| <i>Baetis rhodani</i>            | E78  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Ephemerella ignita</i>        | E79  | 4  |    |    | 10 |    |
| <i>Proclleon sp.</i>             | E80  | 3  |    |    |    | 4  |
| <i>paraleptophlebia sp.</i>      | E81  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Choroaterpes pictéti</i>      | E82  | 1  |    |    |    |    |
| <i>Chironomus sp.</i>            | E83  | 12 | 12 | 24 | 35 | 26 |
| <i>Chironomus halophilus</i>     | E84  | 2  | 6  | 11 | 12 | 4  |
| <i>Corynoneura sp.</i>           | E85  |    |    | 2  | 2  | 5  |
| <i>Tanytarsus sp.</i>            | E86  | 4  |    |    |    |    |
| <i>Chaoborus crystallinus</i>    | E87  | 3  |    |    | 3  |    |
| <i>Eristalis sp.</i>             | E88  |    | 4  | 5  |    | 3  |
| <i>Simulium sp.</i>              | E89  |    |    |    | 4  |    |
| <i>Hemerodromia todrhana</i>     | E90  |    |    |    |    | 4  |
| <i>Rhyacophila sp.</i>           | E91  | 3  |    |    |    |    |
| <i>Ecnomus deceptor</i>          | E92  | 5  |    |    |    |    |
| <i>Hydroptila sp.</i>            | E93  | 2  |    |    |    |    |
| <i>Agapetus sp.</i>              | E94  | 1  |    |    |    |    |
| <i>Dryops sp.</i>                | E95  | 2  |    |    | 3  |    |
| <i>Agabus nebulosus</i>          | E96  | 2  | 3  |    |    | 8  |
| <i>Hydrochus sp.</i>             | E97  | 2  |    |    |    |    |
| <i>Gyrinus urinator</i>          | E98  |    |    | 8  | 9  | 6  |
| <i>Elmis maugetii</i>            | E99  | 3  |    | 3  | 2  | 3  |
| <i>Halipilus sp.</i>             | E100 |    |    |    | 5  |    |
| <i>Hdreana sp.</i>               | E101 |    |    |    | 4  | 6  |
| <i>Laccobius gracilis</i>        | E102 |    |    |    |    | 4  |
| <i>Limnebius sp.</i>             | E103 | 3  |    |    | 6  | 2  |
| <i>Coelostoma sp.</i>            | E104 | 5  |    |    |    | 4  |
| <i>Hygrobia tarda</i>            | E105 | 3  |    |    |    | 3  |

**Tableau 7.** *t-test à partir des comparaisons des valeurs moyennes ( $\pm$ Écart-type) de la richesse spécifique (RS), indices de diversité (Shannon-Weaner (H') Indice d'Équitabilité (E)) et indice biotique (IBGN) entre les stations d'échantillonnages*

| Stations<br>Indices de qualité | O1              | O2              | O3              | O4              | O5              | Signification   |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Richesse taxonomique (RS)      | 79              | 19              | 24              | 44              | 47              | ****            |
| Indice biotique : IBGN         | 18 $\pm$ 1.18   | 6 $\pm$ 0.51    | 8 $\pm$ 0.41    | 12 $\pm$ 0.71   | 15 $\pm$ 0.67   | <i>P</i> <0.001 |
| Shannon-Weaner (H' )           | 1.35 $\pm$ 0.11 | 0.74 $\pm$ 0,12 | 0.88 $\pm$ 0.11 | 1.18 $\pm$ 0.2  | 1,25 $\pm$ 0.21 | <i>P</i> <0.001 |
| Indice d'Équitabilité (E)      | 0.71 $\pm$ 0.19 | 0.58 $\pm$ 0.1  | 0.63 $\pm$ 0.11 | 0.72 $\pm$ 0.13 | 0.75 $\pm$ 0.18 | <i>P</i> <0.001 |

Les résultats de l'indice biotique (IBGN) (Tableau 7) indiquent que la qualité des eaux de l'Oued Ouislane varie faiblement entre les deux stations (O2=6 et O3=8). Alors qu'à partir de la station O4 l'augmentation des valeurs de l'I.B.G.N est remarquable. La station O4 est caractérisée par la présence d'une légère amélioration de la qualité des eaux par apport aux stations O2 et O3, ceci serait dû à la capacité auto-épuratrice de l'Oued Ouislane entre les stations O3 et O5. Les valeurs de l'IBGN permettent de classer l'eau des stations O1 et O5 dans la catégorie des eaux de qualité bonne à très bonne. Les valeurs très élevées de l'IBGN sont expliquées par les grands nombres de groupes indicateurs et par la variété taxonomique importante. La station O4 est classée parmi les points d'eau de qualité moyenne. Par ailleurs les stations (O2) et (O3) dont l'IBGN ne dépasse pas 8 ont des eaux appartenant à la classe médiocre. Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par les faibles valeurs des groupes indicateurs et de la variété taxonomique dans ces stations résultat de la dégradation de la qualité des eaux dans ces stations par l'évacuation directe des rejets des eaux usées dans le milieu récepteur.

Les variations importantes de la diversité spécifique reflètent les différences de répartition de l'abondance des taxons. Les deux indices (Shannon-Wiener (H') et de l'Équitabilité (E)) présentent la même tendance (Tableau 7). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la station (O1) et (O5). Les deux stations présentent un peuplement bien diversifié où plusieurs taxons sont numériquement représentés (richesse taxonomique). L'indice de Shannon-Wiener est élevé lorsque la richesse taxonomique est importante et la répartition des individus entre taxons est équilibrée. Un peuplement moins diversifié avec des espèces dominantes se traduit par des faibles valeurs de cet indice [47]. Dans la station O4, il y a une augmentation de l'indice de Shannon-Wiener et l'Équitabilité par rapport à la station O3, ceci est vraisemblablement dû à la réapparition des espèces polluo-sensibles (à cause de la capacité auto-épuratrice du cours d'eau entre les stations O3 et O5). Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les stations (O2) et (O3), ceci serait dû à la présence d'une communauté déséquilibrée et très spécialisée représentée par un petit nombre de taxons (Oligochètes) qui sont développés au détriment d'autres taxons disparus. Ces faibles valeurs des indices de diversité, suggèrent la détérioration de la qualité des eaux au niveau de ces stations. En effet, elle entraîne la disparition de certaines espèces polluo-sensibles. La présence des oligochètes indique que le sédiment est riche en matière organique et des agglomérats de bactéries filamenteuses [48]. Selon Carter [49] les oligochètes remplacent les diptères au fur et à mesure que la pollution organique augmente [50], [51]. La faune benthique récoltée dans l'ensemble des stations de l'Oued Ouislane est représentée par un nombre important des taxons en comparaison à celle rapporté par les travaux de Badri [52], sur l'Oued Tensift du haut Atlas, Dakki [53], sur le haut Sebou, El Agbani, [54] sur l'Oued Bou Reg- reg qui contiennent une richesse taxonomique très élevée à l'échelle méditerranéenne.

### 3.2.3 ANALYSE BIOTYPOLOGIQUE

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) d'Oued Ouislane est présentée à la figure 6. Le tableau 6 représente la matrice de données et les codes de chaque espèce. Le pourcentage d'inertie des deux premiers axes (plan F1XF2) totalise près de 76.5 % de l'information.

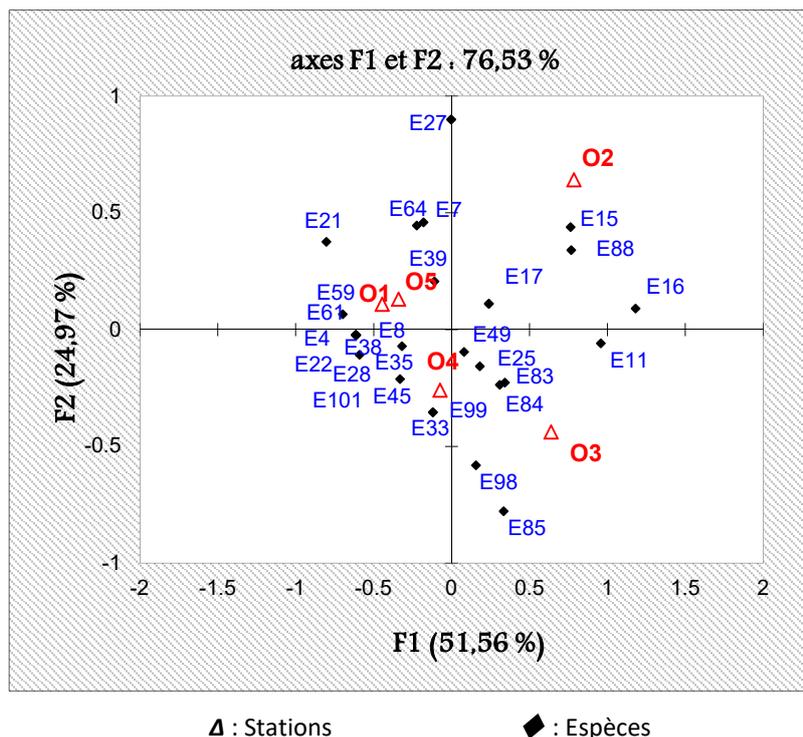


Fig. 6. Biotypologie de l'oued Ouislane en 2010 et structure du nuage stations-espèces sur le plan (F1 x F2) de L'A. F.C.

Les résultats (Figure 6) montrent que les espèces qui contribuent remarquablement dans la constitution de l'axe F1 sont : *Aulodrilus limnobus* (E15), *Tubifex tubifex* (E16), *Tubifex ignotus* (E17), *Stylaria sp.* (E11) et *Eristalis sp.* (E88). Le premier facteur F1 reflète l'importance relative de cinq espèces. Ces derniers caractérisent les stations O2 et O3, correspondant aux stations les plus polluées (riche en matières organiques) et coordonnées positivement sur la composante 1, par contre les espèces : *Hydrometra stagnorum*(E59) *Mesovelgia fureatu* (E61) *Physa acuta* (E38) *Hirudo medicinalis* (E8), *Glossiphonia complanata* (E4) sont corrélées négativement sur l'axe F1. La station O1 possède une forte contribution avec cet axe et à degré moindre la station O5. Sur l'axe F2, les plus fortes contributions sont dues à des espèces *Agabus nebulosus* (E94), *Hirudo sanguisuga* (E7), *Nepa Cinerea* (E64), *Planorbis planorbis* (E39), *Potamopyrgus confusa* (E33), *Elmis mangetti* (E99), *Gyrinus urinatar* (E98), *Corynoneura sp.* (E85). Les autres espèces n'ont qu'une influence très faible dans le plan 1-2.

### 3.3 DISCUSSION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET DES INDICES BIOLOGIQUES

La corrélation de Pearson a permis de mettre en évidence une certaine relation entre la qualité des eaux et les métriques descriptrices de la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques (**Tableau 8**). Une corrélation négative et significative a été observée entre les métriques (RS, IBGN, H') et la température, MES, la conductivité électrique, BDO5 et DCO. Les trois indices de diversité (RS, indice biotique et H') ont été significativement influencés par MES, conductivité et H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (proportionnellement négatif  $r \geq -0.81$ ) ( $P < 0.001$ ) avec MES ( $r = -0.86$ ,  $r = -0.82$ ,  $r = -0.84$ ), C.E ( $r = -0.84$ ,  $r = -0.90$ ,  $r = -0.83$ ) and H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ( $r = -0.85$ ;  $r = -0.80$ ,  $r = -0.69$ ). En outre, la richesse taxonomique (SR) a été influencée négativement et significativement par la demande biologique en oxygène (DBO,  $r = -0,69$ ,  $P < 0,001$ ), la demande chimique en oxygène (DCO,  $r = -0,71$ ,  $P < 0,001$ ) (MES,  $r = -0,86$ ,  $P < 0,001$ ) et orthophosphate (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>:  $r = -0,85$ ,  $P < 0,001$ ). Ceci montre l'impact des activités anthropogéniques sur la survie des espèces tandis que l'indice biotique (IBGN) était significativement et positivement corrélé avec l'augmentation de l'oxygène dissous (O2:  $r = 0.92$ ,  $P < 0.001$ ) qui favorise l'existence des espèces.

**Tableau 8.** Valeurs des coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres physicochimiques et les différentes métriques des macroinvertébrés benthiques de l'Oued Ouislane en 2010

|                                  | O <sub>2</sub> | M.E.S     | T°        | DBO5      | C.E       | DCO       | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |
|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| <b>Richesse spécifique (RS)</b>  | 0.92***        | - 0.86*** | - 0.57**  | - 0.69*** | - 0.84*** | - 0.71*** | - 0.85***                                    |
| <b>Indice biotique : IBGN</b>    | 0.92***        | - 0.82*** | - 0.63**  | - 0.60**  | - 0.90*** | - 0.62*** | - 0.80***                                    |
| <b>Shannon-Weaner (H')</b>       | 0.84***        | - 0.84*** | - 0.69*** | - 0.57*** | - 0.83*** | - 0.24*   | - 0.69***                                    |
| <b>Indice d'Equitabilité (E)</b> | - 0.68***      | 0.62***   | 0.45**    | 0.42***   | 0.73***   | 0.21*     | 0.52***                                      |

M.E.S: matières en suspension ; O<sub>2</sub>: oxygène dissous ; DBO5 : demande biologique en oxygène en 5 jours ; DCO : demande chimique en oxygène ; H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: orthophosphates ; T°: température ; C.E: Conductivité électrique. Coefficients de corrélation (r) et leurs niveaux de signification (\*P<0.05; \*\* P <0.01; \*\*\* P <0.001).

Les données physicochimiques et la présence /ou l'absence des macroinvertébrés benthiques dans les stations sont indiquées en fonction d'une combinaison d'influences naturelles et anthropiques [55]. L'hydrologie de la rivière le long du bassin pourrait être modifiée, mais le facteur le plus important dans la modification de la distribution des macroinvertébrés benthiques est les intrants anthropiques [56]. En plus des effluents urbains, les rejets industriels et les pesticides agricoles pourraient avoir de fortes influences sur les macroinvertébrés benthiques et entraîner de fortes variations dans leurs assemblages. Ces organismes ont différents niveaux de sensibilité à la pollution et de nombreux facteurs abiotiques dans l'écosystème fluvial [57]. Les stations O2 et O3 étaient dominées par *Aulodrilus sp.* et *Tubifex sp.* (Oligochètes), ces espèces de vers sont connues par leur capacité de tolérance des conditions défavorables telles que les faibles concentrations d'oxygène dissous et les concentrations élevées de polluants [58] [59]. Par exemple, une forte densité d'oligochètes est une bonne indication de la pollution organique [60]. Harrell et Smith [61] ont trouvé des preuves qu'un certain enrichissement organique à la rivière était indiqué par la dominance de *Tubifex* et une diminution des concentrations d'oxygène. Les trichoptères sont des bioindicateurs potentiels pour l'écosystème propre puisqu'ils peuvent être trouvés à la station propre en amont (station O1) de l'Oued Ouislane. Les éphéméroptères sont considérés comme sensibles au stress environnemental et leur présence signifie des conditions relativement propres [62]. La densité des espèces d'une population individuelles peut varier pour une grande variété de raisons [63], [64], indiquant les variations naturelles des facteurs biotiques et abiotiques de la rivière Ouislane. La variation naturelle des conditions fluviales a également joué un rôle majeur dans la structure de la communauté des macroinvertébrés [65]. Sur la base de l'analyse de régression multiple, la MES, la DCO et DBO5 étaient trois paramètres physicochimiques identifiés comme altérant la communauté des macroinvertébrés benthiques.

Enfin, l'absence des macroinvertébrés benthiques sensibles et la présence de *Tubifex sp* a permis de classer les stations O2 et O3 comme «polluées» en utilisant la grille de la qualité des eaux superficielles (SEQ-Eau, Version 2). Ceci est en accord avec le rapport de l'Agence de Sebou en 2019, [66] selon lequel les rivières dans le bassin étaient généralement propres en amont et polluées à cause des déchets urbains et des activités agricoles en aval. Cela a renforcé notre point de vue écotoxicologique selon lequel les activités anthropiques ont contribué aux changements dans la répartition des macroinvertébrés benthiques oued Ouislane. Gray [67] a résumé les réponses en trois catégories distinctes: réduction de la diversité, domination accrue d'un seul ou d'un groupe d'espèces opportunistes et réduction de la taille individuelle. Les deux premiers ont été montrés par les données macroinvertébrées benthiques de la station O2 et O3 de la rivière Ouislane. Il est important que les autorités réglementaires mettent en place une stratégie adéquate pour surveiller, réglementer et protéger cet écosystème fluvial.

#### 4 CONCLUSION

Notre étude a montré que les stations de l'Oued Ouislane le moins perturbées par les activités anthropiques présentent une richesse taxonomique et une structure faunistique très variée. Par contre les stations au niveau de l'agglomération de Meknès sont très dégradées (disparition des espèces les plus sensibles) et une perte rapide de la biodiversité des écosystèmes aquatiques de la région de Meknès. Certaines espèces sensibles (Trichoptères) et résistantes (*Tubifex sp.*) sont identifiées comme des bioindicateurs potentiels de l'écosystème aquatique. L'analyse biotypologique montre que les indices de richesse et de diversité étaient généralement influencés par la demande chimique en oxygène et la matière en suspension (MES), la demande biologique en oxygène. Cette étude a également mis en évidence les impacts des activités anthropiques sur la répartition et la diversité des macroinvertébrés benthiques. Enfin, les données obtenues dans cette étude ont appuyé l'utilisation du concept de bioindicateurs (Innovation Biotechniques pour la Biosurveillance la qualité de l'eau) pour les rivières de l'Afrique du Nord.

## REFERENCES

- [1] Heejun C. (2008). Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea *Water Research* 42; 3285 – 3304.
- [2] Wagner, R.J., Katarzyna J. et al., (2009). Ecohydrological system solutions to enhance ecosystem services: the Pilica River Demonstration Project. *International Journal of Ecohydrology and Hydrobiology* Vol 9, No 1, 2009.
- [3] United Nations (1992) Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Resolutions Adopted by the Conference. Vol. 1. United Nations, Rio de Janeiro.
- [4] P.D.M. (2004) Plan Directeur Wilaya de Meknés. Rapport, Genève, 180 p.
- [5] Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. and Usseglio-Polatera, P. (2000) Invertébrés d'eau douce. Systématique, Biologie, Ecologie. CNRS. Editions, Paris, 588.
- [6] Arienzo, M., Adamo, P., Bianco, M.R. and Violante, P. (2001) Impact of Land Use and Urban Runoff on the Contamination of the Sarno River Basin in Southern Italy. *Water, Air, & Soil Pollution*, 131, 349-366. <https://doi.org/10.1023/A:1011908019933>
- [7] Ogbeibu, A.E. and Oribhabor, B.J. (2002) Ecological Impact of River Impoundment Using Benthic Macro-Invertebrates as Indicators. *Water Research*, 36, 2427-2436.
- [8] Statzner B. et Bêche L.A., (2010). Can biological invertebrate traits resolve effects of multiple stressors on running water ecosystems? *Fresh water Biology*, n°55, pp.80-119.
- [9] Woodcock T.S. et Huryn A.D., (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, n° 52, pp. 177-196.
- [10] Bo T., Fenoglio S., Malacarne G., Pessino M. et Sgariboldi F., (2007). Effects of clogging on stream macroinvertebrates: An experimental approach. *Limnologica-Ecology and Mangement of Inland Waters*, n° 37, pp. 186-192
- [11] Bilotta G.S. et Brazier R.E., (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, n°42, pp. 2849-2861.
- [12] Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P. et Jones I., (2011). The impacts of fine sediment on riverine fish, Hydrological Processes, *Published online in Wiley Online Library*.
- [13] Nedeau, E.J., Merritt, R.W. and Kaufman, M.G. (2003) The Effect of an Industrial Effluent on an Urban Stream Benthic Community: Water Quality vs. Habitat Quality. *Environmental Pollution*, 123, 1-13.
- [14] Sylvestre, S., Fluegel, M., & Tuominen, T. (2005) Évaluation des populations d'invertébrés benthiques dans certains cours d'eau du bassin de Georgia à l'aide de l'approche des conditions de référence : extension du programme de surveillance des invertébrés du Fraser – 1998-2002. Environnement Canada, Initiative de l'écosystème du bassin de Georgia, *Rapport EC/GB/04/81*.
- [15] Moisan, J., (2006). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, *ISBN-13 : 978-2-550-48518-6 (PDF), ISBN-10 : 2-550-48518-1 (PDF) - 82 p*
- [16] P.D.M. (2004) Plan Directeur Wilaya de Meknés. *Rapport*, Genève, 180 p.
- [17] Rodier J., Legube B., Merlet N., (2009). L'analyse de l'eau. Paris, Dunod, 9e édition, 1579 p.
- [18] Association française de normalisation (AFNOR) *NF/Environnement-1992*.
- [19] Baroudi, M. (1984) Contribution à l'étude des oligochètes, étude taxonomique de quelques genres d'enchytraida, étude faunistiques des oligochètes aquatiques du Maroc. Thèse 3<sup>e</sup> cycle Univ. Moulay Ismail Fac. Sci. Meknès.
- [20] Lafont, M. (1983). Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. 3: Annélides Oligochètes. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, 52, 108-135. <https://doi.org/10.3406/linly.1983.10583>
- [21] Amors, C. (1984). Crustacés, Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, 53-63.
- [22] Ramdani, M., Dakki, M., Kharboua, M. and EL Aagbani, A. (1987) . Les Gastéropodes dulcicoles du Maroc, inventaire commenté. *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat*, 11, 135.
- [23] Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. and Usseglio-Polatera, P. (2000). Invertébrés d'eau douce. Systématique, Biologie, Ecologie. CNRS Editions, Paris, 588.
- [24] Aguesse and Dakki (1982). Les Odonates de l'Europe Occidentale, du Nord de l'Afrique et des Iles Atlantiques. *Masson Cie*, Paris, 258 p.
- [25] Vigneux, E., Keith, P., Noel, P.Y., et al. (1993) Atlas préliminaire des Crustacés Décapodes d'eau douce de France. *Patrimoines Naturels*, 14, 1-56.
- [26] Berrahou, A., Cellot, B. and Richter, P. (2002). Les macroinvertébrés benthiques de la Moulouya (Maroc). *Bull. Ecol.*, 223-234.

- [27] Bouzidi, A. (1989). Recherches hydrobiologiques sur le cours d'eau des massifs du Haut-Atlas. Bioécologie des macroinvertébrés et distribution spatiale des peuplements. Doctorat d'état Uni. Aix-Marseille, fac. Sci. Tech. Sai-Jérôme, 190 p.
- [28] Vergon, J.-P. and Bourgeois, C. (1993) Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises 10: Diptères chironomides (larves aquatiques) T. 1: Caractères généraux, sousfamilles et tribus. *Bull. Mens. Soc. Linn.* Lyon, 62, 101-132.
- [29] Dakki, M. (1992) Etude National sur la biodiversité Faune aquatique continentale (Invertébrés et Poissons) Projet PNUF/GEF/6105-92, 121.
- [30] Beauger, A. (2008). Bio-évaluation de la qualité de l'eau: établissement d'un protocole d'échantillonnage simplifié, basé sur la collecte des macroinvertébrés benthiques sur les seuils des rivières à charge de fond graveleuse. Biodiversité et Ecologie. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II; Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2008. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00730658/document>.
- [31] Chahlaoui, A., Cugny, P., Lek, S., Zaid, A. and Ramdani, M. (1997). Analyse quantitative de la qualité de l'eau de l'oued Boufekrane (Maroc). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 131, 71-76
- [32] Vega, M., Pardo, R., Barrado, E. and Deban, L. (1998). Assessment of Seasonal and Polluting Effects on the Quality of River Water by Exploratory Data Analysis. *Water Research*, 32, 3581.
- [33] Vidal, M., Lopeza, A., Santoalla, M.C & Valles, V. (2000). Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer, *Agricultural Water Management*, 45 (1), 1-15.
- [34] Brodnjak, D., Dobnik, D., Novi, M. and Zupan, J. (2002). Chemometrics characterisation of the Quality of River Water. *Analytica Chimica Acta*, 462, 87-100
- [35] Parinet, A., Boukari, S.O.B. and Adima, A. (2005) Evaluation de l'état d'une eau de rivière par analyse multidimensionnelles utilisant certains paramètres caractéristiques de la matière organique dissoute. *Revue des sciences de l'eau*, 18, 133-163.
- [36] De Lagarde, J. (1995) Initiation à l'analyse de données. 3<sup>ème</sup> Edition, Dunod, Paris.
- [37] Bournaud, M. and Keck, G. (1980). Les prélèvements de macroinvertébrés benthiques en tant que révélateurs de la physionomie d'une rivière. *Annls Limnologie*, 16, 55-75. <https://doi.org/10.1051/limn/1980009>
- [38] Gayraud S., (2002). Colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macroinvertébrés. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* Pp.339 – 355.
- [39] Gayraud S., (2001). Les sédiments du lit des cours d'eau : quantification de leur influence sur les peuplements de macroinvertébrés par une approche multi-sites. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard-Lyon 1, 215p
- [40] Woodcock T.S. et Huryn A.D., (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater biology*, n° 52, pp. 177-196.
- [41] Mumbé D.H.T., (2006). Etude minéralogique et propriétés physicochimiques de résidus argileux des sablières de Dschang : importance dans la céramique. Thèse de Master of Science, Université de Dschang, 66p.
- [42] Berrahou, A., Cellot, B. and Richter, P. (2002). Les macroinvertébrés benthiques de la Moulouya (Maroc). *Bull. Ecol.*, 223-234.
- [43] Mayer, P.M., Reynolds, S.K., McCutchen, M.D. and Canfield, T.J. (2006). Riparian Buffer Width, Vegetative Cover, and Nitrogen Removal Effectiveness: A Review of Current Science and Regulations. EPA/600/R-05/118. U.S. *Environmental Protection Agency*, Cincinnati. <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=20000182.TXT>.
- [44] Vega M., Pardo R, and Barrado E. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water res.*, 32 (12), 3581-3592.
- [45] Matthews, R., Buikema, A.L., Cairns, J. and Rodgers, J.H. (1982) Review Paper: Biological Monitoring. Part IIA—Receiving System Functional Methods, Relationships and Indices. *Water Research*, 16, 129-139.
- [46] Maqboul, A., Aoujdad, R., Fekhaoui, M. & Touhami, A. (2001). Caractérisation biocénotique et biotypologique de la faune malacologique dulcicole de la plaine du Gharb (Maroc). *Riv. Idrobiol.*
- [47] Pinel-Alloul, M.G., Lapiere, L. and Willsie, A. (1996) Macrobenthic Community as a Biological Indicator of Ecological and Toxicological Factors in Lake Saint-Francois (Quebec). *Environmental Pollution*, 91, 65-68.
- [48] Marty, A. & Calvel, P. (1985). Qualité de l'eau de la Loire en haute -Loire .Effets des extractions d'agrégats sur la qualité et la productivité du milieu .*Ann .Hydrobiol.*, 7 :45.
- [49] Carter, C.E. (1988) the funa of the muddy sediment of lough neagh , with parcticular reference to eutrophication . *Fresh water boil.*, 8 (6) :547-559.
- [50] Zirirane D., Bagalwa J.J, Isumbisho M., Mulengezi M., Mukumba I., Bora M., Mucheso J.M., Lukamba A., Iragi G., Ireng B., Kibangu F. et Kamangala R. (2014). Évaluation comparée de la pollution des rivières Kahuwa et Mpungwe par l'utilisation des macroinvertébrés benthiques. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, URL : <http://vertigo.revues.org/15365> ; DOI : 10.4000/vertigo.15365.

- [51] Tshijik J-C. K., Akaiibe D, Micha J-C. et Pwema V.K., (2016). Analyse comparative de la diversité taxonomique et de la qualité écologique de l'eau des rivières Lukunga et Mangengenge à Kinshasa. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, n°16, pp. 260-27.
- [52] Badri, A. (1993). Influence des crues sur les écosystèmes lotique du haut Atlas: (étude des perturbations et des mécanismes de recolonisation à travers les peuplements des algues et d'invertébrés. *Thèse d'Etats; Univ Cadi Ayad. Marrakech*, 384p.
- [53] Dakki, M. (1986) Biotypologie et gradient thermique spatiotemporel, étude sur un cours d'eau du Moyen Atlas (Maroc). *Bull. Ecol.*, 17 :79-85
- [54] El Agbani, A., Dakki, M. & Bournaud, M. (1992) Etude typologique du Bou Regreg (Maroc) : le milieu aquatique et leur peuplement en macroinvertébrés. *Bul, Ecol*, 23 :103-113.
- [55] Christensen, V.G., Lee, K.E., McLees, J.M. and Niemela, S.L. (2012) Relations between Retired Agricultural Land, Water Quality, and Aquatic-Community Health, Minnesota River Basin. *Journal of Environmental Quality*, 41, 1459-1472. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2011.0468>
- [56] Resh V.H., (2008). Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environmental Monitoring and Assessment* n°138, 131
- [57] Essahale, A. and Karrouch, L. (2015) Contribution to the Study of Oil Mills Impact on the Environment in el hajeb Province. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 76,355-365. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1775878515001617>.
- [58] Brinkhurst, R.O. (1967). The Distribution of Aquatic Oligochaetes in Saginaw Bay, Lake Huron. *Limnology and Oceanography*, 12, 137-143. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.1.0137>
- [59] Parinet, A., Boukari, S.O.B. and Adima, A. (2005) Evaluation de l'état d'une eau de riviere par analyse multidimensionnelle utilisant certains paramètres caractéristiques de la matière organique dissoute. *Revue des sciences de l'eau*, 18, 133-163
- [60] Slepukhina, T.D. (1984). Comparison of Different Methods of Water Quality Evaluation by Means of Oligochaetes. *Hydrobiology*, 115, 183-186. <https://doi.org/10.1007/BF00027914>
- [61] Harrel, R. and Smith, S. (2002). Macro-benthic Community Structure before, during and after Implementation of the Clean Water Act in the Neches River Estuary (Texas). *Hydrobiologia*, 474, 213-222. <https://doi.org/10.1023/A:1016596123558>
- [62] Bustos-Baez, S. and Frid, C.C. (2003). Using Indicator Species to Assess the State of Macro-Benthic Communities. *Hydrobiologia*, 496,299 309. <https://doi.org/10.1023/A:1026169520547>
- [63] Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling, J.B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macro-Invertebrates and Fish. 2nd Edition, Office of Water, US Environmental Protection Agency, Washington DC, EPA-841-B-99-002.
- [64] Kerans, B.L., Karr, J.R. and Ahlstedt, S.A. (1992). Aquatic Invertebrate Assemblages: Spatial and Temporal Differences among Sampling Protocols. *Joun. of the North American Benthological Society*, 11, 390. <https://doi.org/10.2307/1467559>.
- [65] Mucha, A.P., Vasconcelos, M.T.S.D. and Bordalo, A.A. (2004) Vertical Distribution of the Macro-benthic Community and Its Relationships to Trace Metals and Natural Sediment Characteristics in the Lower Douro Estuary, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59..
- [66] Agence de Sebou .MCI, 2009. Ministère du Commerce et de l'Industrie, Direction Générale de l'Industrie, Etude de l'impact des rejets industriels sur la qualité des eaux de l'oued Sebou, rapport de synthèse. Scandia consults International AB, Juillet 2009.
- [67] Gray, J.S. (1989). Effects of the Environmental Stress on Species Rich Assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37, 19-39. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1989.tb02003>.