

N° d'ordre : 3280

THESE

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

Centre de Recherche : **Géo-PAC**

Structure de Recherche : **Géo-biodiversité et patrimoine naturel**

Discipline : **Biologie**

Spécialité : **Environnement et aménagement de l'espace**

Présentée et soutenue le 15/02/2020 par :

Karim ARIFI

Le titre de la thèse

Bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat) Diagnostic écologique et plan d'aménagement et de gestion

Abdelkbir BELLAOUCHOU	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Président
Mohamed FEKHAOUI	PES	Institut Scientifique, Université Mohammed V, Rabat	Directeur de thèse
Abdelkader CHAHLAOUI	PES	Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, Meknès	Rapporteur/Examinateur
Ahmed YAHYAOUI	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Rapporteur/Examinateur
Habiba ZOUTEN	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Rapporteur/Examinateur
Latifa TAHRI	PA	Institut Scientifique, Université Mohammed V, Rabat	Invitée

Année Universitaire : **2019/2020**

N° d'ordre : 3280

THESE

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

Centre de Recherche : **Géo-PAC**

Structure de Recherche : **Géo-biodiversité et patrimoine naturel**

Discipline : **Biologie**

Spécialité : **Environnement et aménagement de l'espace**

Présentée et soutenue le 15/02/2020 par :

Karim ARIFI

Le titre de la thèse

Bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat) Diagnostic écologique et plan d'aménagement et de gestion

Abdelkbir BELLAOUCHOU	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Président
Mohamed FEKHAOUI	PES	Institut Scientifique, Université Mohammed V, Rabat	Directeur de thèse
Abdelkader CHAHLAOUI	PES	Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, Meknès	Rapporteur/Examineur
Ahmed YAHYAOU	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Rapporteur/Examineur
Habiba ZOUTEN	PES	Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat	Rapporteur/Examineur
Latifa TAHRI	PA	Institut Scientifique, Université Mohammed V, Rabat	Invitée

Année Universitaire : **2019/2020**

Dédicaces

A la mémoire de mes parents

A ma femme

A mes filles, mes sœurs et frères.

Source de toutes qui m'ont été nécessaires pour réaliser ce travail.

Avant-propos et remerciements

Le présent travail a été mené sur le bassin versant de l'oued Grou sous la direction de Monsieur **Mohammed FEKHAOUI**, Professeur à l'Institut Scientifique de Rabat, dans le cadre de la recherche scientifique et d'une collaboration entre l'Institut Scientifique de Rabat (IS), la Faculté des Sciences de Rabat (FSR) et l'Institut National d'Hygiène de Rabat (INH). C'est une contribution modeste et partielle pour une meilleure connaissance des ressources en eau au Maroc, particulièrement dans la région de Rabat. Il a pour objectif principal de faire un diagnostic écologique du bassin versant de l'oued Grou, afin de faire des propositions d'aménagement et de gestion durable appropriées. Il a pu être mené à bien grâce aux multiples compétences.

Je tiens, tout d'abord à remercier Monsieur le Professeur **Mohammed FEKHAOUI**, Directeur de l'Institut Scientifique de Rabat (IS). Je tiens ainsi à le remercier pour m'avoir accordé sa confiance en acceptant de m'encadrer et pour m'avoir suggérer l'idée du thème de cette thèse, mais aussi de m'avoir accordé généreusement le privilège de sacrifier des moments importants de son temps pour me recevoir, m'écouter et me faire profiter de sa solide expérience. Ses informations, ses conseils, ses orientations et sa lecture pointilleuse, m'ont été fort précieux, afin d'aboutir à ce travail.

Je tiens à remercier vivement Monsieur **Abdelkebir BELLAOUCHOU**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, qui a bien voulu accepter de présider le jury de ma thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma plus haute considération.

Mes remerciements les plus sincères à Monsieur **Abdelkader CHAHLAOUI**, Professeur à la Faculté des Sciences de Meknès, pour avoir accepté d'être rapporteur de ce travail et membre de son jury.

Je tiens à exprimer ma plus grande gratitude à Monsieur **Ahmed YAHYAOU**, Professeur à la faculté des sciences de Rabat (FSR), qui m'a fait l'insigne honneur d'être rapporteur de ce travail et membre de son jury. Je lui exprime toute ma gratitude d'avoir apporté une attention particulière à ce travail, ses conseils et ses connaissances m'ont été d'une aide précieuse dans la conception, la progression et la réalisation de ce travail de recherche.

Mes remerciements les plus chaleureux à Madame **Habiba ZOUTEN**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, qui a accepté d'être rapporteur de ce travail. Sa présence dans son jury est un grand honneur pour moi.

Mes remerciements les plus respectueux vont également à Madame **Latifa TAHRI**, Professeur à l'Institut Scientifique de Rabat, d'avoir accepté le co-encadrement de ce travail et de nous avoir permis d'approfondir nos recherches. Ses critiques, ses suggestions et ses conseils m'ont été toujours profitables. Ma profonde reconnaissance et très respectueuse admiration pour l'appui et le grand intérêt qu'elle m'a apporté au cours de la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à l'égard de Madame **Souad EL BLIDI**, Professeur à l'Institut Scientifique de Rabat, d'avoir bien voulu prendre la succession de l'évolution de mes travaux de recherches durant les deux premières années, et pour ses conseils toujours judicieux.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à Monsieur **Abdallah EL ABIDI**, Chef du pôle santé et environnement à l'Institut National d'Hygiène de Rabat (INH), qui a mis à ma disposition les équipements de son laboratoire facilitant ainsi la réalisation de ce travail ainsi que sa contribution efficace et ses aides à la réalisation de certaines analyses physicochimiques et bactériologiques que ce travail est mené à bien.

Je voudrais aussi remercier Mesdames et Messieurs les Professeurs **Nadia MHAMDI**, **Oumnia HIMMI**, **Amal SERGHINI**, **Mohamed DAKKI**, **Mohamed ARAHOU** et **Abdellatif BAYED** pour la disponibilité, les conseils et les encouragements qu'ils m'ont apportés. Je leurs exprimes toute ma gratitude et mes respects.

Mes remerciements sont également adressés à tous les chercheurs de l'IS, de la FSR et de l'INH. Et plus particulièrement à ceux qui ont suivi constamment l'évolution de mes travaux de recherche.

En fin, j'exprime mes sentiments de reconnaissance à ma famille et à mes amis qui ont su m'encourager tout au long de ces années de recherche.

Résumé

Au Maroc, le bassin versant de l'oued Grou s'étend longitudinalement sur la partie gauche de l'oued Bouregreg, représente un espace où l'agriculture et la surexploitation des ressources naturelles progressent à grand pas, tout en générant des dégâts que les choix d'aménagement ne parviennent pas encore à atténuer. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui a pour but principal de saisir la complexité de la dégradation de ce bassin versant afin de faire des propositions d'aménagement appropriées.

Les résultats obtenus entre décembre 2014 et juillet 2017, montrent bien que ce bassin versant offre un tableau sombre et inquiétant en termes de dégradation hydrique, physique et socio-économique. En effet, l'évaluation physicochimique (T°_{air} , T°_{eau} , pH, CE, mV, Sal, TDS, DBO₅, DCO, MES et COT) et bactériologique (CT, CF et EI), montre une dégradation de la qualité de l'eau de l'oued Grou. Le rapport CF/EI montre que l'origine de cette pollution est humaine (eaux usées). A ceci s'ajoute la présence des Salmonelles en S₂, ce qui constitue une menace pour les habitants. L'évaluation écologique par calcul de l'indice biologique global normalisé (IBGN), nous a permis d'établir un premier inventaire des macroinvertébrés et de classer la qualité de l'eau en 3 catégories (moyenne en S₁, médiocre en S₂ et bonne en S₃ et S₄). Les prospections du terrain montrent une dégradation du milieu physique influencé par les mauvaises conditions socio-économiques et l'absence d'alternatives de développement durables. Pour remédier à cette situation nous recommandons un plan d'aménagement et de gestion dans la région.

Mots clés : Oued Grou, physicochimie, bactériologie, écologie, aménagement.

Abstract

In Morocco, the catchment of Grou River extends longitudinally on the left side of the Bouregreg River, represents an important area where agriculture and overexploitation of natural resources are progressing at a fast pace. This progress is generating damage that the efforts to develop the area have not yet managed to mitigate. It is in this context that this work is being carried out, the main aim of which is to understand the complexity of the degradation of this catchment area in order to make appropriate development proposals.

The results obtained between December 2014 and July 2017 clearly show that this catchment offers a bleak and worrying picture in terms of water, physical and socio-economic degradation. Indeed, the physicochemical (pH, T, EC, mV, Sal, TDS, BOD₅, COD, SS and TOC) and bacteriological (TC, FC and IE) assessment shows a deterioration in the quality of Grou river's water. The FC/IE ratio shows that the origin of this pollution is human (wastewater). In addition, there is the presence of Salmonella in S₂, which is a threat to the inhabitants who use this water on a daily basis. The ecological assessment by calculation of the standardized global biological index (SGBI), allowed us to establish a first inventory of macroinvertebrates and to classify the water quality in 3 categories (average in S₁, poor in S₂ and good in S₃ and S₄). Field surveys show a deterioration of the physical environment influenced by poor socio-economic conditions and the lack of sustainable development alternatives. To remedy this situation we recommend a development and management plan for the region.

Keywords: Grou River, physicochemical, bacteriological, ecological, management.

PRINCIPALES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS REALISEES DANS LE CADRE DE CE TRAVAIL

PUBLICATIONS

K. Arifi., S. Elblidi., A. Serghini., L. Tahri., A. Yahyaoui and M. Fekhaoui (2018). **Taxonomic diversity of benthic macroinvertebrates and bio-evaluation of water quality of Grou River (Morocco) through the use of the standardized global biological index (IBGN).** *J. Mater. Environ. Sci.* 9 (4) (2018) 1343-13556.

K. Arifi., L. Tahri., A. EL Abidi., F.Z. Hafiane., S. Elblidi., A. Yahyaoui and M. Fekhaoui (2018). **Spatio-Temporal Variation of the Physico-Chemical Quality of the Waters of the Grou River (Rabat Region, Morocco).** *Der Pharma Chemica.* 10(5) (2018) 134-142.

K. Arifi., L. Tahri., A. EL Abidi., F.Z. Hafiane., S. Elblidi., A. Yahyaoui and M. Fekhaoui (2018). **Impact of wastewater from the rural commune of Jmaa Moulblad on the physico-chemical quality of the waters of the Grou River (Rabat region, Morocco).** *E3S Web of Conferences.* 37 (2018) 01008.

Karim Arifi., Latifa Tahri., Fatima Zahra Hafiane., Souad Elblidi., Ahmed Yahyaoui & Mohammed Fekhaoui (2019). **Diversité des macroinvertébrés aquatiques de la retenue du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah à la confluence avec les eaux de l'oued Grou et bio-évaluation de la qualité de ses eaux (Région de Rabat, Maroc).** *Entomologie Faunistique – Faunistic Entomology.* Volume 72 (2019) 13-20.

K. Arifi., L. Tahri., A. EL Abidi., A. Yahyaoui and M. Fekhaoui. **Evaluation of the impact of wastewater in the rural commune of Jmaa Moulblad on the bacteriological quality of the Grou River water (Rabat region, Morocco).** *Mor. J. Chem.* 7 N°3 (2019) 410-415.

F.Z. Hafiane., L. Tahri., N. Ameer., R. Rochdi., K. Arifi and M. Fekhaoui (2019). Antibiotic resistance of pseudomonas aeruginosa in wells water in irrigated zone (Middle Atlas-Morocco). *Nature Environment and Pollution Technology.* 18 N°4 (2019) 1193-1200.

K. Arifi., L. Tahri., F.Z. Hafiane., A. EL Abidi., A. Yahyaoui and M. Fekhaoui (2019). **Assessment of spatial and temporal water quality variation of Grou River, Morocco.** (*Soumission*).

COMMUNICATIONS

L. Tahri., A. EL Abidi., I. Nassri., N. Ameer., A. Saidi., K. Arifi & M. Fekhaoui (2019). **Contrôle de salubrité des mollusques de l'Estuaire Bou-Regreg**. Communication affichée à l'occasion de la 3^{ème} conférence Méditerranéenne de la Biodiversité «BIODIV2019», Tenue à Hammamet, Tunisie, du 01 au 03 Novembre 2019.

K. Arifi., L. Tahri., A. EL Abidi., A. Yahyaoui & M. Fekhaoui (2019). **Evaluation of the impact of the wastewater of the rural commune of Jmaa Moulblad on the bacteriological quality of the water of the Grou River (Rabat region, Morocco)**. Communication orale à l'occasion de la 6^{ème} édition du congrès international ERVD'6 «Eau, Recyclage et Valorisation des Déchets». Du 22 au 23 Mars 2019, à l'Université Privée de Fès, Maroc.

K. ARIFI., L. TAHRI., A. YAHYAOU., F.Z. HAFIANE & M. FEKHAOUI. (2018). **Impact of wastewater from the rural commune of Jmaa Moulblad on the ecological quality of the waters of the Grou River (Rabat region, Morocco)**. Communication affichée à la 2^{ème} édition des journées doctorales de l'institut scientifique de Rabat, le 15 Décembre 2018, Maroc.

Fatima Zahra HAFIANE., Latifa TAHRI., Karim ARIFI., Hind ELBOUZAIID., Rajaa ROCHDI & Mohammed FEKHAOUI. (2018). **Biocorrosion- biofilms action on water wells in irrigated zone (Middle Atlas -Morocco)**. Communication affichée au XV^{ème} Symposium international sur la corrosion (KORSEM18) du 26 au 28 septembre 2018 à Antakya, Hatay, en Turquie.

Karim ARIFI., Latifa TAHRI., Abdallah EL ABID., Fatima Zahra HEFIANE., Souad ELBLIDI., Ahmed YAHYAOUUI & Mohammed FEKHAOUI. (2018). **Etude morphodynamique des eaux du bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat, Maroc)**. Communication affichée à la deuxième édition des journées géologiques du Maroc, édition 2018. Du 8 au 9 mai 2018, au siège du Ministère de l'énergie, des Mines et du Développement Durable à Rabat, Maroc.

K. Arifi., L. Tahri., A. EL Abidi., F.Z. Hafiane., S. Elblidi., A. Yahyaoui & M. Fekhaoui (2018). **Impact des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad sur la qualité physico-chimique des eaux de l'oued Grou (Région de Rabat, Maroc)**. Communication orale à la 6^{ème} édition de congrès international : Eaux, Déchets, Environnement (EDE6). Du

12 au 14 décembre 2017, à la Faculté des Sciences et Technique-Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc.

ARIFI Karim, TAHRI Latifa., ELBLIDI Souad., HEFIANE Fatima zahra., YAHYAOUI Ahmad & FEKHAOUI. Mohammed. (2017). **Impact de la pollution sur la structure et la diversité des macroinvertébrés benthiques de l'oued Grou au Maroc**. Communication affichée au 3^{ème} Colloque International Francophone Environnement et Santé. Du 23 au 25 octobre 2017, à l'Université Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France.

K. Arifi., L. TAHRI., S. Elblidi., A. Yahyaoui et M. Fekhaoui. (2017). **Structure et diversité taxonomique des macroinvertébrés benthiques de la retenue du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah (SMBA) au Maroc**. Communication affichée aux 8^{ème} Journées Internationales Oiseaux d'Eau et Zones Humides, 19 et 20 mai 2017, à l'école supérieure de Technologie de Khnéfra, Maroc.

F.Z. Hafiane., L. TAHRI., K. Arifi., A. Elamrani idrissi et M. Fekhaoui. (2017). **Contribution à l'étude de la pollution des eaux souterraines en zone irriguée (Tadla-Maroc)**. Communication orale aux 8^{ème} Journées Internationales Oiseaux d'Eau et Zones Humides, 19 et 20 mai 2017, à l'école supérieure de Technologie de Khnéfra, Maroc.

Karim ARIFI., Souad ELBLIDI., Ahmed YAHYAOUI et Mohammed FEKHAOUI2. (2016). **Etat écologique des eaux de l'oued Grou En vue de l'application de l'indice biologique (Localité: commune rurale d'Aghbal. Région de Rommani, Maroc)**. Communication affichée à la première journée Doctorale de l'Institut Scientifique (IS) de Rabat, Maroc. Le 25 mai 2016.

Karim ARIFI., Souad ELBLIDI., Ahmed YAHYAOUI et Mohammed FEKHAOUI. (2016). **Evaluation de la qualité écologique des eaux du bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat) par l'utilisation de l'indice biologique globale normalise (IBGN)**. Communication affichée au premier Congrès International des Etudes sur l'Eau et l'environnement (CI3E). Le 21 et 22 avril 2016, à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Al-Hoceima, Maroc.

Karim ARIFI., Souad ELBLIDI., Ahmed YAHYAOUI et Mohammed FEKHAOUI. (2016). **Diagnostic écologique et plan d'aménagement et de gestion durable**. Communication orale à la finale universitaire de L'UM5R dans le cadre du Concours Francophone

International « Ma Thèse en180s » édition 2016. Le 15 avril 2016, au siège de la présidence de l'UM5R, Maroc.

Karim ARIFI., Souad ELBLIDI., Ahmed YAHYOUI et Mohammed FEKHAOUI. (2016). **Evaluation de la qualité écologique des eaux du bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat) par l'utilisation de l'indice biologique globale normalise (IBGN).** Communication affichée aux 7^{èmes} Journées Scientifiques du CEDoc SVS et aux 4^{èmes} Journées Scientifiques d'AMADOC SVS. Du 16 au 19 mars 2016, à la faculté de médecine et de pharmacie de Rabat, Maroc.

Karim ARIFI., Souad ELBLIDI., Ahmed YAHYOUI et Mohammed FEKHAOUI. (2016). **Evaluation de la qualité de l'eau du bassin versant de l'oued Grou par l'utilisation de l'indice biologique globale normalisée (IBGN) (Région de Rabat).** Communication affichée à la 5^{ème} édition des journées Doctoriales de la Faculté des Sciences de Rabat (FSR), Maroc. Du 09 au 11mars 2016.

Karim ARIFI., Souad ELBLIDI., Ahmed YAHYOUI et Mohammed FEKHAOUI. (2016). **Diagnostic écologique et plan d'aménagement et de gestion durable du bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat).** Communication orale à la finale régionale du Concours Francophone International « Ma Thèse en180s » édition 2015. Le 13 mai 2015. Au siège de la présidence de l'Université Mohammed V de Rabat, Maroc.

K.ARIFI., M.DROUSSI., H.OULAD ALI., S. ELBLIDI., A. YAHYOUI et M. FEKHAOUI. (2015). **Vieillessement in-vivo des ovules de la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) - effets sur les taux de fécondation, de survie des embryons et d'éclosion.** **Localité : Station de Carpiculture de la Deroua, BENI MELLAL.** Communication orale à la 4^{ème} édition des journées Doctoriales de la Faculté des Sciences de Rabat (FSR), Maroc. Du 19 au 21février 2015.

K.ARIFI., M.DROUSSI., H.OULAD ALI., S. ELBLIDI., A. YAHYOUI et M. FEKHAOUI. (2015). **Vieillessement in-vitro des ovules de la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) - effets sur les taux de fécondation, de survie des embryons et d'éclosion.** **Localité : Station de Carpiculture de la Deroua, BENI MELLAL.** Communication affichée à la 4^{ème} édition des journées Doctoriales de la Faculté des Sciences de Rabat (FSR), Maroc. Du 19 au 21février 2015. Du 19 au 21février 2015.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I. CONCEPTS DE BASE	3
1. Bassin versant	3
2. Plan d'aménagement	3
3. Développement durable	4
4. Historique du concept	5
5. Qualité de l'eau	5
II. POLLUTION DE L'EAU	7
1. Pollution en milieu agricole	7
2. Pollution d'origine urbaine	7
3. Pollution d'origine industrielle	7
III. DEGRADATION DES SOLS DANS UN BASSIN VERSANT	8
IV. ENVASEMENT DES RETENUES DE BARRAGE	8
V. PROBLEMES POSES PAR LA SEDIMENTATION	9
1. Réduction de la capacité	9
2. Sécurité de l'ouvrage	10
3. Blocage des vannes	10
4. Accélération de l'eutrophisation	10
5. Sédimentation dans les canaux d'irrigation	10
CHAPITRE II: PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED GROU ET DE LA ZONE D'ETUDE	12
I. BASSIN VERSANT DE L'OUED GROU.....	12
1. Milieu physique du bassin versant de l'oued Grou	12
1.1. Contexte géographique	12
1.2. Contexte géologique	13
1.2.1. Evolution géologique	14
1.2.2. Localisation et nature des formations géologiques	14
1.2.3. Formations superficielles	16
1.2.4. Grands ensembles morphostructuraux	16
1.2.5. Ressources en eau	18

1.3. Pédologie	19
1.4. Climat	22
1.5. Végétation	24
1.5.1. Forêt	24
1.5.2. Matorral	24
1.5.3. Steppe	25
1.5.4. Cultures et pâturages	26
1.6. Conclusion	26
2. Contexte humain	27
2.1. Démographie	27
2.2. Activités socio-économiques	28
2.2.1. Agriculture	28
2.2.2. Élevage	29
II. L'oued Grou et stations d'étude	31
1. Caractéristiques physiques des stations	35
1.1. Démarche suivie	35
1.2. Résultats	35
1.2.1. Pourcentage de pente	36
1.2.2. Vitesse du courant	37
1.2.3. Débit	38
1.2.4. Largeur et profondeur	39
1.2.5. Substrat	39
2. Conclusion	40
CHAPITRE III : EVALUATION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE L'OUED GROU	41
I. INTRODUCTION	41
II. MATERIEL ET METHODES	42
1. Préparation du matériel	42
2. Echantillonnage et analyses	43
3. Analyse des données	43
III. RESULTATS ET DISCUSSION	44
1. Température de l'air (°C)	44
2. Température de l'eau (°C)	45

3. Potentiel d'Hydrogène (pH)	46
4. Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	47
5. Potentiel redox (mV)	48
6. Salinité (Sal)	50
7. Dureté totale (TDS)	51
8. Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5)	52
9. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	53
10. Matières en suspension (MES)	54
11. Carbone Organique Total (COT)	55
12. Etude typologique	56
12. 1. Introduction	56
12. 2. Synthèse typologique des analyses physico-chimiques	57
IV CONCLUSION	61
CHAPITRE IV. EVALUATION DE LA QUALITE BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU DE L'OUED GROU.....	63
I. INTRODUCTION	63
II. MATERIEL ET METHODES	64
1. Techniques de prélèvement	64
2. Mode opératoire	64
3. Normes utilisées	65
4. Analyses bactériologiques	65
4.1. Coliformes	65
4.1.1. Coliformes Totaux (CT)	65
4.1.2. Coliformes Fécaux (CF)	66
4.1.2.1. Méthode	66
4.1.2.2. Expression des résultats	67
4.2. Entérocoques Intestinaux (EI)	67
4.2.1. Méthode	67
4.2.2. Expression des résultats	69
4.3. Salmonelles (Sal)	69
5. Analyse des données	70
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	70
1. Variation spatio-temporelle des coliformes totaux	70

2. Variation spatio-temporelle des coliformes fécaux	71
3. Variation spatio-temporelle des entérocoques intestinaux	72
4. Suivi spatio-temporel des salmonelles	73
5. Analyse globale	74
6. Etude typologique	75
6. 1. Introduction	75
6. 2. Synthèse typologique des analyses bactériologiques	76
IV. CONCLUSION	78
CHAPITRE V. EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DE L'EAU DE L'OUED GROU	80
I. INTRODUCTION	80
II. MATERIEL ET METHODES	81
1. Technique d'échantillonnage	81
2. Liste de matériel de terrain	81
3. Pré-tri et conservation des échantillons	82
4. Tri et détermination	82
5. L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)	83
III. RESULTATS ET DISCUSSION	84
1. Structure de la communauté benthique	84
1.1. Inventaire des macroinvertébrés	85
1.2. Analyse globale de la faune benthique	87
1.3. Abondance de la faune benthique	88
1.4. Analyse qualitative et quantitative de la faune benthique	90
1.4. 1. Annélides	90
1.4.2. Mollusques	91
1.4.3. Crustacés	92
1.4.4. Diptères	92
1.4.5. Plécoptères	93
1.4.6. Coléoptères	95
1.4.7. Éphéméroptères	96
1.4.8. Héteroptères	97
1.4.9. Trichoptères	98
1.4.10. Odonates	99

1.4.11. Plathelminthes	100
2. Analyses de la structure du peuplement par calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)	101
IV. CONCLUSION	103
CHAPITRE XI : PROPOSITION D'UN PROJET D'AMENAGEMENT	105
I. INTRODUCTION	105
II. DIFFERENTES APPROCHES D'AMENAGEMENT	105
1. Logiques traditionnelles	106
1.1. Logique d'équipement du territoire	106
1.2. Logique de développement économique	106
2. Nouvelles approches	106
2.1. Approche intégrée	107
2.2. Approche participative	107
2.3. Approche décentralisée	108
2.4. Approche itérative	108
2.5. Approche souple	108
III. FACTEURS LIES A LA MISE EN OEUVRE DU PLAN D'AMENAGEMENT.....	108
IV. PROJET D'AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED GROU.....	109
1. Stratégie adaptée	110
2. Objectifs spécifiques	111
V. ESQUISSE DU PLAN D'AMENAGEMENT	111
1. Mesures socioéconomiques	111
1.1. Mesures préliminaires	112
1.2. Mesures de sécurité et de prévention	112
1.3. Mise en place des moyens visant à augmenter la production agricole ...	112
1.4. Renforcer l'élevage	112
1.5. Réhabiliter et sécuriser les potentiels des sources afin de les rendre facilement accessibles et utilisables par la population locale	113
1.5.1. Actions de protection et mis en défense	113
1.5.2. Actions d'aménagement	113
1.5.3. Actions liées à la gestion des points d'eau	113
1.6. Mise en place des moyens visant à augmenter les nouvelles activités ...	113
2. Mesures techniques	114

2.1. Différents types de traitement	114
2.1.1. Traitement Mécaniques	114
2.1.1.1. Seuils en gabions	115
2.1.1.2. Seuils en pierre sèche	115
2.1.2. Traitement biologique	115
2.1.2.1. Haies vives	115
2.1.2.2. Plantation d'arbres sur clôture des parcelles agricoles	116
2.1.2.3. Pratique agro-sylvopastoral	116
2.1.2.4. Traitement de la berge par des plantations d'arbres. .	116
2.2. Traitement du bassin versant de l'oued Grou	117
2.2.1. Zones de cultures agricoles denses	117
2.2.2. Zones de cultures agricoles moyennement denses	117
2.3. Amélioration des systèmes de production	118
2.4. Correction des ravines	118
2.5. Réalisation des formations sur l'utilisation des techniques agro-forestières	119
VI. STRATEGIE D'APPLICATION DU PLAN D'AMENAGEMENT	120
1. Création d'un comité de gestion	120
2. Financement de l'aménagement	120
3. Suivi et contrôle	120
4. Portée du plan d'aménagement	120
5. Limites	121
CONCLUSION GENERALE	122
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	126
Annexes	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : les moyennes annuelles des résultats obtenus sur le lit de l'oued Grou durant toutes les prospections du terrain du mois décembre 2014 au mois novembre 2015. J.M : la Commune rurale de Jmaa Moulblad.	35
Tableau 2 : les pourcentages de pente (%) obtenus entre les différentes stations étudiées. J.M : la Commune rurale de Jmaa Moulblad.	37
Tableau 3 : Codes des prélèvements effectués dans les différentes stations.	57
Tableau 4 : Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes.	57
Tableau 5 : Codes de l'ACP et corrélations des variables avec les axes.	58
Tableau 6 : Calcul du rapport CF/EI dans les quatre stations de l'oued Grou.	75
Tableau 7 : Codes des prélèvements effectués dans les différentes stations.	76
Tableau 8 : Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes.	76
Tableau 9 : Codes de l'ACP et corrélations des variables avec les axes.	77
Tableau 10 : Nombre de familles et de groupes par groupe zoologique.	88
Tableau 11 : Résultats des analyses hydrobiologiques obtenus par le calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) aux niveaux des différentes stations de l'oued Grou.	102

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le bassin versant de l'oued Grou.....	13
Figure 2 : Les coupes géologiques du bassin versant de l'oued Grou (Cherrad, 1997).	15
Figure 3 : Les quatre unités géomorphologiques composant le bassin versant de l'oued Grou (Cherrad, 1997).	18
Figure 4 : Carte pédologique du bassin versant de l'oued Grou (M. Chaker, A. Laouina, M. Sfa et éditées par la Chaire Unesco GN "Gestion de l'environnement et développement durable". Légèrement modifiée).	21
Figure 5 : Localisation des stations pluviométriques du bassin versant du Bouregreg en fonction des grandes unités géomorphologiques (SIGMED, carte modifiée par E. Goussot).	23
Figure 6 : Les types de couverts forestiers dans le bassin du Bouregreg (Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts).	25
Figure 7 : Evolution de la démographie entre 1982 et 2004 sur le bassin versant du Bouregreg (Haut-Commissariat au Plan).	27
Figure 8 : Situation géographique du site d'étude	32
Figure 9 : Evolution spatio-temporelle de la température de l'air dans les différentes stations de l'oued Grou.	45
Figure 10 : Evolution spatio-temporelle de la température de l'eau dans les différentes stations de l'oued Grou.	46
Figure 11 : Evolution spatio-temporelle du pH dans les différentes stations de l'oued Grou.	47
Figure 12 : Evolution spatio-temporelle la conductivité électrique dans les différentes stations de l'oued Grou.	48
Figure 13 : Evolution spatio-temporelle du potentiel redox dans les différentes stations de l'oued Grou.	49
Figure 14 : Evolution spatio-temporelle de la salinité dans les différentes stations de l'oued Grou.	50
Figure 15 : Evolution spatio-temporelle de la dureté totale dans les différentes stations de l'oued Grou.	51
Figure 16 : Evolution spatio-temporelle de la Demande Biochimique en Oxygène dans les différentes stations de l'oued Grou.	53

Figure 17 : Evolution spatio-temporelle de la demande chimique en oxygène dans les différentes stations de l'oued Grou.	54
Figure 18 : Evolution spatio-temporelle des matières en suspension dans les différentes stations de l'oued Grou.	55
Figure 19 : Evolution spatio-temporelle de carbone organique total dans les différentes stations de l'oued Grou.	56
Figure 20 : Valeurs propres des trois axes et leurs contributions cumulées à l'inertie totale.	58
Figure 21 : Cercle de corrélation des variables.	59
Figure 22 : Distribution des relevés physico-chimiques dans les eaux de l'oued Grou selon le plan F1xF2.	61
Figure 23 : Variations spatio-temporelles de la concentration en Coliformes Totaux (CT) dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.	71
Figure 24 : Variations spatio-temporelles de la concentration en Coliformes Fécaux (CF) dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.	72
Figure 25 : Variations spatio-temporelles de la concentration des Entérocoques Intestinaux (EI) dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.	73
Figure 26 : Valeurs propres des trois axes et leurs contributions cumulées à l'inertie totale.	76
Figure 27 : Cercle de corrélation des variables.	77
Figure 28 : Distribution des relevés bactériologiques dans les eaux de l'oued Grou selon le plan F1xF2.	78
Figures 29 : Distribution de la faune globale dans les eaux des stations étudiées.	89
Figure 30 : Abondance de la faune globale dans les eaux des stations étudiées.	89
Figure 31 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Annélides dans l'oued Grou.	91
Figure 32 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Mollusques dans l'oued Grou.	92
Figure 33 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Crustacés dans l'oued Grou.	92
Figure 34 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Diptères dans l'oued Grou.	93
Figure 35 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Plécoptères dans l'oued Grou.	94
Figure 36 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Coléoptères dans l'oued Grou.	97

Figure 37 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Ephéméroptères dans l'oued Grou.	97
Figure 38 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Hétéroptères dans l'oued Grou.	98
Figure 39 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Trichoptères dans l'oued Grou.	99
Figure 40 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Odonates dans l'oued Grou.	100
Figure 41 : Répartition longitudinale des Platyhelminthes dans l'oued Grou.	100

LISTE DES ABREVIATIONS

ABV : Aménagement des Bassins Versants

ACP : Analyse en composantes principales

BV : Bassin Versant

CE : Conductivité Electrique

CES : de Conservation des Eaux et de Sols

CF : Coliformes Fécaux

COT : Carbone Organique Total

CT : Coliformes Totaux

°C : Degrés Celsius.

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EI : entérocoques intestinaux

GI : groupe faunistique indicateur

HCP : Le Haut-commissariat au Plan

Hb : Habitons

IBGN : l'Indice Biologique Global Normalisé

MES : matières en suspension

PAMs : Plantes Aromatiques Médicinales

PCM : Plateau Central Marocain

Sal : Salmonelles

SAU : Surface Agricole Utile

SF : streptocoques fécaux

SIBE : Sites d'intérêt biologique et écologique

SMBA : Barrage Sidi Mohamed Ben Abdallah

TDS : Dureté totale

UFC : unités formant des colonies

UPB : Unité Petit Bétail

INTRODUCTION GENERALE

Le Maroc est un pays à climat aride à semi-aride, dont les ressources en eaux sont limitées et aléatoires dans le temps et dans l'espace. D'après le Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau (2005), le Maroc dispose d'une quantité d'eau estimée à 22 milliards de m³, dont 18 milliards de m³ sont des eaux de surface et 4 milliards de m³ sont des eaux souterraines. La plupart de ces ressources sont localisées principalement dans le Moyen Atlas et les régions du Nord et du Nord-Ouest, ce qui laisse apparaître un grand déficit dans le Sud. Avec des périodes de sécheresse qui sont de plus en plus fréquentes ces dernières années, ce déficit devient très grave et touche presque tout le royaume. Le monde rural qui constitue plus de 40 % de la population (HCP, 2014), reste le plus touché par le manque d'eau.

Pour faire face et satisfaire la demande qui ne cesse pas de croître, la politique du Maroc dans la matière s'est orientée depuis longtemps vers la construction des barrages. Actuellement, il dispose de plus de 140 grands barrages avec une capacité globale de plus de 17,6 Milliards de m³, 13 grand ouvrages hydrauliques de transfert des eaux (Débitance : 200 m³/s, Longueur 1100 km, Volume 2,5 Milliards m³/an) et plus d'une centaine de petits barrages et lacs collinaires. Si l'objectif de départ était essentiellement agricole, l'irrigation d'un million d'hectare à l'horizon de 2000 et l'approvisionnement des grands centres urbains en eau potable. Aujourd'hui, le défi à relever est la gestion intégrée de ces ressources en eau dans un cadre de bonne gouvernance. En effet, les grands ouvrages hydrauliques dont dispose le Maroc, jouent un rôle clé dans le développement socio-économique et la stabilité de la population du pays. Ils contribuent d'une manière décisive à l'approvisionnement en eau potable, industrielle, agricole et de production énergétique. Ils permettent également la protection contre les inondations de larges zones du territoire national, d'améliorer l'environnement et la qualité des eaux à l'aval des cours d'eau dominés par des grands réservoirs. Ils ont enfin contribué à un développement équilibré du pays en permettant l'émergence de véritables pôles régionaux d'activités économiques.

Cependant, ces ressources en eau n'ont pas toujours été à l'abri des différentes sources de perturbation et de dysfonctionnement (El haouat et *al.*, 2012). Comme dans tous les pays, ce potentiel hydrique est touché par les différentes formes de pollution, sa situation qualitative est loin d'être satisfaisante (Chahlaoui et *al.*, 1997). L'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de

l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre des écosystèmes et génèrent des éléments polluants, pouvant affecter la qualité physicochimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs (Mulliss et *al.*, 1997). La croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide, causent de nombreuses perturbations (Arifi et *al.*, 2018b). Ces pressions sur ces ressources en eau s'accompagnent d'une dégradation croissante de leur qualité (Alibou, 2002), et d'une perte de leur capacité d'autoépuration dans une large mesure (Emeka, 2012), et s'accompagnent également à l'érosion des bassins versant, au transport accru des sédiments, à la perte des capacités des barrages par leurs envasements continus, en accélérant le phénomène d'eutrophisation. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail mené sur le bassin versant de l'oued Grou dans la région de Rabat. Il consiste en une réflexion relative à l'approche d'aménagement intégrée qui tient compte à la fois de ses contraintes et ses potentialités, à travers des enquêtes et des prélèvements sur le terrain suivis par des analyses au laboratoire.

C'est ainsi que notre démarche s'articule autour de 3 parties complémentaires :

- Diagnostic de l'état des ressources naturelles et la situation socioéconomique de la population, à travers des enquêtes et des prospections sur le terrain.
- Diagnostic de l'état des ressources en eau à travers des prélèvements et l'évaluation de leurs qualité physicochimique (T°_{air} , T°_{eau} , pH, CE, mV, Sal, TDS, DBO₅, DCO, MES et COT), bactériologique (dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale, tels que les Coliformes Totaux (CT), les Coliformes Fécaux (CF) et les Entérocoques Intestinaux (EI), ainsi que la recherche des germes pathogènes tels que les Salmonelles) et biologique (calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé IBGN).
- Proposition d'un plan d'aménagement et de gestion approprié.

Ce travail s'insère parmi les nombreux autres travaux de recherche réalisés sur le bassin versant de l'oued Grou. Les travaux antérieurs ont porté essentiellement sur l'aspect hydrologique en rapport avec les caractéristiques géologiques. L'aspect écologique n'a pas encore été traité. Les principaux axes de cette recherche ont fait l'objet de plusieurs études hydrobiologiques (Bouzidi, (1989) ; Chahlaoui, (1996) ; Maqboul et *al.*, (2001) ; Karrouch, (2010) ; Haouchine, (2011) ; El Agbani, (1984) etc.).

CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. CONCEPTS DE BASE

1. Bassin versant

Le bassin versant est une zone topographiquement délimitée, drainée par un réseau fluvial. Il correspond à la superficie totale des terres drainées en un point donné d'un fleuve ou d'une rivière. Il s'agit enfin d'une entité hydrologique qui a été décrite et utilisée comme entité socioéconomique, politique en vue de la planification et de la gestion des ressources naturelles (Sheng, 1993).

Autrement dit, c'est un espace composé par toutes les ressources naturelles (eau, sol, forêt, cultures, faune, minéraux, etc.) où généralement se produisent des interactions avec l'intervention de l'homme. Il constitue une unité de planification dans laquelle on peut agir sur toutes les ressources naturelles depuis les lignes de crêtes (ou limite naturelle de partage des eaux) jusqu'aux points les plus bas tout en conservant l'équilibre écologique (Seminario, 2007).

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Tout bassin versant comporte quatre formes fondamentales de terrain : les sommets, les flancs, les ravines et les zones de déposition (Joseph, 2003).

2. Plan d'aménagement

Le plan d'aménagement se définit alors comme l'exercice intellectuel par lequel on conçoit un ensemble d'actions orientées vers l'atteinte d'objectifs jugés prioritaires, afin de surmonter et de prévenir les effets néfastes de l'imprévoyance (Previl, 1993).

Selon Gil, (1996) un plan d'aménagement de bassin versant peut avoir les objectifs suivants :

- amélioration du niveau des conditions de vie de la population.
- arrêt de l'érosion et de la dégradation des sols.
- satisfaction des besoins économiques et garantir la sécurité de la population.
- protection des infrastructures en aval et des investissements publics.
- établissement d'un équilibre écologique entre l'homme et son milieu.

- production soutenue avec des rendements accrus grâce à une meilleure gestion des systèmes de production.

3. Développement durable

La Commission mondiale sur l'environnement et le développement a défini ce concept comme un processus de changement par lequel l'exploitation des ressources, l'orientation des investissements, des changements techniques et institutionnels se trouvent en harmonie et renforcent le potentiel actuel et futur de satisfaction des besoins des hommes (Burgenmeir, 2005).

Le développement durable permet la rencontre de trois champs distincts, l'économique, le social et l'écologique, devant conduire à un développement :

- Économiquement viable pouvant assurer la satisfaction des besoins d'une génération à l'autre.
- Socialement équitable devant permettre la solidarité entre les sociétés.
- Écologiquement reproductible afin de garantir la solidarité entre générations (Demoutiez & Macquart, 2009).

L'objectif du développement durable est de définir des schémas viables qui concilient les trois aspects économique, social, et écologique. Encore, sa finalité est de trouver un équilibre cohérent et viable à long terme entre ces trois enjeux. À ces trois piliers s'ajoute un enjeu transversal, indispensable à la définition et la mise en œuvre de politiques d'actions relatives au développement durable c'est la gouvernance (Bourdillon, 1996). Elle consiste en la participation de tous les acteurs (citoyens, entreprises, associations, élus...) au processus de décision ; elle est de ce fait une forme de démocratie participative. Le développement durable n'est pas un état statique d'harmonie, mais un processus de transformation dans lequel l'exploitation des ressources naturelles, le choix des investissements, l'orientation des changements techniques et institutionnels sont rendus cohérents avec l'avenir comme avec les besoins du présent (Hartwick, 1977).

La problématique du développement durable se compose de trois revendications générales :

- Intégrer la considération du long terme dans les décisions, par exemple la question de l'effet de serre dans l'organisation des transports.

- Coupler la question écologique et la question sociale, par la prise en compte notamment des inégalités écologiques.
- Agir en amont de l'apparition des problèmes, en se dégageant des logiques sectorielles pour redéfinir un développement multidimensionnel (Wachter, 2000).

4. Historique du concept

Ce concept découle de plusieurs rapports internationaux, et il est issu d'un processus de négociations s'étant déroulé en plusieurs étapes.

- Vers la fin des années 50 jusqu'au début des années 70, les premiers avertissements concernant la pollution ont cédé la place à une prise de conscience que la croissance économique exponentielle ne peut durer indéfiniment.
- En 1972, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement réunie à Stockholm réfléchit sur le lien entre le développement et l'environnement, et insista sur l'importance que la protection de l'environnement avait pour le développement économique du Tiers monde. Elle s'interrogea également sur les perturbations de l'équilibre écologique de la biosphère dues à la pollution.
- En 1975, une publication des instances des Nations Unies appelée Rapport Hammar-skjöld insista sur l'éventualité d'un risque planétaire qui consiste à dépasser une certaine limite.
- En 1982, un autre rapport de la Commission Indépendante sur les problèmes de développement international intitulé « *Nord-sud : un programme de service* » rappelle le risque planétaire qui ne peut être endigué que par une stratégie qui reconnaît explicitement le lien direct entre les questions de développement et celles qui sont liées à la protection de l'environnement à l'échelle mondiale.

L'idée d'éco-développement qui trouve son origine dans les délibérations de la Conférence de Tokyo de l'UNESCO en 1970, a également influencé le concept de développement durable. Cette idée ayant émergé dans la discussion sur le rôle des sciences sociales et leur rapport dans l'analyse du lien entre la société et l'environnement (Brundtland, 1987).

5. Qualité de l'eau

Nous avons tendance à juger la qualité de l'eau en fonction d'une utilisation particulière de celle-ci. Une eau qui est bonne pour une chose ne l'est pas nécessairement pour une autre

(Hébert et Légaré, 2000). Ainsi, on pourrait considérer l'eau d'une rivière comme suffisamment propre pour la baignade mais impropre à la consommation. C'est pourquoi le ministère de l'Environnement a défini des critères de qualité de l'eau de surface adaptés aux principaux usages de l'eau. Ces critères visent la protection de la santé humaine (que ce soit au niveau de la consommation d'eau ou d'organismes aquatiques ou encore des activités récréatives impliquant un contact avec l'eau), la protection du plan d'eau contre l'eutrophisation, la protection de la vie aquatique et la protection de la faune piscivore.

La qualité d'une eau est caractérisée par les diverses substances qu'elle contient, leur quantité et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain. C'est la concentration de ces différents éléments qui détermine la qualité d'une eau et permet de savoir si celle-ci convient à un usage particulier (El Blidi et Fekhaoui, 2003). Même l'eau des rivières et des lacs les moins influencés par les activités humaines n'est pas pure. Elle contient de nombreuses substances, dissoutes ou en suspension, que l'on retrouve partout dans la nature (bicarbonates, sulfates, sodium, calcium, magnésium, potassium, azote, phosphore, aluminium, fer, etc.). Ces éléments proviennent du sol et du sous-sol, de la végétation et de la faune, des précipitations et des eaux de ruissellement drainant le bassin versant, ainsi que des processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu dans le cours d'eau lui-même. À ces substances d'origine naturelle peuvent s'ajouter des produits découlant de la simple présence humaine (phosphore, azote et micro-organismes contenus dans les eaux usées domestiques) ou des activités industrielles et agricoles (substances toxiques, métaux, pesticides) (Snoussi, 1984 ; Fekhaoui, 2005).

Au cours d'une année, d'une saison et même d'une journée, la qualité de l'eau peut être très variable. Les phénomènes de ruissellement et d'érosion, de même que les précipitations et les variations du débit d'un cours d'eau influencent énormément la qualité de l'eau (Arifi et *al.*, 2018c). En période d'étiage, les concentrations de certaines substances présentes dans l'eau peuvent être beaucoup plus élevées que pendant le reste de l'année. À l'inverse, en période de crue, certaines substances se trouvent diluées dans un plus grand volume d'eau alors que d'autres, qui atteignent le cours d'eau par ruissellement, se retrouvent en concentration plus importante. Ainsi, les concentrations des substances naturelles non dissoutes provenant d'un processus d'érosion augmentent avec le débit, c'est le cas notamment des éléments d'origine géologique (fer, aluminium, etc.) et des différentes substances (telles que les phosphates) qui y sont liées. Par ailleurs, les concentrations des divers polluants rejetés artificiellement et régulièrement dans un cours d'eau (on ne parle pas ici d'engrais ou de pesticides étendus sur

les terres) diminuent lorsque le débit augmente. Une très bonne connaissance du régime hydrologique d'un cours d'eau est donc nécessaire pour interpréter correctement les données de qualité de l'eau (Fekhaoui, 1990).

II. POLLUTION DE L'EAU

1. Pollution en milieu agricole

Bien qu'il existe des sources ponctuelles de pollution, telles que les bâtiments et les structures d'entreposage des fumiers, la forme prépondérante de pollution en milieu agricole est diffuse. Ce type de pollution provient de l'ensemble du territoire et non d'un point unique identifiable (El Blidi et *al.*, 2006). Les différents polluants d'origine agricole ne peuvent donc pas être recueillis et traités ultérieurement dans une station d'épuration. Ils atteignent les cours d'eau par le ruissellement de surface ou par l'écoulement souterrain. L'intensification des cultures et le recours à certaines pratiques culturales, combinés à une utilisation excessive d'engrais et de pesticides, ont engendré une dégradation des sols et augmenté les phénomènes d'érosion et de transport vers les cours d'eau de divers contaminants.

2. Pollution d'origine urbaine

En milieu urbain, les sources de pollution sont facilement identifiables, ce sont essentiellement les effluents des usines d'épuration, les émissaires pluviaux ou encore les émissaires de débordement des réseaux d'égouts (Tahri, 2010). La pollution diffuse urbaine, qui provient du ruissellement de surface, se trouve en très grande partie canalisée et rejetée au cours d'eau de façon ponctuelle.

3. Pollution d'origine industrielle

Les établissements industriels ont des productions très diverses (aliments, vêtements, pâte à papier, produits chimiques, etc.) et rejettent plusieurs types d'eaux usées, dont le volume et le degré de contamination sont très variables. En règle générale, on distingue les eaux de procédé, qui sont le plus souvent contaminées puisqu'elles entrent dans le processus de fabrication même, les eaux de refroidissement, plus ou moins contaminées, les eaux sanitaires et dans certains cas, les eaux pluviales (Fekhaoui, 1990).

III. DEGRADATION DES SOLS DANS UN BASSIN VERSANT

La dégradation des sols dans un bassin versant (BV) se définit comme étant l'épuisement de la capacité de production de la couche arable. Cette baisse de productivité résulte des modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ainsi que d'une perte de sol, de la matière organique et de minéraux (Gosselin et *al*, 1986).

La dégradation des BV conduit à une accélération de la dégénérescence écologique, à une restriction des possibilités économiques et à une intensification des problèmes sociaux (Sheng, 1993).

L'érosion est devenue essentiellement une conséquence directe de l'activité humaine qui représente maintenant le principal facteur de la dégradation des sols. L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par ses actions de défrichement des forêts, incendies et surpâturages et pratiques culturales. De plus, les aménagements routiers et urbains, en augmentant les surfaces imperméables, exacerbent les inondations, favorisent le ruissellement et donc constituent un facteur d'entraînement du sol (Yvio, 2010).

IV. ENVASEMENT DES RETENUES DE BARRAGE

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet (Remini, 2000).

Le phénomène de l'envasement des barrages, de par la situation géographique du pays (zone aride à semi-aride), constitue un enjeu d'envergure nationale.

En effet, le phénomène de l'envasement touche tous les pays du Maghreb, mais plus particulièrement le Maroc. La sédimentation dans les retenues de barrages au Maroc, pose fréquemment d'importants problèmes qui réduisent la rentabilité de l'ouvrage (Boutaieb, 1988). Les retombées sont directes et graves, sur l'économie nationale et sur le développement de la société.

L'alluvionnement moyen annuel des retenues de tous les barrages au Maroc, en Tunisie et en Algérie, est comme suit :

- l'envasement moyen annuel de tous les réservoirs au Maroc, s'élève à 60 millions de mètres cubes (Mm^3) par an (Lahlou, 1995).
- en Tunisie est de $33 Mm^3/an$ (Lahlou, 1995).
- en Algérie l'atterrissement moyen annuel des retenues des barrages est de $40 Mm^3/an$ (Saidi, 1991).

Ainsi, par an, la capacité utile en eau des retenues des 3 pays est réduite de $133 Mm^3/an$. L'équivalent de la capacité d'un grand barrage est perdu annuellement par la sédimentation dans le Maghreb.

L'interprétation scientifique est que l'envasement dans les pays du Maghreb est trop élevé, en comparaison avec ce qui est observé à l'échelle internationale. Certes, les érosions spécifiques dans ces pays sont parmi les plus élevées dans le monde (Lahlou, 1995).

V. PROBLEMES POSES PAR LA SEDIMENTATION

La sédimentation dans les barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir, elle entraîne la réduction de leur capacité et peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger. Elle peut aussi accélérer le phénomène de l'eutrophisation du lac (Meziani, 2011). Elle contribue également au blocage des vannes de vidange.

Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, en réduisant leur débitance, et les rendent difficile à l'exploitation.

1. Réduction de la capacité

Dans les pays de l'Afrique du Nord comme le Maroc, l'Algérie et la Tunisie, détiennent plus de 220 barrages d'une capacité de plus de 20 milliards de m^3 . Chaque année, un volume de 120 millions de m^3 de vase se dépose dans les réservoirs (Remini., B. & Remini., W. 2003).

Au Maroc, le barrage Mohammed V est considéré parmi les barrages de l'Afrique du nord les plus touchés par le phénomène d'envasement, il reçoit annuellement un volume de vase égal à $11,6.10^6 m^3$. Les quatre barrages marocains Mohammed V, Eddahabi, El Massira, et Bine El Ouidane reçoivent annuellement une quantité de vase de $30.10^6 m^3$, l'équivalent de ce que les

114 barrages algériens reçoivent annuellement. Ce qui cause la diminution de leurs capacités (Remini., B. & Remini., W. 2003).

2. Sécurité de l'ouvrage

La sédimentation des retenues a un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accéléré du volume d'eau par la vase. Ceci se traduit par l'accroissement de la masse spécifique qui peut atteindre $1,8 \text{ t/m}^3$. Nous pouvons dire que si le taux de comblement d'une retenue dépasse 50 % de la capacité initiale et la vase est en contact de l'ouvrage, dans ce cas, il faut prendre au sérieux la stabilité du barrage (Remini., B. & Remini., W. 2003).

3. Blocage des vannes

La présence des courants de densité dans une retenue accélère la sédimentation, et peut causer comme impact l'obturation des organes de vidange. La non maîtrise du mécanisme des courants de densité peut avoir un effet néfaste sur les vannes de fond. L'ouverture tardive des vannes de fond, par rapport à l'arrivée des courants de densité, favorise la consolidation des vases près des pertuis de vidange et rend plus difficile leurs manœuvres (Meziani, 2011).

4. Accélération de l'eutrophisation

Les particules solides une fois déposées, elles se tassent et se consolident au fond, selon leur nature et les conditions physico-chimiques du milieu, l'eutrophisation résulte de la qualité de l'eau qui se dégrade très rapidement. En effet, les déficits en oxygène, enregistrés près du fond du barrage El Khattabi (Maroc) en 2001 au cours de la saison d'été, ont provoqué une activité de biodégradation dans les zones profondes (Remini., B. & Remini., W. 2003).

5. Sédimentation dans les canaux d'irrigation

Un autre problème se pose par la sédimentation, celui qui s'étend cette fois-ci à l'aval du barrage. En effet, l'irrigation par l'eau chargée provoque le dépôt des sédiments dans les canaux. La section mouillée diminue avec le temps et par conséquent le débit d'écoulement diminué. Ce problème impose leur entretien, et leur dévasement de façon périodique. Selon Badraoui A. et Hajji A., 2001 au Maroc, plusieurs canaux d'irrigation s'ensavent à chaque opération d'irrigation. C'est le cas du canal de rocade qui alimente les périmètres du Haouz

central, et la ville de Marrakech. Il arrive souvent que les siphons se bouchent par la consolidation de la vase, et le curage devient donc indispensable, et d'une manière régulière.

CHAPITRE II: PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED GROU ET DE LA ZONE D'ETUDE

I. BASSIN VERSANT DE L'OUED GROU

1. Milieu physique du bassin versant de l'oued Grou

1.1. Contexte géographique

L'oued Grou, est un affluent de l'oued Bouregreg, l'un des principaux cours d'eau du réseau hydrographique du Plateau Central Marocain (PCM). Il s'étend sur environ 250 km de long, avec un débit moyen de 16 m³/s et peut atteindre plus de 50 m³/s en période de crue (Cherrad, 1997). Orienté de façon Sud-Est/Nord-Ouest, il prend sa source à la ville de M'rirt, à la limite sud-est du Plateau, au pied du Moyen Atlas qui domine la Dépression Orientale. Il contourne la corne méridionale du Haut-Pays, longe le Palier Intermédiaire au sud, et traverse le Palier Inférieur avant de confluer avec l'oued Korifla son affluent de rive gauche. Ensuite, l'oued continue son parcours sur une distance de 7 Km environ avant de se jeter dans le Bouregreg, à une vingtaine de kilomètres de l'embouchure de ce dernier dans l'océan Atlantique, entre les deux villes, Salé au Nord et Rabat au Sud.

Actuellement, l'oued Grou, l'oued Bouregreg et l'oued Korifla se confluent dans le grand lac du barrage de Sidi Mohamed Ben Abdallah (SMBA) qui a été construit à partir de 1971 et mis en eau en 1974. Sa retenue à une superficie de 32 Km² avec une capacité de 500 millions de m³. Ce barrage, contribue à la production des eaux potables et industrielles pour toute la région côtière allant de la grande ville Casablanca jusqu'à Rabat (Delhi et *al.*, 2012). Cette région contient une population sans cesse croissante : 11.380.358 Hb selon le Haut-Commissariat au Plan (HCP, 2014).

Le bassin versant de l'oued Grou fait partie du grand bassin Bouregreg. Il couvre une superficie d'environ 3820 km² (Figure 1), de forme elliptique, s'inscrit dans un substratum essentiellement imperméable (roches primaires du Plateau Central). Il est limité au nord par le bassin versant de l'oued Bouregreg supérieur, à l'ouest par le bassin versant de l'oued Korifla, à l'est et au sud par le bassin supérieur de l'oued Oum Rabia et s'ouvre vers l'Ouest sur l'océan Atlantique. D'un point de vue administratif, il s'étend partiellement sur quatre provinces : Rabat, Khémisset, Khouribga et Khénifra.

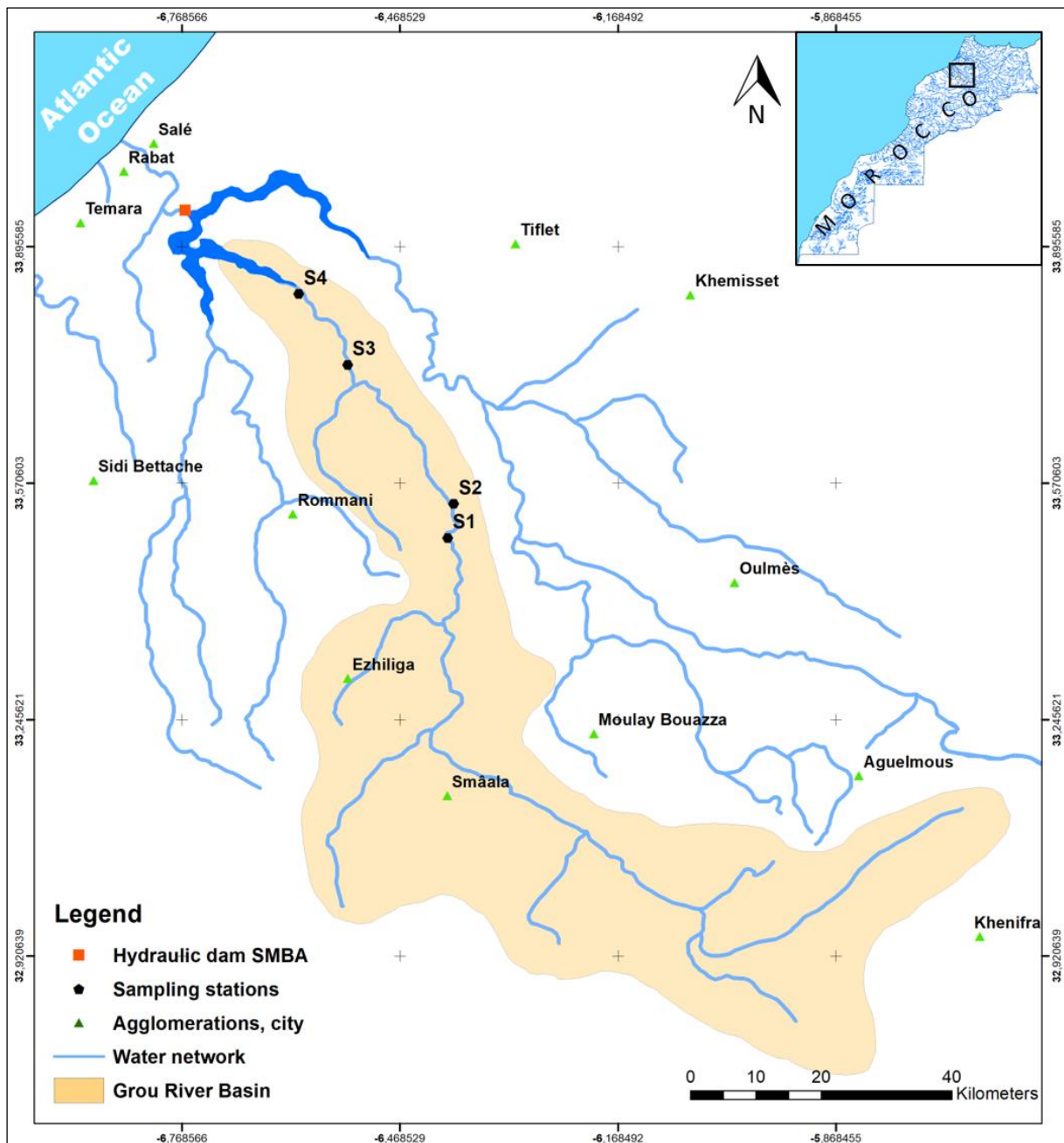


Figure 1 : Le bassin versant de l'oued Grou

1.2. Contexte géologique

Le bassin versant de l'oued Grou est essentiellement constitué de collines, plateaux et montagnes. Son altitude ne dépasse pas 1726 m au point culminant de Jbel Mtourzgane, avec plus de 50% de la surface comprise entre 500 et 1000 m d'altitude. Il donne une bonne illustration des reliefs de plateaux, crêtes et dépressions liés à une évolution morphologique longue et complexe, où les facteurs lithologiques, tectoniques et bioclimatiques ont joué de manière variable. Les reliefs ont été élaborés en fonction des contrastes lithologiques des

formations du Primaire exploités par l'érosion. Bien que variées, ces formations n'offrent guère actuellement de potentialités hydrogéologiques (Cherrad, 1997).

1.2.1. Evolution géologique

Après une longue évolution géologique, où les phases tectoniques ont été nombreuses, le socle et la couverture sédimentaire ont été émergés dès la fin du Secondaire et soumis à des processus érosifs variables selon les conditions bioclimatiques du Tertiaire et du Quaternaire (Roche, 1950 ; Beaudet, 1969). Il en résulte que les affleurements géologiques du bassin sont essentiellement constitués de roches du Primaire.

1.2.2. Localisation et nature des formations géologiques

Les affleurements géologiques s'organisent grossièrement en bandes orientées du sud-ouest au nord-est (Figure 2), suivant les grands axes structuraux caractéristiques du Plateau Central :

- dans la partie orientale, s'étend un anticlinorium entre Sidi Bou Abbad et Askar Tendra, constitué de roches s'étageant du Précambrien au Dévonien.
- Vers l'ouest, la gouttière synclinale de Fourhal est allongée entre Oued Zem et le Ment. Les roches datent du Viséen et du Namurien.
- L'anticlinorium Khouribga-Oulmès est l'axe majeur du Paléozoïque. Les roches sont discordantes entre l'Ordovicien, le Silurien et le Carbonifère.
- de Sidi Bettache jusqu'aux environs de Tiflet, s'étale un vaste synclinal essentiellement constitué par les formations du Carbonifère inférieur. Vers le nord, entre Rabat et Tiflet, la structure se relève en un anticlinal ordovicien et silurien, orienté ouest-est.

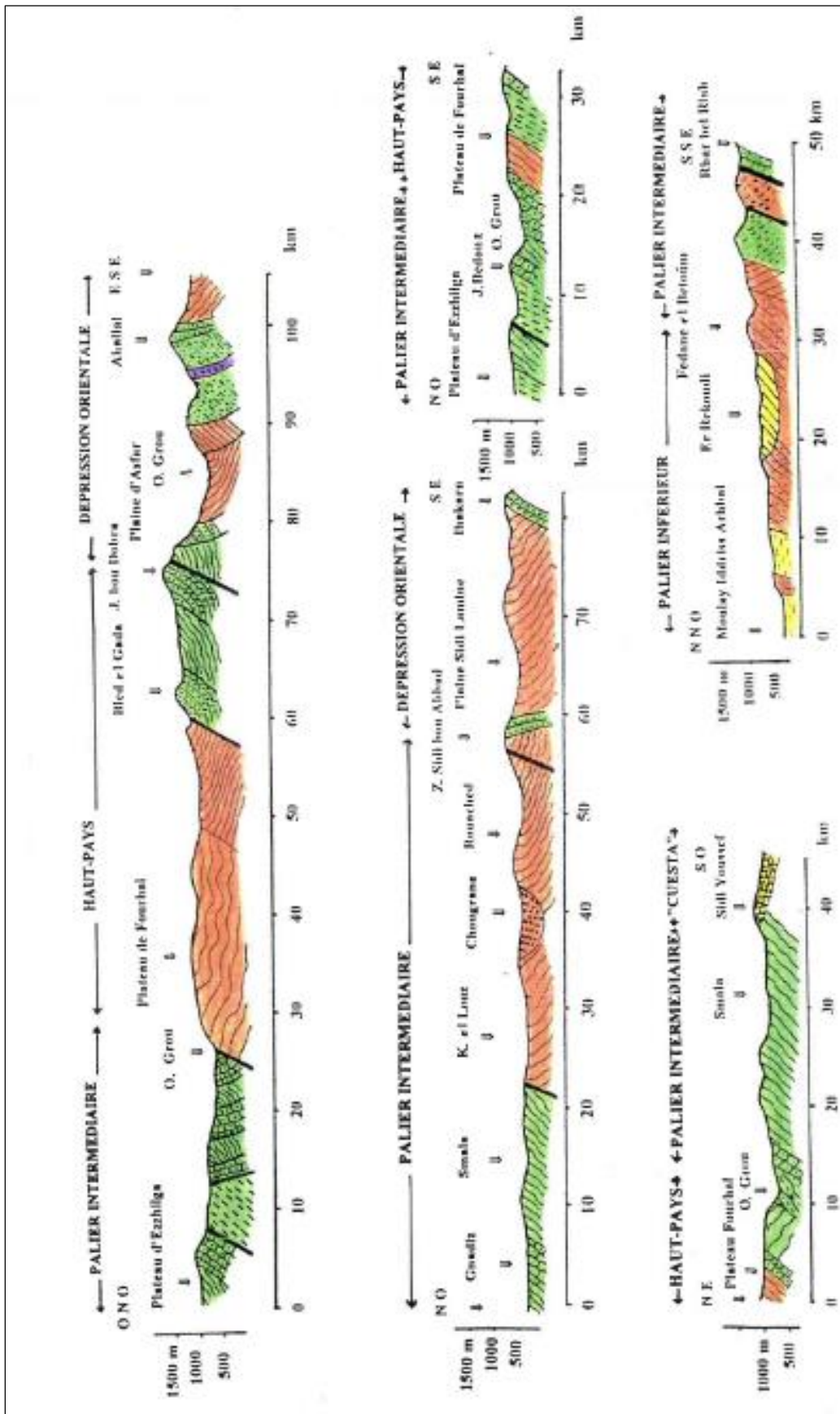


Figure 2 : Les coupes géologiques du bassin versant de l'oued Grou (Cherrad, 1997).

1.2.3. Formations superficielles

Elles sont relativement peu importantes dans le bassin. On distingue trois types de formations superficielles :

- Les alluvions anciennes sont constituées par des argiles et des cailloutis qui représentent les dépôts hérités les plus anciens (Villafranchien).
- Les alluvions quaternaires sont constituées de petits graviers et de galets quartzitiques à peine émoussés, mêlés à des argiles. Elles se situent sur une série de terrasses et de glacis étagés qui témoignent des entailles successives de l'oued Grou dans le substratum géologique.
- Les alluvions récentes constituent des épandages fluviaux qui tapissent les thalwegs des cours d'eau. Elles sont constituées soit de galets schisteux ou quartzitiques, soit d'argiles et de limons. Leur épaisseur est très variable en fonction de la morphologie de la vallée principale de l'oued Grou.

D'une manière générale, le bassin versant de l'oued Grou s'est développé sur un substratum datant essentiellement de l'époque primaire. Les affleurements se présentent sous forme de bandes alternées, orientées nord-est sud-ouest. Cette orientation témoigne d'une tectonique de plissements anciens qui ont été, par la suite, largement tronqués (surface post-hercynienne). Les transgressions de l'ère secondaire n'ont été que partielles. La tectonique alpine (Secondaire-Tertiaire) a fait rejouer le socle et la couverture sédimentaire selon la même direction nord-est sud-ouest (plis et failles), avec un basculement général vers le nord-ouest qui oriente l'élaboration d'une nouvelle surface d'érosion recoupant l'ancienne. C'est sur cette surface que vont s'entailler l'oued Grou et ses affluents.

1.2.4. Grands ensembles morphostructuraux

Le bassin versant de l'oued Grou s'inscrit sur une surface d'érosion polygénique, orientée vers le nord-ouest, qui tronque essentiellement les couches du Primaire. Sa morphostructure a permis de dégager quatre grands ensembles de reliefs : le Hauts Pays, la Dépression Orientale, le Palier Intermédiaire, et le Palier Inférieur (Figures 3). Chaque ensemble offre une grande variété de formes de relief, liée à des conditions structurales complexes mises en valeur par l'érosion différentielle et les entailles successives de l'oued Grou et ses affluents. De ce fait l'oued Grou draine quatre unités morphostructurales :

- La Dépression Oriental : s'étend entre la bordure sud de la haute plaine de l'Askar Tendra au nord et la cuvette de Sidi Lamine au sud, constituée de plaines couvertes de barres rocheuses au pied du Moyen-Atlas et entaillées par les grands oueds qui y naissent tels que l'oued Bouregreg et l'oued Grou.
- Le Haut pays : caractérisé par une altitude fortement accusée et par l'encaissement de ses vallées. Il est constitué par la juxtaposition de crêtes culminantes (plus de 1000 m) et de hauts plateaux situés entre 1000 et 1330 m d'altitude.
- Le Palier intermédiaire : composé de plateaux compris entre 600 et 900 m d'altitude, soulignés par des crêtes schisto-quartzitiques séparant les dépressions ou cuvettes (Tiddas et Maâziz).
- Le Palier inférieur : vers le nord-ouest, s'ouvre le large couloir de Jemaa Moulblad excavé par l'oued Grou dans le synclinal triasique. Il est large de 8 à 9 km, et profond de 300 m environ. Les plateaux argileux du Trias culminent vers 500 m d'altitude. Ils sont découpés par des vallées profondes aux pentes abruptes. Dans cette région, le cours de l'oued Grou est conforme à l'inclinaison générale de la topographie villafranchienne en direction nord-ouest et aucune déformation locale ne paraît avoir guidé l'incision. Le Trias est ici relativement peu épais et l'oued Grou l'entaille facilement pour atteindre les formations du Carbonifère sous-jacentes. En rive gauche, l'oued Mouilha entaille le plateau argileux triasique de plus de 150 m en deux grandes parties alors qu'en rive droite, les petits affluents l'entaillent en larges croupes qui dominant abruptement les vallées.

Vers l'aval, la même surface constitue des replats étagés de 50 à 100 m environ au-dessus des deux rives du Grou. En rive gauche, les plateaux schisteux du Viséen sont fragmentés en blocs et dénivelés par des failles anté-miocènes, orientées sud-ouest nord-est. En rive droite, sur les mêmes plateaux schisteux, subsiste un recouvrement sableux du Mio-Pliocène. Ces replats étagés sont découpés par un réseau dense de petites vallées aux versants convexes, qui se raccordent directement à la vallée de l'oued Grou.

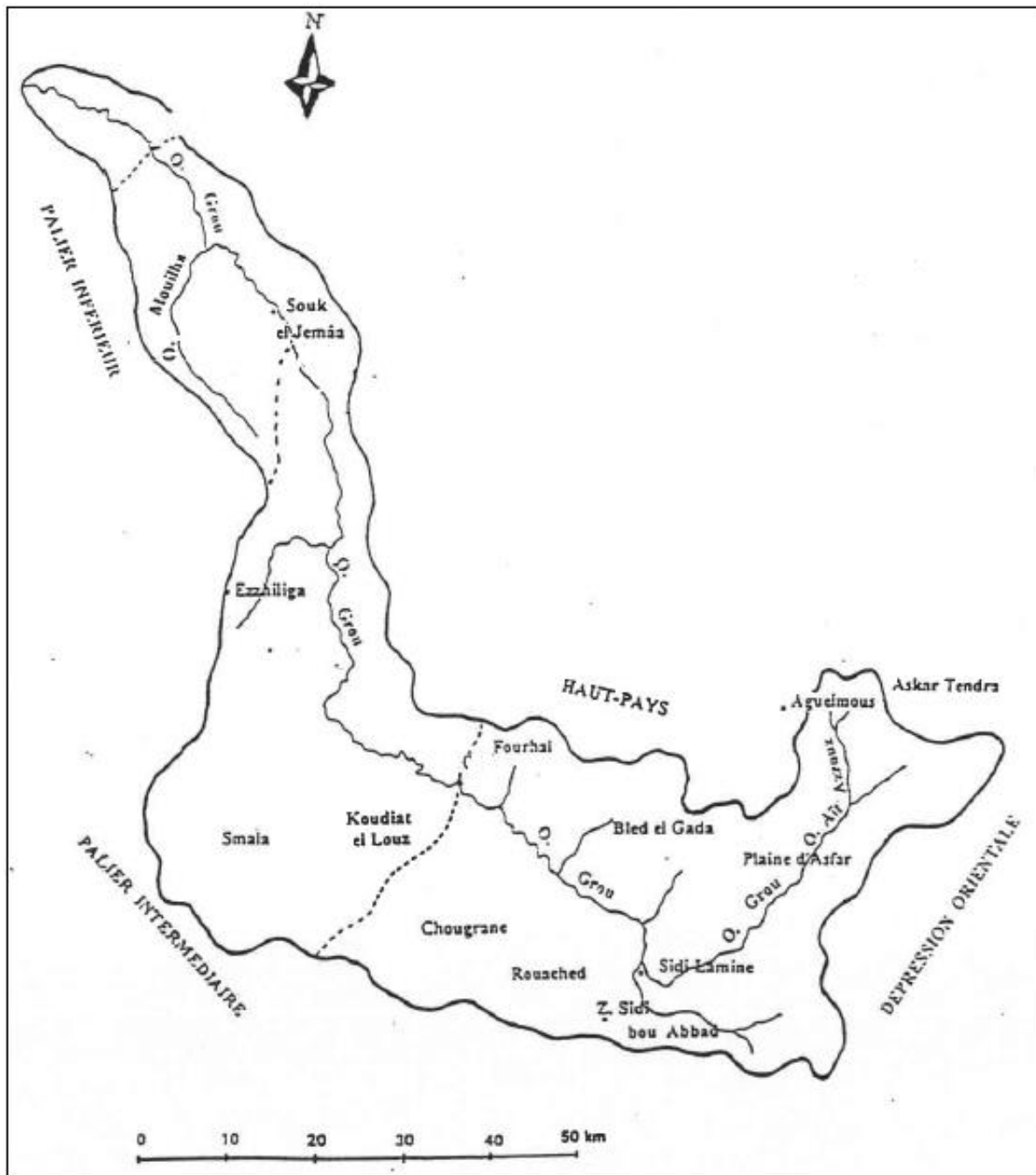


Figure 3 : Les quatre unités géomorphologiques composant le bassin versant de l'oued Grou (Cherrad, 1997).

1.2.5. Ressources en eau

Le bassin versant de l'oued Grou constitue une unité géographique hétérogène. Son réseau hydrographique est assez développé, il résulte de l'interaction des différents paramètres physiographiques auxquels s'ajoutent les facteurs climatiques.

Les apports d'eau sont étroitement liés au régime pluviométrique qui présente une très grande variabilité saisonnière entre les périodes de crues (de décembre à avril avec un maximum en

février) durant la saison des pluies et les périodes d'été à tarissement lors de la saison sèche.

D'une manière générale, l'oued Grou se caractérise par un régime pluvio-évaporal à deux saisons hydrologiques. Les précipitations hivernales assurent les écoulements de cette saison avec une évapotranspiration potentielle réduite durant cette période de l'année. La faible pluviosité combinée à une évapotranspiration intense caractérise une baisse des écoulements durant la saison estivale, aggravée par une lithologie essentiellement imperméable.

1.3. Pédologie

Dans le bassin versant de l'oued Grou, la pédogenèse est généralement faible du fait des conditions physiques qui favorisent essentiellement les processus de la morphogenèse. En effet, l'hétérogénéité du socle géologique, la nature imperméable du substratum, la diversité du relief généralement à forte pente, les variations climatiques et la répartition de la végétation sont autant de facteurs influençant l'évolution des sols dans cette région. On observe cependant généralement des sols peu ou non évolués là où domine le ruissellement (Figure 4). Ainsi, les sols évolués seulement sur les formes planes de certains reliefs (plaines, dépressions et plateaux) mais ils sont généralement de faible épaisseur. Ce sont des sols hérités, rouges ou bruns méditerranéens, où la pédogenèse peut être encore active dans la mesure où le couvert végétal est assez dense.

- **Les sols peu évolués d'érosion**, résultant du décapage des versants à forte pente, aux sols d'apport, caractérisés par des dépôts de matériau récent pauvres en matière organique. Parmi les sols d'érosion, on distingue les lithosols qui sont façonnés sur des roches dures et les régosols développés sur des roches tendres.
- **Les sols évolués**, caractérisent une certaine stabilité morphologique du milieu. Ils sont conservés sur les reliefs plats ou à faible pente et leur développement est en grande partie hérité de périodes climatiques plus humides, avec toutefois une évolution parfois encore active. On trouve :
 - Les sols bruns forestiers dont la profondeur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres d'épaisseur. Les sols bruns calcaires sont peu développés dans l'ensemble du bassin versant de l'oued Grou, du fait des faibles teneurs en carbonates des roches primaires.

- Les sols rouges fersiallitiques, qui sont caractérisés par leur richesse en oxydes de fer libre à l'origine d'une coloration rouge ou brun-rouge. Ils sont peu présents dans le bassin.
- Les sols hydromorphes, élaborés dans des formations essentiellement argileuses (schistes argileux, argiles sableuses), ces sols se caractérisent par une saturation périodique de l'ensemble du profil (argiles gonflantes). Cette saturation hivernale est relayée par une sécheresse estivale qui provoque un durcissement des argiles qui s'accompagne d'importantes fentes de retrait. Ces sols, et en particulier les tirs (vertisols), sont propices au développement rapide du ruissellement, même sur de faibles pentes, lorsqu'ils sont saturés.

La répartition des sols sur le bassin versant de l'oued Grou est étroitement liée aux conditions morphostructurales. Ainsi, les sols peu évolués sont localisés pour la plupart en altitude, sur les zones de fortes pentes ou exposées au Sud ou à l'Est (Bensalah, 2008), et les autres sols se développent essentiellement sur les versants à faible ou moyenne pente ou sur des versants à forte pente exposés au Nord ou à l'Ouest. Ils sont caractérisés par une évolution rapide de la matière organique et par leur hydromorphie, liée à l'imperméabilité du substratum schisteux dominant, au climat et à l'évolution pédogénétique.

Sur les argiles rouges et les basaltes, se sont développés deux types de sol :

- **Les sols tirsifiés (tirs) ou vertisols** : ce type de sol est inexistant sur les hauts plateaux et les reliefs accidentés, schisteux et quartzitiques. Leur formation dépend de nombreux facteurs tels que la situation topographique, les conditions hydriques, le climat et la nature de la roche mère. Ils se développent essentiellement sur les terrains plats et dans les dépressions. Leur couleur, relativement foncée, varie non pas en fonction de leur teneur en matière organique, mais selon leur taux d'humidité, et ils sont caractérisés par la présence d'argiles gonflantes (montmorillonite) (Rajiallah-Bodinier., 1991). On les retrouve notamment au niveau de la cuvette de Rommani. Bien pourvus en éléments fertilisants, ces sols ont la réputation d'être riches et fertiles et constituent donc de bons sols agricoles.
- **Les sols isohumiques** : présents dans les zones à faible pente, ces sols sont caractérisés par une coloration généralement sombre qui varie selon leur teneur en matière organique. On les observe sur les bas plateaux où ils sont associés à des

vertisols, comme sur les communes d'Had-Brachoua, ou sur des versants à faibles pentes comme dans la dépression de Rommani.

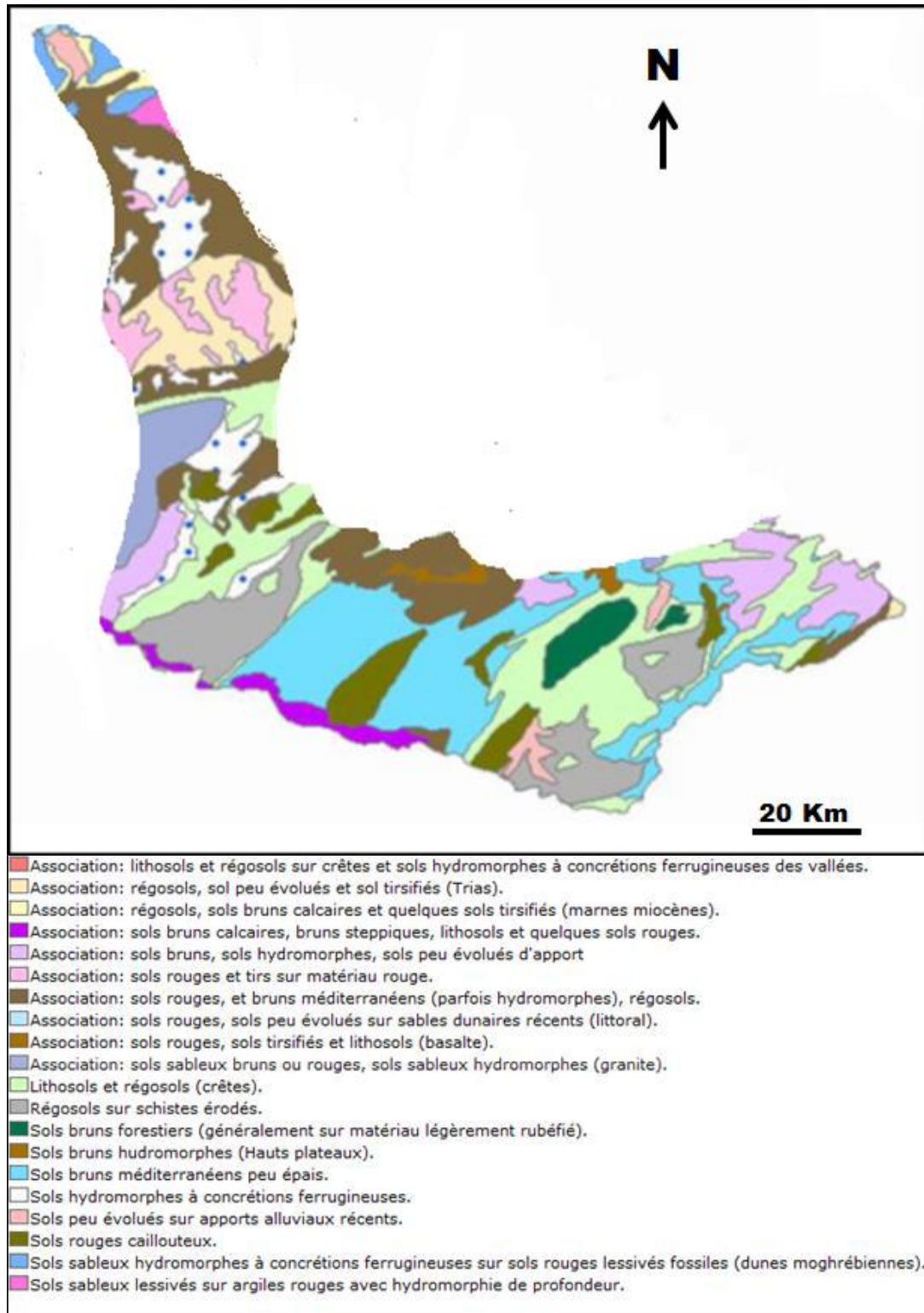


Figure 4 : Carte pédologique du bassin versant de l'oued Grou (M. Chaker, A. Laouina, M. Sfa et éditées par la Chaire Unesco GN "Gestion de l'environnement et développement durable". Légèrement modifiée)

1.4. Climat

Le climat du bassin versant de l'oued Grou est soumis à l'influence de plusieurs facteurs. Ainsi, les précipitations et la température sont irrégulières dans le temps et dans l'espace, elles se répartissent différemment selon la latitude mais surtout selon l'altitude et le degré de continentalité. De plus, dans un contexte méditerranéen semi-aride (Driouech et *al.*, 2010) depuis la baisse des pluies de 1979 (Singla et *al.*, 2010), et une augmentation des évènements extrêmes (Khomsi et *al.*, 2012), les conditions climatiques ont été modifiées. Il apparaît au cours de l'année deux périodes: l'une bien marquée par une nette coïncidence entre des précipitations insignifiantes ou même nulles et des fortes chaleurs; l'autre, humide et tempérée, donne au contraire des précipitations assez régulièrement réparties au cours de cette période et des températures plus clémentes. Ces irrégularités se traduisent par la succession dans le temps et dans l'espace, d'années sèches et d'années relativement plus humides, rendant toute agriculture en -bour- très aléatoire, d'autant plus que les potentialités d'irrigation sont très limitées (Ghanem., 1981).

Ainsi, en associant la pluviométrie et la température, paramètres essentiels permettant de caractériser un contexte climatique, on distingue les différentes zones climatiques (figure 5), définies selon le diagramme d'Emberger, qui coïncident avec les principales unités géomorphologiques du bassin versant (Marghich, 2004) :

- Zone 1 : elle correspond à la région de Rabat. Du fait de sa proximité avec le littoral Atlantique, elle reçoit en moyenne près de 500 mm/an et la température moyenne annuelle est de 18 °C avec une amplitude thermique de 20 °C environ, associant ainsi cette zone à un climat subhumide.
- Zone 2 : elle correspond à la partie centrale du bassin selon la diagonale reliant Rommani à Ezzhiliga, sur le palier inférieur et intermédiaire. Les données climatiques (pluviométrique et thermique) sont variables d'une station à l'autre car les différences d'altitude, de position topographique et d'éloignement de l'océan s'expriment ici. Avec une pluviométrie moyenne inférieure à 600 mm/an (environ 400 mm/an), une température moyenne annuelle de 17 °C et une amplitude thermique de 30 °C environ, cette zone est sous climat semi-aride.
- Zone 3 : elle regroupe toute la partie Sud-Est du bassin au niveau d'Aguelmous, de M'rirt et de Khénifra. Elle correspond ainsi au début de la zone de dépression orientale, située au pied du haut pays. Elle est soumise à un climat de moyenne

montagne. Elle reçoit ainsi en moyenne plus de 400 mm/an et la température moyenne annuelle est de 15 °C. Cependant, du fait de son éloignement avec l’océan et de sa position abritée renforcée par sa physionomie « en creux » (Beudet, 1969), durant la saison estivale, on observe un réchauffement considérable au fond de ses vallées et sur ses plateaux. Son amplitude thermique est ainsi d’environ 39 °C. Cette zone est donc sous climat aride.

- Zone 4 : elle correspond au Haut pays d’Oulmès, soit aux terres les plus en altitudes de la zone du Plateau Central (entre 700 et 1627 m d’altitude). Il s’agit d’une zone montagneuse éloignée de l’océan dont elle reçoit cependant les influences. La pluviométrie, relativement soutenue, dépasse en moyenne 600 mm/an, ce qui a pour effet d’abaisser la température moyenne annuelle à 15 °C, et ce, malgré son degré de continentalité. Cette zone, avec une amplitude thermique de 30 °C, a une tendance subhumide et bénéficie donc d’un climat plus doux que les précédentes.

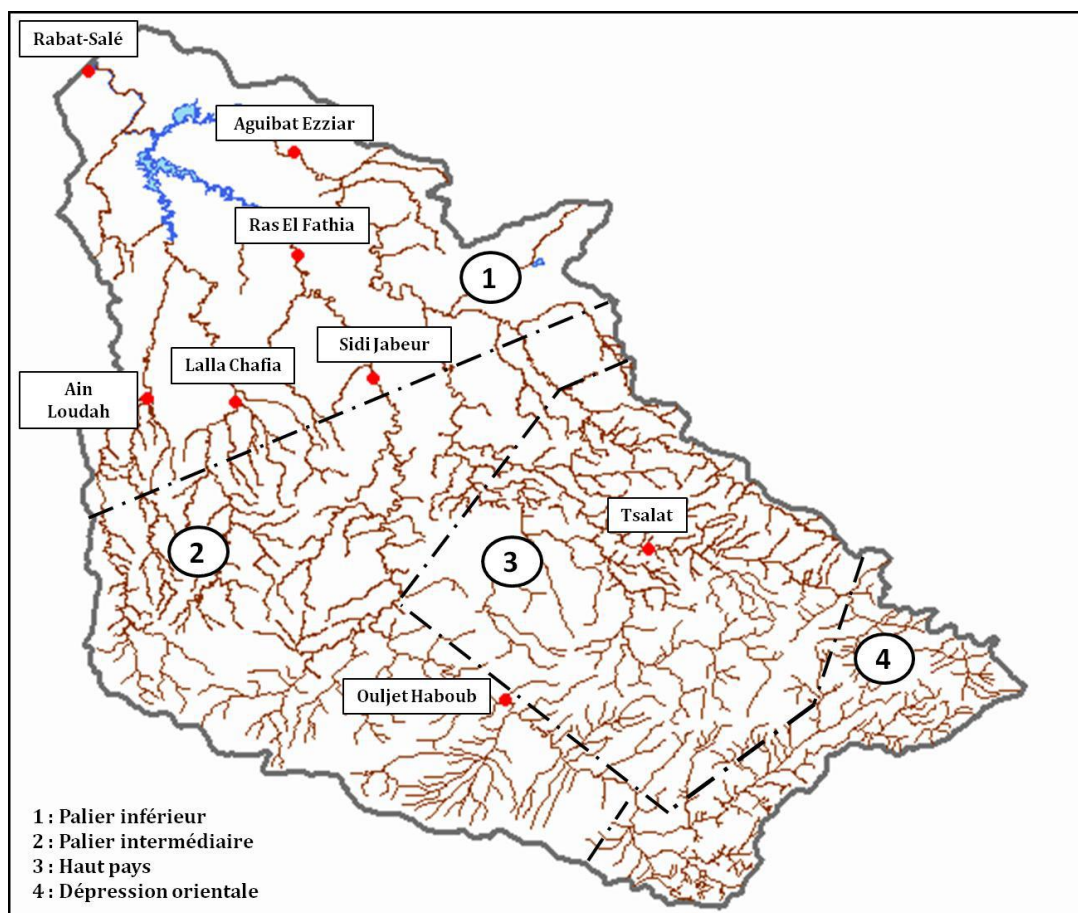


Figure 5 : Localisation des stations pluviométriques du bassin versant du Bouregreg en fonction des grandes unités géomorphologiques (SIGMED, carte modifiée par Goussot, 2011).

1.5. Végétation

Du point de vue hydrologique, le couvert végétal intervient à deux niveaux, dans le bilan infiltration-ruisseau et dans le bilan infiltration-évapotranspiration. Globalement, sur un milieu physique déterminé, un couvert végétal dense favorise l'infiltration consommée par l'évapotranspiration. Par contre, pour un couvert végétal clairsemé, du type steppique, le ruissellement devient prédominant si les autres paramètres physiques du milieu sont également favorables (imperméabilité du sol et du substratum, forte pente du relief ...).

D'après Beaudet (1969), on peut définir quatre types de formations végétales: la forêt, le matorral, la steppe, les cultures et les pâturages qui sont déterminés par les conditions physiques des différents milieux et par l'intensité des actions anthropiques.

1.5.1. Forêt

La forêt désigne les formations ligneuses où dominent des arbres de hauteur supérieure à 7m. Sur le Plateau Central marocain, il subsiste encore des massifs forestiers importants avec une diversité paysagère et richesse floristique (Benabdellouahad., 2006.). Les espèces dominantes sont le chêne liège et le chêne vert, mais également le thuya et l'oléastre (figure 6). Ceux-ci ne couvrent qu'une faible fraction de la surface totale du bassin. La forêt occupe essentiellement les crêtes et parfois les versants des vallées très encaissées où elle est dégradée du fait de son utilisation par l'homme (coupe de bois) et par les troupeaux qui ont entamé largement le sous-bois, et du fait que les pentes ne permettent plus une rétention suffisante des eaux infiltrées et le ruissellement devient prédominant. Le défrichage explique certainement l'absence de la forêt sur les surfaces planes plus propices à l'exploitation agricole et pastorale.

1.5.2. Matorral

Le matorral désigne les formations ligneuses basses comportant des arbustes ou des arbres dont la hauteur ne dépasse pas 7m. Ces formations le plus souvent sont assez dégradées par les actions anthropiques et les conditions sévères d'un milieu semi-aride.

Dans le bassin versant de l'oued Grou, le matorral dense remplace la forêt dans la région de Sidi bou Abbad, située à l'extrémité sud du bassin, entre 800 et 1000m d'altitude. C'est une formation épaisse, parfois peu pénétrable, avec un sous-bois réduit, dont les espèces dominantes sont les oléastres, les lentisques et les tizras, ces derniers étant plus fréquents dans la partie basse de l'étage. Le ruissellement est généralement diffus lorsque la strate herbacée est bien fournie, mais il peut être plus actif si celle-ci est réduite par le pâturage des troupeaux

de moutons qui remontent plus au nord et plus en altitude, lors des années particulièrement sèches.

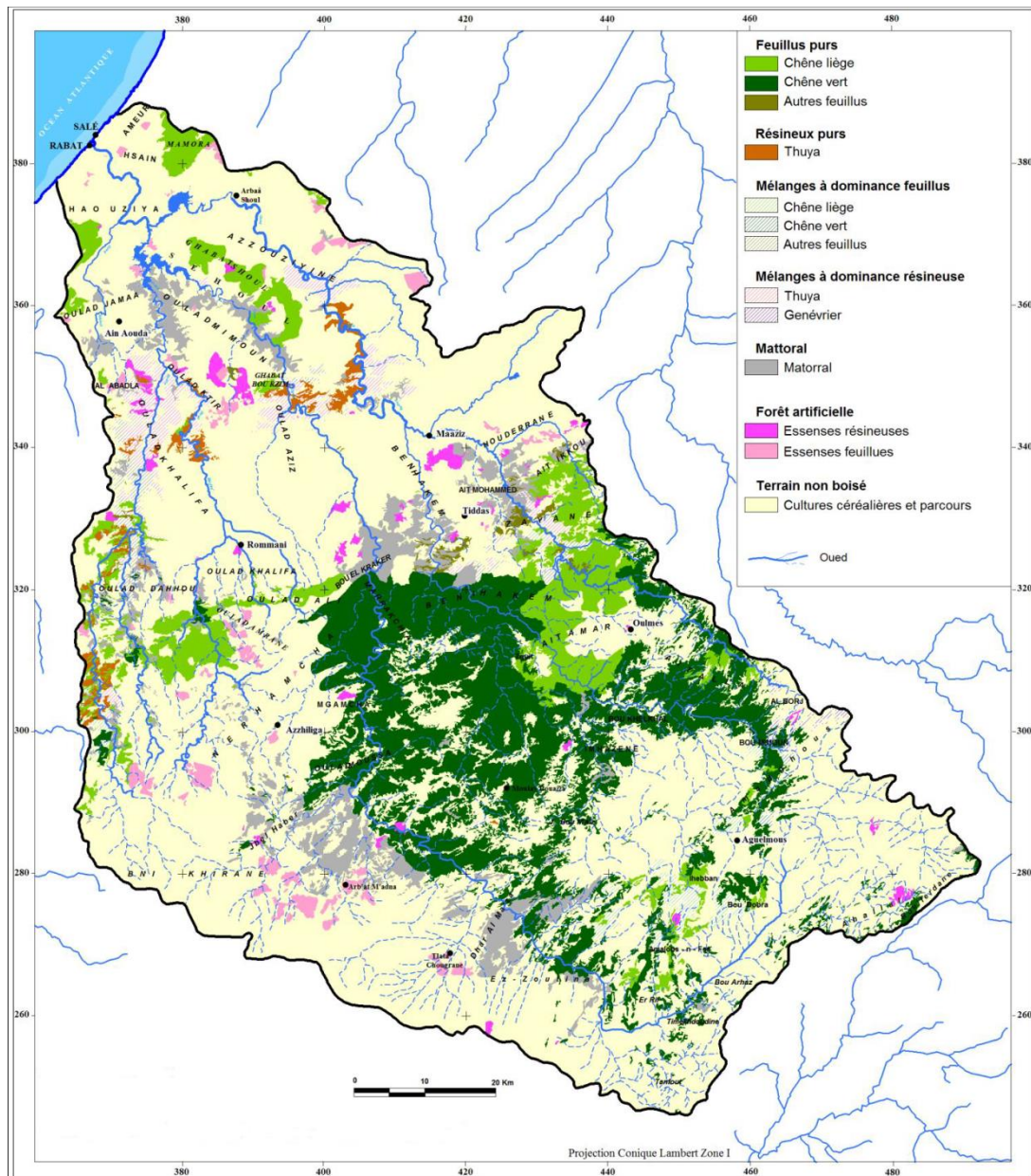


Figure 6 : Les types de couverts forestiers dans le bassin du Bouregreg (ARGDT, 2013).

1.5.3. Steppe

Les formations steppiques sont essentiellement localisées dans les plaines d'Asfar et de Sidi Lamins. Elles sont liées au climat semi-aride qui caractérise l'ensemble de la Dépression Orientale, au pied du Moyen Atlas, drainée par le court amont des oueds Grou et Oum er-Rabia. L'aridité est due au caractère continental de cette dépression qui est protégée des flux d'ouest par les crêtes du Haut-Pays et plus ouverte aux vents desséchants du sud.

L'aridité sévère permet le développement d'une steppe à thuya et genévrier oxycèdre. Les espèces végétales, jujubier et doum, sont souvent déchaussées par le ruissellement épisodique mais intense.

1.5.4. Cultures et pâturages

Les zones définies par cette association culture-pâturage offrent des paysages très diversifiés. Il s'agit toujours de cultures saisonnières, le plus souvent céréalières, qui sont laissées au pâturage après la moisson. Le reste du bassin versant est occupé par des reboisements de plants d'Eucalyptus et de Pins.

Il est difficile d'apprécier globalement l'effet du ruissellement dans ces zones de culture-pâturage du fait de leur diversité. Sur les zones planes, il est généralement diffus mais dès que le relief présente une pente, même faible, le ruissellement devient actif en dehors de la période végétative.

Globalement le couvert végétal du bassin versant de l'oued Grou favorise le ruissellement et la concentration rapide des écoulements en période pluvieuse. Plus de la moitié du bassin est soumis à un ruissellement intense alors que le ruissellement faible ne concerne qu'une faible fraction de la surface du bassin.

D'une manière générale, les zones à fort ruissellement sont caractérisées par des sols d'érosion et un couvert végétal clairsemé. Le ruissellement est moins généralisé sur les sols hérités plus ou moins évolués et lorsque le couvert végétal est moyennement dense. Sur les surfaces planes, il est généralement diffus mais dès que la pente est suffisante (quelques degrés), il a tendance à se concentrer rapidement. Seules quelques zones à couverture forestière dense sur sol profond favorisent partiellement l'infiltration. Le régime hydrologique de l'oued Grou dépend donc essentiellement de la concentration des eaux de ruissellement.

1.6. Conclusion

Le bassin versant de l'oued Grou est représentatif de la bordure sud du Plateau Central marocain. Il a une évolution géologique, longue et complexe, a déterminé des ensembles morphostructuraux homogènes dans leur ensemble mais très hétérogènes au niveau des reliefs élémentaires. Quel que soit l'ensemble morphostructural considéré, les reliefs sont toujours très vigoureux du fait de la profonde entaille du réseau hydrographique au Tertiaire et au Quaternaire.

Ce relief contrasté, associé à un substratum primaire essentiellement imperméable et soumis à des conditions climatiques également très contrastées, est le support d'une variété de paysages à dominante semi-aride. En effet, le réseau hydrographique est dense mais l'écoulement pérenne est faible en raison de l'indigence des apports souterrains. En surface, l'interception des précipitations n'est guère favorisée par un couvert végétal très clairsemé et des sols à faible capacité de rétention. Ainsi, l'ensemble des facteurs naturels du bassin versant de l'oued Grou, accentués par les actions anthropiques, favorise surtout les processus de ruissellement et la concentration rapide des écoulements en période pluvieuse.

2. Contexte humain

2.1. Démographie

Selon le Haut-Commissariat au Plan (HCP, 2004), l'accroissance démographique est relativement important sur la totalité du bassin versant de Bouregreg (figure 7). Depuis 1982, la population du bassin s'est renforcée de près de 850 000 habitants, ce qui correspond à une augmentation de 55,8 %, soit un taux de croissance annuel de 2,5 %. Plus de 80 % d'entre eux sont urbanisés et vivent dans des centres urbains tels que Rabat, Salé et Khémisset, tandis que 20 % vivent en zone rurale dans des petites communes et des douars tels que Jmaa Moulblad et Moulay Driss Aghbal.

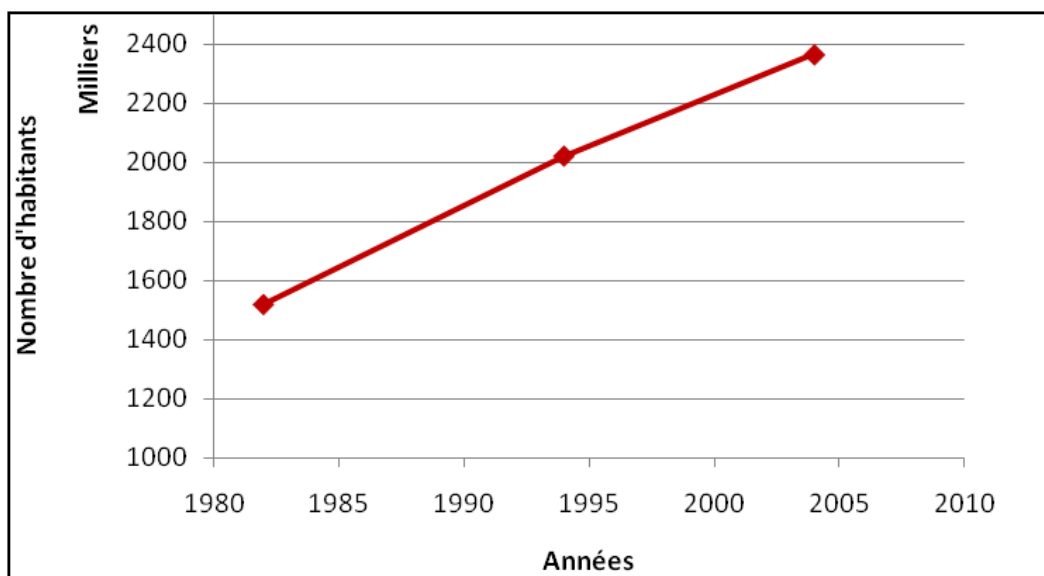


Figure 7 : Evolution de la démographie entre 1982 et 2004 sur le bassin versant du Bouregreg (Haut-Commissariat au Plan, 2004)

La répartition de cette population sur le bassin est largement influencée par les caractéristiques géomorphologiques du bassin, qui vont conditionner leur utilisation. Ainsi, le palier inférieur et le palier intermédiaire sont partagés entre deux tribus berbères, les Zaërs et

les Zemmour, qui y exercent toutes les deux l'agriculture et l'élevage. Le Haut pays et la Dépression orientale sont quant à eux surtout occupés par une autre tribu berbère, les Zayanes, qui pratique l'agriculture et l'élevage, basé sur un système agro-sylvo-pastoral.

2.2. Activités socio-économiques

Le secteur agricole est l'un des plus important et parmi les premières sources de revenu de la majorité de la population sur le bassin versant de l'oued Grou. Il est partagé entre l'agriculture et l'élevage dont l'importance dans l'économie diffère selon les caractéristiques propres à chaque région et à chaque commune.

Les activités non agricoles sont peu nombreuses (administration, industrie et artisanat) et sont essentiellement concentrées au voisinage de la région de Rabat-Salé, à l'exception des carrières pour l'exploitation des gisements du sable, situées à proximité de la commune rurale de Jmaa Moulblad, et des gisements d'onyx à Aguelmous et de granite à Oulmès.

2.2.1. Agriculture

Sur la majeure superficie du bassin versant de l'oued Grou les principales cultures sont :

- Les céréales (en ordre d'importance décroissant) : blé tendre, blé dur, orge, triticale. Elles sont destinées à l'autoconsommation, aux échanges commerciaux via la vente dans les souks et à l'alimentation du cheptel (grain, paille, chaume...).
- Les légumineuses (fèves, pois, lentilles, haricots).
- Les cultures maraîchères (pommes de terre, tomates, oignons, navets, carottes).
- Les cultures fourragères
- Les plantations fruitières, localisées principalement dans les bas plateaux au cercle de Sehoul qui utilisent des techniques modernes et d'irrigation, ainsi qu'à Oulmès avec ses plantations de rosacées (pommiers, poiriers, cerisiers).
- La viticulture
- Les oliviers
- La lavande (PAMs= Plantes Aromatiques Médicinales).

On distingue deux types d'agriculture sur le bassin versant de l'oued Grou :

- L'agriculture irriguée : le type le plus réduit, localisé essentiellement dans le cercle d'Aghbal (D.P.A.E., 1996). Ce système est relativement limité du fait de la faible

mobilisation des eaux superficielles et de caractéristiques géologiques à l'origine de faibles ressources en eaux souterraines, et de coûts très élevés.

- L'agriculture en Bour (appelée aussi agriculture pluviale ou agriculture en sec) : du fait de son extension, elle présente un important potentiel, mais elle est sous-exploitée en raison de contraintes :
 - naturelles :
 - Le climat avec l'irrégularité des pluies : un Bour est favorable quand la moyenne des pluies est supérieure à 400 mm, et défavorable dans le cas contraire.
 - Le sol qui peut être pierreux ou marqué par la pente : il y a une forte opposition entre les grandes plaines caractérisées par une certaine continuité et des rendements importants, et les régions de collines ou de montagnes où les cultures sont en mosaïque et menacées par la dégradation des sols.
 - socio-économiques : du fait de la multiplicité des statuts fonciers, du morcellement et de la dispersion des parcelles mais aussi du sous-équipement des exploitations agricoles.

En ce qui concerne les facteurs de production (Bensalah, 2008) :

- Le travail du sol est réalisé essentiellement via l'utilisation d'un cover crop et, dans les pentes fortes notamment, de la traction animale.
- Les engrais sont utilisés de façon non rationnelle, c'est-à-dire plus en fonction de la trésorerie des agriculteurs plutôt que des besoins de la plante et du sol.
- Les produits phytosanitaires ne sont pas utilisés de façon efficace du fait d'une certaine méconnaissance des produits adéquats, des doses et de la période optimale d'application.
- Les travaux sont généralement peu mécanisés. Pour les récoltes, au niveau des terres accidentées et dans les petites exploitations agricoles, elles sont essentiellement manuelles. L'usage des moissonneuses batteuses est plus courant dans les bas plateaux et dans les paliers inférieurs comme c'est le cas à Sehoul.

2.2.2. Élevage

L'élevage, généralement extensif, est également très répandu dans le bassin versant, et ceci plus particulièrement dans certaines régions à tradition fortement pastorale.

L'élevage bovin est une activité vitale sur le bassin, et ce plus particulièrement dans les régions situées à proximité des grands centres urbains. Il est donc plus important dans les Paliers inférieur et intermédiaire, dans la région de Rommani et sur la commune de Sehoul, à proximité de Salé. Le cheptel bovin est à la fois composé de races améliorées et de races locales caractérisées par une grande rusticité et une adaptation aux conditions climatiques de la région.

L'élevage ovin est largement pratiqué à travers le bassin. Il est représenté par une race locale caractéristique des régions du Moyen-Atlas, la Timahdit.

L'élevage caprin, malgré des effectifs en baisse, est encore très pratiqué, et ce essentiellement dans les régions montagneuses aux conditions plus difficiles. La chèvre est en effet le seul animal capable de valoriser les mauvais parcours situés dans des pentes ravinées et des zones accidentées. Le cheptel est essentiellement composé par la race locale Noire de l'Atlas.

D'une manière générale l'élevage ovin et bovin est conduit en système agro-pastoral tandis que l'élevage caprin est en système sylvo-pastoral. L'alimentation des différents cheptels est en partie assurée par les cultures fourragères mais provient aussi très largement des parcours, pratiqués le plus souvent en forêt. Ces terres de parcours sont définies comme de vastes superficies où l'on conduit le bétail assez librement, couvertes par la végétation naturelle ou peu artificialisées et sur lesquelles ne sont pas faits d'investissements, ou seulement des investissements limités (Carriere & Toutain, 1995). Ces terres sont essentiellement utilisées par les éleveurs habitant à proximité de zones forestières telles que la forêt de la Maâmora et de Sehoul et par les paysans sans terres qui dépendent alors entièrement du parcours. Dans certaines régions du bassin, et notamment dans celles à forte vocation céréalière, les ressources fourragères proviennent également des terres agricoles laissées en chaume.

En conclusion, l'activité d'élevage est fortement liée à l'historique propre à chaque région dont les tribus sont généralement d'origine nomade, au relief, à la présence de parcours, et donc de forêts, ainsi qu'à la nature des sols (concurrence avec l'agriculture) mais aussi à la taille des exploitations. En effet, si l'on prend l'exemple de la région des Zaër (Rajiallah-Bodinier, 1991), on remarque qu'il y a une forte opposition entre :

- La classe majoritaire (65 %) des paysans sans terres ou des petits propriétaires fonciers ne possédant que 11 % de la Surface Agricole Utile (SAU), mais rassemblant 62,7 % du cheptel en UPB (Unité Petit Bétail).

- La classe minoritaire (6,5 %) de grands propriétaires fonciers (ayant plus de 25 ha) possédant 50 % de la SAU mais seulement 14 % du cheptel.

Cela s'explique par le fait que pour les paysans sans terres, le troupeau constitue le meilleur moyen de compenser le manque de terre par le profit apporté par les pâturages gratuits offerts par les parcours forestiers. De plus, pour les familles ayant peu de ressources, le bétail constitue une réserve financière importante, fournit de la nourriture mais assure aussi la production de fumier pour la fertilisation des terres ainsi que la traction.

II. L'oued Grou et stations d'étude

L'oued Grou, est l'un des trois principaux cours d'eau du Plateau Central Marocain, d'environ 250 Km de long, il prend sa source à la ville de M'rirt et son aval au barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah (SMBA), à quelques kilomètres de ce dernier se jetant dans l'océan Atlantique entre les deux villes Rabat au sud et Salé au nord. Il contribue à l'alimentation de la retenue du barrage SMBA par environ 38 %, à côté de l'oued Bouregreg avec plus de 50 % et l'oued Korifla avec approximativement 12 %. Son bassin versant à une superficie de 3820 Km², de forme elliptique, s'inscrit dans un substratum essentiellement imperméable (roches primaires du Plateau Central), limité au nord par le bassin versant du Bouregreg, à l'ouest par le bassin versant du Korifla, à l'est et au sud par le bassin versant de l'oued Oum-er-Rabia (Cherrad, 1997).

Notre étude a été menée dans la région de Rabat (figure 8), sur la partie aval de l'oued Grou, entre la commune rurale de Jmaa Moulblad et le barrage SMBA, sur une distance d'environ 65 Km. Du fait de la forme elliptique du bassin versant, à ce niveau sa largeur évolue étroitement courte.

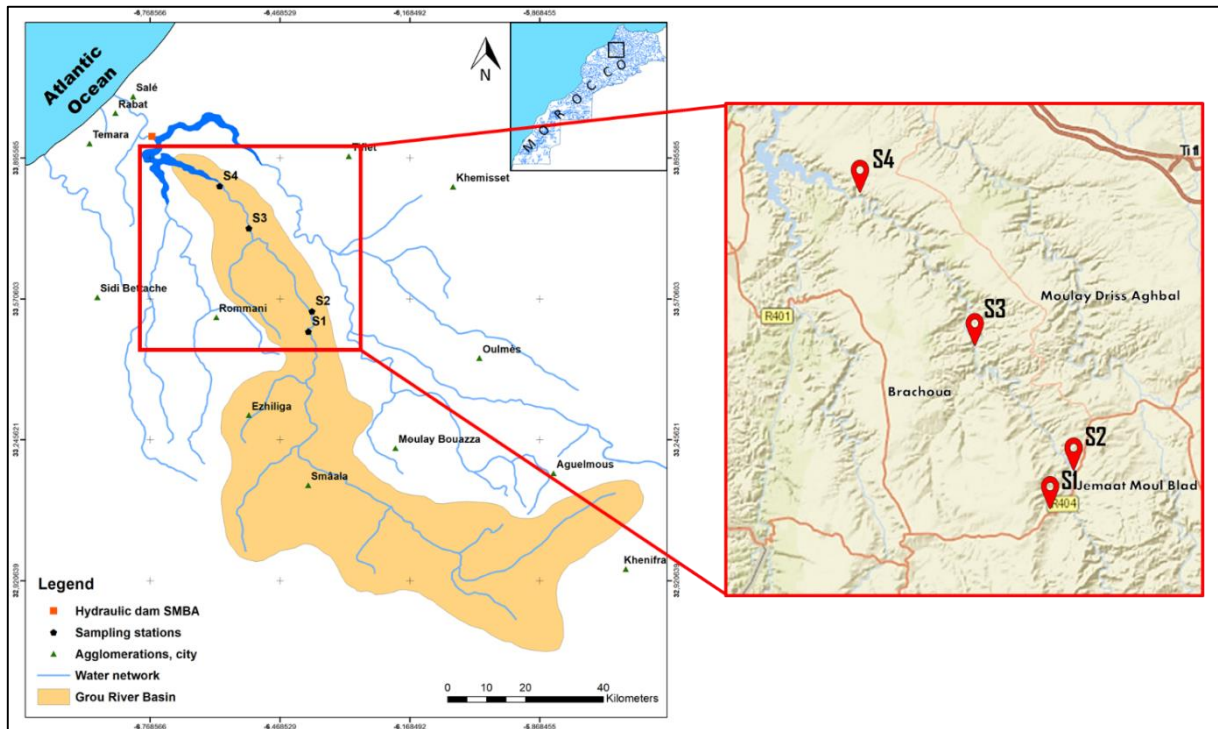


Figure 8 : Situation géographique du site d'étude

Pour évaluer l'état du milieu, et de faire un suivi des paramètres physico-chimique, bactériologique et biologique. Le choix des stations a été pris avec une grande prudence tout au long de ce cours d'eau, en tenant compte d'un certain nombre de critères tel que l'accessibilité, de sens d'écoulement, les sources de pollution, la distance par rapport au barrage SMBA et de façon à ce que ces points d'échantillonnage soient les plus représentatifs, donc 4 stations d'échantillonnage au total ont été retenues pour faire le suivi (S₁, S₂, S₃ et S₄), sont indiquées sur la carte (figure 8).

Durant cette étude, pour chaque station nous avons indiqué :

- La localité
- L'altitude
- La pente
- La largeur moyenne du cours d'eau
- La profondeur moyenne
- La vitesse du courant
- La nature du substrat
- La végétation

Description des stations :

La station S₁ :

La station S₁ située le plus en amont, à 1 Km avant d'arrivée au niveau de la Commune rurale de Jmaa Moulblad, elle a été choisie comme point de référence.

- Altitude : 200 m.
- Pente : 0.23 %.
- Largeur du lit : en moyen de 0.5 à 14.7 m
- Profondeur moyenne : 21 cm
- Vitesse du courant : très rapide en période de précipitations et moyenne à faible en période sèche.
- Substrat : rochers, galets, graviers et sable.
- Végétation bordante : strate arborescente, herbacée et épineux.
- Végétation aquatique : algues.

La station S₂ :

La station S₂ située en aval, immédiatement après la zone de confluence avec les eaux usées rejetée par la commune rurale de Jmaa Moulblad sans aucun traitement préalable.

- Altitude : 195 m.
- Pente : 0.23 %.
- Largeur moyenne du lit : 13.5 m
- Profondeur moyenne : 20 cm
- Vitesse du courant : très rapide en période de précipitations et moyenne à faible en période sèche.
- Substrat : rochers, gros galets, galets, graviers, sable et détritux organique.
- Végétation bordante : strate arborescente, herbacée et épineux.
- Végétation aquatique : débris végétaux, algues et macrophytes.
- Action anthropique : rejets de la commune rurale de Jmaa Moulblad, activités agricoles, utilisation des déjections d'animaux d'élevage comme engrais en agriculture, prélèvement de sable ...etc.

La station S₃ :

La station S₃ située à 35 Km de S₂, à une distance plus au moins suffisante à la mise en place du phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau.

- Altitude : 113 m.
- Pente : 0.23 %.
- Largeur moyenne du lit : 9.5 m
- Profondeur moyenne : 24 cm
- Vitesse du courant : très rapide en période de précipitations et moyenne à faible en période sèche.
- Substrat : rochers, gros galets, galets, graviers et sable.
- Végétation bordante : strate arborescente, strate arbustive fournie et éparse, herbacée et épineux.
- Végétation aquatique : quelques mousses sur les dalles, algues et macrophytes.
- Action anthropique : prélèvement de sable tout au long du secteur de cette station, rejets de la commune rurale de Jmaa Moulblad, déjections d'animaux d'élevage et activités agricoles.

La station S₄ :

La station S₄ située à 30 Km de S₃ plus en aval, à la zone de confluence avec les eaux du barrage SMBA riches en matières organiques sous l'effet d'eutrophisation.

- Altitude : 54 m.
- Pente : 0.19 %.
- Largeur moyenne du lit : 50 m
- Profondeur : en moyenne de 10 à 60 cm
- Vitesse du courant : généralement faible.
- Substrat : gros galets, galets, sable, limons et détritiques organiques.
- Végétation bordante : strate arborescente, strate arbustive fournie et éparse, herbacée et épineux.
- Végétation aquatique : mousses, algues sur les pierres, algues et macrophytes.
- Action anthropique : les rejets que reçoit ce cours d'eau tout au long de sa trajectoire avant d'arriver à ce niveau, les activités agricoles.

1. Caractéristiques physiques des stations

1.1. Démarche suivie

Les cours d'eau peuvent être considérés comme des mosaïques de microhabitats caractérisés par des conditions environnementales différentes (Townsend & Hildrew, 1994). Pour faire une caractérisation physique des différentes stations étudiées (figure 8), on a basé sur les résultats obtenus sur le terrain, lors des prospections réalisées entre le mois de décembre 2014 et le mois de novembre 2015, en utilisant un décamètre, un bouchon de liège et un chronomètre. Au moment des crues, on reporte la prospection du terrain jusqu'à la stabilité du débit depuis au moins 10 jours.

Sur le terrain, nous laissons couler le bouchon à la surface de l'eau sur une distance de 20 m, en prenant soin qu'il ne soit pas freiné par les aspérités (branches, blocs de pierre) présentes dans le lit. Le temps obtenu nous permet d'estimer la vitesse au niveau de la surface de ce cours d'eau.

1.2. Résultats

Les résultats obtenus mensuellement (décembre 2014-novembre 2015) sur le lit de l'oued Grou durant toutes les prospections du terrain (annexe 1), nous permettons de calculer les moyennes annuelles présentés ci-dessous (tableau 1), afin de faciliter leurs lectures et compréhensions.

Tableau 1 : les moyennes annuelles des résultats obtenus sur le lit de l'oued Grou durant toutes les prospections du terrain du mois décembre 2014 au mois novembre 2015.

J.M : la Commune rurale de Jmaa Moulblad.

Stations	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
Latitude	33°34'54.52"N	33°35'23.75"N	33°45'20.12"N	33°50'38.7"N
Longitude	6°25'36.23"O	6°25'45.97"O	6°32'16.53"O	6°38'54.37"O
Distance/J.M en Km	1	1	35	65
Altitude (m)	200	195	113	54
Pente (%)	0,23%		0,19%	
Largeur du lit (m)	14,7	13,5	9,5	50
Profondeur (m)	0,21	0,20	0,24	0,60
Vitesse (m/s)	0,56	0,6	0,75	0,1
Débit (m ³ /s)	6,17	6,36	4,67	4,2

1.2.1. Pourcentage de pente

Le pourcentage de pente est un paramètre écologique important qui dépend de l'altitude. Il intervient dans la détermination de la vitesse du courant, de la taille des éléments du substrat ainsi que dans la distribution de la faune benthique. Il permet aussi de décrire le relief en exprimant le rapport entre la dénivellation et la distance horizontale (mesure prise sur la carte). Par exemple, une pente de 3 % correspond à une dénivellation de 3 mètres sur une distance horizontale de 100 mètres.

Une pente de 100 % signifie que pour 100 m à l'horizontale on progresse de 100 m en verticale, ce qui correspond donc à un angle moyen de 45° (et non 90°).

Le calcul du pourcentage (%) d'une pente se fait selon la relation suivante :

$$\text{Pente (\%)} = \frac{\text{Dénivelé (m)}}{\text{Longueur parcourue (m)}}$$

Dénivelé = différence d'altitude entre la station de départ et la station d'arrivée.

Exemple :

Soit deux points sur une carte.

A est à 450 m d'altitude et **B** à 600 m.

La distance entre **A** et **B** est de 4,5 km, c'est-à-dire 4 500 m.

Dénivelé : **B - A** => 600 m – 450 m = 150 m

$$\text{Pente entre le point A et le point B : } \frac{150 \text{ m}}{4\,500 \text{ m}} = 3,3 \%$$

Les résultats obtenus lors de cette étude (tableau 2), montrent que la partie aval de l'oued Grou se caractérise par une pente faible. Ce qui est logique pour les cours d'eau montagneux, les secteurs les plus pentus correspondent à la partie amont et les secteurs les moins pentus correspondent à la partie aval. Ces derniers secteurs, rendent le parcours d'eau sinueux, comme dans le cas de notre cours d'eau. Ceci, nous permettons de distinguer entre deux sous-secteurs :

- Un cours d'eau légèrement sinueux sur environ 35 km de long, à faible pente 0,23 %, il s'étale depuis les deux stations S₁ et S₂ (situées respectivement en amont et en aval de la commune rurale de Jmaa Moulblad) jusqu'à la station S₃.

- Un cours d'eau relativement sinueux sur environ 30 km de long, à pente très faible 0,19 %, il s'étale depuis la station S₃ jusqu'à la station S₄.

Tableau 2 : les pourcentages de pente (%) obtenus entre les différentes stations étudiées.

J.M : la Commune rurale de Jmaa Moulblad.

Stations	Distance/J.M en Km	Altitude	Pente (%)
S ₁	1	200	0,23%
S ₂	1	195	
S ₃	35	113	0,19%
S ₄	30	54	

1.2.2. Vitesse du courant

La vitesse du courant est un facteur écologique essentiel qui agit sur la composition, la structure des biocénoses aquatiques et il exerce une influence sur le comportement, la distribution et le métabolisme des communautés. Il dépend du débit, des précipitations, de la pente, de la largeur du lit, des apports des affluents ainsi que de la taille des substrats et de la profondeur de la lame d'eau.

Dans notre travail, les résultats de la vitesse du courant obtenus (Annexe 1), montrent des fluctuations spatio-temporelles très importantes.

En se référant à l'échelle de BERG ci-dessous, sur le plan temporel, la vitesse du courant est rapide à très rapide durant les mois de la période humide, et rapide à très lente durant les mois de la période sèche. Ceci, est valable pour toutes les stations à l'exception de la station S₄ située à la confluence avec le barrage SMBA où la vitesse du courant est presque nulle durant toute l'année.

Echelle de BERG :

- Vitesse très lente : inférieur à 0,1 m/s.
- Vitesse lente : 0,1 à 0,25 m/s.
- Vitesse moyenne : 0,25 à 0,50 m/s.
- Vitesse rapide : 0,50 à 1 m/s.
- Vitesse très rapide : supérieur à 1 m/s.

Sur le plan spatial, les résultats des moyens annuels obtenus (tableau 1), montrent tout d'abord que la vitesse du courant est de l'ordre de 0,56 m/s au niveau de la station S₁. Puis, cette

vitesse augmente légèrement pour atteindre 0,6 m/s au niveau de la station S₂, cette légère augmentation peut être attribuée à l'effet des eaux usées provenant de la commune rurale de Jmaa Moulblad. Ensuite, à une distance de 35 Km de la station S₂, se situe la station S₃, à ce niveau la vitesse du courant augmente encore légèrement à 0,75 m/s, cette fois, ceci pourrait être expliqué par la pente qui favorise la vitesse de l'écoulement, et par la profondeur et la largeur de l'oued qui sont faibles. Enfin, au niveau de la station S₄, située en aval à 65 Km de la station S₂, la vitesse du courant devienne très faible, inférieure à 0.1 m/s, ceci pourrait être expliqué par l'effet d'élargissement progressif du lit de l'oued et l'augmentation de la profondeur, et par l'effet de la pente qui devienne de plus en plus faible (inférieur à 0.19%) en favorisant la stagnation de l'eau au niveau de la retenue du barrage SMBA.

1.2.3. Débit

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

Au Maroc, le régime hydrologique des cours d'eau se caractérise par des grandes fluctuations du débit. Les crues sont soudaines et violentes, les étiages prononcés. Les débits moyens annuels se caractérisent par une grande irrégularité interannuelle. Les débits les plus importants de l'année correspondent à la fonte du manteau neigeux au printemps, augmentés par les apports en pluies de cette période de l'année. Les fortes pluies, à l'origine des crues, augmentent la vitesse du transport des substances solides et dissoutes, en modifiant la composition des cours d'eau.

Dans notre étude, les résultats obtenus (Annexe 1) montrent que le débit évolue d'une manière irrégulière, selon les mêmes variations que la vitesse du courant. En effet, sur le plan temporel, le débit est très élevé durant les mois de la période humide et faible durant les mois de la période sèche.

Sur le plan spatial, les résultats des moyens annuels du débit obtenus (tableau 1), montrent qu'il est tout d'abord de l'ordre de 6.17 m³/s au niveau de la station S₁. Puis, ce débit augmente légèrement à 6.36 m³/s au niveau de la station S₂, ceci pourrait être expliqué par l'effet des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad qui contribuent légèrement à son augmentation. Ensuite, contrairement à ce qu'on a expliqué pour la vitesse du courant, le

débit démenti à 4.67 m³/s au niveau de la station S₃, ceci pourrait être attribué aux activités humaines mises en place (carrière d'exploitation des sables, agriculture, abreuvement des cheptels... etc.), et à la largeur étroite du bassin versant à ce niveau, délimité étroitement de part et d'autre, par le bassin versant de l'oued Krifla à gauche et le bassin versant de l'oued Bouregreg à droite, ce qui rend les apports en eaux de ruissellement presque négligeable en l'absence des précipitations. Enfin, au niveau de la station S₄ on observe à nouveau une diminution du débit à 4.2 m³/s. Cette nouvelle diminution pourrait être expliquée par le même raisonnement au paravent, en plus de l'effet de la pente faible (inférieure à 0.19 %) qui favorise l'infiltration et l'évapotranspiration de l'eau.

1.2.4. Largeur et profondeur

Dans notre étude, la largeur et la profondeur de l'oued Grou évoluent progressivement croissantes tout en allant vers l'aval, d'une manière antagoniste au débit et à la vitesse du courant. D'une manière logique à ce qu'on observe dans les hydrosystèmes montagneux, tout en allant vers l'aval, on assiste à une rupture de pente et à l'élargissement du lit des cours d'eau.

1.2.5. Substrat

Les cours d'eau présentent naturellement une grande diversité structurelle qui se traduit par la présence d'une grande variété d'habitats, fonds sableux, dépôts de débris végétaux, rochers...etc. De nombreux organismes d'eau courante présentent une adaptation très spécifique et ne colonisent que les habitats dont les conditions leurs sont favorables. En effet, le substrat constitue le support vital des invertébrés benthiques auquel il est intimement associé pendant une partie de leur vie.

La plupart des macroinvertébrés sont spécifiques pour un type bien précis de microhabitat. Ainsi, la diversité de la communauté reflète la diversité des substrats. Tous les substrats les plus instables sont les moins colonisés. Les mousses et les végétaux sont des supports très favorables car ils servent également de nourriture et d'abris.

Dans notre travail, les stations étudiées se caractérisent par une grande diversité structurelle des habitats, due aux différentes proportions de distribution des substrats (rochers, gros galets, galets, graviers, sable, limons, détritus organique ...etc.) à l'origine du transport solide et de l'érosion du bassin versant.

2. Conclusion

Au terme de cette étude réalisée au niveau de la région de Rabat, nous pouvons conclure que le régime annuel de l'oued Grou est marqué par un écoulement faible en saison sèche, et par un écoulement important et des manifestations hydrologiques brutales en saison humide. Les valeurs les plus basses du débit ont été enregistrées en période estivale avec un minimum de $2,28 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, et les plus élevées ont été enregistrées en période hivernale avec un maximum de $33,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Selon l'importance du débit, Nous pouvons dire que ce cours d'eau est caractérisé par un régime hydrologique de type pluvio-évaporal, lié à la variabilité et à l'abondance des précipitations, et à l'effet de l'évapotranspiration.

CHAPITRE III : EVALUATION DE LA QUALITE PHYSICO- CHIMIQUE DE L'EAU DE L'OUED GROU

I. INTRODUCTION

La qualité de l'eau est un paramètre important qui touche à tous les aspects du bien-être des écosystèmes et de l'homme tels que la santé d'une communauté, les denrées alimentaires à produire, les activités économiques, la santé des écosystèmes et la biodiversité. En conséquence, la qualité de l'eau a également une influence sur la détermination des niveaux de pauvreté, de richesse et d'éducation de l'homme.

Vue sous l'angle de la gestion, la qualité de l'eau est déterminée par l'utilisation finale qui en est souhaitée. En conséquence, l'eau destinée aux loisirs, à la pêche, à la boisson et à l'habitat des organismes aquatiques exige des niveaux de pureté plus élevés tandis que pour celle consacrée à la production d'énergie ne demande pas beaucoup de pureté. C'est la raison pour laquelle la qualité de l'eau est définie par les diverses substances qu'elle contient, ces dernières permettent de savoir si celle-ci convient à un usage particulier (El Blidi et Fekhaoui, 2003). Même l'eau des rivières et des lacs les moins influencés par les activités humaines n'est pas pure. Elle contient de nombreuses substances, dissoutes ou en suspension, que l'on retrouve partout dans la nature. Ces éléments proviennent du sol et du sous-sol, de la végétation et de la faune, des précipitations et des eaux de ruissellement drainant le bassin versant, ainsi que des processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu dans le cours d'eau lui-même. À ces substances d'origine naturelle peuvent s'ajouter des produits découlant de la simple présence humaine ou des activités industrielles et agricoles. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide, cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (Mc Kinney., 2002). L'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et des pesticides, le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre des écosystèmes et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs (Mulliss., 1997), mais aussi altérer les usages de l'eau (captage de l'eau, baignade, etc.) (Burton & Pitt., 2001; Chahlaoui et *al.*, 1997).

Au cours d'une année, d'une saison et même d'une journée, la qualité de l'eau peut être très variable. Les phénomènes de ruissellement et d'érosion, de même que les précipitations et les variations du débit d'un cours d'eau influencent énormément la qualité de l'eau. En période

d'étiage, les concentrations de certaines substances présentes dans l'eau peuvent être beaucoup plus élevées que pendant le reste de l'année. À l'inverse, en période de crue, certaines substances se trouvent diluées dans un plus grand volume d'eau alors que d'autres, qui atteignent le cours d'eau par ruissellement, se retrouvent en concentration plus importante. Ainsi, les concentrations des substances naturelles non dissoutes provenant d'un processus d'érosion augmentent avec le débit. Par ailleurs, les concentrations des divers polluants rejetés artificiellement et régulièrement dans un cours d'eau (on ne parle pas ici d'engrais ou de pesticides étendus sur les terres) diminuent lorsque le débit augmente. Une très bonne connaissance du régime hydrologique d'un cours d'eau est donc nécessaire pour faire une interprétation correcte.

Au Maroc, pays à climat semi-aride, le potentiel hydrique est relativement limité et aléatoire (El Addouli et *al.*, 2011). Ce potentiel est touché par le problème de pollution, notamment au niveau de la région de Rabat, objet de cette étude, du fait de sa démographie croissante et du développement continu du secteur industriel et agricole. A ce niveau, l'oued Grou joue un rôle très important dans l'abreuvement du cheptel, la baignade, la production des eaux potables et dans d'autres activités socioéconomiques de la population locale. Cependant, il se trouve particulièrement touché par le problème de pollution. Du fait, au cours de son écoulement vers l'aval il reçoit les eaux usées de la commune rurale de Jamaa Moulblad, les apports des petits ruissellements, surtout en hiver, en provenance des montagnes et des terrains agricoles menaçant ainsi sa qualité. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce chapitre, qui a pour but d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau de l'oued Grou au niveau de cette région.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Préparation du matériel

Le préleveur devra disposer du matériel lui permettant de réaliser les prestations en toutes circonstances. Donc la préparation du matériel est une étape qui doit être planifiée plusieurs jours à l'avance, afin de pouvoir obtenir du laboratoire, les bouteilles adéquates pour les analyses et de s'assurer du bon état des instruments.

Afin d'éviter la contamination d'un échantillon par les éventuels polluants d'un échantillonnage antérieur (contamination croisée), le matériel d'échantillonnage devra être rincé entre deux stations de mesures avec l'eau de chaque station.

2. Echantillonnage et analyses

L'échantillonnage est réalisé une fois par mois (Décembre 2014- Novembre 2015) au niveau de chacune des stations choisi. Le prélèvement des eaux est effectué dans des bouteilles en plastique de 1,5 l.

Au total, 11 paramètres physico-chimiques ont été mesurés, Température de l'air, Température de l'eau (T), Conductivité électrique (CE), Potentiel d'Hydrogène (pH), Potentiel redox (mV), Salinité (Sal), Dureté totale (TDS), Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), Demande Chimique en Oxygène (DCO), Matières en suspension (MES) et le Carbone Organique Total (COT). Les techniques analytiques suivies sont celles décrites par (AFNOR, 1997 ; Rodier et *al.* 2009).

A chaque prélèvement, certains paramètres ont été mesurés in situ sur le terrain en utilisant des ondes portables. Les autres paramètres sont ultérieurement mesurés, immédiatement dès notre retour au laboratoire de l'institut national d'hygiène de Rabat (Annexe 2). Le transport se fait dans une glacière à basse température (4°C).

3. Analyse des données

3.1. But de l'analyse

Dans le but de mettre en évidence les similitudes et les distorsions qui existent entre les différents paramètres agissant sur ce cours d'eau et afin de repérer les facteurs déterminants dans sa dynamique à travers une structure spatio-temporelle cohérente ; nous avons soumis l'ensemble des données recueillies (mesures physico-chimiques effectuées entre décembre 2014 et novembre 2015) à une analyse multivariée, l'analyse en composante principale (ACP), suite à l'établissement d'une matrice de données (Annexe 3), formée de 48 prélèvements (4 stations × 12 campagnes) et de 11 variables physico-chimiques. L'ACP nous permettant de dégager une synthèse de l'information donnée ((Doledec et Chessel, 1987).

3.2. Définition et principe

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multi-variée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions. Cette méthode permettrait de préciser les relations entre les variables et les phénomènes à l'origine de ces

relations. L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axe. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques (Tahri, 2010 ; Abrid, 2015 ; Toumi et *al.*, 2016). L'ACP est donc un outil qui offre la possibilité de simplifier l'étude des écosystèmes aquatiques et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en compte (N'diaye et *al.*, 2014). C'est une méthode factorielle qui permet la description simplifiée d'un tableau de mesures difficilement manipulable, composé de variables à aspect quantitatif (physico-chimique), issues d'un plan d'observation espace-temps (El Blidi, 2005). L'information synthétisée repose sur la réduction du nombre de caractères et sur la construction simultanée de nouveaux caractères synthétiques (Bourache et Saporta, 1983). Ces derniers forment les composantes principales qui sont obtenues par combinaison linéaire des caractères initiaux. L'ACP illustre particulièrement les corrélations entre les variables (Foucart, 1982).

Les caractères synthétiques ou composantes ainsi formés détiennent chacun une part de l'information de départ. La première contribuera pour un maximum d'informations de ressemblances ou différences entre variables (Foucart, 1982) et constituera par conséquent un caractère original du tableau des données, ensuite l'information concernant chaque variable ou chaque relevé sera analysée puis traitée au niveau de chaque composante. En fonction des objectifs expérimentaux, un certain nombre de calculs de base peuvent être effectués, conduisant ainsi à la réalisation de quelques représentations graphiques (Carrel et *al.*, 1986).

Le traitement de l'ensemble de données recueillies durant la période d'étude par l'ACP a été réalisé avec le logiciel **XLSTAT**. Le logiciel **XLSTAT** est un logiciel d'analyse de données convivial qui s'intègre à l'Excel.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses réalisées durant cette étude (décembre 2014- novembre 2015) sont représentés dans l'annexe 2.

1. Température de l'air (°C)

La température est un facteur abiotique très important. Sa mesure est nécessaire puisqu'elle joue un rôle dans la solubilité des gaz, la dissociation des sels dissous et la détermination du pH (Rodier et *al.* 2009).

La température de l'air mesurée au cours de la réalisation de cette étude (décembre 2014 - novembre 2015) montre des variations spatio-temporelles très importantes (figure 9), nettement irrégulières.

Les températures moyennes mensuelles enregistrées montrent que les plus basses sont mesurées pendant la période hivernale, avec un minimum de 8°C à la station S₃ en décembre 2014 et en janvier 2015. Alors, que les plus élevées sont enregistrées pendant la période estivale, avec un maximum de 38°C en juillet 2015 à la station S₂.

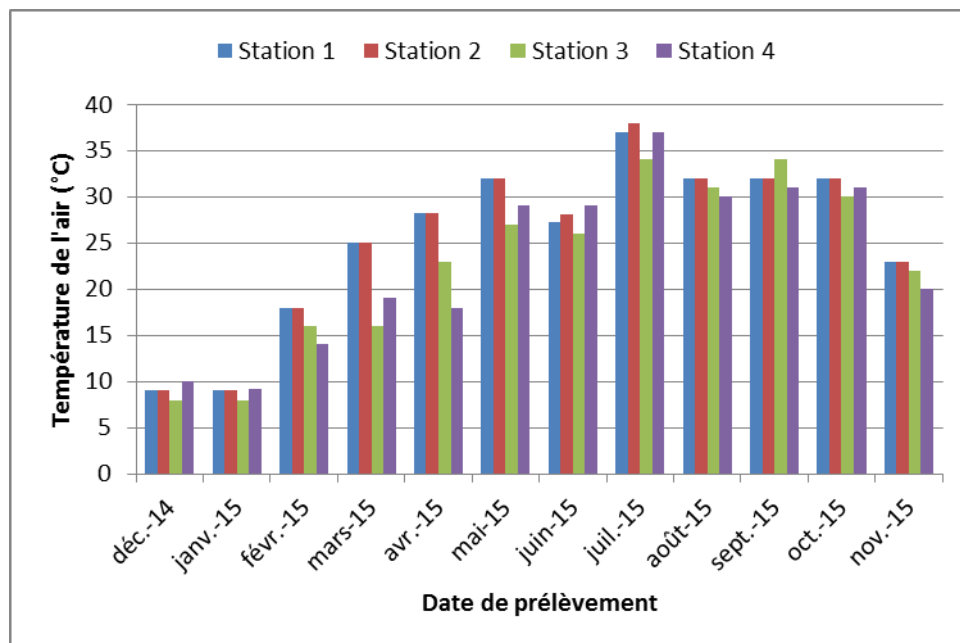


Figure 9 : Evolution spatio-temporelle de la température de l'air dans les différentes stations de l'oued Grou.

2. Température de l'eau (°C)

La température est un facteur écologique qui joue un rôle très important dans le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz, la dissociation des sels dissous, l'évaporation, l'autoépuration, de même que sur les vitesses des réactions chimiques et biochimiques (Tahri, 2010).

Dans notre étude, la température de l'eau montre des variations spatio-temporelles très importantes (figure 10). Elle est généralement chaude en période estivale avec un maximum de 29,7 °C, et froide en période hivernale avec un minimum de 10,4 °C. À titre comparatif, au niveau de la station S₄, les valeurs enregistrées sont au voisinage de celles mesurées par Delhi et *al.*, (2012); 31°C et 15°C au niveau de la confluence avec la retenue SMBA.

En se référant à ces résultats, nous pouvons dire que le profil de la variation saisonnière de la température de l'eau suit celui de la température de l'air en rapport avec le climat de la région. Ceci, confirme que la température de l'eau reste liée aux conditions locales (climat, durée d'ensoleillement, débit) en accord avec (Brahimi et al., 2014).

En conclusion, selon la norme marocaine des eaux de surface (NM. 2002), les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les températures mesurées dans les eaux de l'oued Grou appartiennent à la classe moyenne à excellente.

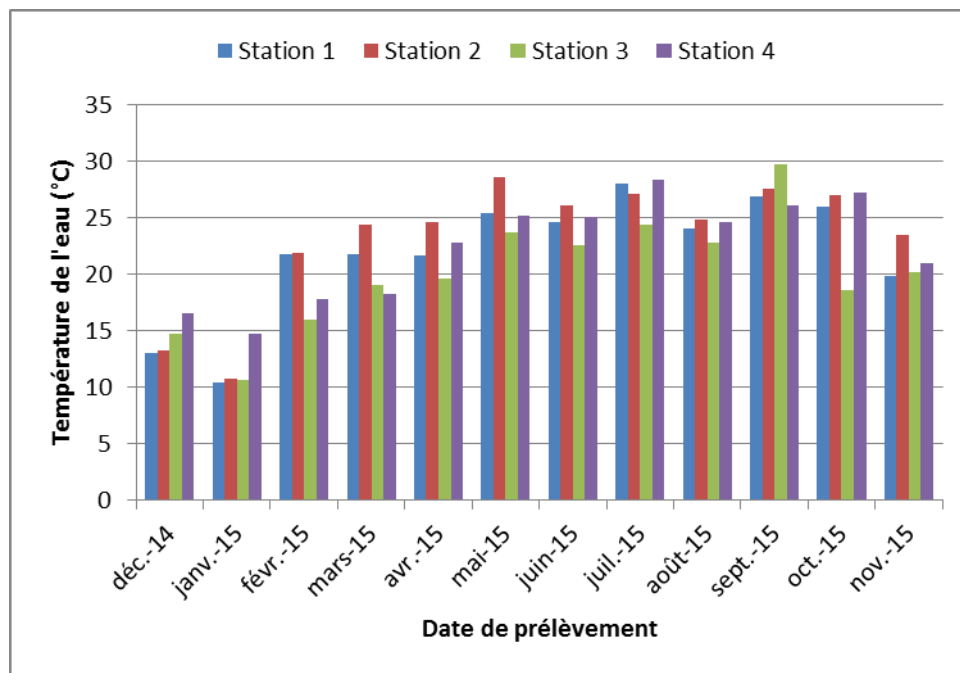


Figure 10 : Evolution spatio-temporelle de la température de l'eau dans les différentes stations de l'oued Grou.

3. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (El Blidi & Fekhaoui., 2003 ; Himmi et al., 2003.). Les effets d'un pH en haut de 8,5 sont le goût semblable au soda et la présence de dépôts (USEPA, 2007).

Les eaux de la partie aval de l'oued Grou enregistrent une variation saisonnière du pH comprise entre 7,65 et 9,21 (figure 11). Ce pH est relativement alcalin dû à l'effet des rejets qu'il reçoit tout au long de son parcours. Les valeurs basses sont enregistrées en période hivernale à cause de l'acidité des précipitations alors que les valeurs les plus élevées sont

enregistrées en période estivale à cause de l'activité bactérienne qui dégrade la matière organique abondante au fond et à cause de l'activité photosynthétique des algues (USEPA, 2007).

En conclusion, les variations spatio-temporelles du pH des eaux de la partie aval de l'oued Grou sont caractérisées par un pH alcalin, à l'exception de la station S₃ qui a un pH légèrement inférieur à 8,0 dû à l'effet de l'autoépuration. Il est supérieur à 8,0 dans toutes les stations durant tous les mois à l'exception des mois (décembre, janvier et février), dépassant ainsi la valeur seuil recommandée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) (qui devrait être de moins de 8). Selon (Anderson, 1975) l'eau qui a un pH de plus de 8,0 est difficile à traiter.

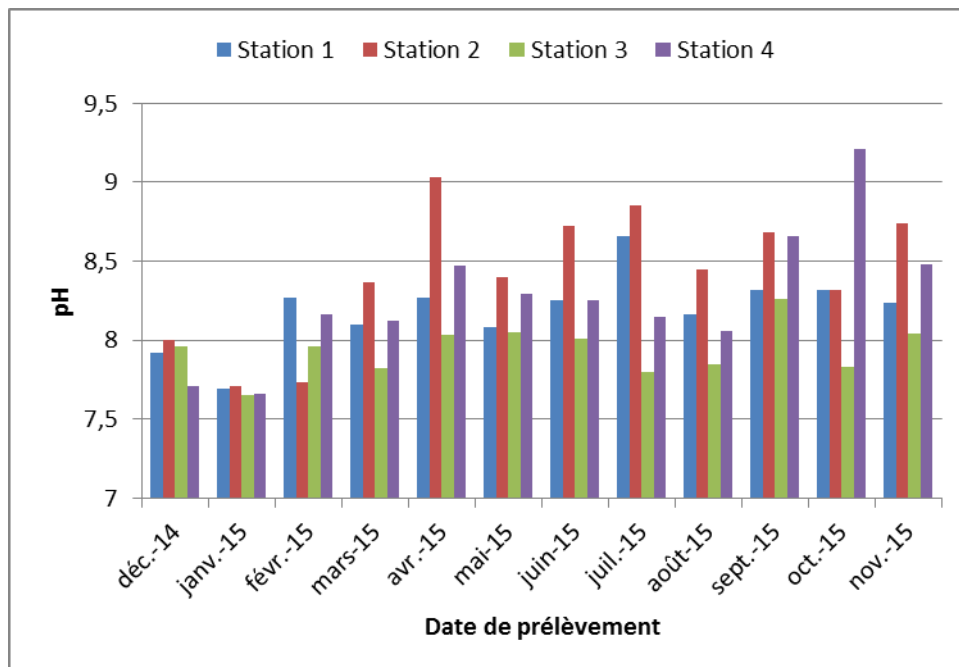


Figure 11 : Evolution spatio-temporelle du pH dans les différentes stations de l'oued Grou.

4. Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La mesure de la conductivité électrique (CE) constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit en fonction de sa concentration et sa conductivité. La CE traduit le degré de minéralisation globale, et renseigne sur le taux de salinité (Rodier et al. 2009).

Les résultats de la CE obtenus au cours de cette étude montrent des variations spatio-temporelles très importantes. Elles fluctuent entre 454 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mars (S₁) et 1710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octobre (S₃), montrent ainsi des variations spatio-temporelles différentes (figure 12). Ces

valeurs restent inférieures à la norme marocaine des eaux de surface fixée à 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (NM. 2002). Ce qui permet de classer les eaux de la partie aval de l'oued Grou dans la catégorie de bonne à moyenne qualité. Cette minéralisation est largement inférieure à celle enregistrée dans certains d'autres oueds Marocains, à titre d'exemple : (l'oued Khoumane par Ben Moussa et *al.*, 2012. ; l'oued Tizguit par Touabay et *al.*, 2002. et l'oued Boufekrane par Lamrani et *al.*, 2011.

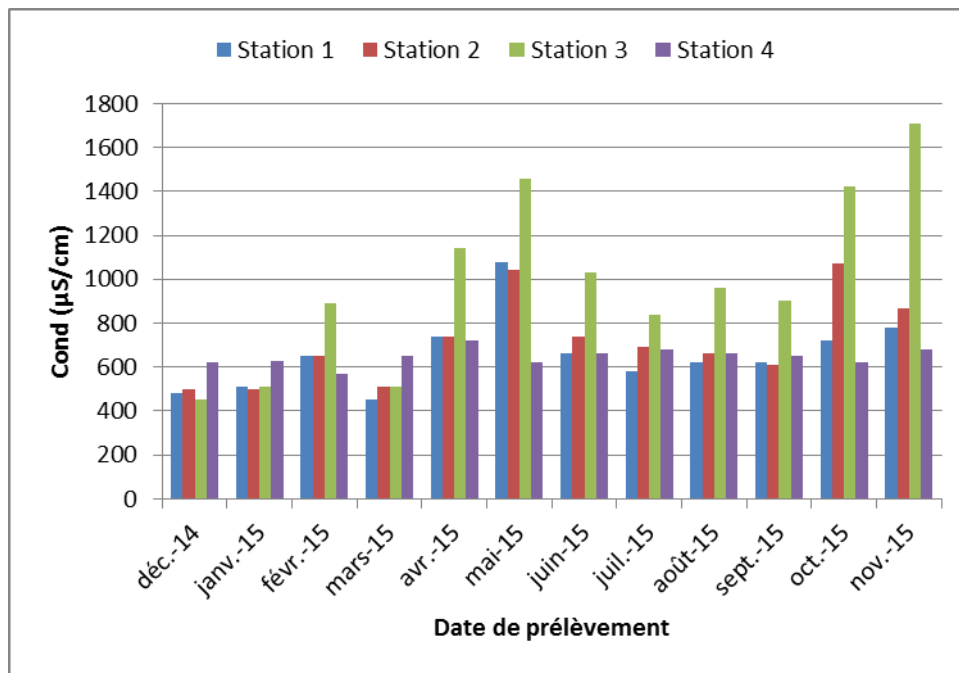


Figure 12 : Evolution spatio-temporelle la conductivité électrique dans les différentes stations de l'oued Grou.

5. Potentiel redox (mV)

Une eau chargée en substances nutritives est toujours le siège d'un potentiel redox bas alors qu'une eau propre est le siège d'un potentiel haut (Michard, 1967). La réduction dans les lacs peut avoir pour cause un excès de nutriment et conduire à la transformation des nitrates et des sulfates en ammonium et hydrogène sulfurés par les bactéries anaérobies qui ont tendance à se développer ce qui entraînerait l'odeur de l'œuf pourri en été (Delhi et *al.*, 2012).

Dans notre étude, les valeurs du potentiel redox varient entre un minimum de -161 mV en S₄ et un maximum de -65 mV en S₃, montrent ainsi des variations spatio-temporelles très importantes. Les niveaux les plus bas ont été enregistrés en période estivale alors que les plus élevés ont été enregistrés en période hivernale (figure 13).

Tout en allant de la station S₁ vers la station S₂, on observe une réduction des valeurs du redox. Ceci pourrait expliquer du fait que le cours d'eau reçoit directement les eaux usées

généérées par la commune rurale de Jmaa Moulblad sans aucun traitement préalable, causant ainsi la diminution des teneurs en oxygène et par la suite la dégradation de la qualité de l'eau. Cette constatation est en accord avec Delhi et *al.*, 2012 ; les redox hauts se coïncident avec les fortes teneurs en oxygène alors que les redox bas sont en accord avec le manque d'oxygène.

Ensuite, au niveau de la station S₃, située à 35 Km de la station S₂, distance suffisante à la mise en place du phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau. Les valeurs du redox enregistrées à ce niveau augmentent, due à l'effet de l'autoépuration de l'eau et à l'effet de la profondeur faible qui favorise l'agitation de l'eau ainsi, l'oxygénation de l'eau.

Enfin, au niveau de la station S₄, zone de confluence avec les eaux de la retenue SMBA (mésotrophe), les valeurs du redox enregistrées diminuent à nouveau. Ceci pourrait expliquer par le ralentissement de la vitesse du courant et par l'augmentation progressive de la profondeur. Ces facteurs favorisent la précipitation des éléments nutritifs et les sels minéraux, ainsi la diminution de taux d'oxygène et la réduction du redox.

En conclusion, les valeurs des potentiels redox obtenues montrent respectivement, l'effet polluant au niveau de la station S₂, l'effet auto-épuratif naturel au niveau de la station S₃ et l'effet mésotrophe au niveau de la station S₄.

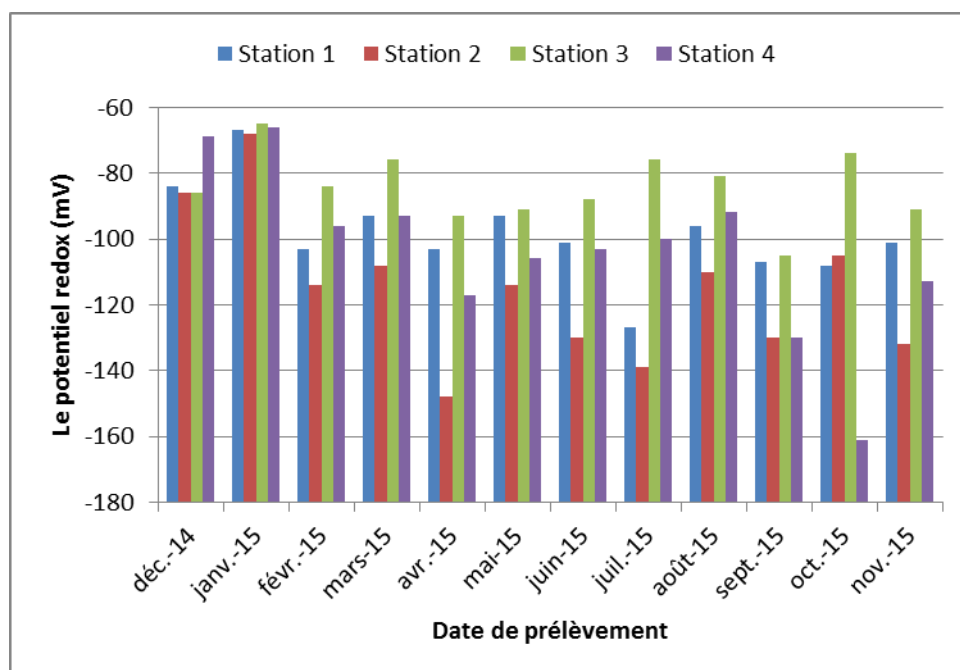


Figure 13 : Evolution spatio-temporelle du potentiel redox dans les différentes stations de l'oued Grou.

6. Salinité (Sal)

La salinité est liée principalement à l'origine des eaux (El Blidi, 2005).

Dans cette étude, les valeurs de la salinité obtenues dans les quatre stations, montrent des variations spatio-temporelles très importantes (figure 14). Elles varient entre un minimum de 0,1 g/l enregistré à la station S₁ en décembre et un maximum de 0,8 g/l enregistré à la station S₃ en novembre. Ceci pourrait expliquer par :

- l'effet des eaux usées provenant de la commune rurale de Jmaa Moulblad sans aucun traitement préalable.
- l'effet de la pente faible qui rend la vitesse du courant presque nulle en inhibant le phénomène d'autoépuration.
- l'effet de la forte évaporation en l'absence de toute précipitation, favorise l'élévation de la salinité en période estivale.
- la nature des sols traversés et l'origine des eaux.

En conclusion, on note une salinité élevée dans les eaux de l'oued Grou avec un gradient croissant tout en allant vers l'aval.

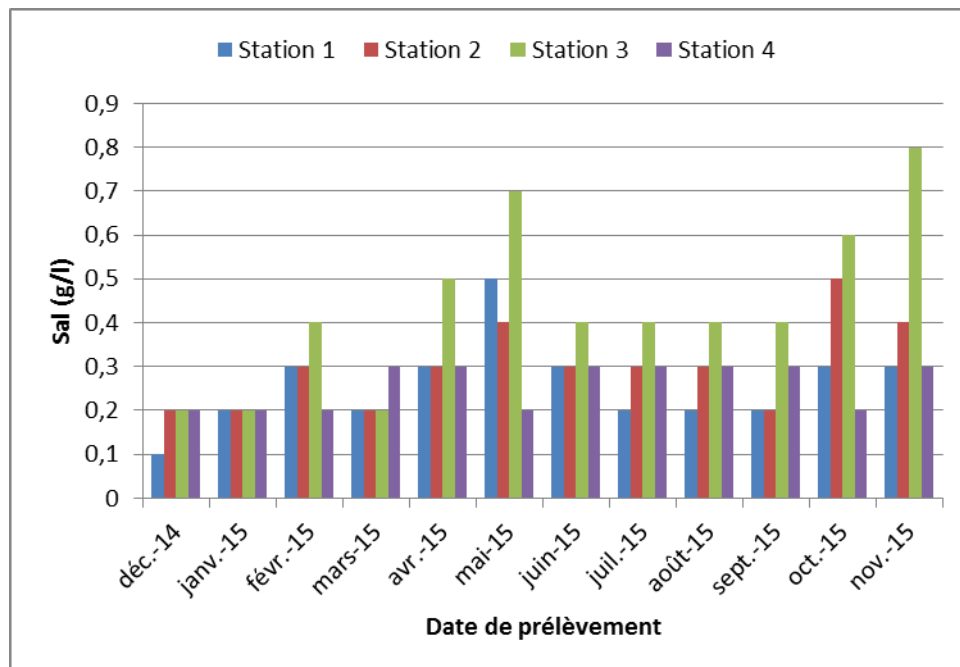


Figure 14 : Evolution spatio-temporelle de la salinité dans les différentes stations de l'oued Grou.

7. Dureté totale (TDS)

La dureté totale (TDS) est la conséquence de la présence de cations divalents métalliques dans l'eau (Dégremont, 1989). Elle représente un facteur important pour la faune, le calcium (Ca^{++}) et le magnésium (Mg^{++}) assurent un grand rôle dans les processus de la régulation ionique au niveau du métabolisme général de plusieurs espèces saumâtres et leur distribution (Pora., 1969). Ces deux cations jouent un rôle important dans la régulation ionique du système calco carbonique (Carrel et *al.*, 1986). La teneur est étroitement liée à la nature géologique des terrains traversés. Elle peut être fonction de la pollution dans la mesure où la solubilité du CaCO_3 est augmentée en présence de protéines et d'acides faibles résultant de l'oxydation des matières organiques.

La TDS de l'eau varie au niveau de la partie aval de l'oued Grou selon le même gradient que celui de la salinité et montre des fluctuations spatio-temporelles très importantes. En effet, les valeurs obtenues oscillent entre 199 mg/l (S_1) en décembre et 910 mg/l (S_3) en novembre (figure 15), montrent ainsi que la dureté est d'autant plus élevée qu'on avance de l'amont vers l'aval. Ce qui traduit encore une fois, l'effet des terrains traversés et les rejets que reçoit ce cours tout au long de son lit en provoquant la précipitation des cations Ca^{++} et Mg^{++} , à ceci s'ajoute la pente faible qui inhibe le phénomène d'autoépuration naturelle. Par ailleurs, on note une TDS élevée qui reflète une dégradation de la qualité de l'eau de la partie aval de l'oued Grou.

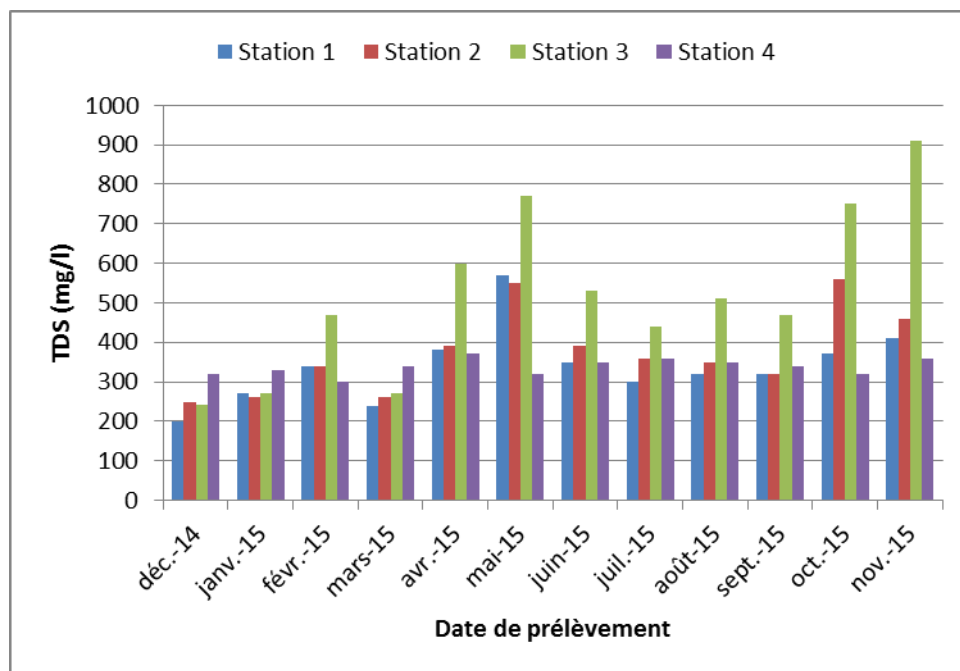


Figure 15 : Evolution spatiotemporelle de la dureté totale dans les différentes stations de l'oued Grou.

8. Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

La DBO₅ indique la quantité d'oxygène moléculaire utilisée par les microorganismes pendant 5 jours d'incubation à 20 °C pour décomposer la matière organique dissoute ou en suspension, contenue dans 1 litre d'eau (Chapman, 1996 ; Derwich et *al.*, 2010).

Les normes européennes et marocaines (NMES) de potabilité retiennent les valeurs guides de 6 à 10 mg/l.

Dans notre étude, les teneurs en DBO₅ oscillent entre 8,90 mg/l (S₁) en avril et 20,8 mg/l (S₂) en novembre, montrent ainsi des variations spatio-temporelles très importantes (figure 16).

Tout d'abord, les teneurs en DBO₅ au niveau de la station S₁ sont comprises entre 8,90 mg/l et 19,8 mg/l avec une moyenne de 15,63 mg/l qui dépasse la valeur guide. Ceci, pourrait être expliqué du fait, qu'au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'amont, le cours d'eau reçoit de plus en plus les eaux provenant des activités anthropiques chargées des matières organiques. Puis, les valeurs de la DBO₅ augmentent légèrement au niveau de la station S₂, due à l'effet des eaux usées provenant de la commune rurale de Jmaa Moulblad sans aucun traitement préalable. Ensuite, tout en allant vers la station S₃, on observe des petites améliorations dans le sens aval, créant ainsi un gradient décroissant, signe d'une autoépuration naturelle de la rivière. Finalement, au niveau de la station S₄, ses valeurs augmentent à nouveau légèrement, due à l'effet mésotrophe des eaux de la retenue de SMBA.

En conclusion, dans toutes les stations de la partie aval de l'oued Grou, les valeurs moyennes de la DBO₅ obtenues aussi bien en période estivale qu'en période hivernale, demeurent supérieures à la valeur guide des normes européennes et marocaines (NMES) (6 à 10 mg/l). De ce fait, les eaux de l'oued Grou sont classées dans la catégorie des eaux de mauvaise qualité.

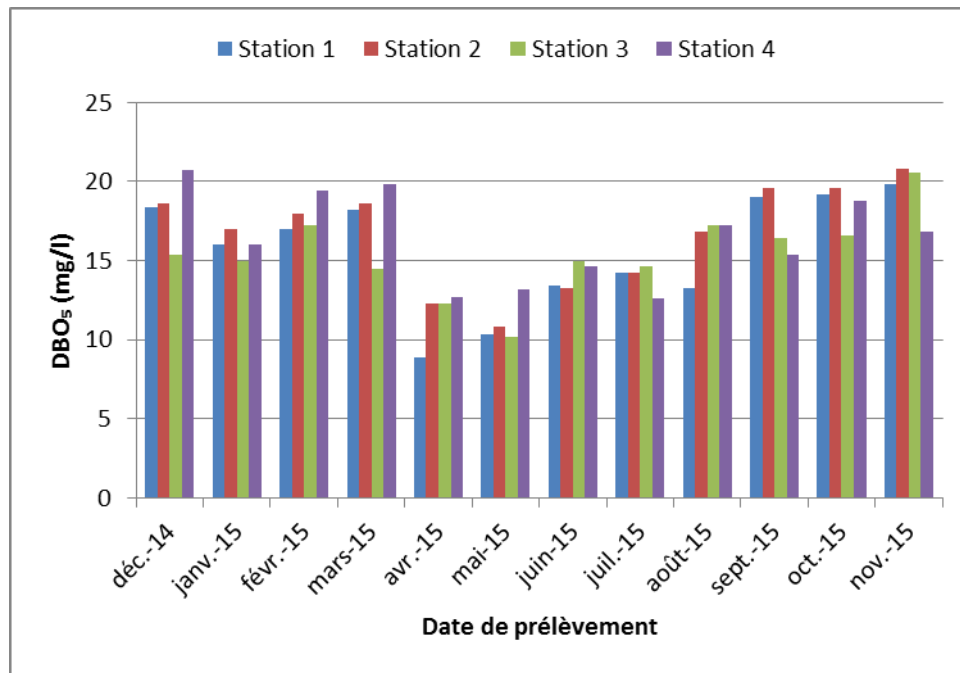


Figure 16 : Evolution spatio-temporelle de la demande biochimique en oxygène dans les différentes stations de l’oued Grou.

9. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité d’oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l’eau. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures.. etc.) Makhoukh et *al.*, 2011.

Dans cette étude les teneurs en DCO enregistrées, sont comprises entre 23,2 mg/l (S_1) en avril et 55,5 mg/l (S_2) en novembre, montrent ainsi des variations spatio-temporelles très importantes (figure 17). En période hivernale les valeurs obtenues dans toutes les stations sont supérieures à celles mesurées en période estivale, ceci pourrait expliquer par le lessivage et les apports en eaux de ruissellement, surtout au niveau de la station S_4 située plus en aval. Par ailleurs, en période estivale les teneurs enregistrées au niveau des stations S_1 et S_3 sont légèrement inférieures à celles enregistrées respectivement au niveau des stations S_2 et S_4 . Ceci pourrait expliquer d’une part par les rejets en eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad au niveau de la station S_2 , et d’autre part par l’effet mésotrophe des eaux de la retenue SMBA au niveau de la station S_4 .

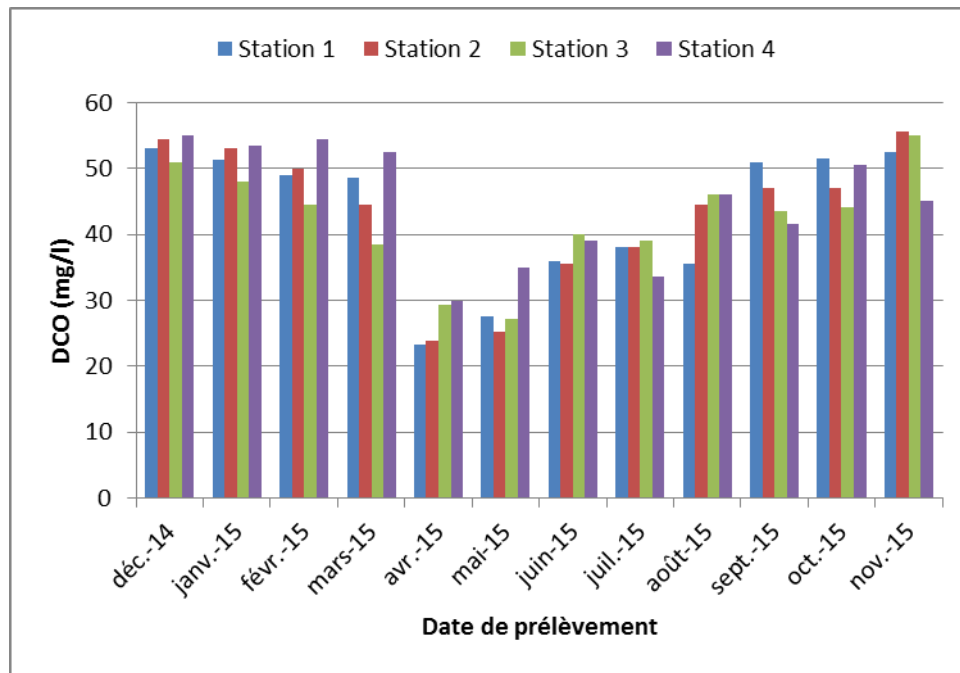


Figure 17 : Evolution spatio-temporelle de la demande chimique en oxygène dans les différentes stations de l’oued Grou.

En conclusion, les moyennes des teneurs en DCO enregistrées au niveau des quatre stations de la partie aval de l’oued Grou, dépassent légèrement la norme marocaine (NM. 2002) fixée à 40 mg/l. Par conséquent, les eaux de l’oued Grou peuvent être classées de bonne à moyenne qualité.

10. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES), représentent l’ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d’écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (Rodier et *al.* 2009).

Dans cette étude, les teneurs en MES, oscillent entre 190 mg/l (S₁) en avril et 510 mg/l (S₄) en décembre, montrent ainsi des variations spatio-temporelles très importantes (figure 18), les valeurs obtenues en période hivernale sont supérieures à celles mesurées en période estivale. Cette observation est en accord avec celles faites sur d’autres cours d’eau comme, oued Moulouya au Maroc (Makhouk et *al.*, 2011), oued Mellah en Algérie (Maoui et *al.*, 2011), et le fleuve du Sénégal (N’diaye et *al.*, 2013). En effet, en période hivernale, les teneurs élevées sont le résultat d’une manifestation hydrologique brutale (crue), dont la charge en MES est attribuée à une intense érosion du bassin versant. Les apports de la crue sont d’origine organique et minérale (débris d’organismes, composés chimiques organiques et inorganiques,

sable, limon et argile). En période estivale, les concentrations en MES sont moins élevées dans toutes les stations à l'exception des stations S₂ et S₄, qui montrent des teneurs légèrement élevées, causées d'une part par les rejets en eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad et d'autre part par les eaux de la retenue SMBA (mésotrophe).

En conclusion, les valeurs de MES enregistrées au niveau des quatre stations dépassent largement la norme marocaine relative à la qualité des eaux superficielles (NM, 2002) fixée à 50 mg/l. Par conséquent, les eaux de la partie aval de l'oued Grou sont classées dans la catégorie des eaux de mauvaise qualité.

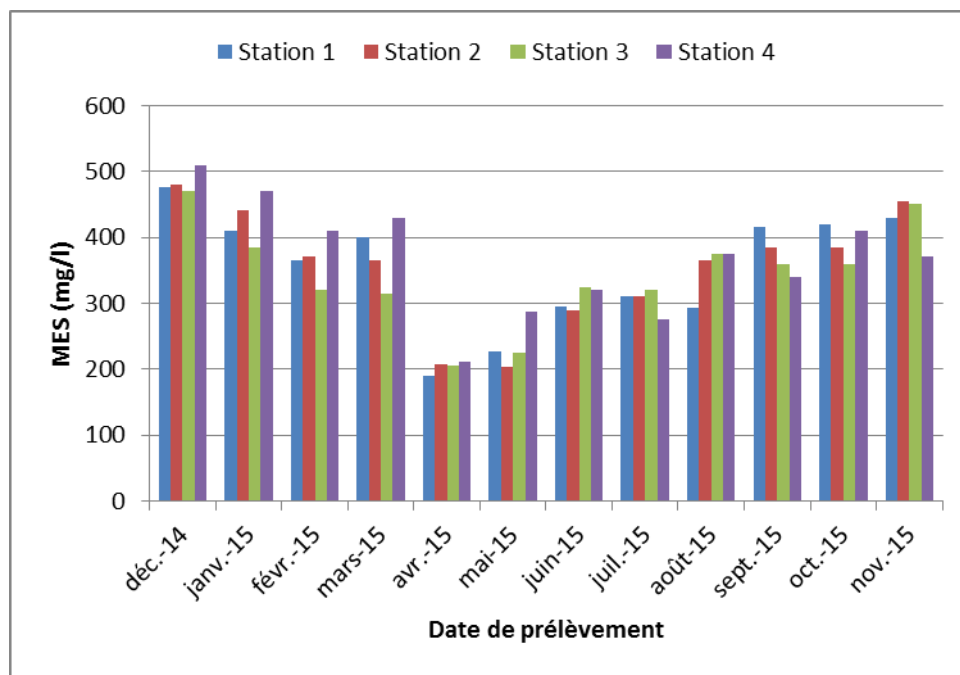


Figure 18 : Evolution spatio-temporelle des matières en suspension dans les différentes stations de l'oued Grou.

11. Carbone Organique Total (COT)

Le Carbone Organique Total (COT) est la quantité de carbone contenue dans l'eau, dans les matières organiques dissoutes ou en suspension dans l'eau. C'est un paramètre très important pour définir la qualité d'une eau, ou de définir son degré de pollution.

Dans notre étude, les teneurs en COT oscillent entre 6,7 mg/l (S₁) en avril et 16,2 mg/l (S₄) en janvier, montrent ainsi des variations spatio-temporelles très importantes (figure 19). Les valeurs obtenues dans toutes les stations en période hivernale sont supérieures à celles obtenues en période estivale. Ceci, peut être expliqué par les apports en eaux de ruissellements et le lessivage, surtout au niveau de la station S₄ située plus en aval. Par

ailleurs, on note une concentration élevée de COT qui traduit un état de pollution des eaux de l'oued Grou. Cette constatation est accord avec El Morhit et *al.*, 2012 ; qui ont expliqué la forte charge en COT de l'estuaire du bas Loukkos (8,33 et 19,96 mg/l), dans le sens amont-aval par une intense érosion du bassin versant, suite à des pluies orageuses brutales et aux apports de l'érosion et de la pollution.

En conclusion, les valeurs moyennes de COT enregistrées aux niveaux des quatre stations de l'oued Grou sont de 12,5 mg/l en S₁, 12,7 mg/l en S₂, 12,6 mg/l en S₃ et de 13 mg/l en S₄. Ces valeurs sont supérieures à celles enregistrées au niveau de l'oued Bouregreg 7,8 mg/l ; (Zidane et *al.*, 2012.) et à celles enregistrées au niveau de l'estuaire du port Jackson 4,54 mg/l ; (Hatje, 2003). Cette forte charge est aussi attribuée aux rejets que reçoit ce cours d'eau tout au long de son lit et à l'effet mésotrophe des eaux de la retenue SMBA au niveau de la station S₄.

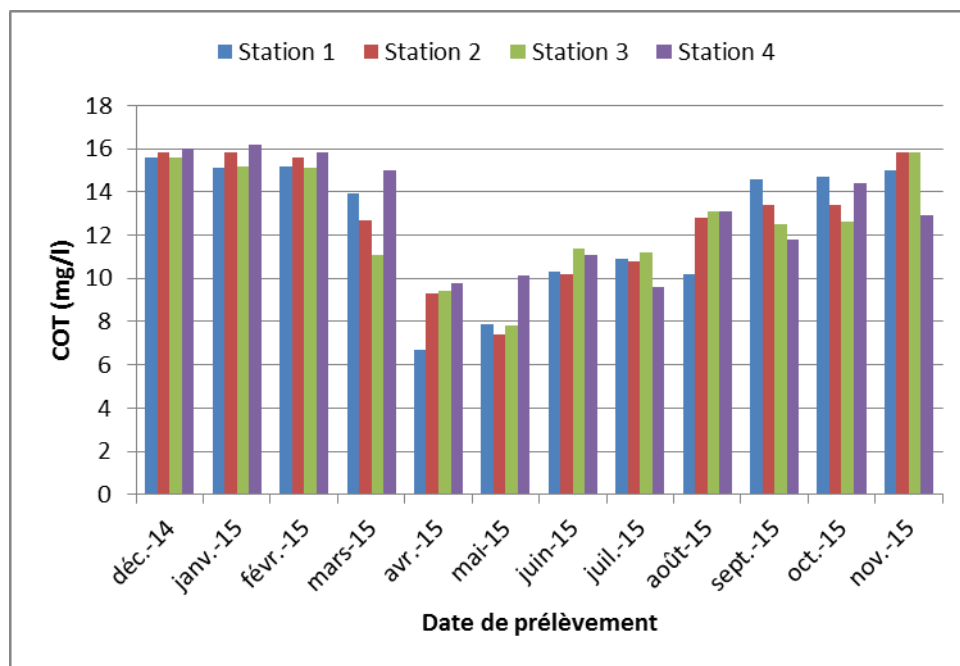


Figure 19 : Evolution spatio-temporelle de carbone organique total dans les différentes stations de l'oued Grou.

12. Etude typologique

12. 1. Introduction

L'importance des données recueillies dans l'étude physico-chimique nécessite une approche statistique, afin de tenter une meilleure interprétation, mettre en évidence une structure spatiotemporelle et repérer les facteurs déterminants dans le fonctionnement de cet écosystème. Nous avons étudié statistiquement les données physico-chimiques par l'analyse

en composante principales (ACP). Cette méthode factorielle, basée sur l'analyse des corrélations entre les variables dont la réduction du nombre de caractères se fait par la construction de nouveaux caractères synthétiques ou composantes principales, est issue par combinaison linéaire des caractères initiaux (Tahri, 2010).

12. 2. Synthèse typologique des analyses physico-chimiques

Les codes des relevés effectués sont notés dans le tableau 3. La matrice de données (Annexe 3) est représentée par un tableau de 48 lignes (stations) et 11 colonnes (teneurs physicochimiques).

Tableau 3 : Codes des prélèvements effectués dans les différentes stations.

Mois	Jmaa Moulblad S1	Jmaa Moulblad S2	Aghbal S3	Tnin Sidi Azouz S4
Décembre	S1-12	S2-12	S3-12	S4-12
Janvier	S1-1	S2-1	S3-1	S4-1
Février	S1-2	S2-2	S3-2	S4-2
Mars	S1-3	S2-3	S3-3	S4-3
Avril	S1-4	S2-4	S3-4	S4-4
Mai	S1-5	S2-5	S3-5	S4-5
Juin	S1-6	S2-6	S3-6	S4-6
Juillet	S1-7	S2-7	S3-7	S4-7
Août	S1-8	S2-8	S3-8	S4-8
Septembre	S1-9	S2-9	S3-9	S4-9
Octobre	S1-10	S2-10	S3-10	S4-10
Novembre	S1-11	S2-11	S3-11	S4-11

Les résultats montrent que le premier axe (F1) extrait 48,28 % de l'inertie, le deuxième (F2) 25,5 % et le troisième axe (F3) extrait 18,674 %, totalisant donc plus de 92,454 % de l'inertie totale, soit la majorité de l'information expliquée sur la distribution des variables et des stations étudiées (tableau 4) et (figure 20)

Tableau 4 : Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes.

	F1	F2	F3
Valeur propre	5,311	2,805	2,054
Variabilité (%)	48,280	25,500	18,674
% cumulé	48,280	73,780	92,454

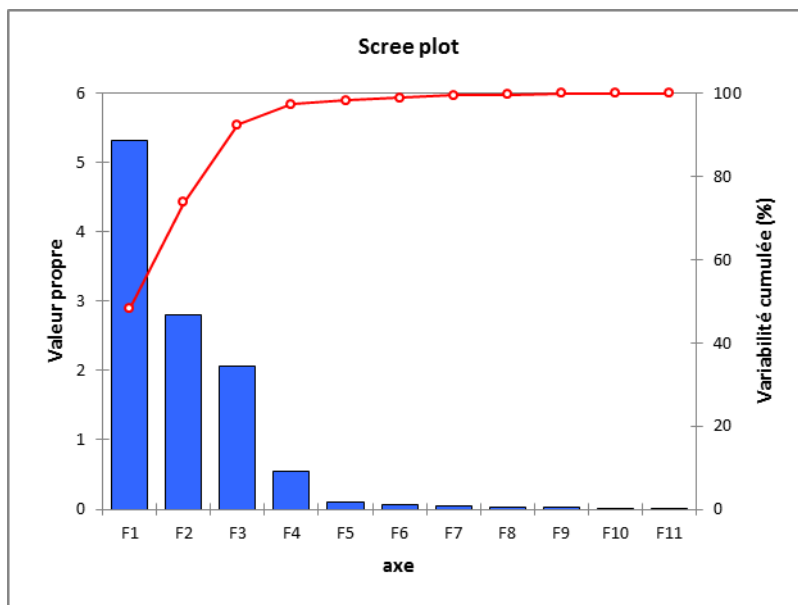


Figure 20 : Valeurs propres des trois axes et leurs contributions cumulées à l'inertie totale

Les deux premières composantes principales reconstruisent plus de 73,78 % de la variance totale, nous allons analyser le cercle de corrélations du plan de projection des variables F1×F2.

Les contributions des différentes variables dans la constitution des deux premières composantes sont illustrées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Codes de l'ACP et corrélations des variables avec les axes

Variabiles	Codes	Axe F1	Axe F2
Température de l'air	T de l'air	-0,775	-0,216
Température de l'eau	T de l'eau	-0,746	-0,355
pH	pH	-0,492	-0,633
Conductivité électrique	CE	-0,514	0,781
Potentiel redox	mV	0,492	0,634
Salinité	Sal	-0,512	0,776
Dureté totale	TDS	-0,520	0,780
Demande Biochimique en Oxygène	DBO ₅	0,707	0,001
Demande Chimique en Oxygène	DCO	0,880	0,057
Matières en suspension	MES	0,882	0,040
Carbone Organique Total	COT	0,906	0,070

Le plan de projection F1×F2 (Figure 21) montre que les 11 variables sont bien représentées sur le cercle de corrélation. L'axe factoriel F1 se trouve bien corrélé avec les quatre variables demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, matières en suspension et le carbone organique total du côté positif de la composante principale, et avec les deux variables température de l'air et température de l'eau du côté négatif de la composante

principale. Alors que l'axe factoriel F2 est bien corrélé avec les quatre variables conductivité électrique, potentiel redox, salinité et dureté totale situés du côté positif de la composante principale, et avec le variable pH du côté négatif de la composante principale.

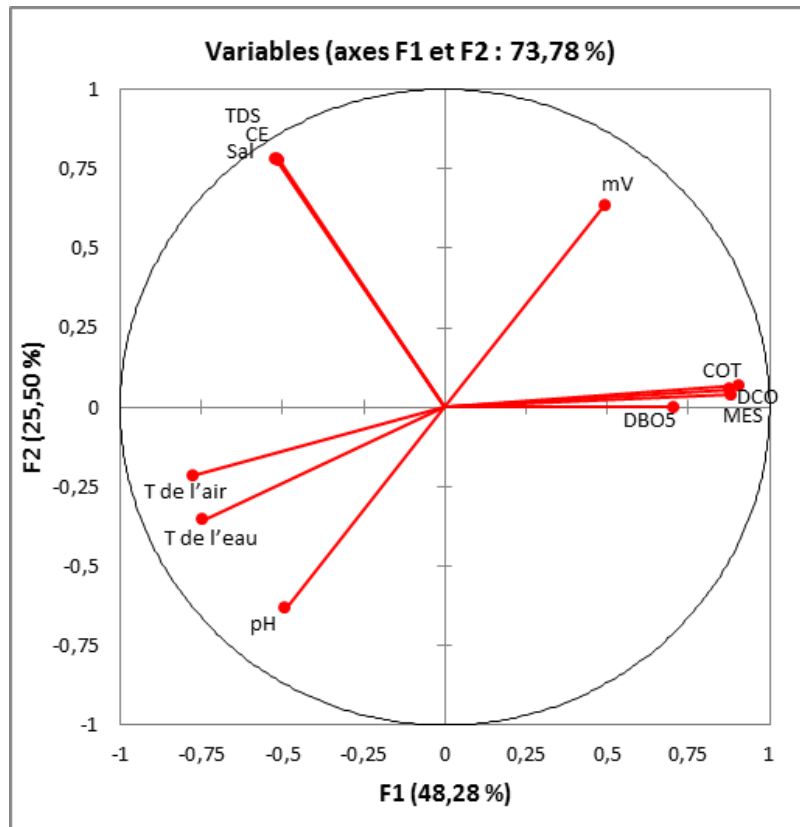


Figure 21 : Cercle de corrélation des variables

A cette typologie de variables, correspond une typologie de relevés qui permettra de repérer plus clairement les tendances susceptibles de dominer la situation. L'analyse de la carte factorielle (figure 22) montre l'individualisation de 4 groupes de prélèvements tout au long de l'axe de composante principale F1, selon un gradient de saisonnalité et leurs degrés de pollution. Encore on observe un double gradient :

- Un gradient croissant de minéralisation bas-haut lié à la présence des teneurs élevées en salinité, dureté totale et conductivité électrique. Ces éléments sont liés en large partie aux engrais et aux fertilisants utilisés en agriculture.
- Le deuxième gradient, sur l'axe F1, croissant gauche-droite lié la présence des teneurs élevées en matières en suspension, demande chimique en oxygène et carbone organique total, témoigne l'effet des précipitations et des manifestations hydriques brutales.

Un premier groupe P de relevés appartenant tous à la saison printemps, caractérisés par une température de l'eau et de l'air élevée, un pH basique, et par des teneurs élevées en sels (salinité, dureté totale et conductivité électrique) dues aux fertilisants utilisés en agriculture à ce moment de l'année. D'autre part, ces relevés sont caractérisés par des teneurs faibles en matières en suspension, demande chimique en oxygène et carbone organique total dû au phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau. On déduit donc que toutes les stations (S1, S2, S3 et S4) sont touchées par la pollution et que cette pollution est due à l'utilisation non rationnelle des engrais en agriculture à ce moment de l'année.

Un deuxième groupe H de relevés appartenant tous à la saison hivernale. Sur l'axe F1 ce groupe est en opposition avec le précédent. Ces relevés sont caractérisés par des teneurs faibles en sels (salinité, dureté totale et conductivité électrique), un pH acide et par une température de l'eau et de l'air basse. D'autre part, sont caractérisés par des teneurs élevées en matières en suspension, demande chimique en oxygène et carbone organique total, dues aux précipitations et aux manifestations hydriques brutales de cette période de l'année en accord avec (Arifi et *al.*, 2018b).

Un troisième groupe E de relevés appartenant tous à la saison estivale, caractérisés par une température de l'eau et de l'air élevée, un pH basique et par des teneurs légèrement élevées en sels (salinité, dureté totale et conductivité électrique). Montrent ainsi que toutes les stations (S1, S2, S3 et S4) sont touchées par la pollution, due aux rejets que reçoit ce cours d'eau tout au long de son lit, notamment au niveau de la station S2.

Un quatrième groupe A de relevés appartenant tous à la saison automne, caractérisés par des teneurs légèrement élevées en sels (salinité, dureté totale et conductivité électrique) du côté positif de la composante principale F2 et par des conditions moyennes vis-à-vis des caractéristiques des groupes précédents du côté négatif de la composante principale F2. Donc ces stations présentent des eaux moins polluées et montrent le pouvoir auto-épuratif de l'oued Grou.

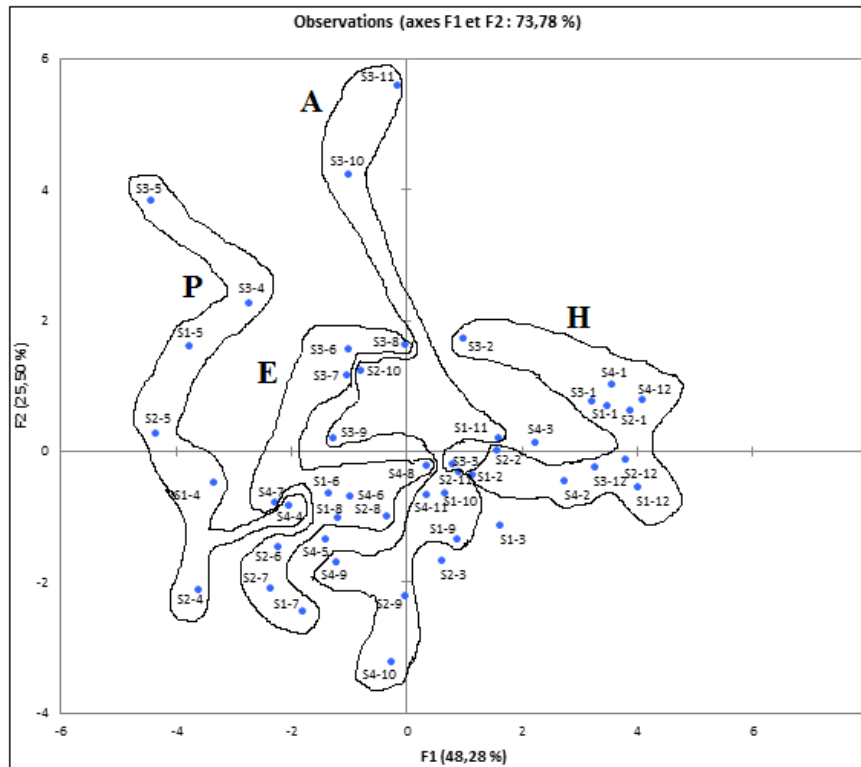


Figure 22 : Distribution des relevés physico-chimiques dans les eaux de l'oued Grou selon le plan F1xF2.

IV. CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus dans ce travail, on constate une dégradation de la qualité physico-chimique de l'eau de l'oued Grou, notamment au niveau de la station S_2 située en val des rejets en eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulbad, rejetées en grandes quantités sans aucun traitement préalable. Plus en allant vers l'aval, une autoépuration s'installe pour améliorer légèrement la qualité de l'eau au niveau de la station S_3 située à 35 Km de S_2 . Mais, sans qu'elle soit parfaite, du fait des caractéristiques morpho-dynamiques de ce cours d'eau. Enfin, au niveau de la station S_4 , les formations mousseuses indiquent que les polluants restent toujours présents dans l'eau sur une distance de plus de 65 km.

Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales (ACP) confirment les précédents et montrent que toutes les stations (S_1 , S_2 , S_3 et S_4) sont touchées par la pollution, ainsi que le degré de cette pollution diffère selon un gradient de saisonnalité. En effet, durant l'été elle est due aux rejets que reçoit ce cours d'eau tout au long de son lit. Durant l'hiver elle est due aux précipitations et aux manifestations hydriques brutales. Durant le printemps elle est due aux mauvaises pratiques agricole par l'utilisation massive des engrais et des

fertilisants. Enfin, durant l'automne, à l'exception des moments orageux, les stations montrent le pouvoir auto-épuratif de l'eau par une amélioration légère de leur qualité.

D'une manière générale, les résultats obtenus varient largement selon les paramètres physico-chimiques, les saisons et les stations. La majeure partie des analyses réalisées révèlent des teneurs qui dépassent largement celles des normes marocaines. Les causes résultent du comportement non responsable de la population qui habite tout au long de ce cours d'eau, l'exploitation des sables, les rejets en eaux usées et les apports de ruissellements aux périodes des crues suite à l'augmentation du lessivage en coïncidence avec la saison agricole où les sols sont riches en produits de fertilisation.

Pour remédier à ces problèmes, nous recommandons d'une part un traitement préalable des eaux usées avant d'être rejeté dans ce cours d'eau et d'autre part la mise en place d'un plan d'aménagement et de gestion durable du bassin versant de l'oued Grou, en gardant à l'esprit que toute perturbation de ses eaux de surface, aussi minime peut causer de graves conséquences.

CHAPITRE IV. EVALUATION DE LA QUALITE BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU DE L'OUED GROU

I. INTRODUCTION

La présence de bactéries dans l'eau est un phénomène normal et constitue un aspect primordial de la décomposition de la matière organique et du recyclage des éléments nutritifs essentiels au maintien des organismes aquatiques et de la chaîne trophique. Cependant, lorsque le milieu reçoit des déjections d'origine animale ou humaine, le nombre et le type de bactéries présentes peuvent rendre l'eau non appropriée pour certaines activités. Ces bactéries proviennent du tube digestif des mammifères et sont de bons indicateurs de la présence potentielle d'organismes pathogènes (les coliformes totaux, des coliformes fécaux, des entérocoques intestinaux, des salmonelles etc.) pouvant causer des problèmes de santé (gastro-entérites, dermatites, etc.). Selon, Angulo et *al.*, (1997) la consommation d'une eau contaminée par les microorganismes est à l'origine des plusieurs épidémies. Des concentrations trop élevées de ces bactéries peuvent compromettre la baignade et la pratique sécuritaire d'activités nautiques impliquant un léger contact avec l'eau (canotage, pêche à gué, etc.). Le rejet d'eaux usées domestiques non traitées, les débordements des réseaux d'égouts par temps de pluie, de même que l'épandage de fumier et de lisier sont les sources principales de la contamination bactériologique.

Dans la région de Rabat au Maroc, l'oued Grou joue un rôle très important, il contribue à l'abreuvement du cheptel, l'irrigation, la baignade et d'autres activités socio-économiques de la population locale. Il contribue également à l'alimentation de la retenue du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah (SMBA) destinée à la production des eaux potables et industrielles pour toute la région côtière allant de la grande ville Casablanca jusqu'à Rabat (Delhi et *al.*, 2012). Mais, l'intense impression qui s'exerce sur ses ressources en eau dégrade leur qualité. En effet, au cours de son écoulement de l'amont vers l'aval, ce cours d'eau reçoit les eaux usées des agglomérations urbaines qu'il traverse, les apports de petits ruissellements, surtout en hiver, en provenance des montagnes et des terrains agricoles. Ainsi que l'utilisation des matières fécales des animaux en agriculture, comme engrais, dans les aires cultivées au bord de son lit, constitue une source de la contamination bactérienne. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce chapitre qui a pour but d'évaluer la qualité bactériologique de l'eau de l'oued Grou.

Dans ce cadre, deux volets ont été traités :

- L'évaluation de la qualité sanitaire des eaux de l'oued et cela par la recherche et le dénombrement de coliformes totaux CT, et l'évaluation de la contamination d'origine fécale et cela par la recherche et le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale (les Coliformes Fécaux : CF et les Entérocoques Intestinaux (EI).
- la mise en évidence de la présence ou de l'absence des germes pathogènes de type salmonelles.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Techniques de prélèvement

Un échantillonnage saisonnier a été effectué au niveau de la partie aval de l'oued Grou, durant la période (décembre 2016 – juillet 2017). Les échantillons de l'eau ont été prélevés dans des flacons à bouchons rodés, de 1000 ml stérilisés au préalable à l'autoclave, restés fermés jusqu'à leur immersion dans l'eau, avec une très grande précaution pour qu'ils ne soient pas contaminés ni au moment du prélèvement ni avant leur analyse. Juste après le prélèvement, les échantillons sont placés dans une glacière avec des caisses isothermes pour maintenir la température à 4°C, puis transportés au laboratoire du Département de Microbiologie et Hygiène Alimentaire de l'Institut National d'Hygiène à Rabat pour être rapidement analysés.

2. Mode opératoire

Les analyses bactériologiques ont pour but de mettre en évidence la présence des bactéries qui modifient la qualité d'une eau suite à une utilisation donnée.

La majorité des germes pathogènes habituellement véhiculés par une eau vit dans l'intestin de l'Homme et des animaux à sang chaud. La contamination d'une eau par des matières fécales impose à ce que celle-ci soit considérée comme non potable.

Cette contamination peut être mise en évidence par la présence d'une bactérie qui vit généralement ou exclusivement dans l'intestin de l'Homme et des animaux à sang chaud. Il s'agit d'*Escherichia coli*, des coliformes dits fécaux, des entérocoques intestinaux qui sont considérés comme des germes d'origine fécale (Rodier et *al*, 2009).

Dans notre travail, aux niveaux des quatre stations d'échantillonnages de l'oued Grou, nous avons procédé au dénombrement des bactéries indicatrices de la qualité sanitaire de l'eau tels

que les coliformes totaux (CT), des bactéries indicatrices de la contamination fécale tels que, les coliformes fécaux (CF) et les entérocoques intestinaux (EI), et la recherche des germes pathogènes de type salmonelles.

3. Normes utilisées

Pour être conforme aux normes marocaines (NM) :

- Les coliformes totaux (CT) et les coliformes fécaux (CF) sont dénombrés et recherchés selon la norme marocaine NM 03.7.003-2005.
- Les entérocoques intestinaux (EI) sont dénombrés et recherchés selon la norme marocaine NM 03.7.006-2006.
- Les salmonelles sont recherchés selon la norme marocaine NM 03.7.050-1995.

4. Analyses bactériologiques

4.1. Coliformes

La présente partie décrit la méthode d'examen des échantillons d'eau pour y rechercher et dénombrer des bactéries coliformes, qui peut s'avérer utile dans les cas où il y a besoin d'une information rapide. Cette méthode est fondée sur la filtration sur membrane, comme elle a été décrite dans la norme marocaine (NM 03.7.003, 2005), pour la recherche et le dénombrement des *Escherichia coli* normalement présents dans les intestins de l'homme et des animaux homéothermes, et des bactéries coliformes fournissent une indication sur ce type de pollution. Cette méthode peut être appliquée à d'autres types d'eau, à condition que les matières en suspension ou la microflore ne créent pas d'interférence avec la filtration, la mise en culture et le comptage.

4.1.1. Coliformes Totaux (CT)

La recherche des CT, à partir des échantillons d'eaux des quatre stations de l'oud Grou, est réalisée selon la norme marocaine standardisée (NM 03.7.003, 2005).

Après avoir effectué la dilution nécessaire pour chaque échantillon d'eau des quatre stations de prélèvement, un volume de 100 ml d'eau de chaque échantillon est filtré, aseptiquement, sur une membrane stérile en nitrate de cellulose de porosité normale 0,45 µm (Sartorius).

La membrane est déposée à la surface d'un milieu gélosé sélectif au Tergitol et TTC (2, 3, 5-triphényltétrazoliumchloride (Biokar BK038HA) préalablement coulé, puis, incubée, à 37 °C, durant 24 heures.

Cinq colonies caractéristiques des CT, sur le milieu gélosé sélectif au Tergitol et TTC, de couleur jaune en raison de la fermentation du lactose, sont repiquées sur un milieu gélosé au Tryptons Soja (TSA) (Oxoid), pour la recherche de l'oxydase, puis cinq autres sont repiquées sur un milieu gélosé lactosé à l'éosine et au bleu de méthylène (EMB) (Oxoid CM 0069), pour la confirmation d'*Escherichia coli*.

Les colonies caractéristiques des CT, isolées sur le milieu gélosé sélectif EMB, sont violettes avec un reflet métallique. Par transparence, elles présentent un centre opaque occupant les $\frac{3}{4}$ de leur surface.

Les résultats sont exprimés en unités formant des colonies (UFC) par 100 ml d'échantillon (UFC/100 ml d'échantillon) (Annexe 5), selon la formule $[(N.F)/V].100$ où N est le nombre de colonie de CT dénombrées sur le milieu gélosé sélectif au Tergitol et TTC et confirmées en *E.coli* sur le milieu gélosé sélectif EMB, V le volume analysé et F le facteur de la dilution.

4.1.2. Coliformes Fécaux (CF)

4.1.2.1. Méthode

Les coliformes fécaux (CF), ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44.5 °C. L'espèce la plus fréquentée est associée au groupe bactérien d'*Escherichia coli* (*E. coli*) (80 à 90 %), dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (Santé Canada, 1991 ; Barthe *et al.*, 1998 ; Elmund *et al.*, 1999 et Edberg *et al.*, 2000). Leur présence témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents du secteur industriel ou encore agricole (Agunwamba, 2001 et OMS, 2000).

L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales (CEAEQ, 2000). Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau.

La recherche des CF, à partir des échantillons d'eaux des quatre stations de l'oued Grou, suit le même protocole expérimental que celui des CT ci-dessus, selon la norme marocaine standardisée (NM 03.7.003, 2005). Sauf que la température d'incubation des coliformes fécaux est de $44,50 \pm 0,25^\circ\text{C}$ pendant un temps d'incubation de 48 heures.

4.1.2.2. Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en unités formant des colonies (UFC) par 100 ml d'échantillon (UFC/100 ml d'échantillon) (Annexe 5), selon l'équation générale suivante :

$$UFC/100\text{ ml} = \frac{\text{Nombre de colonies de coliformes fécaux} \times V}{\text{Volume d'échantillon analysé en ml}} \times 100$$

Ou encore, selon la formule $[(N.F)/V].100$ où N est le nombre de colonie de CF dénombrées sur le milieu gélosé sélectif au Tergitol et TTC et confirmées en *E.coli* sur le milieu gélosé sélectif EMB, V le volume analysé et F le facteur de la dilution.

4.2. Entérocoques Intestinaux (EI)

4.2.1. Méthode

Selon la littérature, les entérocoques intestinaux (EI) sont un sous-groupe du groupe plus vaste d'organismes définis comme les streptocoques fécaux (SF), comprenant des espèces du genre *Streptococcus*. Ces bactéries sont à Gram positif et relativement tolérantes aux niveaux de chlorure, de sodium et de pH alcalin. Ils sont facultativement anaérobies et se produisent seuls, par paires ou sous forme de courtes chaînes. Les streptocoques fécaux, y compris les EI, réagissent tous positivement avec les antisérums de Lancefield du groupe D et ont été isolés dans les matières fécales d'animaux à sang chaud. Le sous-groupe des EI comprend les espèces *Enterococcus faecalis*, *E. aecium*, *E. durans* et *E. hirae*. Ce groupe a été séparé du reste des SF car ils sont relativement spécifiques à la pollution fécale. Cependant, certains EI isolés dans l'eau peuvent parfois aussi provenir d'autres habitats, y compris le sol, en l'absence de pollution fécale. D'une manière générale ils sont présents en grand nombre dans les eaux d'égout et les eaux polluées par les eaux usées ou par les déchets humains et animaux.

Les EI sont détectables par plusieurs méthodes qui nécessitent des installations de laboratoire de base en bactériologie. Les méthodes les plus couramment utilisées incluent la filtration sur membrane avec incubation des membranes sur des milieux sélectifs et le comptage des colonies après une incubation de 35 à 37 °C pendant 48 h. D'autres méthodes incluent une

technique de numération la plus probable comme elle a été décrite par Rodier et *al.*, (2009), dite aussi la méthode des tubes multiples, utilisant des plaques de microtitration dans lesquelles la détection est basée sur la capacité des entérocoques intestinaux à hydrolyser le 4-méthyl-umbelliféryl b-D-glucoside en présence d'acétate de thallium et d'acide nalidixique en l'espace de 36 h à 41 °C.

La présente partie est consacrée à la description de la méthode par filtration sur membrane pour la recherche et le dénombrement des EI présents dans une masse d'eau. Par ailleurs, d'autres espèces d'*Enterococcus* et certaines espèces du genre *Streptococcus* (notamment *S. bovis* et *S. equinus*) peuvent occasionnellement être détectées. Ces espèces de *Streptococcus* ne survivent pas longtemps dans l'eau et ne sont probablement pas dénombrées quantitativement. Pour les besoins de l'analyse de l'eau, les EI peuvent être considérés comme des indicateurs de pollution fécale. Il convient néanmoins de noter que certains EI trouvés dans l'eau peuvent, à l'occasion, provenir d'autres habitats (NM.03.7.005, 2006).

Cette méthode est spécialement adaptée à l'examen des eaux de boisson, des eaux de piscines, et d'autres eaux désinfectées ou propres. Néanmoins, la méthode peut être appliquée à tous types d'eaux, excepté en présence d'une abondance de matières en suspension ou de germes interférents. Elle est particulièrement adaptée à l'examen de grands volumes d'eau contenant peu d'EI.

La recherche des EI, à partir des échantillons d'eaux des différentes stations de l'oued Grou, est réalisée selon la norme marocaine standardisée (NM 03.7.005, 2006).

Après avoir effectué les dilutions nécessaires pour chaque échantillon, un volume de 100 ml d'eau à analyser est filtré sur une membrane en nitrate de cellulose de porosité nominale 0,45 µm (Sartorius). La membrane est ensuite transférée sur le milieu gélosé sélectif Slanetz et Bartley additionnée de TTC (Bio-Rad 356-4934) préalablement coulé, puis, incubée, à 37°C ± 1°C, durant 24 à 48 heures.

Après la période d'incubation, les colonies caractéristiques des SF, sur le milieu gélosé sélectif Slanetz et Bartley additionnée de TTC, sont rouge violacé, en raison de la réduction du chlorure 2, 3, 5-triphényl-tétrazolium. L'azide de sodium contenu dans le milieu inhibe la croissance des Entérobactériacées.

La confirmation des colonies de streptocoques fécaux en *Enterococcus intestinalis*se fait par le transfert de la membrane du milieu gélosé sélectif Slanetz et Bartley additionnée de TTC

vers le milieu gélosé sélectif Bile Esculine Azide (BEA préalablement coulé (Bio-Rad 64184).

L'incubation est effectuée à $44,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, pendant 2 heures. Les colonies caractéristiques des *Enterococcus intestinalis* sur le milieu gélosé sélectif BEA sont noires. En effet, *Enterococcus intestinalis* sur le milieu gélosé sélectif BEA sont noires. En effet, *Enterococcus intestinalis* hydrolyse l'esculine. Le produit final, la dihydroxy-6,7 coumarine, se combine avec les ions fer (III) et donne un composé noir qui diffuse dans le milieu.

4.2.2. Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en UFC/100 ml d'*Enterococcus intestinalis* (Annexe 5), selon la formule $[(N.F)/V].100$ où N est le nombre de colonies de streptocoques fécaux dénombrées sur le milieu gélosé sélectif Slanetz et Bartley et confirmées en *Enterococcus intestinalis* sur le milieu gélosé sélectif BEA, V le volume analysé et F le facteur de la dilution.

4.3. Salmonelles (Sal)

Parmi les agents pathogènes à diffusion hydrique, nous nous sommes intéressés dans ce travail à la recherche des salmonelles (Sal).

Selon la littérature, les Sal appartient à la famille des Enterobacteriaceae, ce sont des bacilles à Gram négatif non sporulés, ce sont des oxydases négatives, catalase positives qui n'hydrolysent pas l'urée, producteurs actifs de H₂O, glucose positif, lactose négatif, ONPG négatif, indol négatif, mobilité positive, gaz positif, H₂S positif généralement mobiles par des flagelles.

Ces germes de parasites intestinaux de l'homme et des animaux à sang chaud, sont éliminés dans les matières fécales. La présence de ces germes dans l'eau est liée à l'existence des populations riveraines d'individus infectés, des malades et des porteurs apparemment sains.

L'isolement des salmonelles présente une grande difficulté par leur présence en nombre très faible dans les eaux, par la coexistence d'une flore d'accompagnement d'origine fécale, et par leur survie difficile.

En effet, ces germes ont tendance à supplanter les germes pathogènes qui disparaissent rapidement, ce qui rend obligatoire la concentration des échantillons à partir d'un volume

d'eau important et d'utiliser des milieux d'enrichissement sélectifs dans le but d'inhiber le développement des autres bactéries.

La recherche des salmonelles nécessite plusieurs étapes :

- Un pré-enrichissement de 200 ml de l'eau à analyser est mélangé avec 200 ml de l'eau péptonée tamponnée à double concentration dans un flacon de 500 ml, ce dernier est incubé à 37 °C pendant 6 à 18 heures.
- Un enrichissement de 0,1 ml du premier enrichissement est réalisé dans 10 ml du bouillon Rappaport puis incubé à 42 °C pendant 18 à 24 h.
- L'isolement est fait sur milieu sélectif, il consiste à ensemercer le milieu Hektoen à partir du bouillon d'enrichissement puis à une incubation à 37 °C pendant 24 à 48 h.
- L'étape finale de notre travail consiste à observer s'il y a absence ou présence des colonies suspectes sur milieu Hektoen (Annexe 6).

5. Analyse des données

Dans le but de mettre en évidence les similitudes et les distorsions qui existent entre les différents paramètres agissant sur ce cours d'eau et afin de repérer les facteurs déterminants dans sa dynamique à travers une structure spatio-temporelle cohérente ; nous avons soumis l'ensemble des données recueillies (mesures bactériologique effectuées entre décembre 2016 et juillet 2017) à une analyse multivariée, l'analyse en composantes principales (ACP) à l'aide du logiciel **XLSTAT**, suite à l'établissement d'une matrice de données (Annexe 7), formée de 12 prélèvements (4 stations × 3 compagnes) et de 3 variables bactériologiques. L'ACP nous permettant de dégager une synthèse de l'information donnée ((Doledec et Chessel, 1987).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses bactériologiques de l'eau des quatre stations étudiées, sont représentés dans les annexes 5 et 6.

1. Variation spatio-temporelle des coliformes totaux

La variation spatiale de la charge en coliformes totaux (CT) montre des fluctuations entre les différentes stations de l'oued Grou (Annexe 5) et révèle l'existence d'un gradient croissant de S₁ vers S₂ puis diminue dans le sens aval (figure 23). Ceci pourrait être expliqué par les conditions locales particulières de chaque station et par l'effet direct des eaux usées de la

commune rurale de Jmaa Moulblad rejetées sans aucun traitement préalable, comme il a été expliqué par El Addouli et *al.*, (2011) dans le cas de l'oued Ouislane influencé par les rejets de la ville de Meknès et par Tahri, (2010) dans le cas de l'estuaire de Bouregreg influencé par les rejets domestiques des deux villes Rabat et Salé.

L'évolution temporelle de coliformes totaux (CT) tout au long des différentes stations de l'oued Grou, montre des fluctuations saisonnières très importantes (figure 23). Ils sont nombreux durant la saison sèche avec une valeur maximale de $8,5 \cdot 10^5$ UFC/100 ml en S₂ et légèrement réduits durant les autres saisons humides avec une valeur minimale de $1,22 \cdot 10^4$ UFC/100 ml en S₁. Ceci pourrait être expliqué en période sèche, par la diminution du débit de l'eau accompagné d'un apport accru en eaux usées, ainsi que la température élevée qui est un facteur très important favorisant la multiplication de nombreux germes. Et en période humide par les précipitations et les eaux de ruissellement qui augmentent le débit d'eau en diminuant la concentration de la charge bactérienne.

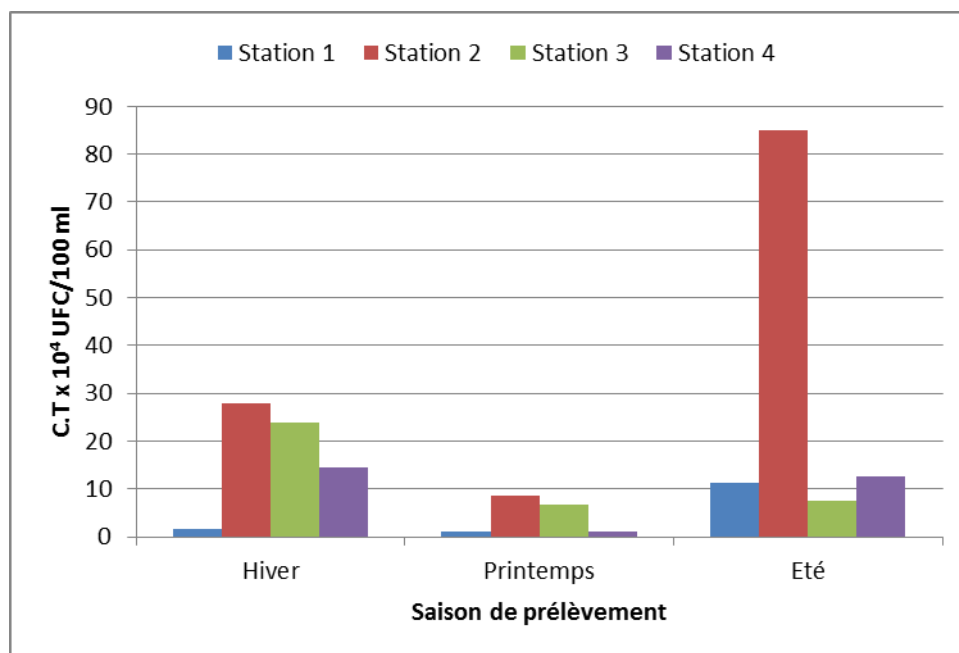


Figure 23 : Variations spatio-temporelles de la concentration en Coliformes Totaux (CT) dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.

2. Variation spatio-temporelle des coliformes fécaux

D'une manière générale, la variation spatiale des coliformes fécaux CF (Annexe 5), rappelle celle des CT et confirme la contamination fécale de l'eau de l'oued Grou et révèle la dégradation de leur qualité. La valeur moyenne de la concentration en CF est de $0,9 \cdot 10^4$ UFC/100 ml en S₁, cette valeur augmente à $6,04 \cdot 10^5$ UFC/100 ml en S₂, puis elle diminue tout en allant vers l'aval pour atteindre une valeur de $4,2 \cdot 10^4$ UFC/100 ml en S₃ et de $0,66 \cdot 10^4$

UFC/100 ml en S₄. Ceci permet de remarquer une nette dégradation de la qualité d'eau en S₂ située directement à l'effet des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad rejetées sans aucun traitement préalable, puis on observe une légère amélioration tout en allant vers l'aval en S₃ et en S₄, due à l'effet auto-épuratif naturel de l'eau comme il a été expliqué par Arifi et *al.*, (2018b).

Pour l'évolution temporelle, les plus fortes concentrations en coliformes fécaux (CF) ont été enregistrées au cours de la saison sèche (figure 24), avec une valeur maximale de $11,05 \times 10^5$ UFC/100 ml en S₂, celle-ci étant liée à la charge accrue en eaux usées, qui favorise l'enrichissement du milieu en germes et à la hausse température qui joue un rôle primordial à la multiplication des CF, comme il a été expliqué par Tahri, (2010) dans le cas de l'estuaire de Bouregreg.

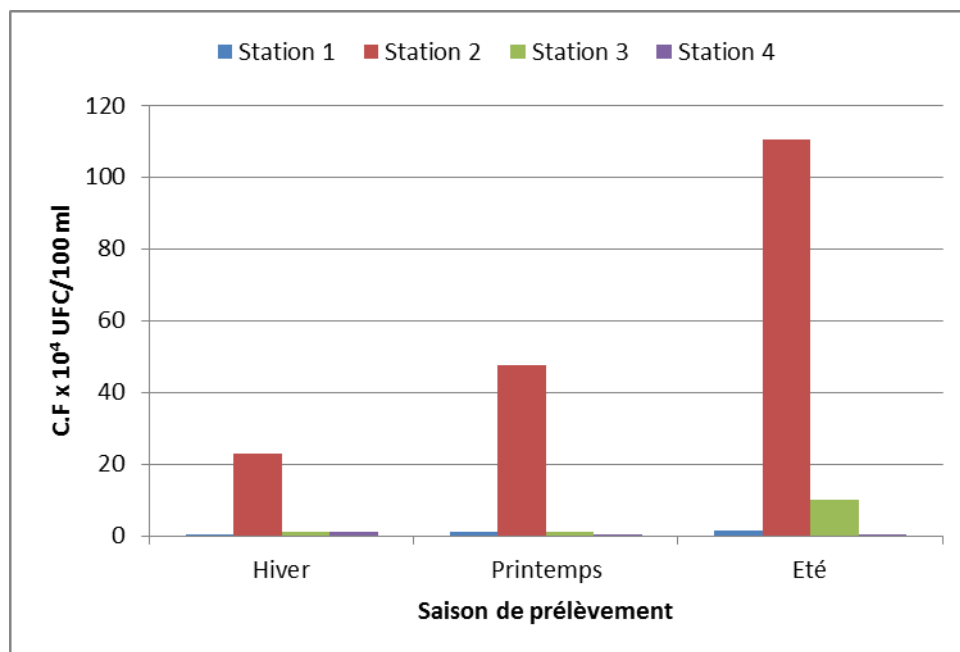


Figure 24 : Variations spatio-temporelles de la concentration en Coliformes Fécaux (CF) dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.

3. Variation spatio-temporelle des entérocoques intestinaux

L'évolution spatiale des entérocoques intestinaux (EI) montre que les concentrations les plus faibles ont été enregistrées dans les stations S₁ et S₄, avec respectivement $5,1 \times 10^2$ UFC/100 ml et $1,2 \times 10^2$ UFC/100 ml (Annexe 5). Alors que les concentrations les plus élevées ont été enregistrées dans les autres stations, notamment en S₂ avec une valeur maximale de $1,7 \times 10^4$ UFC/100 ml. Ce qui correspond à un gradient croissant de S₁ vers S₂ puis diminue vers l'aval en S₃ et en S₄. Ces résultats confirment ceux obtenus précédemment et concordent avec d'autres études (Fernandez-Alvarez et *al.*, 1991 ; Chahlaoui, 1996 ; Hunter et *al.*, 1999).

Pour la variation temporelle des EI, les concentrations les plus importantes ont été enregistrées en été (figure 25) où cette période, est caractérisée par la diminution du débit de l'eau et par un apport accru des eaux usées. Comparant aux autres saisons qui sont caractérisées par une légère diminution des concentrations dues aux précipitations et aux eaux de ruissellement qui augmentent le débit d'eau et par conséquent une diminution de la charge bactérienne. Contrairement à ce qui a été démontré par Ouahmidou et *al.*, (2015) au niveau de l'oued Ziz.

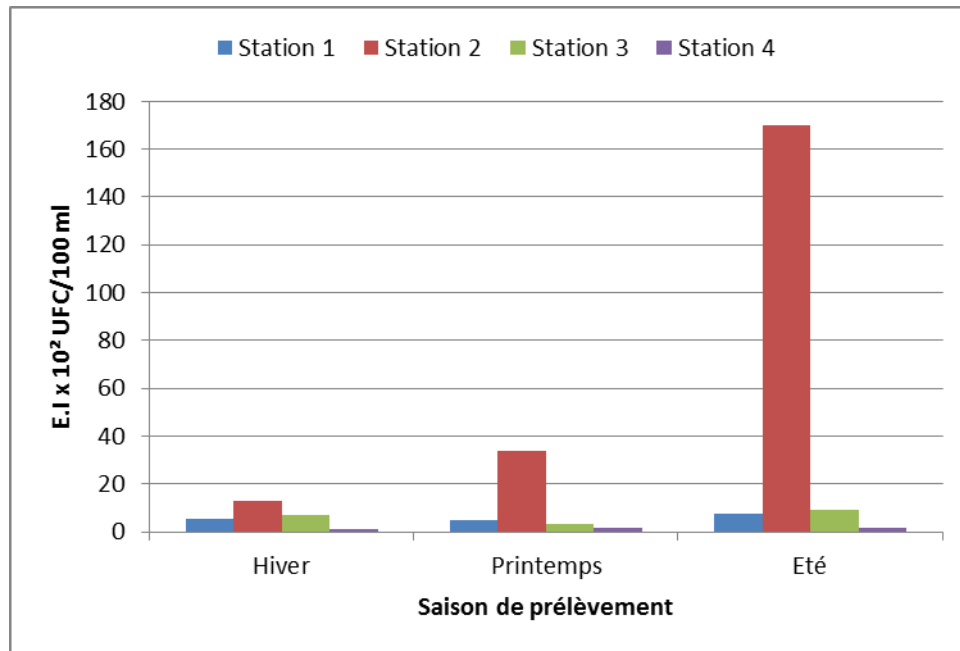


Figure 25 : Variations spatio-temporelles de la concentration des Entérocoques Intestinaux (EI) dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.

4. Suivi spatio-temporel des salmonelles

En ce qui concerne les germes pathogènes (Salmonelles), leur isolement présente une grande difficulté, par leur présence en nombre très faible dans les eaux, par la coexistence d'une flore d'accompagnement d'origine fécale et par leur survie difficile (Tahri, 2010). Les résultats obtenus dans cette étude (Annexe 6), montrent qu'ils ont été détectés au niveau de la station S₂ pendant la période sèche. Ceci pourrait être expliqué par la diminution de débit de l'eau de l'oued Grou, ce qui rend la charge bactérienne élevée dans la station S₂, qui reçoit directement les eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad rejetées sans aucun traitement préalable. L'existence probable de ces germes pathogènes dans les autres stations à l'état viable indétectable remettrait en question les techniques de mise en culture utilisées, comme il a été montré dans les autres travaux similaires (Aboukacem et *al.*, 2007; Wales et Baleux, 1992; Chahlaoui, 1996).

5. Analyse globale

L'évolution spatio-temporelle des trois indicateurs de la pollution et de la contamination fécale, les Coliformes Totaux (CT), les Coliformes Fécaux (CF) et les Entérocoques Intestinaux (EI), de la partie aval de l'oued Grou, nous permet de dégager trois secteurs :

- Le premier secteur représenté par la station S_1 , caractérisé par les valeurs les moins élevées en CT, CF et EI, oscillent entre $5,1 \cdot 10^2$ UFC/100 ml et $1,14 \cdot 10^5$ UFC/100 ml. Ces valeurs révèlent une contamination fécale, due probablement aux rejets que reçoit ce cours d'eau tout au long de son parcours avant d'arrivée à ce niveau et/ou aux activités agricoles exercées tout au long de son lit, comme l'élevage des animaux. Selon Patoine, (2011) plus la densité animale est élevée, plus la concentration en coliformes fécaux est élevée.
- Le deuxième secteur représenté par la station S_2 , caractérisé par les valeurs les plus élevées en CT, CF et EI, oscillent entre $1,3 \cdot 10^3$ UFC/100 ml et $11,05 \cdot 10^5$ UFC/100 ml, et par la présence des salmonelles en été, témoignent d'une contamination directe, due aux eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad rejetées sans aucun traitement préalable.
- Le troisième secteur représenté par les deux stations aval S_3 et S_4 , se situent respectivement à 35 Km et à 65 Km de S_2 , distances plus au moins suffisantes à la mise en place du phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau. Les valeurs obtenus dans ce secteur oscillent entre $1,2 \cdot 10^2$ UFC/100 ml et $2,4 \cdot 10^5$ UFC/100 ml, révèlent une diminution de la concentration dans le sens amont-aval, témoignent d'une autoépuration naturelle de l'eau. Mais, qui n'est pas parfaite à cause d'une contamination probable d'origine humaine et/ou animale.

De ce fait, la charge bactérienne de la partie aval de l'oued Grou peut avoir comme origine ; les eaux usées et/ou les activités agricoles, par l'utilisation des matières fécales des animaux en agriculture, comme engrais, dans les aires cultivées au bord de son lit. Selon la littérature, la pollution fécale est liée au rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les Entérocoques Intestinaux (CF/EI) (Borrego and Romero, 1982). Lorsque ce rapport CF/EI est supérieur à 4, la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées). Lorsque ce rapport est inférieur à 0,7, l'origine de la contamination est animale car dans un milieu agricole, les déjections d'animaux d'élevage représentent la principale source de la contamination bactériologique des eaux (Geldreich and Litsky, 1976 ; Maul et *al.*, 1982). Lorsque le rapport

CF/EI est compris entre 0,7 et 1, l'origine de la pollution est mixte (humain et animale), mais à prédominance animale.

Dans notre cas, le calcul du rapport CF/EI est toujours supérieur à 4 dans toutes les stations (tableau 6), ce qui signifie que l'origine de la pollution fécale est essentiellement humaine : rejet des eaux usées. Ces résultats confirment ceux obtenus par l'utilisation de la technique de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) (Arifi et al., 2018a).

Tableau 6 : Calcul du rapport CF/EI dans les quatre stations de l'oued Grou

Station/Bactéries en UFC/100 ml		Saisons		
		Hiver	Printemps	Eté
CF	S ₁	3 10 ³	1,02 10 ⁴	1,36 10 ⁴
	S ₂	2,3 10 ⁵	4,76 10 ⁵	11,05 10 ⁵
	S ₃	1,25 10 ⁴	1,122 10 ⁴	10,2 10 ⁴
	S ₄	1,28 10 ⁴	3,23 10 ³	4 10 ³
EI	S ₁	5,4 10 ²	5,1 10 ²	7,5 10 ²
	S ₂	1,3 10 ³	3,4 10 ³	1,7 10 ⁴
	S ₃	7,1 10 ²	3,4 10 ²	9 10 ²
	S ₄	1,2 10 ²	1,7 10 ²	1,6 10 ²
CF/ EI	S ₁	5,55	20	18,13
	S ₂	176,9	140	65
	S ₃	17,6	33	113,3
	S ₄	106,66	18,94	25

6. Etude typologique

6. 1. Introduction

L'importance des données recueillies dans l'étude bactériologique nécessite une approche statistique, afin de tenter une meilleure interprétation, mettre en évidence une structure spatiotemporelle et repérer les facteurs déterminants dans le fonctionnement de cet écosystème. Dans le but d'analyser les variations de l'ensemble des paramètres bactériologiques intervenant à la détermination de la qualité des eaux durant notre étude, de dégager les principaux facteurs qui interviennent le plus dans cette détermination. Nous avons étudié statistiquement les données bactériologiques par l'analyse en composante principale (ACP). Cette méthode factorielle, basée sur l'analyse des corrélations entre les variables dont la réduction du nombre de caractères se fait par la construction de nouveaux caractères synthétiques ou composantes principales, est issue par combinaison linéaire des caractères initiaux (Tahri, 2010).

6. 2. Synthèse typologique des analyses bactériologiques

L'analyse des variations de l'ensemble des paramètres bactériologiques de l'eau de l'oued Grou par l'ACP à montrer les résultats suivants :

Les codes des relevés effectués sont notés dans le tableau 7. La matrice de données (Annexe 7) est représentée par un tableau de 12 lignes (stations) et 3 colonnes (teneurs bactériologiques).

Tableau 7 : Codes des prélèvements effectués dans les différentes stations.

Mois	Jmaa Moulblad S1	Jmaa Moulblad S1	Aghbal S3	Tnin Sidi Azouz S4
Hiver	S1-H	S2-H	S3-H	S4-H
Printemps	S1-P	S2-P	S3-P	S4-P
Été	S1-E	S2-E	S3-E	S4-E

Les résultats montrent que le premier axe (F1) extrait 94,63% de l'inertie, le deuxième axe (F2) 4,473% et le troisième axe (F3) extrait 0,898%, totalisant donc plus de 100% de l'inertie totale, soit la majorité de l'information expliquée sur la distribution des variables et des stations étudiées (Tableau 8) et (Figure 26).

Tableau 8 : Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes.

	F1	F2	F3
Valeur propre	2,839	0,134	0,027
Variabilité (%)	94,630	4,473	0,898
% cumulé	94,630	99,102	100,000

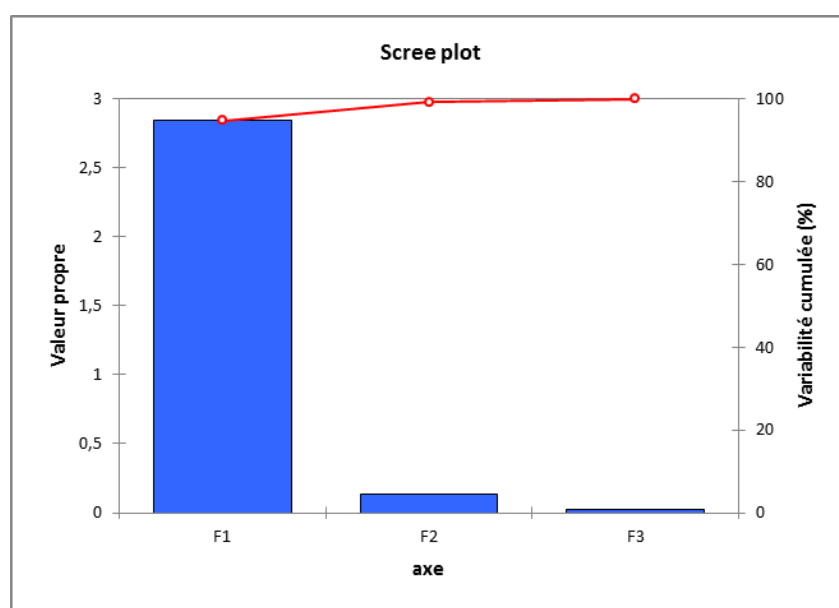


Figure 26 : Valeurs propres des trois axes et leurs contributions cumulées à l'inertie totale

Les deux premières composantes principales reconstruisent plus de 99,102% de la variance totale, nous allons analyser le cercle de corrélations du plan de projection des variables F1×F2.

Les contributions des différentes variables dans la constitution des deux premières composantes sont illustrées dans le (Tableau 9).

Le plan de projection F1×F2 (Figure 27) montre que les 3 variables sont bien représentées sur le cercle de corrélation. L'axe factoriel F1 se trouve bien corrélé avec les trois variables les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les entérocoques intestinaux du côté positif de la composante principale F1.

Tableau 9 : Codes de l'ACP et corrélations des variables avec les axes

Variables	Codes	F1	F2
Coliformes totaux	CT×10 ⁴	0,957	0,288
Coliformes fécaux	CF×10 ⁴	0,972	-0,217
Entérocoques intestinaux	EI×10 ⁴	0,989	-0,066

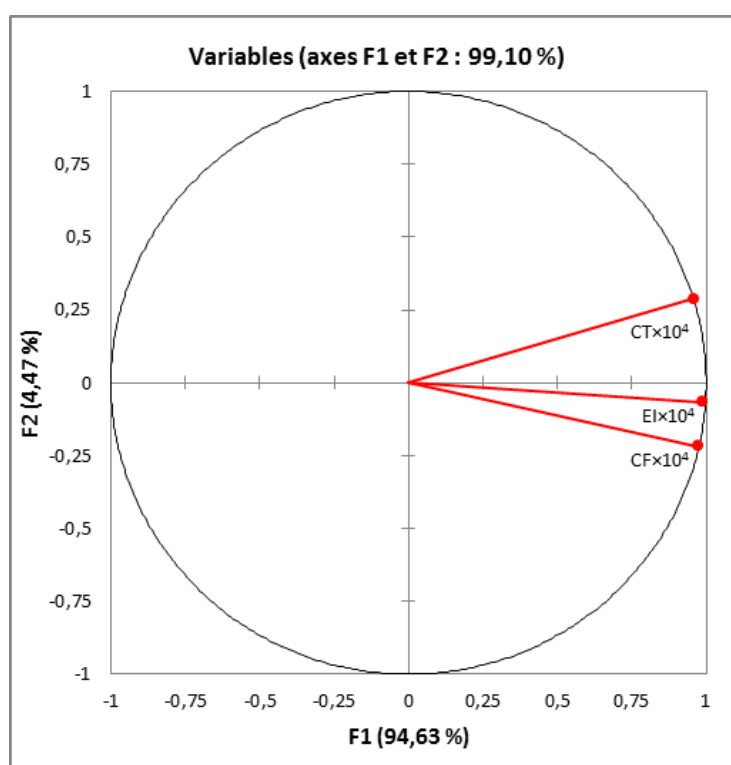


Figure 27 : cercle de corrélation des variables

A cette typologie de variables, correspond une typologie de relevés qui permettra de repérer plus clairement les tendances susceptibles de dominer la situation. L'analyse de la carte

factorielle (figure 28) montre l'individualisation de 2 groupes de prélèvements selon leurs degrés de pollution.

Un premier groupe A de relevés appartenant tous à la station S2, caractérisés par des teneurs très élevées en coliformes totaux, coliformes fécaux et entérocoques intestinaux en été, dues aux rejets de la commune rurale de Jmaa Moulblad, et par des teneurs légèrement élevées en printemps et en hiver, dues à l'augmentation de débit de l'eau en diminuant la concentration des rejets, ainsi la charge bactériologique. On déduit donc que cette station est très polluée que les autres stations (S1, S3 et S4) en accord avec Arifi et *al.*, (2019b).

Un deuxième groupe B de relevés appartenant tous aux autres stations S1, S3 et S4 (situées en amont de S2), dont la pollution microbienne est moins importante que celle de la station S2, due au phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau. Ceci en accord avec les résultats trouvés par Arifi et *al.*, (2018b).

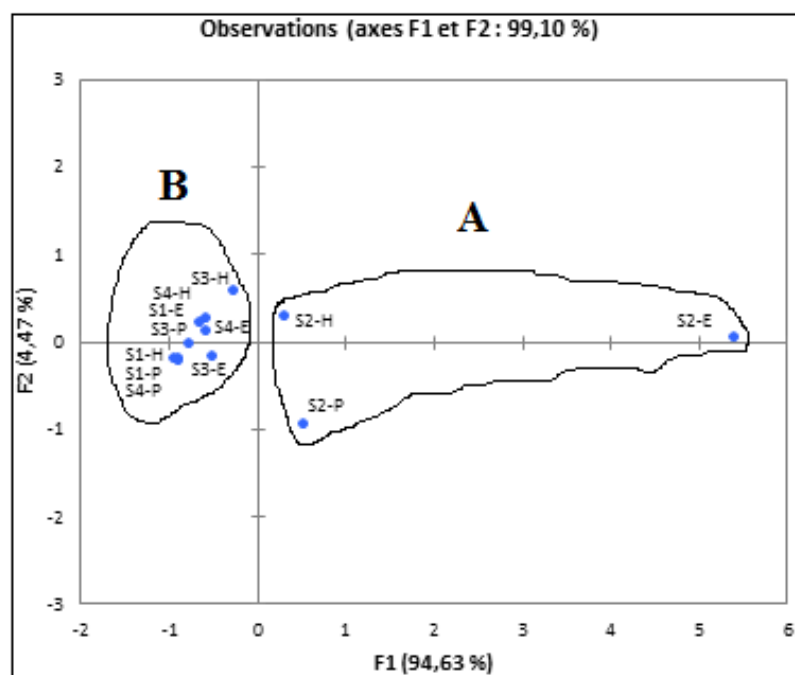


Figure 28 : Distribution des relevés bactériologiques dans les eaux de l'oued Grou selon le plan F1x F2.

IV. CONCLUSION

Les résultats des analyses bactériologiques de l'eau de l'oued Grou obtenus au cours de cette étude, montrent des variations spatio-temporelles très importantes.

Sur le plan spatial, la station S₂ présente les quantités les plus élevées en micro-organismes par rapport aux autres stations de l'oued Grou. Ceci pourrait être expliqué par l'effet direct des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblade rejetées sans aucun traitement préalable.

Sur le plan temporel, la charge bactérienne est très importante en été par rapport aux autres saisons de l'année. Ceci pourrait être expliqué respectivement par la diminution du débit de l'eau accompagné d'un apport accru en eaux usées, et par le facteur thermique qui joue un rôle très important pour la majorité des germes pathogènes et fécaux qui tolèrent des températures qui dépassent les 37°C pendant l'été. Et par les précipitations et les eaux de ruissellement qui augmentent le débit d'eau en diminuant la concentration de la charge bactérienne en hiver et en printemps.

Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) confirment les précédents et montrent que la station S₂ est la plus touchée par la pollution notamment en été, due aux rejets de la commune rurale de Jmaa Moulblad. Les autres stations (S₁, S₃ et S₄) sont moyennement touchées, due au phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau.

La présence des salmonelles responsables des infections transmises par l'eau au niveau de la station S₂, confirme l'impact de l'intensification des rejets en eaux usées et décrivent une situation préoccupante de l'état de ce cours d'eau. Donc, cette situation constitue sans doute une menace pour les habitants de la région qui utilisent quotidiennement cette eau dans la majeure partie de leurs activités. Pour remédier à ce problème, nous recommandons un traitement préalable des eaux usées avant d'être rejetées dans ce cours d'eau, et la mise en place d'un plan d'aménagement et de gestion durable du bassin versant de l'oued Grou.

CHAPITRE V. EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DE L'EAU DE L'OUED GROU

I. INTRODUCTION

La qualité biologique, dite aussi santé ou intégrité biologique, est définie comme étant la capacité d'un écosystème à supporter et à maintenir une communauté équilibrée, intégrée et capable de s'adapter aux changements. Une communauté en santé aura, pour une région donnée, une composition d'espèces, une diversité et une organisation fonctionnelle comparables à celles d'un écosystème naturel (Karr et Dudley, 1981). L'intégrité biologique est généralement un bon indicateur de l'intégrité écologique (U.S. EPA, 2002). Bien que l'intégrité écologique d'un cours d'eau soit une combinaison des intégrités chimique, physique et biologique, la dégradation d'une ou de plusieurs de ces composantes se reflète généralement dans les communautés biologiques. Parmi les communautés biologiques, les communautés de macroinvertébrés benthiques sont couramment utilisées pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques (Hellawell, 1986; Barbour *et al.*, 1999). Leur effectif et leur distribution spatio-temporelle nous permettrons de calculer l'indice biologique global normalisé (IBGN) et de catégoriser la qualité biologique d'un cours d'eau (AFNOR, 1992).

Les macroinvertébrés sont des organismes visibles à l'œil nu, tels que les Insectes, les Mollusques, les Crustacés et les Vers, qui habitent le fond des cours d'eau et des lacs. Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques. Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité, de leur cycle de vie varié, de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat (Moisan & Pelletier 2008). Abondants dans la plupart des rivières, ils sont faciles à récolter et leur prélèvement à peu d'effets nuisibles sur le biote résident (Barbour *et al.*, 1999). Ces derniers ont fait l'objet de plusieurs études hydrobiologiques (Bouzidi (1989) ; Chahlaoui (1996) ; El Agbani (1984) ; Haouchine, (2011) ; Karrouch, (2010) ; Maqboul (2001) ; etc.).

Ce chapitre a pour objectif principal d'évaluer la qualité écologique de l'eau de l'oued Grou dans la région de Rabat, par l'utilisation des macroinvertébrés benthiques comme bio-indicateurs. Et aussi a pour objectif de remplir la lacune de l'ingérence des macroinvertibrés de ce cours d'eau par un inventaire faunistique de référence, du fait que plusieurs travaux ont

été menés sur le bassin versant de l'oued Grou, mais jusqu'à présent aucun travail de ce genre n'a été encore réalisé.

II. MATERIEL ET METHODES

1. Technique d'échantillonnage

Le potentiel biologique est limité par la qualité de l'habitat physique formant la trame sur laquelle les communautés biologiques se développent (Southwood 1977).

L'indice biologique global normalisé (IBGN) est établi par station. La station est définie comme étant le tronçon de cours d'eau dont la longueur est sensiblement égale à 10 fois la largeur du lit mouillée au moment du prélèvement (AFNOR, 1992). Pour une station, l'échantillonnage de la faune benthique est constitué de 8 prélèvements. L'ensemble de ces prélèvements doit donner une vision de la diversité des habitats et de rassembler la plus grande diversité faunistique de cette station.

Les cours d'eau dans lesquels on peut se déplacer à pied appartiennent à deux types : les cours d'eau à substrat grossier et à écoulement rapide et les cours d'eau à substrat meuble et à écoulement lent (Stark *et al.*, 2001). Ces types de cours d'eau sont également désignés respectivement en terme de cours d'eau à forte pente (*high gradient stream*) ou à faciès lotique et cours d'eau à faible pente (*low gradient stream*) ou à faciès lentique (Barbour *et al.*, 1999; Stark *et al.*, 2001). Ainsi, la stratégie d'échantillonnage différera selon ces types de substrats et d'écoulement, à l'aide d'un filet Surber pour le faciès lotique et d'un filet troubleau pour le faciès lentique. Dans notre étude les récoltes de macroinvertébrés ont été réalisées à l'aide d'un filet Surber, entre novembre 2014 et décembre 2015, selon une fréquence mensuelle, dans les quatre stations d'échantillonnage (S₁, S₂, S₃ et S₄). Pour les jours suivant une forte pluie, on laisse passer environ 10 jours avant de procéder à l'échantillonnage comme il est recommandé.

2. Liste de matériel de terrain

- Filet Surber
- Seau grillagé
- Pots de plastique pour les échantillons
- Agent de conservation (formol à 10 %)
- Étiquettes en papier résistant à l'eau

- Ruban adhésif
- Pincettes
- Grosse cuillère
- Flacons laveurs
- Sacs à dos
- Appareil photo
- Gants longs et souples imperméables
- Bottes-culottes ou cuissardes
- Crayon-feutre indélébile
- Crayons à mine et gomme à effacer
- Tablette rigide de terrain
- Fiches de terrain
- bouteilles d'échantillonnage
- glacière et glace
- feuilles d'analyses

3. Pré-tri et conservation des échantillons

Les échantillons récoltés sont déposés dans une bassine blanche avec de l'eau pour faciliter leur mobilité ainsi que leur capture et aussi afin d'éliminer les éléments les plus grossiers (vases, pierres, galets, fragments de bois et feuilles des végétaux). C'est le pré-tri qui est une opération très importante, elle permet de limiter les risques de détérioration de la faune et de réduire le volume d'échantillon à fixer. Les organismes capturés, sont transférés dans des récipients en plastiques contenant du formol à 10 % et ceci pour les fixer (Foto Menbohan et *al.*, 2010). Sur le lieu du prélèvement la date, le numéro et les caractéristiques de la station sont notés à chaque prélèvement. Après, les échantillons récoltés sont conservés et ramenés au laboratoire pour le tri, la détermination et l'analyse.

4. Tri et détermination

Cette étape consiste à extraire la faune du substrat contenu dans l'échantillon. Elle se fait au laboratoire, les échantillons conservés dans des récipients étiquetés par station sont rincés abondamment à l'eau claire sur une série de tamis de mailles de taille décroissante (5 à 0,2 mm) afin d'éliminer au maximum le substrat fin restant et les éléments grossiers (graviers, plantes, feuilles...) (Karrouch 2010 et Haouchine 2011). Le contenu des tamis est ensuite

versé dans une bassine puis transvasé dans des béciers de 50 CC. Le tri, le comptage et la détermination commencent sous la loupe binoculaire. Les organismes sont manipulés délicatement, à l'aide de pinces fines dans des boîtes de pétri. Après cette opération, ces organismes sont transvasés dans des récipients contenant du formol à 10 %. L'unité taxonomique retenue dans ce travail est la famille à l'exception de certains macroinvertébrés qui sont déterminés jusqu'à l'espèce, en raison des difficultés de détermination qu'ils présentaient pour nous. Pour se faire nous nous sommes référés aux sites internet, clés de détermination, ouvrages et collections (Tachet et *al.*, (2000) ; Nathalie Mary (2000) ; Moisan et Pelletier (2008) ; Moisan (2006)).

5. L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) fournit une estimation quantitative sur l'ensemble du milieu, en utilisant la faune des macroinvertébrés en tant que compartiment intégrante dans le milieu AFNOR (2001). Il répond à différentes perturbations, mais il s'avère particulièrement sensible à la pollution organique de l'eau (Genin et *al.*, 1997).

L'IBGN est établi à partir du tableau d'analyse (Annexe 8) comprenant en ordonnée les 9 groupes faunistiques indicateurs et en abscisse les 14 classes de variété taxonomique.

On déterminera successivement :

- La variété taxonomique de l'échantillon (Σt), égale au nombre total de taxons récoltés même s'ils ne sont représentés que par un seul individu. Ce nombre est confronté aux classes figurant en abscisse du tableau.
- Le groupe faunistique indicateur (GI) prend en compte seulement les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par 3 individus ou 10 individus selon les taxons.

La détermination du GI s'effectue en prospectant les colonnes du tableau de haut en bas (GI 9 à GI 1) et en arrêtant l'examen à la première présence significative ($n \geq 3$ individus ou $n \geq 10$ individus) d'un taxon du répertoire en ordonnée du tableau.

On déduit l'IBGN du tableau à partir de son ordonnée (GI) et de son abscisse (Σt).

Par exemple :

- Si GI = 8 et $\Sigma t = 33$ alors IBGN = 17
- Si GI = 5 et $\Sigma t = 30$ alors IBGN = 13

- Si $GI = 3$ et $\Sigma t = 14$ alors $IBGN = 7$

Cette même note IBGN peut également être calculée par la relation suivante :

$$IBGN = GI + \text{classe de variété} - 1, \text{ avec } IBGN \leq 20$$

En l'absence significative de taxons indicateurs ($n < 3$ ou 10 individus), la note $IBGN = 0$.

L'information fournie est synthétique, et intègre l'influence de la qualité physico-chimique de l'eau et des caractéristiques morphologiques et hydrologiques des cours d'eau (Vernaux, 1980).

L'IBGN peut permettre de suivre l'évolution de la qualité biologique d'un site au cours du temps, dans l'espace (amont/aval) et d'évaluer l'effet d'une perturbation sur le milieu.

Pour une représentation cartographique des résultats, chaque tronçon de cours d'eau est affecté d'une couleur suivant la valeur de l'IBGN (Annexe 9).

La définition des classes de la qualité :

- Classe 1A : couleur bleu, indique une eau de qualité excellente (Absence de pollution).
- Classe 1B : couleur verte, indique une eau de bonne qualité (Avec une pollution modérée).
- Classe 2 : couleur jaune, indique une eau de qualité moyenne (Avec une pollution nette).
- Classe 3 : couleur rouge, indique une eau de qualité médiocre (Avec une pollution importante).
- Classe HC* (Hors Classe) : couleur rouge, indique une eau de mauvaise qualité (Avec une pollution excessive).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Structure de la communauté benthique

Le présent recensement vise essentiellement à évaluer la qualité de l'eau de l'oued Grou et à établir un inventaire aussi complet que possible des différents taxons pouvant être rencontrés dans les eaux de ce système aquatique et permettrait ainsi d'enrichir la liste de la biodiversité marocaine.

1.1. Inventaire des macroinvertébrés

L'inventaire faunistique établi (liste ci-dessous), regroupe la répartition des peuplements dans les différentes stations d'échantillonnage :

Phylum : ANNÉLIDES

Classe : OLIGOCHETES

Ordre : HAPLOTAXIDES

□ Famille : Lumbricidae

● Genre : *Eiseniella*

Eiseniella tetraedra (Savigny, 1826)

Classe : HIRUDINÉES

Ordre : RHYNCHOBDELLAE

□ Famille : Glossiphoniidae

● Genre : *Helobdella*

Helobdella stagnalis (Linnaeus, 1758)

Phylum : PLATHELMINTHES

Classe : TURBELLARIA

Ordre : TRICLADIDA

□ Famille : Dugesiidae

● Genre : *Dugesia*

Dugesia sp

Phylum : MOLLUSQUES

Classe : BIVALVES

Ordre : VENEROIDA

□ Famille : Corbiculidae

● Genre : *Corbicula*

Classe : GASTEROPODES

Ordre : PULMONATA

□ Famille : Limnaeidae

● Genre : *Lymnaea*

Lymnaea sp

□ Famille : Physidae

● Genre : *Physa*

Physa sp

Phylum: ARTHROPODES

Sous Phylum: CRUSTACÉS

Classe : MAXILLOPODES

Ordre : CYCLOPOIDES

□ Famille : Cyclopidae (Dana, 1846)

Classe : MALACOSTRACÉS

Ordre : AMPHIPODES

□ Famille : Gammaridae

- Genre : *Gammarus*
Gammarus locusta (Linnaeus, 1758)
- Ordre : DECAPODES
 - Famille : Potamonidae
 - Genre : *Potamon*
Potamon sp
- Sous Phylum: HEXAPODES
- Classe : INSECTES
- Ordre : PLÉCOPTÈRES
 - Famille : Perlodidae
 - Genre: *Perlodes*
 - Famille : Taeniopterygidae
- Ordre : TRICHOPTÈRES
 - Famille : Lepidostomatidae
 - Genre: *Lasiocephala*
Lasiocephala basalis (Kolenti , 1848).
 - Famille : Hydropsychidae
 - Genre: *Hydropsyche*
Hydropsyche sp
- Ordre : HÉTÉROPTÈRES
 - Famille : Corixidae
 - Genre: *Micronecta*
Micronecta scholtzi (Fieber, 1860).
 - Famille : Nepidae
 - Genre: *Nepa*
 - Famille : Gerridae
 - Genre: *Gerris*
Gerris sp.
- Ordre : COLÉOPTÈRES
 - Famille : Curculionidae
 - Famille : Gyrinidae
 - Genre : *Dineutus*
 - Famille : Hydrophilidae
 - Genre : *Hydrochara*
Hydrochara sp.
 - Genre : *Coelostoma*
Coelostoma sp.
 - Famille : Staphylinidae
 - Genre : *Paederidus*
Paederidus ruficollis (Fabricius, 1777).
- Ordre : EPHÉMÉROPTÈRES
 - Famille : Baetidae
 - Genre: *Baetis*
Baetis sp

- Famille : Caenidae
 - Genre: *Brachycerus*
Brachycerus harrisella (Curtis 1835).
- Famille : Leptophlebiidae
 - Genre: *Choroterpes*
Choroterpes picteti (Eaton, 1871)
 - Genre: *Lepegenia*
Lepegenia lineata(Peters, Peters & Edmunds, 1978)
- Famille : Ameletidae
 - Genre: *Ameletus*
Ameletus inopinatus (Eaton, 1887)

Ordre : DIPTÈRES

- Famille : Empididae
- Famille : Chironomidae
 - Genre : *Corynoneura*
Corynoneura sp
 - Genre : *Tanypodinae*
- Famille : Culicidae
 - Genre: *Aedes*
- Famille : Rhagionidae
- Famille : Simuliidae
 - Genre: *Simulium*
Simulium sp.
Simulium neornatipes (Dumbleton, 1969).
 - Genre: *Austrosimulium*
- Famille : Stratiomyidae
- Famille : Sciaridae
 - Genre : *Bradysia*

Ordre : ODONATES

- Famille : Gomphidae
- Famille : Libellulidae
 - Genre: *Brachythemis*
Brachythemis leucosticta (Burmeister, 1839)

1.2. Analyse globale de la faune benthique

La présente étude faunistique a permis de recenser au cours de 12 campagnes de prélèvement, un total de 9409 individus, répartis en 4 groupes faunistiques (Annélides, Plathelminthes, Mollusques et Arthropodes) appartenant à 33 Familles et à 40 taxons (Tableau 10).

L'année de recensement a connu beaucoup de précipitations, ce qui a augmenté le niveau et la vitesse de l'eau ainsi que sa turbidité. Ces facteurs influençant la stabilité des habitats ainsi que la distribution dans l'espace et dans le temps des macroinvertébrés en place, comme il a

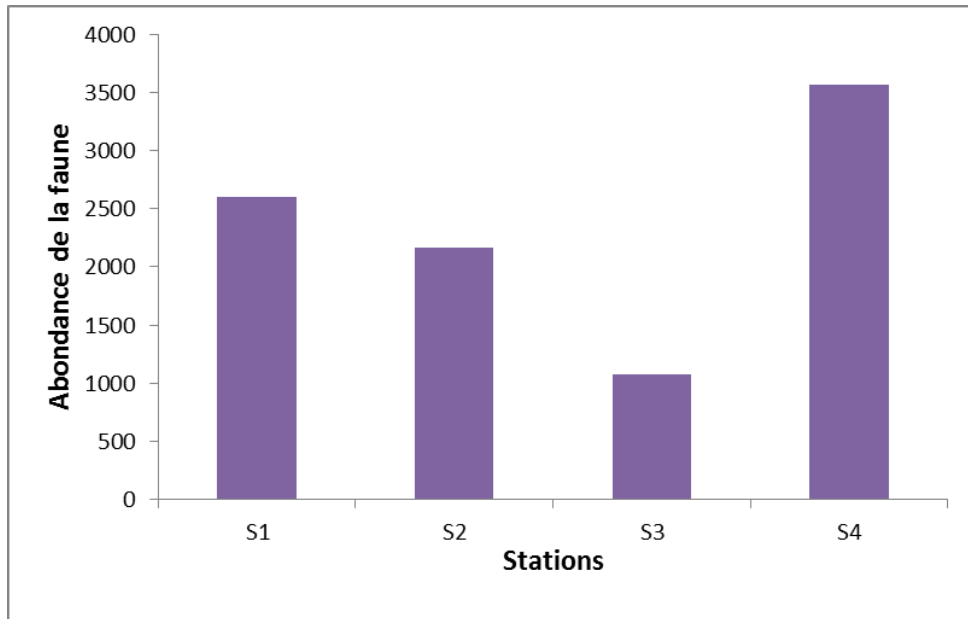
été démontré par Cerrighino, (1992). Dans ce travail la plus grande partie de la faune a été récoltée entre le mois d'avril et juillet. L'unité taxonomique retenue est la famille à l'exception de certains macroinvertébrés qui sont déterminés jusqu'à l'espèce, en raison des difficultés de détermination qu'ils présentaient pour nous. Pour se faire nous nous sommes référés aux sites internet, clés de détermination, ouvrages et collections (Tachet et *al.*, (2000) ; Nathalie mary (2000) ; Moisan et Pelletier (2008) ; Moisan (2006)).

Tableau 10 : Nombre de familles et de groupes par groupe zoologique.

Groupe zoologique	Nombre de familles	Nombre de genres
Annélides	2	2
Plathelminthes	1	1
Mollusques	3	3
Crustacés	3	3
Plécoptères	2	3
Trichoptères	2	3
Hétéroptères	3	3
Coléoptères	4	5
Ephéméroptères	4	5
Diptères	7	10
Odonates	2	2
Total	33	40

1.3. Abondance de la faune benthique

L'abondance fluctue suivant les stations et varie entre 1080 et 3564 individus (figure 29). Ces variations spatiales pourraient être attribuées aux diverses influences que subit le milieu et aussi à la nature des différents habitats. En effet, un cours d'eau perturbé peut créer des conditions défavorables pour certains organismes (polluo-sensibles) laissant la place ainsi à d'autres organismes plus tolérants (polluo-résistants). L'habitat des macroinvertébrés benthiques, comme celui de tout autre organisme vivant possède des composantes biologiques (exemple : végétation, microorganisme), physiques (exemple : substrat, écoulement) et chimiques (exemple : pH, azote). La diversité biologique des rivières est étroitement liée à la qualité de l'habitat (Moisan, et Pelletier, 2011).



Figures 29 : Distribution de la faune globale dans les eaux des stations étudiées.

L'analyse de l'ensemble du peuplement récolté durant la période d'étude, montre que les insectes sont numériquement les plus inventoriés et représentent le pourcentage le plus élevé au niveau de l'oued Grou (74,4%) suivi par les Plathelminthes (10,6%), les Annélides (8,3%), les Crustacés (5,5%) et enfin les Mollusques, groupe le plus faible (1,1%) (Figure 30).

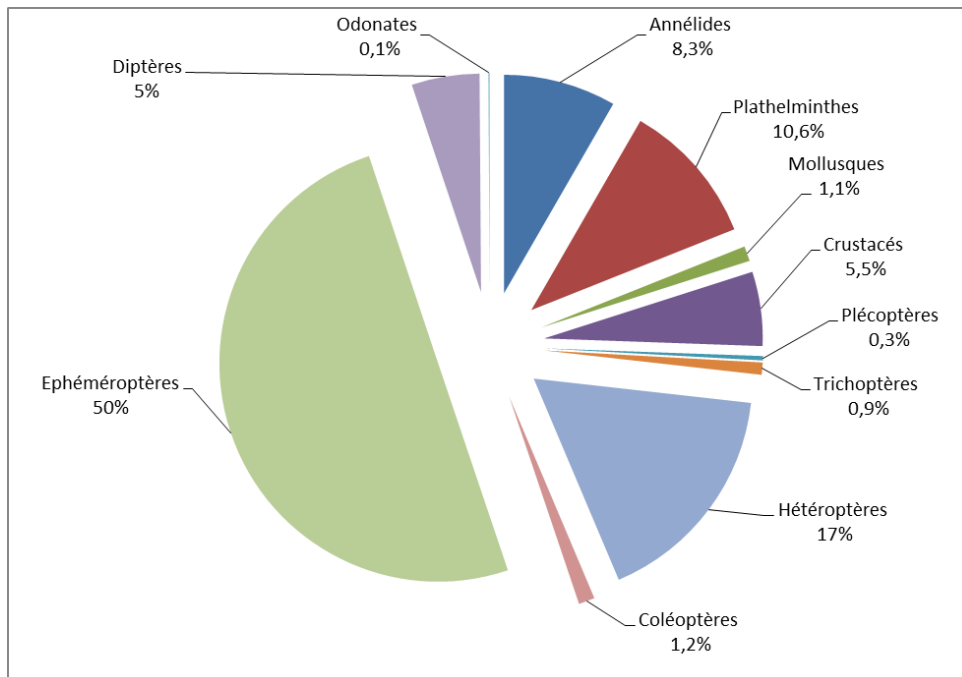


Figure 30 : Abondance de la faune globale dans les eaux des stations étudiées.

A titre comparatif, les peuplements recensés dans la partie aval de l'oued Grou sont moins diversifiés comparativement à la faune de la totalité des eaux du grand bassin Bouregreg et avec d'autres cours d'eau, comme ceux de l'oued Sebou (Fekhaoui et *al.*, 1993) et de l'oued

Boufekrane (Chahlaoui 1996), (Aboukacem 2007) et (Karrouch 2010). Ceci pourrait être lié aux facteurs naturels et/ou anthropiques influençant ce cours d'eau. En effet, les facteurs abiotiques peuvent influencer la distribution des macroinvertébrés benthiques, notamment l'altitude, la vitesse du courant, la transparence de l'eau, le type de substrat, l'hétérogénéité du substrat, l'abondance des macrophytes et la largeur de la rivière. Alors que, les facteurs anthropiques tels que, les rejets domestiques et les eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad rejetées dans l'oued Grou pourraient, sans doute, contribuer considérablement à l'installation de conditions particulières, globalement défavorable à la présence d'un peuplement très diversifié, caractéristique de ce cours d'eau.

1.4. Analyse qualitative et quantitative de la faune benthique

La station amont S₁ a une structure assez équilibrée avec une abondance annuelle de 2597 individus. Les stations S₂, S₃ et S₄, les plus agitées et riches en matières organiques, dues à l'effet directe des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad au niveau de la station S₂ et à l'effet mésotrophe des eaux du barrage SMBA riches en matière organique au niveau de la station S₄. Ces stations ont une structure déséquilibrée avec une abondance annuelle qui varie entre 2168 individus en S₂, 1080 individus en S₃ et 3564 individus en S₄, avec prolifération des Oligochètes, des Chironomides et des Simuliides qui supportent la pollution organique. Comme il a été déjà noté par Tachet et *al.*, (2006), le phénomène de l'anthropisation de l'oued, pourrait être à l'origine d'une disparition des taxons pollu-sensibles et de la prolifération des groupes polluo-tolérants tels que les Chironomidae.

1.4.1. Annélides

D'après nos résultats, les Annélides sont représentés dans l'oued Grou par 783 individus, soit 8,3 % de la faune récoltée. Ils appartiennent à deux familles : les Lumbricidae et les Glossiphoniidae (figure 31A). Dans ce groupe d'organismes, les Glossiphoniidae sont dominants avec 780 individus de *Helobdella stagnalis* (L. 1758) (99,6 % des Annélides), ils correspondent à 8,29 % de la faune totale récoltée. Quant aux Lumbricidae, ils sont faiblement représentés et ne contiennent que 3 individus d'*Eiseniella* (0,4 % des Annélides) formant 0,01 % du peuplement.

La figure 31A*, représente le développement longitudinal des Annélides tout au long de l'oued Grou. Elle montre que ces macroinvertébrés se développent favorablement dans la station S₄ située en aval de l'oued, zone de confluence entre les eaux de l'oued et du barrage

SMBA riches en matière organique. Ce résultat est vraisemblablement lié à la présence des matières organiques, facteurs favorables à la prolifération de ces organismes (Marty & Calvel, 1975; Fekhaoui *et al.*, 1993). Au niveau de cette station, les *Helobdella stagnalis* (L. 1758) sont les plus dominants, avec un pic maximal à la station S₄.

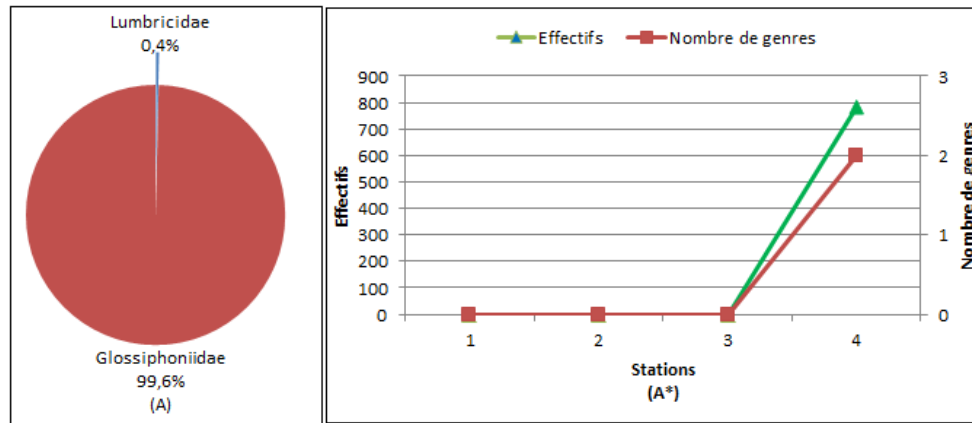


Figure 31 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Annélides dans l'oued Grou.

1.4.2. Mollusques

D'après la littérature, les Mollusques ne sont jamais abondants en milieu aquatique continental. La teneur en calcium, la nature du substrat, la nature de la végétation et de la litière, la vitesse du courant sont les facteurs prépondérants sur la prolifération et la répartition des Mollusques dans les eaux continentales Tachet *et al.*, 2006 ; Bouzidi 1989 et Karrouch 2010. Au niveau de l'oued Grou, les Mollusques sont représentés par 104 individus seulement (soit 1,1 % de la faune totale récoltée) appartenant à 3 familles et à 3 genres. Sont les Physidae (*Physa sp*), les Limnaeidae (*Lymnaea sp*) et les Corbiculidae (*Corbicula sp*). Les Physidae sont dominants et comptent 60 individus (58 % des Mollusques) et sont représentés par un seul genre *Physa*. Les autres familles, Limnaeidae (*Lymnaea sp*) et Corbiculidae (*Corbicula sp*) sont moins dominants, et représentent respectivement 27 % et 15 % des Mollusques (figure 32A).

La répartition longitudinale des Mollusques (figure 32A*) montre que leur prolifération semble plus importante seulement dans la station S₄, à l'aval de l'oued, zone de confluence avec les eaux du barrage SMBA, riches en matières organiques par le phénomène d'eutrophisation et où la vitesse du courant semblait faible, conditions favorables à la prolifération des Mollusques.

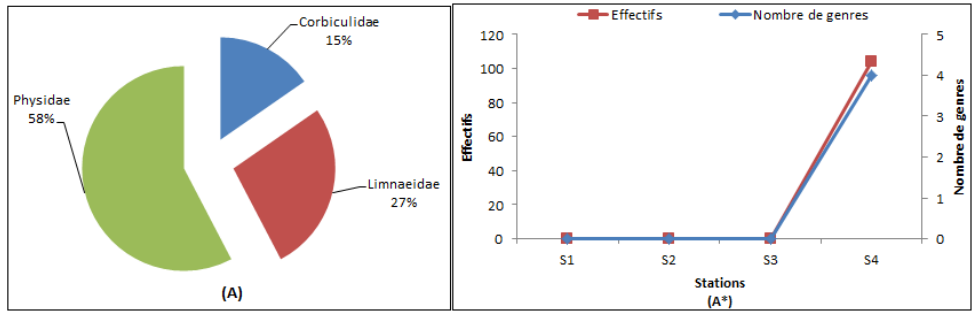


Figure 32 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Mollusques dans l’oued Grou.

1.4.3. Crustacés

Les Crustacés sont représentés par 517 individus, soit 5,5 % de la faune totale récoltée. Ils sont représentés par 3 familles : Les Gammaridae, les Cyclopidae et les Potamonidae. Les Gammaridae sont dominants et comptent 509 individus (98 % des Crustacés) et représentés par un seul genre *Gammarus*. Les autres familles, Cyclopidae et Potamonidae ont une très faible importance numérique (figure 33A).

La figure 33A*, représente le développement longitudinal des Crustacés tout au long de l’oued. Elle montre que ces invertébrés se développent favorablement dans les stations situent en aval de l’oued (S₁, S₃ et S₄), surtout à la station S₄ située à la zone de confluence entre les eaux de l’oued et du barrage SMBA. Ce résultat est vraisemblablement lié à la présence des matières organiques, facteur favorable à la prolifération de ces organismes.

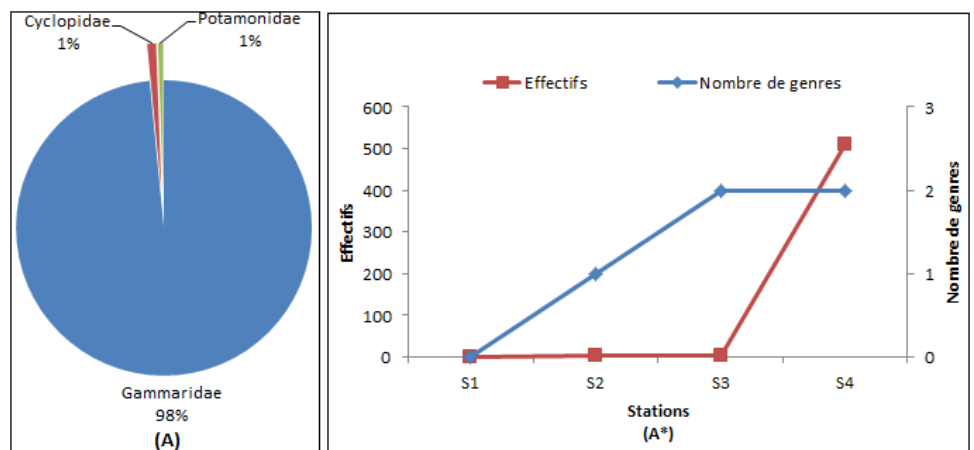


Figure 33 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Crustacés dans l’oued Grou.

1.4.4. Diptères

Les Diptères rencontrés au cours de cette étude représentent 5 % de la faune totale récoltée, représentés par 472 individus. Ils sont constitués par 7 familles dont l’abondance diffère d’une famille à l’autre : les Chironomidae (92 %), les Simuliidae (3,4 %), les Sciaridae (2,6 %), les

Rhagionidae (0,6 %), les Empididae (0,6 %), les Culicidae (0,4 %) et les Stratiomyidae (0,4 %). Ces organismes sont représentés par les différentes familles (figure 34A), dont les Chironomidae sont de loin les plus abondants et sont très réponsus dans la station S₁ haute que dans les stations S₂, S₃ et S₄ de basse altitude.

La répartition longitudinale des Diptères (figure 34A*), montre qu'ils sont présents dans toutes les stations mais avec des proportions inégales. Les stations S₁ et S₃ renferment plus des Diptères que les stations S₂ et S₄. En effet, selon Moubayed (1986), les éléments de ce groupe d'insecte ne possèdent pas seulement une large distribution altitudinale, mais aussi une grande capacité de coloniser divers biotopes pollués ou non pollués. La richesse taxonomique en Diptères est plus diversifiée en aval qu'en amont. Nous avons inventorié 7 genres dans la station S₃ située en aval de l'oued. Ce dernier résultat peut être expliqué par le fait que dans les zones avales des cours d'eau, l'importance et la diversité taxonomique des Diptères sont en rapport avec les températures de l'eau relativement élevées, la vitesse du courant assez élevée et la présence de matière organique, facteurs favorables à la prolifération de ses organismes.

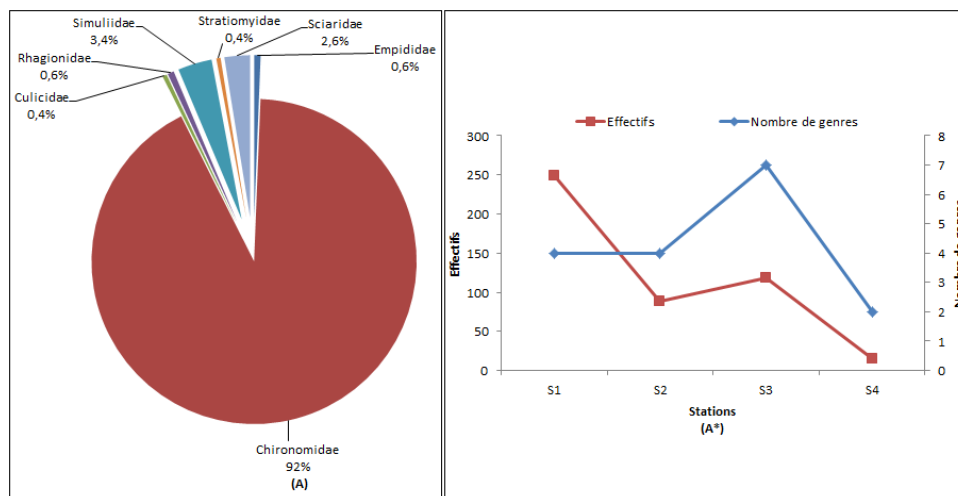


Figure 34 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Diptères dans l'oued Grou.

1.4.5. Plécoptères

Les Plécoptères constituent un groupe d'insectes aquatiques très intéressant pour les études de biogéographie en raison de leur ancienneté (Consiglio, 1963) et pour les études d'écologie, grâce au niveau de connaissance existant sur leur systématique et leur phylogénie (Zwick, 1980).

Les études hydrobiologiques suivantes (Bouzidi & Guidicelli, 1994 ; Gagneur & Aline, 1991 ; Boumaiza, 1994 ; Berrahou et *al.*, 2001 ; Lounaci & Vinçon, 2005) ont mis en évidence la

faible diversification du peuplement des Plécoptères dans les écosystèmes lotiques d'Afrique du Nord. En effet, la plupart des familles et des genres sont pauvres en espèces. Par contre ces taxons ont une grande variété spécifique dans les cours d'eau européens. La baisse importante de cette diversité est due aux températures plus élevées qu'en Europe.

Les Plécoptères récoltés dans la présente étude sont représentés en très faibles proportions comparés aux Éphéméroptères, aux Hémiptères et aux Diptères. En effet, la prospection de toutes les stations nous a permis de récolter seulement 30 individus (figure 35A), soit 0,3 % de la faune totale, et ceci au niveau de la station S₁ (5 individus), la station S₃ (11 individus) et de la station S₄ (14 individus) en amont et en aval de l'oued. Ces invertébrés sont repartis d'une manière irrégulière en deux familles : Les Perlodidae en (S₁ et S₃) et les Taeniopterygidae en S₄, ces organismes polluo-sensibles sont absents dans la station S₂ qui reçoit directement les rejets domestiques de la commune rurale de Jmaa Moulblad. En effet, Tuffery & Verneaux (1967), Guidicelli J., Dia A. & Legier P. (1980) et Thomas (1981) ont montré que les eaux de forte moyenne thermique journalière sont les plus pauvres en Plécoptères, ainsi que les eaux soumises à des pollutions organiques, même légères, ce groupe y étant particulièrement sensible.

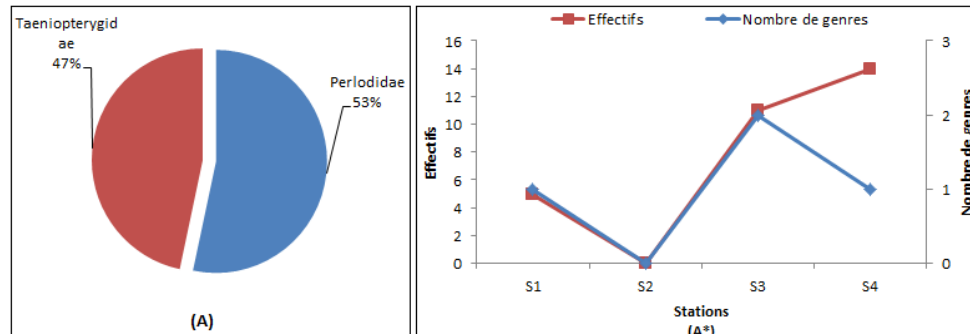


Figure 35 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Plécoptères dans l'oued Grou.

La répartition longitudinale (figure 35A*) des Plécoptères semble être liée à la qualité de l'eau, ils sont présents dans les eaux des stations (S₁, S₃ et S₄) situées loin des rejets domestiques, alors qu'ils sont absents dans la station S₂ située juste après la zone de confluence avec les eaux usées. Le plus souvent, les Plécoptères sont très connus pour leur polluo-sensibilité aux milieux affectés par quelque perturbation (Haouchine, 2011). Ceci s'expliquerait en partie par l'absence de ces invertébrés dans la station S₂ exposée directement aux rejets des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad qui influencent la qualité de l'eau dans ce tranchant de l'oued .

1.4.6. Coléoptères

Les Coléoptères constituent un groupe très diversifié et écologiquement très hétérogène pouvant s'adapter à tout type de biotopes. Ils sont parfois difficiles à appréhender car ils possèdent des phases aquatiques alternant avec des phases terrestres. Certaines familles possèdent quelques représentants dont seule la phase larvaire est aquatique (Helodidae, Sphaeridiidae) ou seule la phase adulte est aquatique (Hydraenidae) alors que d'autres sont strictement aquatiques (Dryopidae, Elmidae, Hydrochidae) (Bertrand, 1972 ; Berthelémy, 1979.). Ils sont les seuls insectes holométaboles à se présenter à la fois sous la forme imaginaire et sous la forme larvaire dans les milieux aquatiques. Ils colonisent divers habitats (sources, ruisseaux de sources, torrent, rivières à eau modérément courante et rivières à eau quasi-stagnante et riche en végétation) Tachet et *al.*, 1984.

Dans la présente étude, les Coléoptères sont représentés seulement par 112 individus (soit 1,2 % de la faune totale récoltée) appartenant à 4 familles ont été collectés : les Gyrinidae, les Hydrophilidae, les Curculionidae et les Staphylinidae. Les Gyrinidae sont dominants et comptent 78 individus (70 % des Coléoptères), suivis par les Hydrophilidae qui comptent 25 individus (22 % des Coléoptères). Les autres familles, les Curculionidae et les Staphylinidae sont faiblement représentées avec respectivement 5 individus (4,5 % des Coléoptères) et 4 individus (3,5 % des Coléoptères) (figure 36A).

L'analyse de la distribution longitudinale des Coléoptères tout au long de l'oued Grou (figure 36A*) se traduit globalement par la présence de ces invertébrés dans toutes les stations. Ceci, par un effectif important dans la station S₂, par un effectif relativement égal dans les deux stations aval (S₃ et S₄) et finalement par un effectif faible dans la station S₁. La richesse taxonomique des stations en Coléoptères se traduit, dans sa globalité par une richesse relativement élevée en S₄ qui diminue vers l'amont de l'oued, en marquant une baisse de la richesse en S₃, suivi d'une élévation en S₂ puis une autre diminution du nombre des genres en S₁. Cette richesse pourrait s'expliquer par le fait que les biotopes de la station S₄ offrent une grande variété de niches écologiques favorables à la prolifération des Coléoptères. La station S₄, située à la zone de confluence entre les eaux de l'oued et du barrage SMBA, contribue favorablement à la prolifération de la faune. D'après Angus (1973), Moubayad (1986), Lounaci (1987) et Mebarki (2001), la végétation immergée, le substrat à granulométrie fine, la température de l'eau et les potentialités trophiques sont les facteurs de répartition les plus influents sur les éléments de ce groupe d'insectes.

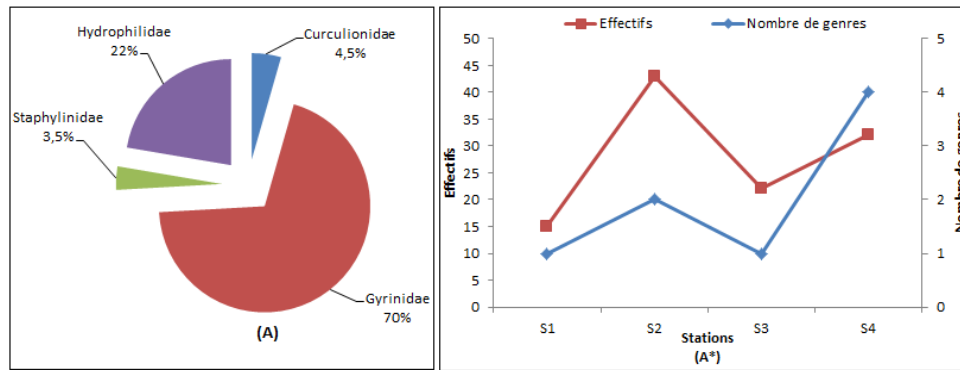


Figure 36 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Coléoptères dans l'oued Grou.

1.4.7. Éphéméroptères

Les Éphéméroptères sont des insectes hémimétaboles qui présentent un stade ailé unique dans la classe des insectes (le subimago) qui précède le stade imaginal (Weber et Weidner, 1974). Leur développement larvaire complet dure en moyenne dix à vingt jours en fonction de la température de l'eau (Elliot & Humpesch, 1983). Il comprend en général de 15 à 25 mues. Les larves d'Éphéméroptères sont abondantes dans les eaux courantes. Elles occupent souvent les principaux biotopes, des torrents, ruisseaux et rivières et elles constituent le premier rang des insectes aquatiques (Thomas, 1981).

Les Éphéméroptères constituent le plus grand groupe faunistique représenté dans la faune benthique récoltée dans ce travail. Ils sont représentés par 4709 individus (soit 50 % de la faune récoltée) repartis en 5 genres appartenant à 4 familles : les Leptophlebiidae (*Choroterpes* et *Lepegenia*), les Baetidae (*Baetis*), les Ameletidae (*Ameletus*) et les Caenidae (*Brachycerus*) (figure 37A). La famille la plus abondante est celle des Leptophlebiidae (*Choroterpes* et *Lepegenia*), avec 2890 individus (elle représente 61,4 % du total des captures des Éphéméroptères), suivi par les Baetidae (*Baetis*) représentées par 1459 individus (elle représente 31 % des Éphéméroptères). Quant aux Ameletidae (*Ameletus*) et aux Caenidae (*Brachycerus*) elles sont faiblement représentées sur le plan d'abondance numérique. Ces deux dernières familles, respectivement représentées par 346 et 14 individus (constituent ainsi, 7,3 % et 0,3 % de ce peuplement).

La figure 37A*, représente la répartition longitudinale des Éphéméroptères tout au long de l'oued Grou. La répartition en individus dans les différentes stations étudiées met en évidence une diminution du nombre d'individus de l'amont vers l'aval. Elle montre que ces invertébrés se développent favorablement dans les stations situées en amont (S₁ et S₂) qu'en stations situées en aval (S₃ et S₄). Ce résultat est probablement lié à l'altitude, ce qui explique leurs

diminutions en nombre, tout en allant des stations amont vers les stations aval caractérisées par des faibles altitudes, offrant ainsi des conditions faiblement favorables au développement de ses organismes. Cette constatation est en accord avec d'autres travaux comme ceux de Ait Mouloud, (1988) ; Lounaci-Daoudi, (1996) ; Lounaci *et al.* (2000) ; Mebarki, (2001) et Lounaci, (2005).

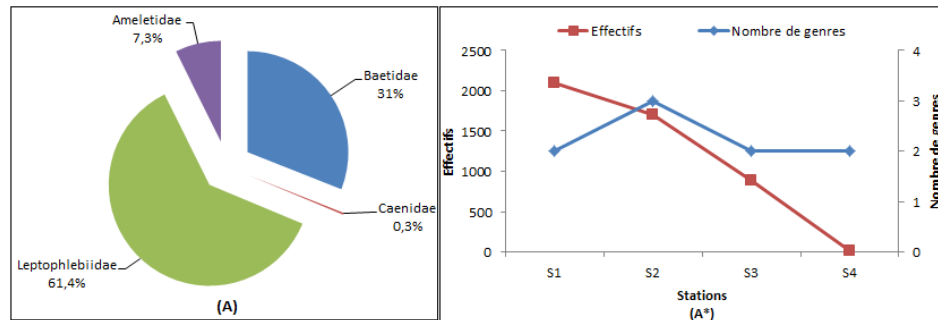


Figure 37 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Ephéméroptères dans l'oued Grou.

1.4.8. Héteroptères

Les Héteroptères aquatiques se rencontrent pratiquement en toute saison. A l'état adulte, ils hibernent et reprennent leur activité dès que la température s'adoucit. Chaque espèce a ses propres exigences écologiques. Selon Poisson (1957), ils peuplent divers biotopes des milieux aquatiques : marécages, mares, ruisseaux et rivières ; ils s'observent surtout sur les rives des cours d'eau.

Dans notre étude, la faune récoltée des Héteroptères compte 1586 individus (soit 17 % de la faune totale inventoriée), réparties en 3 genres appartenant à 3 familles. Les Corixidae (*Micronecta*) sont les plus représentées par 1438 individus (soit 90,7 % des Héteroptères), suivis par les autres familles qui sont faiblement représentées, les Gerridae (*Gerris*) comptent 146 individus (9,2 % des Héteroptères) et les Nepidae (*Nepa*) 2 individus (0,1 % des Héteroptères) (Figure 38A).

La répartition longitudinale des Héteroptères tout au long de l'oued Grou (figure 38A*) révèle l'existence de ces invertébrés dans toutes les stations avec des proportions différentes. En effet, le nombre des individus récoltés dans la station aval (S₄) est plus important que celui des stations situées en amont (S₁, S₂ et S₃), contrairement au nombre des genres qui est de 2 dans les stations amont (S₁ et S₂) et de 1 dans les stations aval (S₃ et S₄). L'abondance relative des Corixidae (forment 90,7 % des Héteroptères récoltés) peut s'expliquer par la

nature des habitats comme il a été démontré dans les travaux de Poisson (1938) ; Aguesse *et al.*, (1982) et Tebibel (1991).

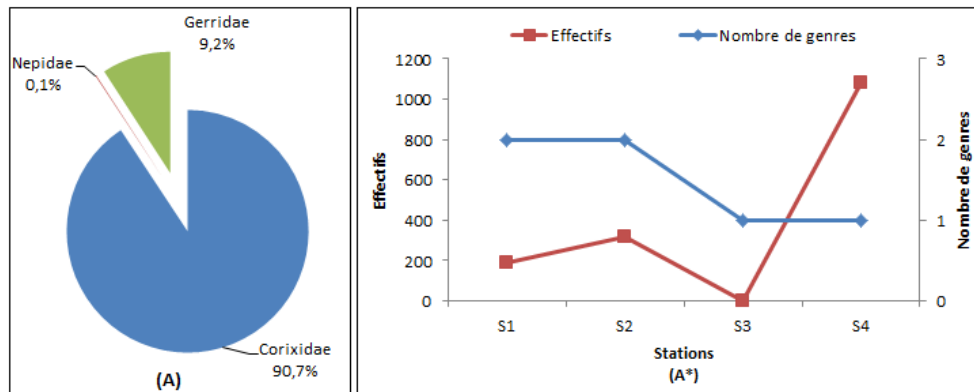


Figure 38 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Hétéroptères dans l'oued Grou.

1.4.9. Trichoptères

Les Trichoptères récoltés dans la présente étude sont représentés en très faibles proportions du peuplement total. En effet, la prospection de toutes les stations nous a permis de récolter seulement 85 individus (soit 0,9 % de la faune totale). Ils sont repartis en 2 genres appartenant à 2 familles : Les Hydropsychidae (*Hydropsyche*) représentés par 74 individus (soit 87 % des Trichoptères) et Les Lepidostomatidae (*Lasiocephala*) représentés par 11 individus (soit 13 % des Trichoptères) (figure 39A).

La distribution longitudinale des Trichoptères tout au long de l'oued Grou (figure 39A*) se traduit tout d'abord, par une grande abondance dans les stations (S₁ et S₃), puis moyenne dans la station S₂ et finalement faible dans la station S₄ située en aval de l'oued. Ce résultat peut être expliqué par la qualité de l'eau et la résistance faible de ces invertébrés à la pollution. En effet, les éléments de ce groupe d'insectes sont considérés par de nombreux auteurs, comme légèrement polluo-résistants et très aptes à recoloniser un substrat en grande partie déserté par les espèces fragiles (Maqboul *et al.*, 2001 et Haouchine (2011)), du fait que les larves du genre *Hydropsyche* constituent un élément fréquent, souvent abondant du benthos des eaux courantes Verneaux (1976).

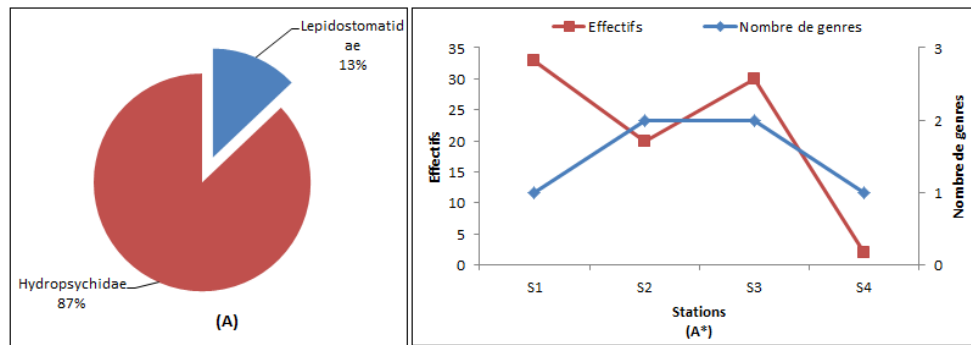


Figure 39 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Trichoptères dans l'oued Grou.

1.4.10. Odonates

Les Odonates ne sont pas seulement des indicateurs de la nature d'un milieu aquatique mais aussi un indicateur de sa richesse en faune aquatique. Leur diversité est fonction du régime thermique et de l'ombrage qui jouerait un rôle de facteurs limitants. Il leur attribue comme habitat, les eaux à écoulement lent et assez fraîches (Aguesse, 1968).

Moubayed (1986), signale que les densités et la diversité des Odonates sont sous l'action combinée du couvert végétal, du courant modéré et du substrat grossier, ou aux macrophytes de bordure, au courant lent et au substrat meuble.

Dans la présente étude, les Odonates récoltés sont représentés en très faibles proportions comparativement aux Éphéméroptères, aux Héteroptères et aux Diptères. En effet, la prospection de toutes les stations nous a permis de récolter au total 10 individus (figure 40A), soit 0,1 % de la faune totale. Et ceci aux niveaux des stations : S₁ (4 individus), S₃ (2 individus) et S₄ (4 individus). Ce résultat montre que ces invertébrés sont repartis en deux familles les Libellulidae (6 individus) et les Gomphidae (4 individus).

La répartition longitudinale des Odonates (figure 40A*) semble être liée à la qualité de l'eau, ils sont présents dans toutes les stations à l'exception de la station S₂ influencée directement par les eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad. Ce résultat, confirme nos observations qui vont dans le même sens que l'absence de ses organismes relativement polluo-sensibles se traduit par l'effet direct des perturbations anthropiques.

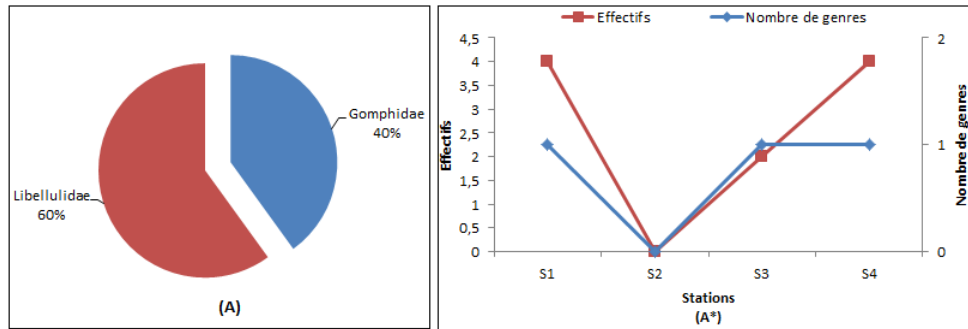


Figure 40 : Abondance (A) et répartition longitudinale (A*) des Odonates dans l'oued Grou.

1.4.11. Plathelminthes

Les Plathelminthes rencontrés dans l'oued Grou représentent 10,6 % de la faune totale récoltée. Avec un effectif de 1001 individus appartenant tous à une même famille Dugesiidae (*Dugesia*). Leur distribution longitudinale (figure 41), montre que ces organismes sont présents uniquement au niveau de la station S₄ située en aval de l'oued, zone de confluence des eaux de l'oued et du barrage SMBA riches en sels minéraux et en matières organiques. Ce dernier résultat confirme nos observations qui vont dans le même sens, que ces organismes polluo-resistants caractérisant des milieux riches en sels minéraux et en matières organiques et où la vitesse du courant semble ralentie. Cette constatation est en accord avec Hesse et *al.*, 2014.

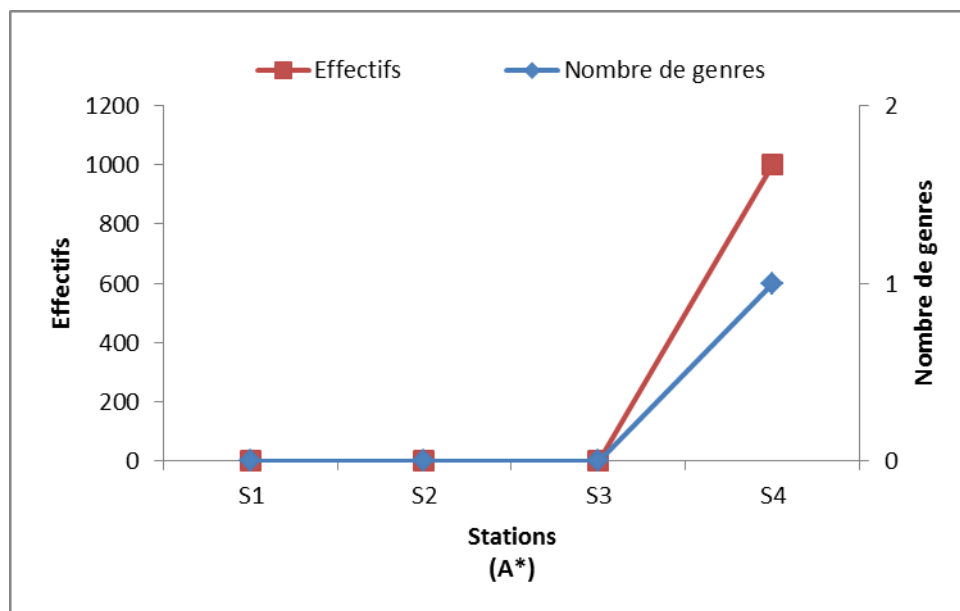


Figure 41 : Répartition longitudinale des Plathelminthes dans l'oued Grou.

2. Analyses de la structure du peuplement par calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

Les méthodes d'analyse et d'évaluation de la qualité écologique d'un milieu aquatique sont nombreuses et multiples. Le choix d'une parmi d'autres, dépendra de la problématique étudiée. Dans notre étude, nous avons choisis parmi d'autres, celle qui se base sur le calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN), qui est une méthode standardisée utilisée en écologie appliquée pour déterminer la qualité biologique d'un cours d'eau.

Le principe de cette méthode repose sur la macrofaune benthique prélevée directement sur le terrain, selon un protocole d'échantillonnage standardisé, en tenant compte des différents types d'habitats (AFNOR, 1992). Il repose aussi sur la présence ou l'absence de certains taxons dit Bioindicateurs. En effet, les organismes peuplant des cours d'eau sont particulièrement sensibles aux modifications du milieu dans lequel ils évoluent. Toute perturbation affecte leur milieu induit des modifications dans la composition des peuplements, par exemple la disparition de certaines espèces ou au contraire l'apparition et la prolifération des autres. Les macroinvertébrés benthiques possèdent cette faculté, certains groupes tels que les vers sont peu sensibles aux perturbations du milieu, ils sont dits «polluo-tolérants», contrairement à d'autres tels que les Plécoptères dits «polluo-sensibles» Hesse et *al.*, (2014). Notons que les macroinvertébrés présentent l'avantage d'être le plus souvent tributaire d'un milieu, de répondre rapidement aux stress et de constituer un des premiers maillons de la chaîne alimentaire des cours d'eau Barbour et *al.*, (1999).

L'analyse de la qualité écologique d'un cours d'eau est une démarche complémentaire à l'analyse physico-chimique de l'eau et des sédiments. En effet, tandis que la démarche physico-chimique caractérise l'origine des perturbations et renseigne sur la nature des polluants, la démarche écologique identifie les perturbations par leurs effets sur les habitats et les communautés animales et végétales en place. Du fait, l'IBGN est un outil de diagnostic parmi d'autres, il aide à l'interprétation de l'ensemble des informations recueillies sur le milieu étudié et fournit une estimation qualitative du milieu de son ensemble. Cette méthode s'applique à des sites d'eau courante dont la profondeur n'excède pas un mètre sur la majorité de la station.

D'après les résultats obtenus dans cette étude (Tableau 11), la qualité écologique de l'eau de l'oued Grou montre des fluctuations spatio-temporelles très importantes. Tout d'abord, la

valeur 12 de l'IBGN au niveau de la station amont S₁ chute brutalement à 6 au niveau de la station S₂, ceci pourrait être expliqué par la dégradation de la qualité de l'eau au niveau de la station S₂ située directement à l'effet des rejets domestiques et des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad. Enfin, on note une augmentation progressive de cette valeur tout en allant vers l'aval en S₃ et S₄, respectivement à 13 et 14, ceci pourrait être expliqué par le phénomène d'autoépuration de l'eau. Ce phénomène est un processus biologique naturel par lequel l'eau se nettoie elle-même, cette épuration naturelle est l'œuvre des organismes vivants dans le milieu aquatique (macroinvertébrés, bactéries, algues...), qui permettent à l'eau de retrouver sa qualité initiale.

L'autoépuration naturelle de l'eau dépend de la nature et de la quantité des polluants, si la quantité de matières polluantes qui y est rejetée est trop importante, il faudrait un nombre très important d'organismes et/ou une longue distance pour que l'eau restitue sa qualité. C'est la raison par laquelle nous avons pu expliquer l'amélioration de la qualité de l'eau aux niveaux des stations S₃ et S₄. Du fait que la station S₃ située à 35 Km de la station S₂, distance plus au moins suffisante à la mise en place du phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau, de même pour la station S₄ située à 30Km de la station S₃.

En conclusion, ces résultats nous permettent de classer la qualité de l'eau de l'oued Grou en 3 catégories :

- Moyenne au niveau de la station S₁.
- Médiocre au niveau de la station S₂.
- Bonne aux niveaux des stations S₃ et S₄.

Tableau 11 : Résultats des analyses hydrobiologiques obtenus par le calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) aux niveaux des différentes stations de l'oued Grou.

Variété total (VT), Classe de Variété (CV), Groupe Indicateur (GI).

Indices	Stations			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
VT	11	12	13	19
CV	4	4	5	6
GI	9	3	9	9
IBGN	12	6	13	14
Qualité de l'eau	Moyenne	Médiocre	Bonne	Bonne
Couleur	Jaune	Orange	Vert	Vert
Pollution	Modérée	Forte	Faible	Faible

Actuellement, néanmoins au cours de ces dernières années, les êtres humains ont modifié le bassin versant de l'oued Grou à un rythme accéléré et ce changement est visible presque

partout sur ses composantes. Le paysage naturel a été radicalement transformé par la sylviculture, l'agriculture, l'industrie et l'accroissement des zones urbaines qui contiennent la plus grande partie d'une population humaine en plein essor. Ceci est accompagné d'un taux de pollution de plus en plus élevé en touchant les ressources en eau, dans quelques années seulement ce taux va atteindre ses degrés intolérables où le phénomène d'autoépuration naturelle de l'eau n'aura plus de place, à ce moment la région va vivre une crise en eau.

Si les mesures de conservations et de protections ne sont pas entreprises, on aura une dégradation grave de la qualité de l'eau du barrage SMBA qui alimente en eaux potables, toute la région côtière allant de la grande ville de Casablanca jusqu'à Rabat. Donc, il est urgent de mis en place d'un plan d'aménagement et de gestion durable, qui vise une protection et une valorisation des ressources hydriques. Ainsi, la prévention contre toutes activités susceptibles d'altérer la qualité de ces ressources, en tenant compte du potentiel humain qui est facteur clé dans la réussite de cette opération. La construction d'une station d'épuration des eaux usées au niveau de la commune rurale de Jmaa Moulblad est devenue une obligation urgente à court terme.

IV. CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de ce travail, montrent que la faune recensée entre décembre 2014 et novembre 2015, présente un effectif de 9409 individus. Appartiennent à 33 familles et à 40 taxons, correspondants à 4 groupes faunistiques (Annélides, Plathelminthes, Mollusques et Arthropodes). L'effectif du peuplement benthique a montré que les Éphéméroptères constituent le plus grand groupe faunistique représenté par 4709 individus (soit 50 % de la faune récoltée). Les Hétéroptères (17 %), les Plathelminthes (10,6 %), les Annélides (8,3 %), les Crustacés (5,5 %) et les Diptères (5 %) sont moyennement représentés. Les Coléoptères (1,2 %), les Mollusques (1,1 %), les Trichoptères (0,9 %), les Plécoptères (0,3 %) et les Odonates (0,1 %) ne constituent qu'une faible fraction de la faune récoltée. Les familles les plus numériquement inventoriés sont : les Leptophlebiidae (2890 individus), les Baetidae (1459 individus), les Corixidae (1438 individus) et les Dugesiiidae (1001 individus). Les valeurs de l'indice Biologique Global Normalisé (IBGN) ont classé les eaux de l'oued Grou en 3 catégories ; moyenne en (S₁), médiocre en (S₂) et bonne en (S₃ et S₄). Ces résultats font ressortir une situation alarmante de la qualité des eaux de l'oued Grou, surtout au niveau de la station S₂ située juste après la zone de confluence avec les eaux usées provenant de la commune rurale de Jmaa Moulblad sans aucun traitement préalable. Pour remédier à ce

problème, nous recommandons à court terme, la construction d'une station d'épuration des eaux usées de la commune rurale de Jmaa Moulblad puis à long terme, la mise en place d'un plan d'aménagement et de gestion durable du bassin versant de l'oued Grou.

CHAPITRE XI : PROPOSITION D'UN PROJET D'AMENAGEMENT

I. INTRODUCTION

La raréfaction des ressources en eau sous la pression des demandes induites par la croissance démographique et économique, de la détérioration de la qualité des eaux, de l'épuisement des eaux souterraines, de la réduction de la capacité des retenues de barrages suite à l'envasement, et suite aux effets des variations climatiques est un défi à élever pour un développement durable.

Seule la gestion intégrée des ressources en eau, basée sur une vision globale du secteur et sur une approche fondée sur la concertation et la participation de l'ensemble des acteurs, notamment les usagers, pourra être la solution pour la satisfaction des besoins en eau, aussi bien en quantité qu'en qualité.

Dans ce cadre, l'aménagement du bassin versant de l'oued Grou présente un enjeu majeur dans la mesure où il vise à favoriser la régularisation et la préservation des ressources en eau, tant sur le plan de la quantité que de la qualité, et ce à travers une gestion intégrée conservatoire de toutes les ressources naturelles en impliquant tous les opérateurs et partenaires concernés. Aussi, en plus de la réduction de la pollution et l'érosion à travers des traitements mécaniques et biologiques appropriés, l'amélioration des conditions de vie des populations est un facteur à tenir en compte.

La pollution des ressources en eau et l'érosion constituent par ailleurs un grave problème écologique au niveau de la zone d'étude, il se traduit par des pertes considérables. Pour faire face, l'Etat a pris des dispositions juridiques, administratives et techniques, mais l'ampleur de ce problème persiste encore. Pour cela nous avons proposé dans ce chapitre un ensemble d'actions (environnemental, économique et social) qui visent à un développement durable de la région.

II. DIFFERENTES APPROCHES D'AMENAGEMENT

L'aménagement des bassins versants s'est basé sur deux grandes logiques traditionnelles, lesquelles sont remplacées par de nouvelles approches.

1. Logiques traditionnelles

1.1. Logique d'équipement du territoire

Tous les projets d'aménagement des bassins versants (ABV), de conservation des eaux et de sols (CES), sont basés sur la logique d'équipement du territoire (Regis & Roy, 1999). Suivant cette dernière, les problèmes sont considérés sur un angle purement technique. Les tentatives pour combattre la dégradation des terres ont visé surtout à prévenir ou à réduire les pertes en sol. L'érosion était considérée comme un phénomène physique à combattre surtout par des moyens physiques (FAO, 1990).

Les stratégies de mise en œuvre sont:

- Sensibiliser les paysans habitant de BV sur les conséquences négatives des actions de déboisement des mornes.
- Donner des formations aux paysans et encadreurs juste pour réaliser des travaux de protection purement techniques.
- Former des groupes de paysans, de façon individuelle pour travailler sur leurs terres, celles d'autres propriétaires ou celle de l'Etat.

1.2. Logique de développement économique

La logique de développement économique prend en compte aussi la situation sociale du monde rural tout en pratiquant la conservation des eaux et des sols. Dans ce sens, cette approche considère la CES comme étant l'un des facteurs du développement rural (Regis & Roy, 1999).

Les stratégies employées sont tout à fait différentes :

- Les aménagements sont pensés à la parcelle tout en visant l'ensemble du BV.
- Le choix des zones se fait par les paysans avec les conseils techniques d'un encadreur.
- Les paysans identifient les contraintes, les hiérarchisent et priorisent les solutions.

2. Nouvelles approches

Suite aux échecs qu'ont connus les logiques d'intervention en aménagement des bassins versants, de nouvelles approches ont été adoptées. Ces approches ont assuré une large participation de la population rurale aux programmes d'aménagement et de conservation des sols.

2.1. Approche intégrée

L'approche intégrée est développée vers les années 90, l'aménagement intégré des bassins versants est un bon moyen d'harmoniser la conservation, la production agricole, l'élevage et la foresterie en altitude (Hernandez, 1991). Elle opte pour une responsabilité locale, à travers un consensus devant aboutir à l'élaboration d'un plan de gestion durable des ressources naturelles (Saint-Preux, 2002).

Dans cette approche la planification des processus est considérée comme la première étape pouvant aboutir aux objectifs fixés. Elle insiste sur la nécessité, particulièrement au niveau local, d'impliquer et de faire participer les intéressés aux décisions sur l'utilisation et la gestion des terres. Ce ne doit pas être une procédure haut-bas, mais un mécanisme d'aide à la décision destiné à guider les utilisations des terres ou les décideurs dans le processus (FAO, 2001).

2.2. Approche participative

La démarche participative et sa mise en œuvre ont débuté avec la communauté rurale, elle prend les décisions concernant le choix, la conduite et la gestion des activités (FAO, 1999). La participation populaire est essentielle au succès de l'aménagement des BV, et l'initiative revient aujourd'hui de plus en plus aux populations, et les administrations étant reléguées à un rôle consultatif et d'appui (Michaelsen, 1991).

L'approche participative est utilisée dans le but de réduire les impacts défavorables des pratiques d'utilisation des terres sur les ressources, en faisant participer la population à sa planification et sa mise en œuvre. Elles apportent des bienfaits économiques, comme l'amélioration des revenus des agriculteurs et la sécurité des moyens d'existence, ainsi que des bienfaits sociaux, comme la création d'association ou de comités locaux et la diminution de l'exode rural. Les projets participatifs de la planification et de la gestion des BV sont réalisés au niveau communautaire et ne portent que sur des superficies très exigües. Les succès et les résultats sont beaucoup plus satisfaisants (Michaelsen, 1991).

Toutefois, les approches participatives soulèvent certains problèmes pour les communautés en amont et en aval:

- L'échelle réduite de l'approche tend à ne faire bénéficier des avantages que les agriculteurs participants.

- Sur le plan social, le bassin hydrologique n'est pas toujours l'unité de planification la plus indiquée pour la population locale. Pour que l'approche participative soit performante, la zone objet de la planification devrait pouvoir être ajustée, ce qui risque de compromettre l'établissement de relation amont aval (Greenland, 1996).
- L'extension de l'approche participative à de grands BV est une démarche très complexe car elle exige la coopération d'organismes publics et la constitution d'association de BV (Greenland, 1996).

2.3. Approche décentralisée

Les bassins versants des pays en voie de développement comptent une forte population d'agriculteurs. En conséquence, tout plan d'aménagement ne peut réussir qu'avec leur appui ou leur participation effective. Pour que les plans d'aménagement des bassins versants soient utiles et réalisables, il est indispensable qu'ils soient bien compris et acceptés à la base (Joseph, 2003).

2.4. Approche itérative

La planification est un processus itératif. Beaucoup d'enquêtes, d'évaluations, d'études des diverses possibilités et de révisions sont nécessaires avant la préparation du plan définitif (Joseph, 2003).

2.5. Approche souple

Le plan d'aménagement d'un bassin versant doit être considéré comme un point de départ et il doit être soumis à un contrôle et un ajustement constants. L'aménagement du bassin versant est une tâche complexe qui soulève des problèmes d'ordre social, économique, culturel, légal, institutionnel et matériel. Les difficultés surgissent parfois pendant la mise en œuvre, les stratégies et les objectifs initiaux doivent souvent être remaniés. En conséquence, il est essentiel d'apprendre tout en agissant, ce qui oblige à élaborer un plan souple (Joseph, 2003).

III. FACTEURS LIÉS A LA MISE EN OEUVRE DU PLAN D'AMENAGEMENT

Les principaux facteurs sont :

- La forte pression sur les ressources en eau.

- La surexploitation des terres.
- La forte pression démographique entraînant la réduction voire la diminution rapide de la taille de l'exploitation.
- Les pratiques de cultures érosives sur les fortes pentes au détriment des cultures protégeant le sol.
- La mise sous culture de terres à pentes excessivement élevées sans mesure de lutte antiérosive.
- Le faible développement de l'agroforesterie.
- La fragilité du milieu physique (fortes pentes, sols fragiles et sans couvert végétal).
- La pratique de l'élevage libre.
- La violence des phénomènes climatiques (pluies à caractère torrentiel).

IV. PROJET D'AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE L'OUED GROU

Selon les informations fournies par la littérature et les résultats obtenus dans ce travail, nous avons une bonne compréhension de la situation de dégradation environnementale du bassin versant de l'oued Grou dans la région d'étude. En effet, la qualité des ressources en eau est dégradée, le niveau de couverture végétale est très faible et les sols sont détériorés à cause de l'érosion. Ce qui fait que les parcelles agricoles des paysans deviennent de plus en plus petites et de moins en moins rentables, le niveau des eaux du barrage SMBA est réduit à cause de l'envasement, il y a très peu d'arbres sur les berges et la formation de ravines dans les différentes parties du bassin. Cette situation préoccupante consiste des interventions immédiates sur toutes les sections de ce bassin versant, afin d'améliorer la qualité de l'eau, d'augmenter la couverture végétale et de conserver les sols contre l'érosion. Sans oublier l'intégration des habitants de la région à côté des solutions environnementales, car ils ont de grands besoins socio-économiques.

Les activités que nous proposons dans ce projet d'aménagement sont diversifiées, dans la mesure du possible d'être conservatrices et protectrices des ressources en eau et des sols, et au même temps d'être créatives des activités socio-économiques génératrices des meilleurs revenus. La création d'activités non agricoles dans la zone d'étude peut aider considérablement à diversifier les sources de revenus des gens et réduire la pression sur les ressources naturelles.

Selon les témoignages des gens rencontrés lors de la réalisation des enquêtes, concernant les interventions de l'Etat. Ces gens affirment tous que les dirigeants n'ont pas fait beaucoup d'efforts pour lutter contre la dégradation des ressources en eau et l'érosion des sols, les discours sont toujours à l'ordre du jour mais les actions sont très faibles. Il n'existe pas de projets qui sont en train d'être exécutés à part quelques activités isolées réalisées.

1. Stratégie adaptée

Pour élaborer un plan d'aménagement et de gestion durable du bassin versant de l'oued Grou (région de Rabat), on s'est inspiré un peu de l'idée de Bochet (FAO, 1983) qui pense qu'il est préférable de procéder à l'aménagement de petites zones, à titre expérimental, pour mettre au point des modèles et des méthodes avant de se lancer dans un projet de grande envergure. Pour ce là, nous avons tenu en compte de certains critères sur lesquels l'Organisation Mondiale pour l'Agriculture (FAO) se base généralement pour la sélection des micro-bassins versants inclus dans les premières phases des projets d'aménagement qu'elle finance. Ensuite, nous avons considéré d'autres critères jugés utiles en fonction de la réalité du terrain dans lequel on va implanter le projet.

Les principaux critères considérés sont les suivants :

- Le pourcentage de la couverture végétale existante.
- Le degré de dégradation des sols.
- L'efficacité et la solidité des organisations et des associations locales existantes.
- Le potentiel de restauration des terres par des moyens naturels simples et perspectives de réduction de l'érosion.
- L'attitude et la capacité des populations locales à adopter des techniques agro-forestières ainsi que de leur disposition à coopérer.
- Disponibilité de l'eau pour l'arrosage des plants.

En se basant sur les résultats des enquêtes réalisées sur le terrain et en tenant compte des critères ci-dessus, nous pensons que notre bassin versant est adéquat pour le projet envisagé. Les gens de la région rencontrés lors des enquêtes (agriculteurs, éleveurs, petits commerçants etc.) sont très intéressés à un tel projet de ce genre. En réunissant tous ces critères, nous arrivons à croire que le projet est plus faisable et réalisable dans la zone d'étude.

2. Objectifs spécifiques

Le projet devra répondre aux trois piliers fondamentaux du développement durable l'efficacité économique, l'équité sociale et la préservation de l'environnement, ainsi aux critères suivants :

- ✓ Démontrer que l'approche globale d'aménagement intégré peut aider à moyen et à long terme à résoudre les problèmes de la région.
- ✓ Démontrer la complémentarité et la compatibilité des travaux d'aménagement.
- ✓ Maintenir et améliorer la diversité et la qualité des habitats riverains.
- ✓ Améliorer l'expertise, en matière d'aménagement intégré, des personnes qui assurent des services-conseils auprès des propriétaires.
- ✓ Augmenter le niveau d'implication et le nombre de propriétaires actifs, la protection et la mise en valeur des ressources naturelles.
- ✓ Faciliter les démarches menant à la certification des pratiques forestières.

V. ESQUISSE DU PLAN D'AMENAGEMENT

La réalisation d'un plan d'aménagement n'est pas une simple entreprise. Elle requiert donc une planification qui garantit des résultats en fonction des objectifs escomptés. En effet, après avoir exploré le bassin versant de l'oued Grou et identifié les problèmes majeurs qui constituent de véritables contraintes à son développement, un plan d'aménagement dans ses grandes lignes est élaboré en vue d'y apporter quelques éléments de solutions. Ce plan d'aménagement ne tient pas compte seulement le côté physique et socioéconomique, mais aussi les stratégies de mise en œuvre. Ainsi, les mesures envisagées sont de deux types :

- ✓ Mesures socioéconomiques qui comptent apporter des solutions aux problèmes que confrontent les habitants du BV (du coup relever leur niveau de vie).
- ✓ Mesures techniques qui visent la mise en œuvre des stratégies de protection des ressources en eau et la réhabilitation du milieu.

1. Mesures socioéconomiques

Le facteur humain est d'une importance capitale dans un programme d'aménagement d'un bassin versant. Dans les pays en voie de développement, le manque de formation et le faible niveau économique sont essentiellement à l'origine de la dégradation de l'environnement (Meziani, 2011). Dans ce cas, des mesures visant à relever le niveau de vie des habitants du bassin versant deviennent impératif. En voici celles recommandées :

1.1. Mesures préliminaires

La santé de la population est très importante à tout point de vue. Pour cela nous recommandons un programme de santé communautaire dans la région d'étude. De ce fait, le renforcement des dispensaires dont disposent les communes rurales de la région Tnin Sidi Aazouz, Moulay Driss Aghbal et Jmaa Moulblad est primordial. La création d'écoles professionnelles dans ces communes rurales est d'extrême urgence et d'importance pour réduire de l'émigration des jeunes, incluant des volets comme l'éducation environnementale, ainsi que des bienfaits sociaux, comme la création d'associations ou de comités locaux peuvent diminuer de l'exode rural.

1.2. Mesures de sécurité et de prévention

La mise en place d'une station climatologique va permettre sans doute à déterminer la pluviométrie exacte de la région, ainsi d'anticiper aux précipitations violentes et aux crues. Mais va également pouvoir de distinguer entre les différentes zones agro-climatologiques.

1.3. Mise en place des moyens visant à augmenter la production agricole.

Les semences utilisées par les agriculteurs ne sont pas très souvent de bonne qualité. Il faut envisager d'abord de mettre en place des boutiques d'intrants agricoles avec une banque de semences améliorées et des magasins communautaires au centre du bassin versant. Il faut former les agriculteurs, en leur apprenant les meilleures techniques et pratiques agricoles.

Ensuite, il faut établir des unités de transformation et de conservation technologiques des produits agricoles, des unités de conservation et de commercialisation.

1.4. Renforcer l'élevage

Toute action visant à renforcer le secteur de l'élevage doit prendre en compte l'aspect alimentation et génétique des populations animales. De ce fait il faut :

- ✓ Mettre à la disposition des agriculteurs des races améliorées pour augmenter la performance des races locales.
- ✓ Introduire la culture des légumineuses comme sources de protéines pour les animaux.
- ✓ Promouvoir, avec l'appui de la population, la production de fourrage comme l'herbe.
- ✓ Promouvoir des méthodes de conservation d'herbes.

- ✓ Renforcer les soins vétérinaires en augmentant le nombre de campagnes de vaccination et en formant régulièrement des techniciens vétérinaires.

1.5. Réhabiliter et sécuriser les potentiels des sources afin de les rendre facilement accessibles et utilisables par la population locale

1.5.1. Actions de protection et mis en défense

La protection du bassin contre toutes les sources de dégradation et de déforestation est indispensable. Ceci, est à travers le renforcement des structures antiérosives et la plantation d'arbres.

1.5.2. Actions d'aménagement

Protection et valorisation des ressources en eau de l'oued Grou contre toutes formes de pollution dans la région par :

- La construction d'une station de traitement des eaux usées provenant de la commune rurale de Jmaa Moulblad sans aucun traitement préalable.
- La réduction de l'utilisation des déjections d'animaux d'élevage (source de la contamination bactériologique) en agriculture, comme engrais, dans les aires cultivées et ceci à travers des solutions alternatives, par l'introduction et la divulgation des techniques de fabrication de compost.
- L'utilisation rationnelle des engrais et des pesticides en agriculture.
- La réduction des autres sources de pollution susceptibles d'altérées la qualité des ressources en eau afin d'assurer un approvisionnement en eau suffisant et durable, aussi bien en quantité qu'en qualité.

1.5.3. Actions liées à la gestion des points d'eau

Organiser les utilisateurs des points d'eau en comités capables d'assurer la gestion et la maintenance des aménagements.

1.6. Mise en place des moyens visant à augmenter les nouvelles activités

- ✓ Etant donné que les petits métiers extra-agricoles comme la maçonnerie, l'ébénisterie et la couture, ont une grande importance dans la diminution de la pression sur les ressources naturelles, il faut les encourager et les subventionner.

- ✓ Valorisation de l'artisanat et les artisans, par la création des centres de formation et des marchés de commercialisation des produits.
- ✓ Valorisation de l'activité de pêche par la création d'une station d'élevage des poissons à la région. Celle-ci va assurer deux rôles socioéconomique et environnemental en conservant la biodiversité ichtyofaune des espèces autochtones et introduites, ainsi d'améliorer la qualité de l'eau et de lutter contre le phénomène de l'eutrophisation du barrage SMBA.
- ✓ Création des activités de reboisement et de restauration du milieu naturel.
- ✓ Valorisation des activités écotouristiques et de loisirs (la chasse, la pêche sportive, l'animation ...).
- ✓ Augmentation de la superficie des aires protégées par la création des activités d'élevage et de restauration de la faune sauvage.

2. Mesures techniques

Face à la dégradation du milieu physique, des mesures techniques visant sa réhabilitation se révèlent d'une impérieuse nécessité. Elles seront axées sur le traitement du bassin versant par des méthodes de lutte antiérosives (techniques mécaniques et biologiques) dans le but de corriger la multitude de ravines.

2.1. Différents types de traitement

2.1.1. Traitement Mécaniques

Dans ce type de traitement nous pouvons rencontrer les seuils suivants :

- Les seuils en clayonnage seront utilisés pour des ravines ayant au maximum 1m de haut et 1m de large.
- Pour des ravines ayant au maximum 2 m de haut sur 4 m de large, on construit des seuils en pierres sèches.
- Au-delà de ces dimensions, on parle de ravines torrentielles. Pour les corriger, on recourt à des seuils en maçonnerie ou en gabions.
- Une fois les travaux de correction mécanique de la ravine, terminés, il est nécessaire de fixer définitivement les atterrissements et les berges de la ravines en y implantant de la végétation.
- Pour être plus efficace, la fixation biologique doit se faire par la combinaison de plantations, de semis d'herbacées vivaces (permettant une couverture de la surface du

sol) avec le besoin des paysans de produire et de rentabiliser le travail qu'ils auront fourni pour l'aménagement de la ravine.

2.1.1.1. Seuils en gabions

Les gabions ne pourront être mis en œuvre qu'après notification à l'attributaire de l'acceptation des treillis métalliques et de la qualité de la pierre. Les gabions seront constitués de fil galvanisé de diamètre important, pour une meilleure résistance et une structure bien renforcée, avec une très faible probabilité d'écrasement et de déformation. Ils devront être remplis suivant les règles de l'art, de manière à assurer un remplissage homogène et à limiter au maximum la déformation des cages.

Le gabion, au moment de son utilisation, sera déplié sur une surface plane et dure, de façon à ce que toutes ses faces reposent à plat sur le sol. Les quatre faces latérales seront relevées pour former une cage dont le couvercle restera ouvert, on procédera alors à la ligature des arrêtes verticales. Si ce gabion doit être juxtaposé à d'autres déjà en place, ses faces en contact avec ces derniers seront parfaitement appliquées contre les gabions voisins.

Pour la réalisation d'un ouvrage monolithique, les gabions devront impérativement être ligaturés les uns aux autres sur tout le pourtour, la ligature de toutes les mailles doit être bien soignée et régulière. Les pierres employées pour le remplissage des cages ne doivent pas être friables ou gélives et par contre manifester un poids spécifique le plus haut possible. La dimension optimale de ces pierres est celle comprise entre 2 et 4 fois la dimension de la maille du grillage afin d'avoir un assortiment et donc une meilleure densité.

2.1.1.2. Seuils en pierre sèche

Ce sont des ouvrages construits en maçonnerie de pierre sèche dont la hauteur effective n'excède pas à 2 m.

2.1.2. Traitement biologique

2.1.2.1. Haies vives

Les haies vives ou rampes vivantes est une technique assez recommandée pour remodeler les versants. Certains critères doivent être considérés avant de décider d'implanter des haies vives. D'abord la haie vive doit présenter un certain intérêt pour le paysan (production de fourrage) et ensuite elle ne doit pas concurrencer les cultures voisines. En ce sens, les espèces

à racinement profond sont préférables en vue de limiter la concurrence pour la lumière et l'espace. En plus, la végétation implantée doit être maintenue basse par des coupes ou des tailles régulières (Koohafkan et *al.*, 1989 et Geilfus, 1989). En effet, l'utilisation des légumineuses ligneuses pour créer des haies vives basses semble être très intéressante surtout pour la production du fourrage. Donc, les haies vives avec des légumineuses sont des techniques assez efficaces pour la conservation des sols et des eaux. Elles aident à combattre l'érosion des sols qui sont très détériorés. Nous pensons que cette technique agro-forestière puisse aider beaucoup la population à satisfaire leurs besoins et à produire du fourrage pour alimenter les animaux.

2.1.2.2. Plantation d'arbres sur clôture des parcelles agricoles

Cette technique vise à délimiter les parcelles agricoles avec des arbres selon leur préférence, ces arbres sont utilisés comme clôture et ont une fonction de protection principalement.

2.1.2.3. Pratique agro-sylvopastoral

Le système de production agro-sylvopastoral est une technique, qui consiste à implanter des rampes vivantes avec des graminées telles que l'herbe comme végétation dans les parcelles agricoles des paysans. Les herbes vont fournir du fourrage pour alimenter les bovins et les caprins qui vont produire du fumier. Le fumier produit par les animaux sera utilisé pour élaborer du compost avec les résidus de récoltes, ce compost sera utilisé pour fertiliser le sol ce qui augmentera par la suite la productivité des parcelles agricoles des paysans. Cette technique fournit du fourrage pour nourrir le bétail, aide à améliorer la fertilité des sols et à augmenter la couverture végétale.

2.1.2.4. Traitement de la berge par des plantations d'arbres

Le sapement des berges peut compromettre la stabilité du versant et conduire à la disparition des terres agricoles par grignotage des terrasses cultivées. Cela peut mettre en danger le barrage ainsi que la partie amont des canaux d'irrigation (Koohafkan et *al.*, 1989). La plantation d'arbres et d'arbustes le long de la berge du barrage permettra d'augmenter sa résistance au sapement. Cette végétation peut aider considérablement à contrôler l'érosion et stabiliser la berge du barrage. Les espèces qu'on propose d'utiliser sont des espèces rencontrées fréquemment à proximité du barrage. Ce sont : le pin d'Alep (*Pinus halepensis*),

le cyprès (*Cupressus Sempervirens*), l'acacia (*Acacia xanthophloea*), le tamarix (*Tamarix gallica*).

2.2. Traitement du bassin versant de l'Oued Grou

Le réseau hydrographique du BV de l'oued Grou est essentiellement constitué de ravines qui drainent, lors des crues d'importantes quantités de matériaux grossiers et fins qui peuvent occasionner des pertes en aval. Le traitement de ce BV consistera d'une part à reconstituer la couverture végétale des surfaces collectrices des ravines et d'autre part à y implanter des seuils.

En tenant compte d'une part de la pente forte en grande partie de la superficie de la zone d'étude, de l'érosion des sols et de la situation topographique du BV, une intense activité de conservation de sols et de reboisement devrait être envisagée.

L'établissement d'un couvert végétal est d'une extrême urgence, vu la grave situation de la dégradation de la forêt :

- Si les terres sont du domaine public, des campagnes massives de reboisement sont nécessaires afin d'installer des forêts de protection pour consolider ces sols.
- Si les terres sont du domaine privé, on proposera un système d'agroforesterie avec des espèces appropriées.

Dans les deux cas il faut qu'il y ait régulièrement de suivi dans les travaux entrepris.

2.2.1. Zones de cultures agricoles denses

Les zones de cultures agricoles denses sont rencontrées surtout dans les zones où les sols ont une potentialité appréciable, la pente est qualifiée faible. Elles occupent un très faible pourcentage de l'espace de la zone d'étude, dans ce cas des opérations de nettoyage, de regarnissage et de traitement phytosanitaires sont recommandées. Les risques d'érosion peuvent être corrigés par la mise en place des structures simples qui demandent moins d'investissement et de temps de travail, comme des structures de clayonnage faites à partir des résidus de culture utilisée après chaque cycle cultural.

2.2.2. Zones de cultures agricoles moyennement denses

Dans cette situation on a deux cas :

- Pour les zones où les pentes sont faibles, elles devraient être réservées aux cultures annuelles avec des pratiques culturales ou des mesures permettant la conservation des sols. Dans ce cas, il faut maintenir la polyculture, pour prévenir certaines dégradations qui pourraient survenir, on n'a qu'à mettre en place des structures simples en pierre sèches et/ou des murettes.

- Pour les zones à pentes fortes on peut mettre cet espace en défense pour la régénération naturelle ou créer une forêt avec des espèces faciles à s'adapter.

2.3. Amélioration des systèmes de production

La conservation des sols dans les zones dégradées du BV, ne doit pas se limiter aux seuls ouvrages de lutte antiérosive mais doit allier aussi différentes pratiques et techniques agricoles qui permettent d'accroître la production et les revenus des paysans, tout en protégeant le sol et en maintenant sa fertilité. Aujourd'hui, les savoir-faire devraient être repensés dans un sens d'efficacité, de rentabilité et de durabilité. Il s'agit de certaines pratiques rentables, moins coûteuses et facilement reproduites par les paysans, et qui consistent à éviter toutes les actions favorisant le développement de l'érosion hydrique.

Nous recommandons les techniques agricoles suivantes :

- Choisir des espèces en fonction de la nature du terrain. Les pentes les moins fortes peuvent être réservées aux cultures annuelles.
- Ne pas cultiver dans le sens de la pente, mais selon les courbes de niveau.
- Eviter de mettre en culture de grandes parcelles dans le sens de la pente.
- Les parcelles doivent avoir une superficie importante, si non penser au système de coopération pour avoir une meilleure rentabilité.
- Laisser les résidus de récolte sur le sol et apporter de la matière organique sous forme de fumier et de compost pour améliorer la structure, donc la fertilité des sols.

Au niveau des poches dénudées, pour prévenir l'apparition d'une érosion accélérée, l'établissement des structures antiérosives composées de haies vives, de terrasses intermittentes, en utilisant des espèces pouvant être valorisées par le bétail est à conseiller.

2.4. Correction des ravines

En ce qui concerne le traitement des ravines, leur niveau de dégradation et leur régime sont des facteurs importants à considérer ;

- Les ravines sèches doivent être aménagées par des structures constituées par des seuils en gabion et en pierre sèche, renforcées par des structures biologiques comme les plantes résistantes au climat résiduelle et aussi au type de sol de la zone.
- Les berges des ravines à régimes permanents doivent être renforcées par des seuils mécaniques et biologiques.

Le traitement des ravines dans le but de les stabiliser est d'une extrême urgence. Dépourvues de végétation, les ravines fonctionnent comme de vrais torrents en saisons pluvieuses. Leur lit se creuse davantage et d'importantes quantités de matériaux solides sont entraînées en aval.

Ainsi, la stabilisation des lits de ces ravines doit tenir une place essentielle dans les travaux d'aménagement. Pour ce faire, de simples corrections biologiques pourront être appliquées pour les petites et moyennes ravines en implantant des espèces d'arbres appropriées. Pour les ravines assez développées, on doit modifier leur profil initial par des techniques mécaniques en vue de provoquer des atterrissements au moyen des seuils. Par ailleurs, les travaux d'aménagement doivent être entrepris durant les saisons sèches. Cela empêchera la détérioration des ouvrages et facilitera leur achèvement.

De même, pour augmenter la durée de vie du barrage SMBA, les ravins doivent identifier et font l'objet de traitement mécanique, de l'aménagement en banquettes planté par une végétation adéquate.

Cependant, ces travaux d'aménagement doivent s'inscrire dans une nouvelle stratégie ayant pour objectif principal une meilleure gestion des ressources naturelles, en tenant compte des attentes et des besoins de la population locale, comme principale partie prenante dans cet écosystème fragilisé.

2.5. Réalisation des formations sur l'utilisation des techniques agro-forestières

La programmation des séances de formation sur l'utilisation des techniques agro-forestières est d'une très grande importance pour les agriculteurs de la région. En mettant l'accent sur la façon d'entretenir chaque pratique agro-forestière proposée, les bénéfices socio-économiques à en tirer, l'investissement requis en termes de temps et de travail et l'importance écologique. En profitant de ces séances pour promouvoir les techniques agro-forestières et sensibiliser les agriculteurs à les adopter.

VI. STRATEGIE D'APPLICATION DU PLAN D'AMENAGEMENT

1. Création d'un comité de gestion

Le plan d'aménagement ne doit pas être un simple slogan mais, il doit intégrer toutes les entités du bassin versant de l'oued Grou.

- Il faut créer une association qui aura pour mission de faire passer les revendications de la population en termes de leur besoin primordial et ensuite de veiller à leur prise en compte dans le projet.
- Il faut créer un comité qui aura pour mission de fournir d'une part l'assistance technique, logistique et, d'autre part, le financement.

2. Financement de l'aménagement

Le financement d'un projet d'aménagement nécessite la mobilisation de beaucoup de fonds. Le projet doit s'inscrire dans le cadre d'un plan de développement global, de ce fait, le financement peut être recherché à quatre niveaux :

- Du côté des bailleurs de fond travaillant dans le domaine.
- Du côté de la mairie de la région et/ ou de l'Etat.
- Du côté de la population locale surtout dans le cadre de l'approche participative.
- Du côté de la population aval de l'ouvrage du barrage SMBA, surtout les producteurs des eaux potables, les propriétaires des unités industrielles et d'autres usagers de l'eau.

3. Suivi et contrôle

Cette rubrique sera assurée par un comité provenant de la fusion des comités de gestion où de tous les acteurs. Ce dit comité doit jouer le rôle d'interface entre les comités locaux et l'Etat central en s'assurant vraiment que les besoins de la population locale soient pris en compte et mis en application.

4. Portée du plan d'aménagement

L'exécution de ce plan d'aménagement permettra d'aboutir à des bénéfices tant matériels qu'immatériels. La protection du bassin versant de l'oued Grou et la réhabilitation de l'environnement constituent les bénéfices matériels. Tandis que les bénéfices immatériels,

passent par l'amélioration des conditions socioéconomiques de la population locale et la protection de leur vie contre les inondations.

5. Limites

Ce projet d'aménagement et de gestion durable concerne seulement la région de Rabat. Il comporte certaines lacunes qui devront être comblées en réalisant d'autres études dans le but d'élaborer un plan d'aménagement et de gestion durable pour toute la superficie du bassin versant de l'oued Grou, car les problèmes sont graves dans toutes les sections. Mais comme les moyens sont limités et que ce travail entre dans le cadre de la recherche scientifique, on a choisi de travailler sur la région de Rabat.

En temps donné, un travail d'un mémoire ou d'une thèse n'aura jamais terminé. Durant ces années de recherches et d'observations nous avons retrouvé avec plus de questionnements et de nouvelles hypothèses. Néanmoins, ces années de recherche nous ont permis de publier quelques articles et de produire quelques conclusions générales sur le sujet de notre thématique (**Bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat) - Diagnostic écologique et plan d'aménagement et de gestion**). En plus, quand la loi sur le droit d'accès à l'information au Maroc entre en vigueur, il sera nécessaire de trouver d'autres informations pour pouvoir compléter l'explication de certaines données complexes. Ce qui fait que d'autres études doivent être entreprises afin de mieux produire les données et les informations permettant de généraliser les résultats de la dégradation de la qualité des ressources en eau et l'érosion des sols, mais à différentes échelles spatio-temporelles du bassin versant de l'oued Grou. Il faut encore étudier et quantifier tous les axes et des processus promoteurs de la dynamique actuelle. Cela ne serait possible qu'à travers des études typologiques et l'établissement d'une base de données à travers le développement d'un SIG fonctionnel en intégrant tous les facteurs de la dynamique actuelle dans leur complexité. Il ne faudrait surtout pas négliger des études sur la variabilité des facteurs anthropiques et enjeux socio-économiques dans l'utilisation des ressources naturelles. Ces études, une fois terminées et couplées à celle de la dynamique érosive générale seront un complément nécessaire à la production des modèles performants et fonctionnels du plan d'aménagement et de gestion durable. Et nous ont permis aussi de déterminer les budgets prévisionnels et le calendrier d'exécution des travaux prévus.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail qui s'inscrit dans le cadre de la recherche scientifique et relatif au développement durable des ressources en eau au Maroc. Les résultats obtenus nous ont permis d'avoir une bonne compréhension de la situation de dégradation environnementale et socio-économique du bassin versant de l'oued Grou notamment au niveau de la région de Rabat objet de cette étude.

En effet, le rythme de la dégradation des ressources en eau, de l'érosion des sols et de l'envasement du barrage SMBA n'a enregistré aucun ralentissement malgré les tentatives qui ont été faites par l'état, car le côté environnemental et socio-économique ne constitue qu'un petit volet de ces tentatives. Ce qui fait qu'en dehors des projets de contrôle spécifique, l'état n'aura jamais atteint de bons objectifs. L'absence d'une politique d'intégrité territoriale de lutte contre la pollution et l'érosion, dans un cadre de bonne gouvernance, en tenant compte de l'ensemble des interactions et des composantes de l'espace, a fait sortir des résultats médiocres qualitativement et quantitativement. L'absence d'une vision claire pour l'ordre des priorités, du fait de leurs multitudes (les objectifs poursuivis sont dispersés dans le temps et dans l'espace, et les moyens de leur mis en œuvre ont été toujours au-delà des attentes), aggravé les déséquilibres écologiques.

Les résultats des analyses morpho-dynamiques montrent que le régime annuel de l'oued Grou est marqué par un écoulement faible en saison sèche, et par un écoulement important et des manifestations hydrologiques brutales en saison humide. Les valeurs les plus basses du débit ont été enregistrées en période estivale et les plus élevées en période hivernale. Ce qui fait que selon l'importance du débit, ce cours d'eau se caractérise par un régime hydrologique de type pluvio-évaporal, lié à la variabilité et à l'abondance des précipitations, et à l'effet de l'évapotranspiration.

Les résultats des analyses physico-chimiques, bactériologiques et biologiques obtenus dans ce travail, décrivent une situation préoccupante de l'état des ressources en eau de ce bassin versant. En effet, à la lumière des résultats des analyses physico-chimiques (T, CE, pH, mV, Sal, TDS, DBO₅, DCO, MES et COT), on constate une dégradation de la qualité de l'eau de l'oued Grou, notamment au niveau de la station S₂ située en val de la commune rurale de Jmaa Moulbad qui génère des grandes quantités en eaux usées rejetées sans aucun traitement préalable. Plus en allant vers l'aval, une autoépuration s'installe pour améliorer légèrement

cette qualité, mais sans qu'elle soit parfaite, dû aux caractéristiques morpho-dynamiques de l'oued et aux formations mousseuses au niveau de la station S₄.

Les résultats des analyses bactériologiques (dénombrement des bactéries indicatrices de la qualité sanitaire de l'eau tels que les coliformes totaux (CT), des bactéries indicatrices de la contamination fécale tels que, les coliformes fécaux (CF) et les entérocoques intestinaux (EI), et la recherche des germes pathogènes de type salmonelles) confirment les précédents et montrent des variations spatio-temporelles très importantes. Sur le plan spatial, la station S₂ présente les quantités les plus élevées en micro-organismes par rapport aux autres stations et montre la présence des salmonelles en été, ce qui confirme l'impact de l'intensification des rejets en eaux usées. Sur le plan temporel, la charge bactérienne est très importante en été par rapport aux autres saisons, ceci pourrait être expliqué respectivement par la diminution du débit de l'eau accompagné d'un apport accru en eaux usées et d'une augmentation de la température qui dépasse les 37 °C en été, ainsi que par les précipitations et les eaux de ruissellement qui augmentent le débit d'eau en diminuant la concentration de la charge bactérienne en hiver et en printemps.

Les résultats des analyses biologiques montrent que la faune recensée présente un effectif de 9409 individus, appartiennent à 33 familles et à 40 taxons, correspondants à 4 groupes faunistiques (Annélides, Plathelminthes, Mollusques et Arthropodes). L'effectif du peuplement benthique a montré des fluctuations spatio-temporelles très importantes, selon la qualité des habitats et les influences que subit le milieu. Les résultats de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN), ont classé la qualité de l'eau de l'oued Grou au niveau de la station S₁ dans la catégorie moyenne, au niveau de la station S₂ dans la catégorie médiocre et aux niveaux des stations S₃ et S₄ dans la catégorie bonne. Ces résultats confirment les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques, et font ressortir une situation alarmante de la qualité des eaux de l'oued Grou, notamment au niveau de la station S₂ située juste après la zone de confluence avec les eaux usées provenant de la commune rurale de Jmaa Moulblad. Ce qui exige la construction d'une station d'épuration à ce niveau.

Les résultats des prospections du terrain montrent que presque toutes les sections visitées lors de la réalisation de ce travail, présentent en grande partie des pentes fortes et une couverture végétale très faible, et montrent que les sols sont érodés et des ravines de part et d'autre, ce qui fait que les parcelles agricoles des paysans deviennent de plus en plus petites et de moins en moins rentables. La dynamique d'évolution de ces ravines est très rapide car elles peuvent

croître fortement en largeur et en profondeur lors des crues. Cette situation préoccupante, exige la création des projets de construction des seuils mécaniques et biologiques, et aussi des projets de leur entretien et surveillance.

Les enquêtes socio-économiques réalisées sur le terrain, montrent que les moyens de production dont disposent les habitants de la région (outillage rudimentaire, semences non sélectionnées, faible superficie des parcelles par fois inférieure à un hectare, les mauvaises pratiques agricoles se font sans aucun souci de préservation et de conservation des ressources naturelles) ne leur permettent pas de tirer des revenus intéressants. Ceci est encore accentué par le niveau de pauvreté de plus en plus drastique et des alternatives de développement peu durables. D'autre part, ces enquêtes montrent que ces habitants souffrent de graves problèmes liés à l'héritage et aux conditions environnementales. Les interventions faites par l'état pour remédier à cette situation sont faibles et mal coordonnées, ce qui fait que la situation se complique de jour en jour. D'une manière générale, la production faible dont disposent les agriculteurs de la région ne leur permet pas de tirer des revenus suffisants. L'élevage, malgré son caractère extensif, constitue l'une des activités génératrices de revenu agricole, fait face à de sérieux problèmes tels que la petite taille des troupeaux, réduction de la superficie des surfaces de pâturage et les maladies. Cette situation difficile ne fait qu'aggraver les conditions socioéconomiques de cette population rurale, privée des besoins les plus élémentaires comme l'accès à la santé, à l'eau potable... Voilà donc, comment se présente la situation des habitants du bassin versant de l'oued Grou.

Face à cette situation préoccupante, confirmée par les résultats obtenus. Il est urgent de mettre en place des interventions immédiates dans toutes les sections de ce bassin versant, qui est à un stade avancé de dégradation, afin d'augmenter la couverture végétale, de protéger les ressources en eau contre la pollution et les sols contre l'érosion. De ce fait, nous recommandons tout d'abord, qu'il est nécessaire de changer les comportements des paysans et des pratiques agricoles, ce changement ne serait possible qu'à travers une nouvelle réforme socioculturelle et éducative. Cette réforme socio-éducative prendrait en compte les aspects écologiques de la fragilité environnementale, c'est à dire sur la base de sensibilisation, d'informations d'éducation de base à l'école et à toutes les échelles. Amener les populations de la région vers un respect plus conséquent de l'environnement. Ensuite, il est très important de définir les rôles des différents acteurs qui sont en jeu : état, communes, bailleurs de fond, société civile et l'acteur principal qu'est le paysan en amont comme en aval des réalisations d'aménagements. Enfin, les activités envisagées dans ce plan d'aménagement doivent être

diversifiées. Il faut chercher à concilier dans la mesure du possible la conservation des eaux, des sols et la couverture végétale avec la création de nouvelles activités socio-économiques pouvant générer des revenus meilleurs.

En conclusion, les résultats obtenus dans le cadre de cette étude témoignent bien de l'extrême gravité de la mauvaise gestion du bassin versant de l'oued Grou. Cette situation trouve son origine dans l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles, influencée par les mauvaises conditions socio-économiques des habitants de la région. En outre, ces résultats apportent un nouvel éclairage sur la compréhension de la problématique, les arguments qui viennent d'être annoncés affirment bien que ce bassin versant offre un tableau sombre et inquiétant en termes de dégradation hydrique, physique et socio-économique. Mais, tout espoir n'est pas perdu, si les mesures de protection et de préservation sont entreprises à travers un plan d'aménagement et de gestion durable, car la région dispose encore des qualités environnementales et écotouristiques, susceptibles de renverser cette tendance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABOULKACEM A., 2007. Étude hydrobiologique comparative des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès. Impact sur la Sante et l'Environnement. Thèse d'Etat, Fac. Sciences. Université Moulay Ismail, Meknès (Maroc), 159pp.
- ABRID D., 2015. Caractérisation physico-chimique, minéralogique et géochimique des sédiments de la retenue du barrage Sidi chahed et des sols du bassin versant de l'oued Mikkés. Th. Doct., Univ. Moulaya Ismail, (Maroc), 233pp.
- AFNOR, 1997. - Qualité de l'eau. Recueil des Normes Françaises Environnement. Tomes 1, 2, 3 et 4. (1997) 1372.
- AFNOR, 1992. - Détermination de l'indice biologique global normalisé (I.B.G.N.) - 9 p.
- AFNOR, 2001. - Qualité de l'eau. 6 ème Ed. 621p.
- AGUESSE P., 1968. Les Odonates de l'Europe occidentale, du Nord de l'Afrique et des Iles Atlantiques. *Faune de l'Europe - Bassin Méditerranéen*, vol. 4., 258 p.
- AGUESSE P., DAKKI M., GHEIT A. & RAMDANI M., 1982. Les Héteroptères aquatiques du Maroc. Inventaire commenté. *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat*, **6**, 125-138.
- AGUNWAMBA J.C., 2001. Analysis of Socioeconomic and Environmental Impacts of Waste Stabilization Pond and Unrestricted Wastewater Irrigation: Interface with Maintenance. *Environmental Management*, vol. 27, n 3, p. 463-476.
- AIT-MOULOUD S., 1988. Essais de recherches sur la dérive des macro-invertébrés dans l'oued Aissi : faunistique, écologie et biogéographie. Thèse de Magister, U.S.T.H.B., Alger : 118p.
- ALIBOU J., 2002. Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les zones humides du Maroc. CERSHE (Centre D'Etude et de Recherche sur les Systèmes Hydrauliques et Environnementaux). Ecole Hassania des Travaux Publics (EHTP). 1-39.
- ANDERSON J.M., 1975. Influence of pH on release of phosphorus from lake sediments. *Arch. Hydrobiol.* (76) 411-419.

- ANGULO F.J., TIPPEN S., SHARP D.J., PAYNE B.J., COLLIER C., HILL J.E., BARRET T.J., CLARK R.M., GELDREICH E.E., DONNEL H.D. et SWERDLOW D.L., 1997. A community waterborne outbreak of salmonellosis and effectiveness of a boil water order. *American Journal of Public Health.*, 87 (4) 580-584.
- ANGUS R.B., 1973. Pleistocène Helophorus (Coleoptera, Hydrophilidae) from Borislav and Starunia in the western Ukraine, with a reinterpretation of Lomnick's species, description of a new Siberian species, and comparaison with British weichselian faunas. *Phil. Trans. Roy.Soc., London, Biol. Sc.*, 265 (869): 299-326.
- ARGDT, 2013. Gestion durable des terres. Proceedings de la Réunion multi-acteurs, sur le bassin du Bouregreg 28 mai 2013. Coordination : Abdellah Laouina et Gil Mahé. *Publication de l' Association de Recherche en Gestion Durable des Terres « ARGOT», CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Rabat*, 20 13. Dépôt légal 2014 MO 1259. ISBN 978 - 9954 - 33 - 482 – 9. 147p.
- ARIFI K., ELBLIDI S., SERGHINI A., TAHRI L., YAHYAOUI A and FEKHAOUI M., 2018a. Taxonomic diversity of benthic macroinvertebrates and bio-evaluation of water quality of Grou River (Morocco) through the use of the standardized global biological index (IBGN). *J. Mater. Environ. Sci*, 9 (4): 1343-1356.
- ARIFI K., TAHRI L., EL ABIDI A., HEFIANE F.Z., ELBLIDI S., YAHYAOUI A and FEKHAOUI M., 2018b. Impact of wastewater from the rural commune of Jmaa Moulblad on the physico-chemical quality of the waters of the Grou River (Rabat region, Morocco). *E3S Web of Conferences*, 37: 01008.
- ARIFI K., TAHRI L., EL ABIDI A., HAFIANE F.Z., ELBLIDI S., YAHYAOUI A and FEKHAOUI M., 2018c. Spatio-Temporal Variation of the Physico-Chemical Quality of the Waters of the Grou River (Rabat Region, Morocco). *Der Pharma Chemica*. 10(5) (2018) 134-142.
- ARIFI K., TAHRI L., HAFIANE F.Z., ELBLIDI S., YAHYAOUI A & FEKHAOUI M., 2019a. Diversité des macroinvertébrés aquatiques de la retenue du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah à la confluence avec les eaux de l'oued Grou et bio-évaluation de la qualité de ses eaux (Région de Rabat, Maroc). *Entomologie Faunistique – Faunistic Entomology*. Volume 72 (2019) 13-20.

- ARIFI K., TAHRI L., EL ABIDI A., YAHYAOU I A and FEKHAOU I M., 2019b. Evaluation of the impact of wastewater in the rural commune of Jmaa Moulblad on the bacteriological quality of the Grou River water (Rabat region, Morocco). *Mor. J. Chem.* 7 N°3, 410-415.
- BADRAOU I A., HAJJI A., 2001. *Envasement des retenues de barrages*. *Revue la Houille Blanche*, n°6/7, pp. 72-75.
- BARBOUR M.T., GERRITSEN J., SNYDER B.D., et STRIBLING J.B., 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*, 2e édition, Washington, D.C., U. S. Environmental Protection Agency; Office of Water; EPA841-B-99-002, 11 chapitres, 4 annexes.
- BARTHE C., PERRON J., et PERRON J.M.R., 1998. - *Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable*. Document de travail (version préliminaire), ministère de l'Environnement du Québec, 155 p.
- BEAUDET G., 1969. - Le plateau central marocain et ses bordures. Étude géomorphologique. Thèse es-Sciences. Université Mohamed V, Rabat (Maroc), 478 p.
- BENABDELLOUAHAD S., 2006. Structure, dynamique et typologies physico-chimiques et phytoplanctoniques de l'estuaire du Bouregreg (Côte Atlantique marocaine). Thèse de doctorat. Université MOHAMMED V – AGDAL, Faculté des sciences (Rabat).
- BEN MOUSSA A., CHAHLAOUI A., ROUR EL.H., 2012. Évaluation de la pollution physico-chimique des eaux de l'oued Khoumane (Moulay Idriss Zerhoun, Maroc). *J. Biol Chem. Sc.* (6) 7096-7111.
- BENSALAH N., 2008. Indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion en vue d'une gestion durable des eaux et des sols (Bassin versant de Bouregreg s.s.). Thèse de doctorat de géographie, Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines.
- BERAHOU A., CELLOT B., & RICHOUX P., 2001. Distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques de la Moulouya et de ses principaux affluents (Maroc), *Ann. Limnol.* 37(3) : 223-235.

- BERTHELEMY C., 1979. Elmidae de la region paléarctique occidentale : systématique et repartition (Coleoptera, Dryopidea). *Annls Limnol.*, 15 (1) : 103 p.
- BERTRAND H., 1972. - Larves et nymphes des Coléoptères aquatiques du globe. F.
- BORREGO A.F and ROMERO P. 1982. - Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. VIe journée étud. Pollutions, Cannes, France. 561-569.
- BOUMAIZA M., 1994. - Recherches sur les eaux courantes de Tunisie: faunistique, écologie et biogéographie. Thèse Docteur ès-sciences, Univ. Tunis II : 429p.
- BOURACHE J.M. ET SAPORTA G. 1983. L'analyse des données « Que sais-je » N° 1854. Presses Universitaires, France.
- BOURDILLON J., 1996. - Notre environnement n'est-il pas trop précieux pour être confié à des écologistes ?, La Jaune et la Rouge.
- BOUTAIEB M., 1988. *Impacts économiques de l'envasement des barrages au Maroc*. Acte du séminaire international sur l'aménagement des bassins versants. Direction des Eaux et Forêts, Rabat.
- BOUZIDI A., 1989. - Recherches hydrobiologiques sur les cours d'eau des massifs du Haut-Atlas (Maroc). Bio-écologie des macroinvertébrés et distribution spatiale des peuplements. Thèse d'état, Fac.Sc. Tech. St.Jerome, Université d'Aix- Marseille III: 190pp.
- BOUZIDI A., & GUIDICELLI J., 1994. Ecologie et distribution des macroinvertébrés des eaux courantes du Haut-Atlas Marocain. *Rev. Fac. Sci. Mar.*, 8 : 23-43.
- BRAHIMI A., CHAFI A., 2014. Etude écotoxicologique de l'oued Za et de son affluent oued Tizeghrane (Basse Moulouya, Maroc Oriental) Ecotoxicological study of oued Za and its tributary oued Tizeghrane (Lower Moulouya, Eastern Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (5) 1671-1682.
- BRUNDTLAND G.H., 1987. - ministre norvégienne de l'Environnement président la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, ce rapport intitulé Notre avenir à tous est soumis à l'Assemblée nationale des Nations unies.

- BURGENMEIR B., 2005. - Economie du développement durable, Bruxelles, Ed. Deboeck, p. 38.
- BURTON G.A.JR., PITT R.E., 2001. - Stormwater effects handbook, a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers. *CRC/ Lewis Publishers*. 875.
- CARREL G., BARTHELEMY D., AUDA Y., et CHESSEL D., 1986. Approche graphique de l'analyse en composantes principales normée : utilisation en hydrobiologie. *Acta Ecologie. Ecologie générale*. 7, 2, 189-203.
- CARRIERE M., TOUTAIN B., 1995. - Utilisation des terres de parcours par l'élevage et interactions avec l'environnement. Outils d'évaluation et indicateurs. CIRAD-EMVT. 98p.
- CEAEQ (2000). - Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 24 p.
- CERRIGHINO R., 1992. - Influence des variations artificielles du débit sur la faune.
- CHAHLAOUI A., 1996. - Etude Hydrobiologique de l'oued Boufekrane - Impact sur l'environnement et la santé, Thèse d'état en Biologie. Univ. Moulay Ismail Fac. Sci. Meknès. 256pp.
- 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. Toulouse*, 133 : 71-76.
- CHAPMAN D., KIMSTACH V., 1996. - Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon.
- CHERRAD B., 1997. - Le bassin versant de l'oued Grou (Plateau Central Marocain) Etude hydro-climatologique. Thèse de Doctorat : Géographie : Université de Metz, 269p.
- CONSIGLIO C., 1963. Plecotteri delle isole del Mediterraneo. *Mon. Zool. Ital.*, 70-71 : 147-158.

- DEGREMENT S.A., 1989. - Mémento technique de l'eau. Édition de la cinquantenaire 9^{ème} édition tome 1.
- DELHI R., BENZHA F., HILALI A., TAHIRI M., KAOUKAYA A., BAIDDER L., RHINANE H and HANGOUET J.P. 2012. Caractérisation de la qualité des eaux de la retenue Sidi Mohammed Ben Abdellah sur l'oued Bouregreg. *ScienceLib*, 4: 2111-4706.
- DEMOUTIEZ N., & MACQUART H., 2009 - les grandes questions de l'environnement, Paris, Ed. L'Etudiant, p. 82.
- DERWICH E., BENAABIDATE L., ZIAN A., SADKI O., BELGHITI D., 2010. Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du Haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680 08.
- DGH, 1998. - *Les grands barrages du Royaume*. M.A.E.E/D.E. Rabat. Maroc, 85 p.
- D.P.A.E. (Direction de la Planification Agricole et de l'Economie) 1996. - Recensement Général Agricole. Régions Rabat-Salé-Zemmours-Zaers.
- DRIOUECH F., DEQUE M. & SANCHEZ-GOMEZ E. 2010. Weather regimes-Moroccan precipitation link in a regional climate change simulation. *Global and Planetary Change*, 72, 1-2, 1-10.
- EDBERG S.C., RICE E.W., KARLIN R.J., et ALLEN M.J., 2000. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 106S-116S.
- EL ADDOULI J., CHAHLAOUI A., BERRAHOU A., CHAFI A., and ENNABILI A., 2011. Approche de la qualité biologique de l'oued Ouislane, au voisinage des effluents bruts de la région de Meknès. *Larhyss Journal*, 09: 21-33.
- EL AGBANI M., 1984. - Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Bou Regreg (plateau central marocain). Essai de biotypologie. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Claude Bernard LyonA 147 pp.
- EL BLIDI S., & FEKHAOUI M., 2003. – Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, (25) 57-65.

- EL BLIDI S., 2005. - Rizières du Gharb : Qualité physico-chimique, composition faunistique et évaluation de la contamination métallique des différentes composantes de l'agrosystème. Thèse de doctorat Fac. Sci. Rabat, 194.
- EL BLIDI S., FEKHAOUI M., EL ABIDI A., IDRISSE L., & BENAZZOU T., 2006. – Contamination des rizières de la plaine du Gharb (Maroc) par des métaux traces. *Vecteur environnement*, janvier, 46–53.
- EL HAOUAT S., CHILLASSE L., EL MADANI M., ANTONELLI F., RKIOUAK L., FORST C., GRANDMOUGIN B., STROSSER P., 2012. - Guide pratique pour le suivi et l'évaluation de la qualité écologique des eaux de surface -application au bassin hydraulique du Sebou-(Réalisé dans le cadre du projet ECOI'Eau Sebou par : Agence de Bassin Hydraulique du sebou (Maroc), World Wide Fund for Nature – Mediterranean Programme, (bureau Maroc) et Bureau d'étude ACTeon.). (éd.), Janvier 2012. 59p.
- ELLIOTT J.M., & HUMPECH U.H., 1983. - A key to the adults of the British Ephemeroptera. Scientific Publications of the Freshwater Biological Association 47: 101pp.
- EL MORHIT M., FEKHAOUI M., SERGHINI A., EL BLIDI S., EL ABIDI A., YAHYAOU A., HACHIMI M., 2012. Étude de l'évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques caractérisant la qualité des eaux de l'estuaire du Loukkos (Maroc). *Bull. Inst. Sci.* 34 (2) 151-162.
- ELMUND GK., ALLEN MJ., et RICE E.W., 1999. Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environ. Res.*, 71:332-339.
- EMBERGER L., et REGNIER P.R., 1926. Aperçu sur la végétation de l'embouchure du Bou-Regreg. *Bull. Soc. Sci. Nat. et Phys. Maroc*, (6) 78-86.
- EMEKA D. ANYANWU., 2012. Physico-Chemical and Some Trace Metal Analysis of Ogba River, Benin City, Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 5 (1): 47-54.
- FAO, 1983. - Rapport de la Consultation technique sur la régulation de l'effort de pêche (mortalité par pêche). Réunion préparatoire à la Conférence mondiale de la FAO sur

- l'aménagement et le développement des pêches. Rome, 17-26 janvier 1983. FAO Rapp. Pêches, (289): 36 p. Publiées aussi en anglais et espagnol.
- FAO, 1990. - La conservation et la restauration des terres en Afrique. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture_ Rome, 1990.
- FAO, 1999. - Agriculture durable et la conservation des sols et des eaux à caractère participatif dans les montagnes humides, Rome, 32p.
- FAO, 2001. - Le futur de nos terres : Faire face au défi. Directive pour la planification intégrée de l'aménagement des ressources en terre, Rome, 77p.
- FEKHAOUI M., 1990. – Recherche 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 Fac. Sci. Rabat, 165 p.
- FEKHAOUI M., DAKI M & EL AGBANI M.A., 1993. Faune benthique d'une rivière polluée : L'oued Sbou à l'aval de la ville de Fés (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat*, **17**, 21-38.
- FEKHAOUI M., 2005. – Projet Gestion intégrée du complexe de Zones Humides du Bas Loukkos (Larache, Maroc) Phase du Diagnostic : Hydrologie. Projet financé par la fondation Ciconia, Lichtenstein et géré par le GREPOM, 40p.
- FERNANDEZ-ALVAREZ RM., CARBALLO-CUERVO S., ROSA-JORGE MC., RODRIGUEZ-WITH LECEA J., 1991. The influences of agricultural run-off on bacterial populations in has to rivet. *J. Appl. Bacteriol.* 70: 437 - 442.
- FOTO MENBOHAN S., ZEBAZE TOGOUET S.H., NYAMSI TCHATCHO N.L., NJINÉ T., 2010. Macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Nga : Essai de caractérisation d'un référentiel par des analyses biologiques. *Eur. J. Sci. Res.* 43 (1) : 96-106.
- FOUCART T. 1982. Analyse factorielle. Programmation sur micro-ordinateur. Masson Ed., 234p.
- GAGNEUR J., & ALIANE N., 1991. Contribution à la connaissance des Plécoptères d'Algérie. In : Albatercedor, J. & Sanchez-Ortega, A. (eds.), Overview and strategies

- of Ephemeroptera and Plecopter : 311-323. – Sandhill Crane Press Inc., Grainesville FL, USA.
- GEILFUS F., 1989 - El árbol al servicio del agricultor: Manual de agroforestería para el desarrollo rural, Vol 1. Principios y Técnicas. CATIE y Enda-Caribe. Santo Domingo, República Dominicana.
- GELDREICH E., AND LITSKY W., 1976. Fecal coliform and fecal streptococcus density relationships in waste discharges and receiving waters. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 6: 349-369.
- GENIN B., CHAUVIN C., et MENARD F., 1997. - Cours d'eau et indices biologiques, Pollutions – méthodes – IBGN, Dijon, ENESAD- CENERTA, 204p.
- GHANEM H., 1981. - Genèse, classification et répartition des sols dans la région des Zairs, de la basse Chaouia et des Sehoul, Méséta Atlantique Marocaine. Thèse de Doctorat es-Sciences. Université de Gand, (Belgique).
- GIL M., PUENTEDURA O., YELA M., PARRONDO C., JADHAV D.B., and THORKESSON B., 1996. O₃, NO₂ and O₃ total column observations over Iceland during the winter 1993/94. *Geophysical Research Letters* 23: doi: 10.1029/96GL03102. issn: 0094-8276.
- GOSSELIN B. et al., 1986. - La dégradation des sols agricoles. In Bulletin technique, N° 13 pp15-18.
- GOUSSOT EMMANUELLE. 2011. Dynamique de l'occupation du sol, en relation avec les activités agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc) de 1985 à 2011. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'agroparistech, à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Rabat, Maroc. 78p.
- GREENLAND D. J., 1996 - Choyez la Terre: Aménagement des Sols pour une Agriculture Durable et la Protection de l'Environnement sous les Tropiques, Rome, FAO, 32p.
- GUIDECELLI J., DIA A., & LEGIER P., 1980. - Etude hydrobiologique d'une rivière de région méditerranéenne, l'Argens (Var, France) : habitats, hydrochimie, distribution de la faune benthique. *Bijdragen tot de dierkunde*, 50 (2) : 303-341.

- HATJE V., 2003. – Particulate traces metal and major element distributions over consecutive tidal cycles in Port Jackson Estuary, Australia, *Environ. Geol.*, 44 : 231–239.
- HAOUCHINE S., (2011). Recherche sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie. Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi ousou, Algérie. 157 pp.
- HARTWICK J.M., 1977. - Intergenerational equity and the investing rents from exhaustible resources, *The American economic review*.
- HCP, Royaume du Maroc, Haut-Commissariat au Plan 2004. - Recensement général de la population et de l'habitat 2004.
- HCP, Royaume du Maroc, Données du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014 - Niveau national (Version Ar et Fr) pp : 171.
- HCP, Royaume du Maroc, Haut-Commissariat au Plan 2014. - Caractéristiques socio-économiques et démographiques de la population de la région de : Rabat-Salé-Zemmour-Zaer. D'après le Recensement Général de la population et de l'habitat de 2014.
- HÉBERT S., et LÉGARÉ S., 2000. - *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq N° ENV-2001-0141, rapport N° QE-123, 24 p.
- HELLAWELL J.M., 1986. - *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*, Londres, Elsevier, 546 p.
- HESSE A-S., IMBERT E., KARABAGHLI C., MANGOT S., SAADAT S., DENIAUD L., FORRAY N., REVERCHON-SALLE S., 2014. Les macro-invertébrés benthiques bioindicateurs de la qualité de nos rivières. DREAL Centre (KLEIBER Florence) - janvier 2014-ISBN : 978-2-11-138629-7.
- HERNANDEZ B.E., 1991 - Financement de l'aménagement des sols en Amérique latine : Étude rapide de sept pays. In *Bulletin pédologique de la FAO*- 64.
- HIMMI N., FEKHAOUI M., FOUTLANE A., BOURCHIC H., EL MMAROUFY M., BENZAZZOUT T., HASNAOUI M., 2003. - *Relazione plankton-parametri fisici*

- chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Università degli studi di Perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi”, 110–111.
- HUNTER C., PERKINS J., TRANTER J., GUNN J. 1999. - Agricultural effects on Land-uses the indicator bacterial quality of year upland stream in the Derbyshire peak district in the U.K. Res. Toilets 33 (17): 3577-3586.
- JOSEPH F.R., 2003. - Diagnostic de la dégradation du bassin versant de la rivière de Fonds-Verrettes en vue de son aménagement. Mémoire de fin d'études agronomiques, UEH/FAMV, Damien, Haïti, 49p.
- KARR J.R. et D.R. DUDLEY., 1981. « Ecological Perspective on Water Quality Goals », *Environmental Management*, vol. 5, p. 55-68.
- KARROUCH L., 2010. - Bio-évaluation de la qualité des eaux courantes de la région Meknès (Centre- Sud, Maroc) – Impact sur l'environnement et la sante. Thèse doctorat es sciences en biologie. Faculté des sciences. Meknès, 216pp.
- KHOMSI K., MAHE G., SINAN M., SNOUSSI M., CHERIFI R., NAIT SAID Z. 2012. Evolution des évènements chauds rares et très rares dans les bassins versants du Tensift et du Bouregreg (Maroc) et identification des types de temps synoptiques associés. In: *From prediction to prevention of hydrological risk in Mediterranean countries* (E. Ferrari & P. Versace, Sei. Eds), 4th international Workshop on Hydrological extremes MEDFRIEND group, University of Calabria; EdiBios, Cosenza, Italia; 169-182.
- KOOHAFKAN A.P., & LILIN CH., 1989. - Arbres et arbustes d'Haïti : Utilisation des espèces ligneuses en conservation des sols et en aménagement des bassins versants. Centre de Formation en Aménagement des Bassins Versants. FAO. Port-au-Prince.
- LAHLOU A., 1995. - Etude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc. Revue des sciences de l'eau, n° 6, pp. 337-356.
- LAMRANI H., CHAHLAOUI A., EL ADDOULI J., ENNABILI A., 2011. Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique de l'oued boufekrane au voisinage des effluents de la ville de Meknès (Maroc). *Science Lib.* (3) 111-112.

- LAVANDIER P., 1979. Ecologie d'un torrent Pyrénéen de haute montagne : l'Estaragne. Thèse de doctorat d'Etat. Univer. Paul Sabatier Toulouse : 523p.
- LOUNACI A., 1987. - Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d'invertébrés benthiques du bassin de l'oued Aissi (Grande Kabylie). Thèse Magister, U.S.T.H.B., 133p.
- LOUNACI-DAOUDI D., 1996. - Travaux sur la faunistique, l'écologie et la biogeography des insectes aquatiques du réseau hydrique du Sébaou. Thèse Magister, Univ. Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou : 152p.
- LOUNACI A. *et al.*, 2000. Current knowledge of benthic invertebrate diversity in an Algerian stream: a species checklist of the Sebaou River bassin (Tizi-Ouzou). *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, **136**, 43-55.
- LOUNACI A., & VINÇON G., 2005. - Les Plécoptères de la Kabylie du Djurdjura (Algérie) et biogéographie des espèces d'Afrique du Nord (Plecoptera), *Ephemera*, 6 (2) : 109-124.
- LOUNACI A., 2005. - Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogeography des macroinvertébrés des cours d'eau de kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de doctorat d'état en biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie).208p.
- MAHE G., ADERGHAL M., ALKARKOURI J., BENABDELFADEL H., BENSAFIA D., BROU T., CHAKER M., CHIKHAOUI M., COUPLEUX S., CROUZEVIALLE R., DIEULIN C., EMRAN A., EZZAOUINI M., GOUSSOT E., HALLOUZ F., KHOMSI K., LAOUINA A., MACHOURI N., MALEVAL V., MEDDI M., NGING M., PLANCHON O., REMINI B., ROUCHE N., SAADI H., SFA M., SINAN M., SNOUSSI M., TAIBI S., TOUMI S., TRABI A., YAHIAOUI S., ZEROUALI A., 2013. - Etude de l'évolution de l'occupation du sol sur deux grands bassins d'Algérie et du Maroc, et relation avec la sédimentation dans les barrages. In: Considering hydrological change in reservoir planning and management, (A. Schumann, V.B. Belyaev, E. Gargouri, G. Kucera, G. Mahe, Eds), IAHS Publ. 362, 115-124.
- MAHE G., BENABDELFADEL H., BROU T., CHAKER M., COUPLEUX S., CROUZEVIALLE R., DIEULIN C., DJILALI B., EMRAN A., EZZAOUINI M., GOUSSOT E., HALLOUZ F., KHOMSI K., LAOUINA A., MACHOURI N.,

- MALEVAL V., MEDDI M., PLANCHON O., REMINI B., SAADI H., SFA M., SINAN M., SNOUSSI M., TAIBI S., TOUMI S., TRABI A., 2013. - Occupation du sol sur deux grands bassins d'Algérie et du Maroc, transport sédimentaire et barrages. Considering Hydrological Change in Reservoir Planning and Management Proceedings of H09, IAHSIAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 362, 2013).
- MAHFOUD J., 1989.- *Les barrages collinaires. Terre. Homme et Eau* ; 74-75 ; 3ème partie.
- MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., CLOOSTER M.VAN., 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (MAROC ORIENTAL). *Larhyss Journal*, (09) 149-169.
- MAOUI A., KHEROUF M., DERRADJI F., 2011. Évolution de la pollution des eaux de l'oued El Mellah (Djelfa région steppique de l'Algérie). *Afrique science*, 07(3) 49-54.
- MAQBOUL A., AOUJDAD R., FEKHAOUI M., FADLI A., et TOUHAMI A., (2001). Caractérisation biocénotique et biotypologique de la faune malacologique dulcicole de la plaine du Gharb (Maroc). *Rivista di Idrobiologia*, 40 (2-3), 129-152.
- MARGHICH A., 2004. Le bassin versant de Bouregreg (Maroc Central) : études hydrologique, hydrogéologique et hydrochimie des eaux. Thèse de doctorat d'hydrogéologie. Université Mohammed ben Abdellah.
- MARTY A., & CALVEL P., 1975. Qualité de l'eau de la Loire en Haute-Loire. Effets des extractions d'aggrégats sur la qualité et la productivité du milieu. *Annals Hydrobiol*, 7(1), 45p.
- MAUL A., DOLLARD M.A., and BLOCK J.C., 1982. Etude de l'hétérogénéité spatiotemporelle des bactéries coliformes en rivière. *Journal Français d'Hydrologie*, 13 (38) : 141-156.
- Mc KINNEY M.L., 2002. Urbanization, biodiversity and conservation. *Biosci.*, (52) 883-890.
- MEBARKI M., 2001. - Etude hydrobiologique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie (Parc National du Djurdjura, oued Sébaou et oued Boghni) : faunistique, écologie et biogéographie des macroinvertébrés benthiques. Thèse de Magister.

- MEZIANI W., 2011. - Aménagement intégrés des bassins versants et développement durable dans la région de Maghnia cas du barrage hammam Boughrara Tlemcen (Algérie). Thèse de Magister.
- MICHAELSEN T., 1991. - Approches participatives de l'aménagement des bassins versants. In Bulletin pédologique de la FAO-64.
- MICHARD G., 1967. Faculté des sciences de Paris, St. Maur (France).
- 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 de 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.
- MOISAN J., et 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*, 2008. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-53591-1 (version imprimée), 86p.
- MOISAN J., et PELLETIER L., 2011. - *Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble 2*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-61166-0 (PDF), 39p.
- MOUBAYED Z., 1986. - Recherches sur la faunistique, l'écologie et la zoogéographie de trois réseaux hydrographiques du Liban : l'Assi, le Litani et le Beyrouth. Thèse de Doctorat es Sciences, Univ. Paul Sabatier, Toulouse : 496 p.
- MULLISS R.M., REVITT D.M., and SHUTES R.B.E., 1997. The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. *Water Sci. Technol*, 36: 195-199.
- NATHALIE MARY., 2000. - GUIDE PRATIQUE D'IDENTIFICATION DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES DES COURS D'EAU En vue de l'application de l'Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie. Première édition 2000.

- N'DIAYE A.D., KHADIJETTOU MINT.M.S., OULD SID'AHMED.M., OULD KANKOU.M., 2013. Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. *Larhyss Journal*, (12) 71-83.
- N'DIAYEA A., SALEM K., EL KORYA M., OULD KANKOU M., BAUDUC M., 2014. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 320-329.
- NM. 2002. Norme Marocaine de qualité des eaux. *Bull. Off.* n°5062.
- NM 03.7.003-2005 : Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes. PNM ISO 9308-1.
- NM 03.7.006-2006 : Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux. PNM ISO 7899-2.
- NM 03.7.050-1995 : Méthode de mise en évidence des salmonelles dans l'eau. PNM ISO 7875-1.
- OMS 2000. - *Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2 – critères d'hygiène et documentation à l'appui*. Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 1050 p. Accessible à : ww.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables/
- OUHMIDOU M., CHAHLAOUI A., KHARROUBI A., and CHAHBOUNE M., 2015. Study of the physico-chemical and bacteriological quality of the barrage Hassan Addakhil of Errachidia (Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.*, 6: 1663-1671.
- OUALAD MANSOUR N., KAMAL T., STITOU J., 2009. - Évaluation de la qualité des eaux dans les systèmes fluviaux du Rif (cas de la rivière Martil) et étude de la biodiversité des communautés de macroinvertébrés. Segundo congreso internacional sobre geologia y mineria en la ordenación del territorio y en el desarrollo. Utrillas (2009) 95-114.
- PATOINE M., 2011. Influence de la densité animale sur la concentration des coliformes fécaux dans les cours d'eau du Québec méridional, Canada. *Revue des sciences de l'eau*, 24(4): 421-435.
- POISSON R., 1938. Hémiptères aquatiques Sandaliorrhyncha Born. De la faune française. II. Micronectinae. Etude systématique et biologique ; principales espèces paléarctiques. *Ann. Soc. Ent. Fr.*, 107 : 81-120.

- POISSON R., 1957. - Hétéroptères aquatiques. In P. Lechevalier (Ed.), Faune de France, C.N.R.S. Paris, N° 61 : 264p.
- PORA E.A., 1969. L'importance du facteur trophique (équilibre ionique) pour la vie aquatique. *Vehr. Internat. Liomn.* (17) 970-986.
- PREVIL C., 1993. - Elaboration d'un cadre référentiel pour l'aménagement d'un espace régional en Haïti : L'arrondissement de Miragoâne. Thèse de Maîtrise, GREATAM, Québec, 179 p.
- QNINBA A., EL AGBANI M.A., DAKKI M., et BEN HOUSSA A., 1988. Evolution saisonnière de quelques peuplements d'invertébrés benthiques de l'oued Bou Regreg (Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, 12: 149-156.
- RAJIALLAH-BODINIER F., 1991. Le Pays Zaër au Maroc. Thèse de doctorat. Publication du Laboratoire de Géographie rurale de l'Université Paul-Valéry (Montpellier II) et de l'URA 906 du CNRS « Dynamique de l'espace rural ».
- REGIS G., & ROY A., 1999. - Manuel pratique de conservation des sols d'Haïti, Port-au-Prince, Haïti, MARNDR, 133p.
- REMINI B., 2000. - L'envasement des barrages: quelques exemples algériens. Maître de conférences Université de BLIDA Algérie.
- REMINI B., & REMINI W., 2003. - *La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord*. Département de Génie Rural, Université de Blida, pp : 45-54.
- ROCHE E., 1950. - Histoire stratigraphique du Maroc. Service Géologique du Maroc, Rabat.
- RODIER J., 1984. Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7^{ème} édition, *Dunod*, Paris.
- RODIER J., 1996. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : physico-chimie, bactériologie et biologie, 8^{ème} Edition, *Dunod*, Paris, France, 1383.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. 2009. L'analyse de l'eau, Ed. Dunod, 78- 1368.
- SAIDI A., 1991. - Erosion spécifique et prévision de l'envasement des barrages. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3 décembre. pp.204-226.

- SAINT PREUX J.F.K., 2002. - Diagnostic de la dégradation du bassin versant de la rivière Massac en vue de son aménagement (Région des Palmes, Petit Goâve). Mémoire d'Ingénieur-Agronome, UEH/FAMV, Damien, Haïti 71 p.
- SANTE CANADA 1991. - *La qualité bactériologique*. Document de support aux «recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada ».
- Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau., 21 et 22 novembre 2005.** Atelier régional sur le thème : "*Conception et gestion durable des barrages en Méditerranée*", Rabat-Maroc.
- SEMINARIO E., 2007. - Notes données dans les séances de séminaires sur l'aménagement de bassin versant.
- SHENG Y.P., 1993. - Hydrodynamics, sediment transport and their effects on phosphorus dynamics in Lake Okeechobee. In Mehta. A.J. (ed). Coastal and Estuarine Studies 42: Near-shore and Estuarine Cohesive Sediment Transport. American Geophysical Union. Washington. D. C.
- SINGLA S., MAHÉ G., DIEULIN C., DRIQUECH F., MILANO M., EL GUELAÏ F.Z. & ARDOIN-BARDIN S. 2010. Evolution des relations pluie-débit sur des bassins versants du Maroc. In: *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010), *JAHS Publ.* 340, 679-687.
- SNOUSSI M., 1984. – Comportement du Pb, Zn, Ni et Cu dans les sédiments de l'estuaire de Loukkos et du proche plateau continental (côte Atlantique marocaine). *Bulletin de l'Institut géologique du bassin d'aquitaine*, 35 : 23–30.
- SOUTHWOOD T.R.E., 1977. Habitat, the temple for ecological strategies. *Journal of Animal ecology*, 46: 337-365.
- STARK J.D., BOOTHROYD I.K.G., HARDING J.S., MAXTED J.R., et SCARSBROOK M.R., 2001. *Protocols for Sampling Macroinvertebrates in Wadeable Streams*, New Zealand macroinvertebrate working group report, no 1. Prepared for the ministry for the environment. Sustainable management fund project no 5103, 57 p.

- TACHET H., BOURNAUD M., RICHOUX PH., 1980. - Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). Association française de limnologie : (1980) 150p.
- TACHET H., BOURNAUD M., RICHOUX PH., 1984. - Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces. 2^{ème} edi. Association française de limnologie édit., Paris, 155pp.
- TACHET H., BOURNAUD M., & RICHOUX PH., & USSEGLIO-POLATERA PH., 2000. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. Ed CNRS-Paris. 588p.
- TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M., USSEGLIO-POLATERA P., 2006. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS 2eme Editions, Paris (2006) 588pp.
- TAHRI L., BENNASSER L., IDRISSE L., FEHAOUI M., EL ABIDI A., ET MOURADI A., 2005. Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et de sédiment de l'estuaire Bou Regreg (Maroc). *Water Qual.Res.J.Can.*, 40p.
- TAHRI L., 2010. - Diagnose écologique de de l'estuaire de Bou-Regreg: impact des rejets sur les différentes composantes de l'écosystème et évaluation des risques sanitaires. Thèse de doctorat Fac. Sci. Kenitra., 174.
- TEBIBEL S., 1991. - Hémiptères aquatiques d'Algérie: clés dichotomiques, inventaire des espèces, aperçu écologique, distribution en Algérie et dans le monde. Thèse Magister, U.S.T.H.B. Alger : 247p.
- THOMAS A.G.B., 1981. - Travaux sur la taxonomie, la biologie et l'écologie d'insectes torrenticoles du Sud-Ouest de la France (Ephéméroptères et Diptères : Dixidae, Cecidomiidae, Rhagionidae et Athericidae), avec quelques exemples de perturbations par l'homme Thèse Doctorat, Univ. Paul Sabatier, Toulouse : 330p.
- THOMAS J.D., 1993. Biological monitoring and tropical biodiversity in marine environments: a critique with recommendations, and comments on the use of amphipods as bioindicators. *Journal of Natural History*, 27: 795-806.

- TUFFERY G., & VERNEAUX J., 1967. Méthode de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Exploitation codifiée des inventaires de la faune de fond. Tra. Div. Qual. Eaux P. Pisc., C.T.G.R.E.F.23p. Univ. Paul Sabatier, Toulouse: 61p.
- TOUABAY M., AOUAD N., MATHIEU J., 2002. Etude hydrobiologique d'un cours d'eau du Moyen-Atlas : l'oued Tizguit (Maroc). *Ann Limnol.*, (38) 65-80.
- TOUMI A., REGGAM A., ALAYAT H., HOUHAMDI M., 2016. Caractérisation physico-chimique des eaux de l'écosystème lacustre: cas du Lac des Oiseaux (Extrême NE-Algérien). *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) 139-147.
- TOWNSEND C.R. & HILDREW A.G., 1994. Longitudinal pattern in detritivores of acid streams: a consideration of alternative hypotheses. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 22, 1953-1958.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA), 2002. *Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs*, United States Environmental Protection Agency, EPA 822-F-02-006, été 2002.
- USEPA., 2007. United States Environmental Protection Agency. *The Water Sourcebooks*. 9-12.
- VERNEAUX, J., FAESSEL, B., 1976. Larves du genre Hydropsyche (Trichoptères Hydropsychidae). Taxonomie, données biologiques et écologiques. *Annls Limnol.* 12 (1) 7-16.
- VERNAUX J., 1980. Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales: Les principales méthodes biologiques. Ed. Gauthier-Villars (Paris) 345p.
- WACHTER S., 2000 – L'aménagement durable: défis et politiques. Les presses de : Horizon groupe. Editions de l'aube datar N° 728, Diffusion seuil. Série Bibliothèque des territoires, p34.
- WALES P., BALEUX B., 1992. Influence of the drainage basin input on the pathogenic bacteria (salmonella) contamination of the Mediterranean lagoon (the Thau lagoon-France) and the survival of this bacteria in brackish. *Sci toilets. Technol.* 25: 105-114.

WEBER H., and WEIDNER H., 1974. Grundriss der Insektenkunde, 5.Aufl., Fischer Verlag, Stuttgart.

YVIO G., 2010. - Evaluation de l'Erosion dans le bassin versant de la rivière Grise (Haiti).
Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique - Master en gestion des Risques Naturels.

ZIDANE F., CHEGGARI K., BLAIS J-F., KHLIL N., DROGUI P., BENSALIDA J., 2012.
Effet de la chloration sur la formation de trihalométhanes dans les eaux alimentant la ville de Casablanca au Maroc (Effect of chlorination on trihalomethanes formation in feed water of Casablanca in Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* (3) 99-108.

ZWICK, P., 1980. - Plecoptera. Handbuch der Zoologie, Berlin, 4(2) 2/7 : 1-111.

Leste des sites consultés

https://fr.wikipedia.org/wiki/Gerris_lacustris (dernière consultation : 04 05 2016)

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/28976/tab/taxo (dernière consultation : 12 05 2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Baetis_niger (dernière consultation : 16 05 2016)

<https://www.buglife.org.uk/sites/default/files/Baetis%20niger%20species%20dossier.pdf>
(dernière consultation : 16 05 2016)

https://en.wikipedia.org/wiki/Micronecta_scholtzi (dernière consultation : 12 05 2016)

<http://www.uniprot.org/taxonomy/43808> (dernière consultation : 27 05 2016)

<http://www.uniprot.org/taxonomy/43808> (dernière consultation : 27 05 2016)

Bugguide.net/node/view/7014/tree (dernière consultation : 20/05/2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Gerris_lacustris (dernière consultation : 04 05 2016)

https://nl.wikipedia.org/wiki/lepegenia_lineata (dernière consultation : 12 05 2016)

Insecta.pro/taxonomy/813790 (dernière consultation : 12 05 20 16)

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/28976/tab/taxo (dernière consultation : 12 05 2016)

https://en.wikipedia.org/wiki/Micronecta_scholtzi (dernière consultation : 12 05 2016)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Baetis> (dernière consultation : 16 05 2016)

<https://www.buglife.org.uk/sites/default/files/Baetis%20niger%20species%20dossier.pdf>
(dernière consultation : 16 05 2016)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Stratiomyidae> (dernière consultation : 30 05 2016)

[Bugguide.net/node/view/7014/tree](http://bugguide.net/node/view/7014/tree) (dernière consultation : 23 05 2016)

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/8977/tab/taxo (dernière consultation : 23 05 2016)

<http://www.perla.developpement-durable.gouv.fr/index.php/arbre/page/619/> (dernière consultation : 17 04 2016)

<http://www.zoofirma.ru/knigi/gidrobiologija/9537-lichinki-vesnjanok-perla.html> (dernière consultation : 05 50 2016)

http://animaldiversity.org/accounts/Habrophlebia_vibrans/classification/ (dernière consultation : 05 50 2016)

<http://www.discoverlife.org/mp/20o?search=Habrophlebia+vibrans>(dernière consultation : 05 50 2016)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Austrosimulium>(dernière consultation : 05 50 2016)

<http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:APT::CdAppelTaxon:841::referentiel:3.1:html> (dernière consultation : 03 06 2016)

http://www.lepidoptera.no/en/arter/?or_id=375 (dernière consultation : 27 04 2016)

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/438419/tab/taxo (dernière consultation : 28 04 2016)

<http://www.uniprot.org/taxonomy/43808> (dernière consultation : 27 05 2016)

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/237296/tab/taxo?lg=en (dernière consultation : 23 03 2016)

http://www.g3e-ewag.ca/documents/jeux/cle_macro/cle.html (dernière consultation 22 03 2016)

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/248235/tab/taxo (dernière consultation 22 03 2016)

<http://bugguide.net/node/view/23223> (dernière consultation : 31 03 2016)

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/234873/tab/taxo (dernière consultation : 31 03 2016)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrochara_caraboides (dernière consultation : 31 03 2016)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Brachycercus> (dernière consultation : 06 06 2016)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Baetis> (dernière consultation : 06 06 2016)

<http://www.uniprot.org/taxonomy/43808> (dernière consultation : 27 05 2016)

Annexes

Annexe 1 : Les résultats des données morphodynamique obtenus sur le lit de l'oued Grou durant toutes les prospections du terrain entre le mois décembre 2014 et le mois novembre 2015.

J.M : la Commune rurale de Jmaa Moulblad.

Date	Stations	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
	Distance/J.M en Km	1	1	35	65
	Altitude (m)	200	195	113	54
23/12/2014	Largeur moyenne de lit (m)	45	40	21	76
	Profondeur moyenne (m)	0.40	0.50	0.40	0.90
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	12	14	10	90
	Vitesse du courant (m/s)	1.66	1.43	2	0.22
	Débit (m³/s)	29.88	28.6	16.8	15.2
26/01/2015	Largeur moyenne de lit (m)	45	40	21	76
	Profondeur moyenne (m)	0.40	0.50	0.40	0.90
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	14	12	8	71.25
	Vitesse du courant (m/s)	1.43	1.66	2.5	0.28
	Débit (m³/s)	25.74	33.2	21.5	19.2
28/02/2015	Largeur moyenne de lit (m)	25	20	18	56
	Profondeur moyenne (m)	0.30	0.30	0.35	0.70
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	19	17	14	92.23
	Vitesse du courant (m/s)	1.05	1.17	1.43	0.21
	Débit (m³/s)	7.9	7.06	9	8.5
28/03/2015	Largeur moyenne de lit (m)	20	18	17	54
	Profondeur moyenne (m)	0.60	0.30	0.35	0.70
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	28	20	20	137.45
	Vitesse du courant (m/s)	0.70	1.00	1.00	0.14
	Débit (m³/s)	8.4	5.4	5.95	5.5
28/04/2015	Largeur moyenne de lit (m)	17	16	10	52
	Profondeur moyenne (m)	0.20	0.20	0.35	0.60
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	57.22	57	47.05	555.16
	Vitesse du courant (m/s)	0.35	0.35	0.43	0.036
	Débit (m³/s)	1.19	1.12	1.51	1.124
24/05/2015	Largeur moyenne de lit (m)	4	4.5	3	41
	Profondeur moyenne (m)	0.05	0.03	0.12	0.43
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	171.69	186.12	96.17	5876.66
	Vitesse du courant (m/s)	0.12	0.11	0.21	0.34 10 ⁻²
	Débit (m³/s)	0.024	0.015	0.076	0.06
06/201	Largeur moyenne de lit (m)	5	6	6	42
	Profondeur moyenne (m)	0.20	0.17	0.20	0.57

	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	28	26	30	1197
	Vitesse du courant (m/s)	0.71	0.76	0.66	$1.67 \cdot 10^{-2}$
	Débit (m³/s)	0.71	0.77	0.79	0.4
23/07/2015	Largeur moyenne de lit (m)	4	5	4	41
	Profondeur moyenne (m)	0.10	0.10	0.15	0.50
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu(s)	112.39	118.27	98.23	4100
	Vitesse du courant (m/s)	0.17	0.17	0.20	$4.87 \cdot 10^{-3}$
	Débit (m³/s)	0.07	0.08	0.12	0.1
	24/08/2015	Largeur moyenne de lit (m)	3	4	4
Profondeur moyenne (m)		0.1	0.07	0.15	0.47
Distance parcourue par le bouchon (m)		20	20	20	20
Temps obtenu (s)		136	140	126	6266.66
Vitesse du courant (m/s)		0.14	0.14	0.16	$3.19 \cdot 10^{-3}$
Débit (m³/s)		0.044	0.04	0.096	0.06
15/09/2015	Largeur moyenne de lit (m)	4	4	4	40
	Profondeur moyenne (m)	0.07	0.08	0.17	0.48
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	128 s	130 s	120 s	4800
	Vitesse du courant (m/s)	0.16	0.15	0.17	$4.16 \cdot 10^{-3}$
	Débit (m³/s)	0.044	0.05	0.11	0.08
15/10/2015	Largeur moyenne de lit (m)	1.5	1.7	2	43
	Profondeur moyenne (m)	0.02	0.02	0.05	0.42
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	1
	Temps obtenu (s)	263	286	196	1881.25
	Vitesse du courant (m/s)	$76.05 \cdot 10^{-3}$	$69.93 \cdot 10^{-3}$	$102.04 \cdot 10^{-3}$	$5.31 \cdot 10^{-4}$
	Débit (m³/s)	$2.28 \cdot 10^{-3}$	$2.38 \cdot 10^{-3}$	$10.2 \cdot 10^{-3}$	$9.6 \cdot 10^{-3}$
15/11/2015	Largeur moyenne de lit (m)	3	3	4	39
	Profondeur moyenne (m)	0.10	0.10	0.15	0.50
	Distance parcourue par le bouchon (m)	20	20	20	20
	Temps obtenu (s)	153	144	122	3979.59
	Vitesse du courant (m/s)	$13.07 \cdot 10^{-2}$	$13.88 \cdot 10^{-2}$	$16.39 \cdot 10^{-2}$	$5.02 \cdot 10^{-3}$
	Débit (m³/s)	$39.21 \cdot 10^{-3}$	$41.66 \cdot 10^{-3}$	$98.36 \cdot 10^{-3}$	$98 \cdot 10^{-3}$

Annexe 4 : Variation saisonnière des paramètres physico-chimiques au niveau des eaux de l'oued Grou.

H : Hiver, P : Printemps, E : Eté

Station /saison	pH	T de l'aire	T de l'eau	CE	mV	Sal	TDS	DBO ₅	DCO	MES	COT	
		°C	°C	µS/cm		g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
S ₁	H	7.41	9	11.7	314	-130	0.1	166	28.4	76	320	22.6
	P	7.95	28.4	27.8	770	-86	0.3	400	11.9	22.6	107	9.1
	E	7.66	42	27.3	800	-67	0.3	430	11.6	22.4	109	9.1
S ₂	H	8.86	10	13.6	371	-142	0.1	198	56	127	560	40.5
	P	8.39	28.2	27.6	930	-110	0.4	490	14.4	27.4	113	10.8
	E	8.29	41	31	970	-105	0.4	510	14.6	28.4	138	11.0
S ₃	H	8.64	10.5	11	352	-120	0.1	187	28.8	64.5	258	20.6
	P	7.87	28	27.3	1160	-81	0.5	610	11.9	22.8	110	9
	E	7.51	37	26.1	930	-59	0.4	490	14.1	23.2	119	9
S ₄	H	7.88	12	10.8	372	-79	0.1	197	27.6	62.0	266	20.0
	P	7.85	25	21.5	690	-72	0.3	360	16.6	32.5	77	11.9
	E	7.9	32	28.9	690	-81	0.3	360	14.00	27.8	111	10.3

Annexe 5 : Variation saisonnière de la concentration des bactéries indicatrices de la contamination fécale (CT, CF et EI) dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.

CT : Coliformes totaux. CF : Coliformes fécaux. EI : les Entérocoques Intestinaux.

Station/Bactéries en UFC/100 ml		Saisons		
		Hiver	Printemps	Eté
CT	S ₁	1,7 10 ⁴	1,22 10 ⁴	1,14 10 ⁵
	S ₂	2,8 10 ⁵	8,5 10 ⁴	8,5 10 ⁵
	S ₃	2,4 10 ⁵	6,8 10 ⁴	7,65 10 ⁴
	S ₄	1,45 10 ⁵	1,19 10 ⁴	12,75 10 ⁴
CF	S ₁	3 10 ³	1,02 10 ⁴	1,36 10 ⁴
	S ₂	2,3 10 ⁵	4,76 10 ⁵	11,05 10 ⁵
	S ₃	1,25 10 ⁴	1,122 10 ⁴	10,2 10 ⁴
	S ₄	1,28 10 ⁴	3,23 10 ³	4 10 ³
EI	S ₁	5,4 10 ²	5,1 10 ²	7,5 10 ²
	S ₂	1,3 10 ³	3,4 10 ³	1,7 10 ⁴
	S ₃	7,1 10 ²	3,4 10 ²	9 10 ²
	S ₄	1,2 10 ²	1,7 10 ²	1,6 10 ²

Annexe 6 : Le suivi spatio-temporel de la présence et de l'absence des salmonelles dans les eaux des différentes stations de l'oued Grou.

Présence ou Absence des Sal /Station		Saisons		
		Hiver	Printemps	Eté
SAL	S ₁	-	-	-
	S ₂	-	-	+
	S ₃	-	-	-
	S ₄	-	-	-

Annexe 7 : Matrice de variation saisonnière des paramètres bactériologiques de l'eau de l'oued Grou durant la période (décembre 2016 – juillet 2017).

CT : Coliformes totaux, CF : Coliformes fécaux, EI : les Entérocoques Intestinaux, H : Hiver, P : Printemps, E : Eté.

	CT×10 ⁴	CF×10 ⁴	EI×10 ⁴
S1-H	1,7	0,3	0,054
S1-P	1,22	1,02	0,051
S1-E	11,4	1,36	0,075
S2-H	28	23	0,13
S2-P	8,5	47,6	0,34
S2-E	85	110,5	1,7
S3-H	24	1,25	0,071
S3-P	6,8	1,122	0,034
S3-E	7,65	10,2	0,09
S4-H	14,5	1,28	0,012
S4-P	1,19	0,323	0,017
S4-E	12,75	0,4	0,016

Annexe 8 : Valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune (AFNOR, 1992).

Classe de variété		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Taxons Indicateurs	Σt	> 50	49	44	40	36	32	28	24	20	16	12	9	6	3
	GI		45	41	37	33	29	25	21	17	13	10	7	4	1
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebiidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeroidea	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Limnephilidae (1) Hydropsychidae Ephemerellidae (1) Aphelocheiridae	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Baetidae (1) Caenidae (1) Elmidae (1) Gammaridae (1) Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae (1) Asellidae (1) Achètes Oligochètes (1)	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(1) Taxons représentés par au moins 10 individus - Les autres par au moins 3 individus															

Annexe 9 : Grille d'appréciation de la qualité de l'eau.

IBGN	> ou = à 17	13-16	9-12	5-8	4
Classe de qualité	1A	1B	2	3	HC*
Couleur correspondante	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise

TITRE

Bassin versant de l'oued Grou (Région de Rabat)
Diagnostic écologique et plan d'aménagement et de gestion

RESUME

Au Maroc, le bassin versant de l'oued Grou s'étend longitudinalement sur la partie gauche de l'oued Bouregreg, représente un espace où l'agriculture et la surexploitation des ressources naturelles progressent à grand pas, tout en générant des dégâts que les choix d'aménagement ne parviennent pas encore à atténuer. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui a pour but principal de saisir la complexité de la dégradation de ce bassin versant afin de faire des propositions d'aménagement appropriées.

Les résultats obtenus entre décembre 2014 et juillet 2017, montrent bien que ce bassin versant offre un tableau sombre et inquiétant en termes de dégradation hydrique, physique et socio-économique. En effet, l'évaluation physicochimique (T°_{air} , T°_{eau} , pH, CE, mV, Sal, TDS, DBO₅, DCO, MES et COT) et bactériologique (CT, CF et EI), montre une dégradation de la qualité de l'eau de l'oued Grou. Le rapport CF/EI montre que l'origine de cette pollution est humaine (eaux usées). A ceci s'ajoute la présence des Salmonelles en S₂, ce qui constitue une menace pour les habitants. L'évaluation écologique par calcul de l'indice biologique global normalisé (IBGN), nous a permis d'établir un premier inventaire des macroinvertébrés et de classer la qualité de l'eau en 3 catégories (moyenne en S₁, médiocre en S₂ et bonne en S₃ et S₄). Les prospections du terrain montrent une dégradation du milieu physique influencé par les mauvaises conditions socio-économiques et l'absence d'alternatives de développement durables. Pour remédier à cette situation nous recommandons un plan d'aménagement et de gestion dans la région.

Mots clés : Oued Grou, physicochimie, bactériologie, écologie, aménagement.

Résumé

Au Maroc, le bassin versant de l'oued Grou s'étend longitudinalement sur la partie gauche de l'oued Bouregreg, représente un espace où l'agriculture et la surexploitation des ressources naturelles progressent à grand pas, tout en générant des dégâts que les choix d'aménagement ne parviennent pas encore à atténuer. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui a pour but principal de saisir la complexité de la dégradation de ce bassin versant afin de faire des propositions d'aménagement appropriées.

Les résultats obtenus entre décembre 2014 et juillet 2017, montrent bien que ce bassin versant offre un tableau sombre et inquiétant en termes de dégradation hydrique, physique et socio-économique. En effet, l'évaluation physicochimique (T°_{air} , T°_{eau} , pH, CE, mV, Sal, TDS, DBO₅, DCO, MES et COT) et bactériologique (CT, CF et EI), montre une dégradation de la qualité de l'eau de l'oued Grou. Le rapport CF/EI montre que l'origine de cette pollution est humaine (eaux usées). A ceci s'ajoute la présence des Salmonelles en S₂, ce qui constitue une menace pour les habitants. L'évaluation écologique par calcul de l'indice biologique global normalisé (IBGN), nous a permis d'établir un premier inventaire des macroinvertébrés et de classer la qualité de l'eau en 3 catégories (moyenne en S₁, médiocre en S₂ et bonne en S₃ et S₄). Les prospections du terrain montrent une dégradation du milieu physique influencé par les mauvaises conditions socio-économiques et l'absence d'alternatives de développement durables. Pour remédier à cette situation nous recommandons un plan d'aménagement et de gestion dans la région.

Mots-clefs : Oued Grou, physicochimie, bactériologie, écologie, aménagement.

Abstract

In Morocco, the catchment of Grou River extends longitudinally on the left side of the Bouregreg River, represents an important area where agriculture and overexploitation of natural resources are progressing at a fast pace. This progress is generating damage that the efforts to develop the area have not yet managed to mitigate. It is in this context that this work is being carried out, the main aim of which is to understand the complexity of the degradation of this catchment area in order to make appropriate development proposals.

The results obtained between December 2014 and July 2017 clearly show that this catchment offers a bleak and worrying picture in terms of water, physical and socio-economic degradation. Indeed, the physicochemical (pH, T, EC, mV, Sal, TDS, BOD₅, COD, SS and TOC) and bacteriological (TC, FC and IE) assessment shows a deterioration in the quality of Grou river's water. The FC/IE ratio shows that the origin of this pollution is human (wastewater). In addition, there is the presence of Salmonella in S₂, which is a threat to the inhabitants who use this water on a daily basis. The ecological assessment by calculation of the standardized global biological index (SGBI), allowed us to establish a first inventory of macroinvertebrates and to classify the water quality in 3 categories (average in S₁, poor in S₂ and good in S₃ and S₄). Field surveys show a deterioration of the physical environment influenced by poor socio-economic conditions and the lack of sustainable development alternatives. To remedy this situation we recommend a development and management plan for the region.

Keywords: Grou River, physicochemical, bacteriological, ecological, management.