



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre



MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences de la Terre et de l'Univers
Option : **Hydrosystèmes et Ressources en Eau (HRE)**

Thème :

Évolution de la qualité des eaux à l'amont du barrage Hammam Boughrara

Présentée par :

Ouis Maissa

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Qualité	Grade	Domiciliation
-----	Président	-----	Université d'Oran 2
Bakhti Amel	Encadrante	-----	Université d'Oran 2
Bergane Cheikh	Co-encadrant	Docteur Vacataire	USTO-MB-
-----	Examineur	-----	Université d'Oran 2

Remerciements

Avant de présenter mon Projet de Fin d'Étude (PFE), je tiens à remercier Allah qui m'a donné la force, la volonté et le courage pour arriver jusque-là.

Mes remerciements vont à tous les enseignants qui nous ont apporté leurs connaissances depuis les premières étapes de l'étude jusqu'à présent.

J'adresse mes sincères remerciements à Mme **Bakhti Amel** mon encadrante et la responsable de la spécialité Hydrosystème et Ressources en Eau (HRE) pour ses orientations et ses conseils judicieux et son support continu.

Je remercie également M. **Bergane Cheikh** de m'avoir proposé le thème de ce travail. Je le remercie aussi de son suivi permanent durant mon travail, ses remarques et suggestions sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas lieu.

Je tiens à remercier les membres du jury (M.et M.) qui ont accepté d'évaluer mon travail.

J'adresse aussi mes remerciements à Mme **Belkhir Khadidja** pour sa gentillesse et son enseignement pendant toutes ces années.

J'adresse un remerciement particulier à ma mère qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Je tiens enfin à remercier tous ceux qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents.

Pour leur amour et leurs sacrifices.

À ma très chère mère, ma petite sœur et mon frère.

À ma famille, mes proches et ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

Résumé

Les eaux du barrage Hammam Boughrara sont soumises à une forte pression anthropique. Les rejets d'eaux usées, les activités agricoles ainsi qu'industrielles sont responsables de l'altération de la qualité de ses eaux. Ces activités favorisent l'augmentation des concentrations en cations, anions, nutriments, MES et matière organique. Le présent travail consiste à étudier l'évolution temporelle et l'évaluation de la qualité des eaux du barrage Hammam Boughrara situant dans le bassin versant de la Tafna. Les données physico-chimiques allant de janvier 2009 à décembre 2012 ont été collectées auprès de l'ANRH d'Oran. La distribution des données est globalement asymétrique pour la majorité des paramètres physico-chimiques étudiés. La matrice de corrélation a montré que la conductivité est fortement corrélée avec le sodium (0,85) et les chlorures (0,88) ainsi que la turbidité avec le pH (0,72) et la matière organique (0,88). Les éléments de pollution ont été légèrement liés tels que turbidité-MES (0,14), DCO-DBO₅ (0,5) et DCO-matière organique (0,12). L'analyse graphique de l'évolution temporelle a révélé que les nutriments (nitrates et phosphates), la DCO, la DBO₅ et les MES sont légèrement diminuées au cours de la période d'observation. Quant à la turbidité, la matière organique, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous, nous avons noté une augmentation significative. Le rapport DCO/DBO₅ estimé indique que 70,83 % des eaux du barrage contiennent de la matière organique difficilement biodégradable.

Mots clés : Qualité, pollution, paramètres physico-chimiques, eaux du barrage, Hammam Boughrara

Abstract

The waters of the Hammam Boughrara dam are subject to strong anthropogenic pressure. Wastewater discharges, agricultural and industrial activities are responsible for the deterioration of its water quality. These activities increase the concentrations of cations, anions, nutrients, suspended matter and organic matter. The present work consists in studying the temporal evolution and the evaluation of the water quality of the Hammam Boughrara dam located in the Tafna watershed. Physico-chemical data from January 2009 to December 2012 were collected from the ANRH in Oran. The distribution of the data is globally asymmetrical for the majority of the physico-chemical parameters studied. The correlation matrix showed that conductivity is strongly correlated with sodium (0,85) and chlorides (0,88) and turbidity with pH (0,72) and organic matter (0,88). The pollution elements were slightly related such as turbidity-suspended matter (0,14), COD-BOD5 (0,5) and COD-organic matter (0,12). The graphical analysis of the temporal evolution revealed that nutrients (nitrates and phosphates), COD, BOD5 and suspended matter are slightly decreased during the observation period. As for turbidity, organic matter, pH, conductivity and dissolved oxygen, we noted a significant increase. The estimated COD/BOD5 ratio indicates that 70,83 % of the dam water contains organic matter that is difficult to biodegrade.

Keywords: Quality, pollution, physico-chemical parameters, dam waters, Hammam Boughrara

ملخص

تخضع مياه سد حمام بوغرارة لضغط بشري قوي. تصريف مياه الصرف الصحي والأنشطة الزراعية والصناعية هي المسؤولة عن تدهور نوعية مياهها. وتشجع هذه الأنشطة على زيادة تراكيزات الشوارد الموجبة والسالبة والمواد المغذية العالقة والمواد العضوية. يتكون العمل الحالي من دراسة التطور الزمني وتقييم نوعية المياه في سد حمام والمواد الصلبة بوغرارة الواقع في مستجمعات مياه تافنة. تم جمع البيانات الفيزيائية والكيميائية من يناير 2009 إلى ديسمبر 2012 من الوكالة الوطنية للموارد المائية في وهران. توزيع البيانات غير متماثل بشكل عام بالنسبة لغالبية الافراد الفيزيائية والكيميائية التي تمت دراستها. أظهرت مصفوفة الارتباط أن الموصلية ترتبط ارتباطا وثيقا بالصوديوم (0.85) والكلوريدات (0.88) وكذلك التعكر مع درجة الحموضة (0.72) والمواد العضوية (0.88). وكانت عناصر التلوث مرتبطة ارتباطا طفيفا مثل المواد الصلبة العالقة-التعكر (0.14)، والطلب على الأكسجين الكيميائي -الطلب البيولوجي على الأكسجين (0.5)، والطلب على الأكسجين الكيميائي -المواد العضوية (0.12). كشف التحليل البياني للتطور الزمني أن العناصر الغذائية (النترات والفوسفات)، والطلب على الأكسجين الكيميائي، والطلب على الأكسجين البيولوجي والمواد الصلبة العالقة انخفضت قليلا خلال فترة الملاحظة. أما بالنسبة للتعكر والمواد العضوية ودرجة الحموضة والتوصيلية والأكسجين المذاب، فقد لاحظنا زيادة كبيرة. تشير نسبة الطلب على الأكسجين الكيميائي إلى الطلب المقدر على الأكسجين البيولوجي إلى أن 70.83 % من مياه السد تحتوي على مواد عضوية يصعب تحللها بيولوجيا.

الكلمات المفتاحية : الجودة، التلوث، الافراد الفيزيائية والكيميائية، مياه السدود، حمام بوغرارة.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I Étude bibliographique	4
I.1 Introduction	5
I.2 Généralités sur la pollution des eaux superficielles.....	5
I.3 Origines de la pollution des eaux superficielles	6
I.3.1 Pollution urbaine	6
I.3.2 Pollution agricole	6
I.3.3 Pollution industrielle	7
I.3.4 Pollution liée aux phénomènes naturels	7
I.4 Paramètres de surveillance de la qualité des eaux superficielles	7
I.4.1 Paramètres organoleptiques	7
I.4.1.1 Couleur	8
I.4.1.2 Saveur	8
I.4.1.3 Odeur.....	8
I.4.1.4 Turbidité	8
I.4.2 Paramètres physiques	9
I.4.2.1 Température.....	9
I.4.2.2 Conductivité électrique	9
I.4.2.3 Potentiel d'hydrogène (pH)	10
I.4.2.4 Oxygène dissous	11
I.4.2.5 Matières En Suspensions (MES)	11
I.4.2.6 Potentiel redox	11
I.4.3 Paramètres chimiques	12
I.4.3.1 Minéralisation globale.....	12
I.4.3.1.1 Calcium	12
I.4.3.1.2 Magnésium.....	12
I.4.3.1.3 Sodium	13
I.4.3.1.4 Potassium	13
I.4.3.1.5 Chlorures.....	13
I.4.3.1.6 Sulfates.....	13
I.4.3.1.7 Bicarbonates	13
I.4.3.2 Indicateurs de pollution.....	13
I.4.3.2.1 Nitrates.....	13
I.4.3.2.2 Nitrites	14

I.4.3.2.3 Ammonium	14
I.4.3.2.4 Orthophosphates	14
I.4.3.2.5 Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅)	15
I.4.3.2.6 Demande Chimique en Oxygène (DCO)	15
I.4.3.3 Métaux lourds	15
I.4.4 Paramètres bactériologiques	16
I.4.4.1 Bactéries	16
I.5 Conclusion.....	16
Chapitre II Présentation de la région d'étude	17
II.1 Introduction	18
II.2 Présentation générale du sous bassin versant de l'oued Mouillah	18
II.2.1 Localisation géographique.....	18
II.2.2 Caractéristiques morphométriques.....	19
II.2.2.1 Hypsométrie	20
II.2.2.2 Pentes	21
II.2.2.3 Réseau hydrographie du bassin versant	22
II.2.2.3.1 Densité de drainage	22
II.2.2.3.2 Rapport de confluence	23
II.2.3 Caractéristiques climatiques	24
II.2.3.1 Pluviométrie	24
II.2.3.2 Température	24
II.2.3.2.1 Indice d'aridité annuelle	25
II.2.3.2.2 Indice d'aridité mensuel	26
II.2.3.3 Évaporation	27
II.2.4 Sol et végétation.....	27
II.2.5 Géologie	28
II.3 Présentation générale du barrage Hammam Boughrara	29
II.3.1 Situation géographique du barrage	29
II.3.2 Caractéristiques physiques et hydrauliques du barrage.....	30
II.3.3 Description générale des ouvrages annexes du barrage	31
II.3.4 Origines de la pollution du barrage	31
II.3.4.1 Pollution urbaine	32
II.3.4.2 Pollution agricole.....	32
II.3.4.3 Pollution industrielle.....	32
II.4 Conclusion	33

Chapitre III Qualité physico-chimique des eaux du barrage Hammam Bouhrara	34
III.1 Introduction.....	35
III.2 Analyse statistique des données physico-chimiques	35
III.2.1 Statistiques descriptives	36
III.2.2 Analyse des corrélations selon les critères de Spearman	36
III.2.3 Analyse en Composantes Principales (ACP)	37
III.3 Paramètres physico-chimiques des eaux	40
III.3.1 Paramètres physiques	40
III.3.1.1 Variation de la conductivité	40
III.3.1.2 Variation du pH.....	40
III.3.1.3 Variation de la température.....	41
III.3.1.4 Variation de l'oxygène dissous	41
III.3.2 Paramètres chimiques	42
III.3.2.1 Variation des cations	42
III.3.2.2 Variation des anions	43
III.3.2.3 Variation des nutriments.....	44
III.3.3 Paramètres indicateurs de la pollution	45
III.3.3.1 Turbidité et MES	45
III.3.3.2 DBO ₅ et DCO.....	46
III.3.3.3 Rapport DCO / DBO ₅	47
III.3.3.4 Matière organique	48
III.4 Conclusion	49
Conclusion générale	50

Liste des figures

Figure I.1 : Quelques solutions courantes et leurs valeurs de pH approximatives	10
Figure II.1 : Situation géographique de l'oued Mouilah	19
Figure II.2 : Courbe hypsométrique du bassin de Mouilah	21
Figure II.3 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de l'oued Mouillah (1970-2011)	24
Figure II.4 : Variation des températures moyennes mensuelles de l'oued Mouillah (1970-2011)	25
Figure II.5 : Diagramme Ombrothermique de l'oued Mouillah (1970-2011)	26
Figure II.6 : Barrage de Hammam Boughrara	29
Figure II.7 : Carte de situation de la zone d'étude	30
Figure III.1 : Contribution des variables.....	38
Figure III.2 : Représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2.....	39
Figure III.3 : Variation de la conductivité des eaux du barrage Hammam Boughrara	40
Figure III.4 : Variation du pH des eaux du barrage Hammam Boughrara	41
Figure III.5 : Variation de la température des eaux du barrage Hammam Boughrara	41
Figure III.6 : Variation de l'oxygène dissous des eaux du barrage Hammam Boughrara	42
Figure III.7 : Variation des cations des eaux du barrage Hammam Boughrara	43
Figure III.8 : Variation des anions des eaux du barrage Hammam Boughrara.....	44
Figure III.9 : Variation des nutriments des eaux du barrage Hammam Boughrara	45
Figure III.10 : Variation de la turbidité et les MES des eaux du barrage Hammam Boughrara	46
Figure III.11 : Variation de la DBO ₅ et la DCO des eaux du barrage Hammam Boughrara....	47
Figure III.12 : Variation du rapport DCO / DBO ₅ des eaux du barrage Hammam Boughrara.	48
Figure III.13 : Variation de la matière organique des eaux du barrage Hammam Boughrara..	49

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classes de turbidités usuelles (NTU : Néphélobimétrie Turbidité Unit)	8
Tableau I.2 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation	10
Tableau II.1 : Caractéristiques générales du bassin versant de l'oued Mouillah	20
Tableau II.2 : Répartition altimétrique du bassin versant de l'oued Mouillah	20
Tableau II.3 : Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM.....	22
Tableau II.4 : Paramètres caractérisant le réseau hydrographique de l'oued Mouillah	23
Tableau II.5 : Distribution du couvert végétal au niveau de l'oued Mouillah	27
Tableau II.6 : Différentes caractéristiques du barrage Hammam Bouhrara	30
Tableau III.1 : Structure de la matrice des données initiales des différents paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Hammam Bouhrara	35
Tableau III.2 : Caractéristiques statistiques élémentaires des analyses physico-chimiques des eaux du barrage Hammam Bouhrara	36
Tableau III.3 : Matrice de corrélation.....	37

Liste des abréviations

ACP	Analyse en Composante Principale
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydraulique
BV	Bassin Versant
DBO₅	Demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
Dd	Densité de drainage
DMS	Degrés Minute Seconde
ECVO	Entreprise de Céramique Vaisselle de l'Ouest
ENCG	Entreprise Nationale des Corps Gras
ENOF	Entreprise Nationale des Produits Miniers Non-Ferreux
ERIAD	Entreprise des industries alimentaires et dérivés
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
MES	Matières En Suspension
MO	Matière Organique
NTU	Néphélométrie Turbidité Unit
O_d	Oxygène dissous
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	PolyChloroBiphényles
pH	potentiel d'Hydrogène
Rc	Rapport de confluence
RL	Rapport des Longueurs

Introduction générale

Introduction générale

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie. Actuellement, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Le phénomène de la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable. La dégradation de l'état de l'eau de consommation a différents impacts directes ou indirectes sur la santé des populations humaine.

La gestion durable de la ressource en eau sera influencée par les changements climatiques et entraînera des difficultés dans son exploitation. De plus, la croissance démographique, les pratiques agricoles et les activités industrielles ont amplifié la quantité totale d'eaux usées générées qui menacent la santé des écosystèmes des rivières.

Dans notre cas, l'un des composantes primordiales du bassin versant de la Tafna, le sous bassin versant de Mouillah qui prend sa source dans le territoire marocain pour aboutir dans le barrage de Hammam Boughrara. Il charrie actuellement une pollution hydrique considérable, qui trouve refuge dans ce barrage édifié au niveau de l'oued Mouillah avec une capacité de 177 millions de m³ dont 59 millions régularisables, il est destiné à renforcer l'alimentation en eau potable des grandes agglomérations de l'Ouest algérien, comme les villes d'Oran, de Aïn Témouchent, de Maghnia et éventuellement des couloirs Nord-Ouest de la wilaya de Tlemcen, ainsi qu'à l'irrigation des périmètres de la moyenne et la basse Tafna. Par conséquent, cette pollution engendre de graves problèmes causant des impacts environnementaux considérables, ayant de fortes incidences socio-économiques et stratégiques dans toute la région Ouest du pays.

Ce travail a pour objectif l'évolution temporelle et l'évaluation de la qualité des eaux du barrage Hammam Boughrara en se basant sur les éléments physico-chimiques mesurés par l'ANRH d'Oran couvrant une période de quatre ans (2009-2012).

Pour présenter ce travail, nous avons divisé ce mémoire en 3 chapitres principaux :

- ✚ Le premier chapitre qui est l'étude bibliographique, il présente notre recherche bibliographique sur les origines de la pollution des eaux superficielles ainsi que les paramètres de surveillance de la qualité des eaux superficielles ;
- ✚ Le deuxième chapitre qui est le cadre général de la zone d'étude, il est consacré à la présentation générale de l'oued Mouillah ainsi que le barrage Hammam Boughrara ;
- ✚ Le troisième chapitre qui est la qualité physico-chimique des eaux du barrage Hammam Boughrara, il montre la qualité des paramètres physico-chimiques ainsi que des paramètres indicateurs de la pollution.

Enfin, nous tirons une conclusion générale qui passe en revue l'ensemble des faits marquants du présent travail et qui représente la synthèse des principaux résultats obtenus avec les recommandations.

Chapitre I

Étude bibliographique

I.1 Introduction

Les eaux destinées à la consommation humaine sont de différentes natures. Elles peuvent être souterraines (puits, forage) ou superficielles (barrages, lacs). Les eaux de surface se répartissent en eaux courantes ou stockées (stagnantes). Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organiques, ainsi qu'en plancton. Elles sont également très sensibles à la pollution minérale et organique. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur [1].

En Algérie, pays à climat semi-aride, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. L'exploitation de cette ressource est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et au développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture et l'industrie. Mais pour une bonne gestion, la connaissance de ces ressources en eau et de leur qualité est une condition nécessaire.

Au cours de ce premier chapitre, nous décrirons quelques généralités sur la pollution des eaux de surface. Nous présentons également les paramètres de surveillance de la qualité des eaux de surface.

I.2 Généralités sur la pollution des eaux superficielles

La pollution d'une eau superficielle est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les effets indésirables de ce phénomène sur les organismes vivants ont fait l'objet de nombreux travaux. Une eau usée appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage [2].

La pollution des eaux dans son sens le plus large est définie comme « tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ». L'aspect des eaux résiduaires fraîches est celui d'un liquide brun gris avec une odeur typique, mais faible. Durant leur transport, ces eaux se modifient d'autant plus vite que la température est élevée : elles deviennent noires et dégagent une odeur d'œufs pourris, signe de la présence d'hydrogène sulfureux (H_2S), dangereux pour les égoutiers et corrosifs pour le béton et les aciers des égouts. Environ un tiers des matières contenues est en suspension, le reste est en solution [3].

I.3 Origines de la pollution des eaux superficielles

Suivant l'origine des substances polluantes, nous allons distinguer la pollution urbaine, agricole, industrielle et les phénomènes naturels :

I.3.1 Pollution urbaine

La pollution domestique est la conséquence d'une utilisation quotidienne de l'eau dans la maison (tâches ménagères, cuisine, entretien d'un jardin, toilette, etc.). Ces effluents sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines, urines et fèces (eaux vannes) et d'eau de toilette, de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères). Les eaux domestiques sont riches en déchets organiques, en graisses (eau de cuisine), en matières minérales (eau de salle de bain), en azote, en phosphore et contiennent également des sels minéraux et des métaux.

Les détergents contiennent des matières minérales telles que les phosphates, qui entraînent la prolifération des algues dans le milieu naturel s'ils ne sont pas traités. Les eaux usées urbaines peuvent également contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle ou artisanale [2].

Les eaux pluviales résultent du ruissellement sur des surfaces imperméabilisées (toitures, chaussées, trottoirs) de l'eau de pluie. Celle-ci, déjà chargée de micro-polluants atmosphériques à son arrivée sur ces surfaces, récupère des polluants supplémentaires : métaux lourds sur les toits, hydrocarbures sur les chaussées, déjections animales sur les trottoirs ou dans les caniveaux, etc. Une partie très variable de macro-déchets part vers les cours d'eau, soit entraînée par les eaux de ruissellement soit par l'intermédiaire des déversoirs d'orages. Dans ce dernier cas des macro-déchets jetés (par erreur) dans les toilettes peuvent se retrouver dans le milieu naturel. Le sort des ordures ménagères est très variable [2].

I.3.2 Pollution agricole

L'aggravation constante de la pollution agricole due à l'utilisation d'engrais et de produits de traitements des végétaux rend l'eau impropre à la consommation dans de nombreuses régions.

Les causes des différentes formes de pollution agricole sont [4] :

- ✓ Les engrais et autres matières fertilisantes épandues (boues de stations d'épuration, effluents d'élevage, cendres) sur les sols agricoles ;
- ✓ Les déjections animales non-récupérables pour les animaux en pâture ;
- ✓ Les produits phytosanitaires (herbicides et pesticides), les engrais azotés, liés aux pratiques culturales elles-mêmes, provoquent une montée régulière des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines (de 1 à 2 mg/l par an, alors que la concentration maximale admissible est de 50 mg/l). L'altération des nappes souterraines est moins

réversible que la pollution des eaux superficielles du fait du lent renouvellement de ses ressources. Les produits phytosanitaires sont détectés dans les nappes souterraines : les plus inquiétants sont les herbicides de la famille des triazines dont l'atrazine, pourtant interdite d'utilisation depuis octobre 2001 ;

- ✓ Des métaux (Cu et Zn essentiellement) provenant des compléments alimentaires des animaux d'élevage, des résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections animales.

I.3.3 Pollution industrielle

Les résidences privées ne sont pas les seuls bâtiments qui ont besoin d'eau : entreprises et usines en ont besoin aussi pour leur activité. Provenant des usines, les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel. Selon l'activité industrielle, nous allons donc retrouver des pollutions aussi diverses que [4] :

- ✓ Des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires) ;
- ✓ Des hydrocarbures (industries pétrolières, transports) ;
- ✓ Des métaux (traitement de surface, métallurgie) ;
- ✓ Des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries) ;
- ✓ Des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- ✓ Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets médicaux radioactifs).

I.3.4 Pollution liée aux phénomènes naturels

Ce type de pollution affecte rarement les ressources en eau, il s'agit de l'éruption volcanique, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures ou encore lorsque l'eau entre en contact avec des gisements minéraux, en déclenchant des réactions de dissolution ou d'érosion, entraînant la libération de concentrations inhabituelles en métaux lourds [5].

I.4 Paramètres de surveillance de la qualité des eaux superficielles

Les déversements polluants modifient profondément les paramètres physico-chimiques, organoleptiques et biologiques des milieux aquatiques récepteurs ainsi que la biocénose aquatique. Le problème se posera dès qu'un rejet aura un effet sur la qualité de l'eau et le milieu récepteur ; si cet effet a des conséquences négatives, il s'agira d'une pollution.

I.4.1 Paramètres organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la turbidité (inverse de la transparence). Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution [6].

I.4.1.1 Couleur

Une eau pure observée avec une faible épaisseur semble transparente à l'œil. Par contre, observée avec une profondeur de plusieurs mètres, elle a une couleur bleu clair. Ceci s'explique par une absorbance de certaines longueurs d'ondes de la lumière. Les molécules à la base de la coloration peuvent interférer avec les procédés de traitement des eaux (substances minérales interférents avec procédé d'échangeur ionique). La couleur d'une eau est un paramètre réglementé pour les eaux destinées à la consommation humaine. Les normes distinguent deux types de couleur d'eau [6] :

- ✓ La couleur apparente est la couleur due aux matières en suspension (particules solides dont la taille est $> 10\mu\text{m}$ dispersées dans l'eau) ;
- ✓ La couleur vraie est la couleur due aux substances dissoutes.

I.4.1.2 Saveur

Le goût est défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche [6].

I.4.1.3 Odeur

L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles [6].

I.4.1.4 Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale [6].

Tableau I.1 : Classes de turbidités usuelles (NTU : Néphélométrie Turbidité Unit)

Turbidité	Type d'eau
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

I.4.2 Paramètres physiques

La température, la conductivité électrique, le potentiel d'hydrogène, l'oxygène dissous, les matières en suspension et le potentiel redox sont des facteurs physiques susceptibles d'intervenir dans la répartition des organismes et ont une grande influence sur l'activité biologique d'un cours d'eau.

I.4.2.1 Température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et la détermination du pH. La mesure de la température est très utile pour les études limnologiques et le calcul des échanges. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau. La température influe sur l'activité des microorganismes qui interviennent lors des processus de biodégradation de la matière organique pour cela, elle doit être contrôlée quotidiennement. Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques. La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tel que : la saturation des gaz dissous et la mesure du pH [9].

I.4.2.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique est une caractéristique physico de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature. Les matières organiques et colloïdes ne présentent qu'une faible conductivité. Elle varie avec la température. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. La conductivité électrique s'exprime en micro Siemens/cm.

La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée [6].

Tableau I.2 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation

Conductivité	Minéralisation
0 – 100 mS/cm	Minéralisation très faible
100 – 200 mS/cm	Minéralisation faible
200 – 333 mS/cm	Minéralisation moyenne accentuée
333 – 666 mS/cm	Minéralisation accentuée
666 – 1000 mS/cm	Minéralisation importante
> 1000 mS/cm	Minéralisation élevée

I.4.2.3 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH (potentiel d'hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre. Par définition, le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration H^+ [6].

$$pH = - \text{Log} [H^+] \quad (I.1)$$

L'échelle de pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

- $[H^+] < [OH^-] \Rightarrow pH > 7$: l'eau est basique ;
- $[H^+] > [OH^-] \Rightarrow pH < 7$: l'eau est acide ;
- $[H^+] = [OH^-] \Rightarrow pH = 7$: l'eau est neutre.

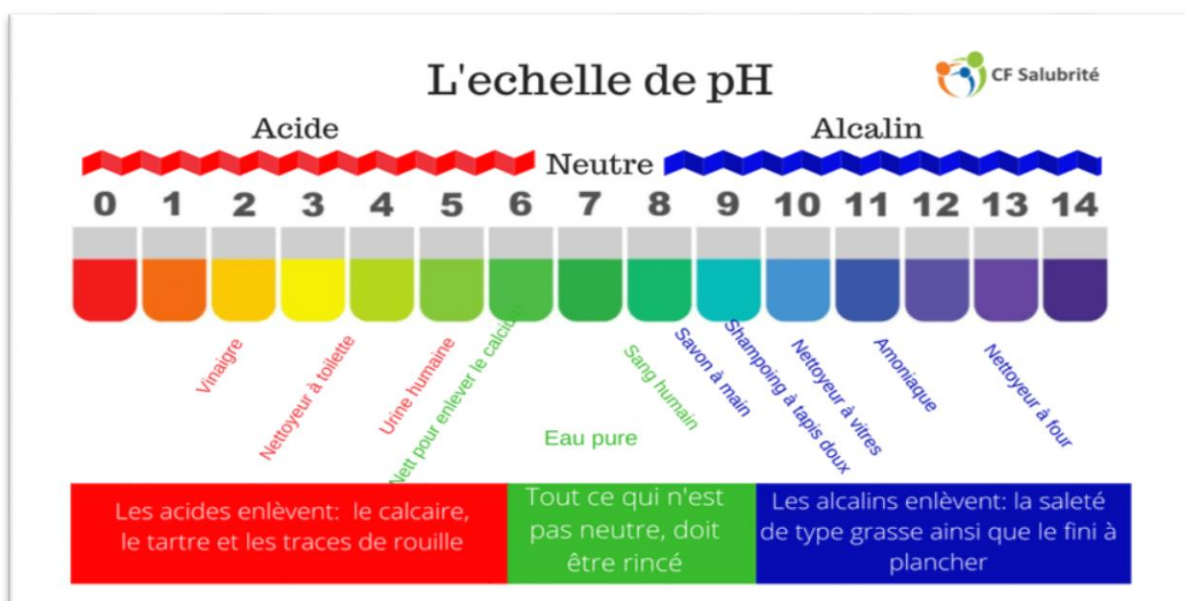


Figure I.1 : Quelques solutions courantes et leurs valeurs de pH approximatives [30]

I.4.2.4 Oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière, car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité et la pénétration de la lumière. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau [6].

La teneur en oxygène dissous est exprimée en mg/l d'oxygène ou en %. Le déficit en oxygène existe, lorsque la consommation est supérieure à la production, ce qui est essentiellement provoqué par [31] :

- ✓ L'eutrophisation : quand les conditions sont favorables à la photosynthèse, la masse végétale produite prolifère, ce qui induit une demande accrue en oxygène lors de sa dégradation. Ce phénomène est devenu plus fréquent avec l'enrichissement des eaux en produits azotés et phosphorés ;
- ✓ L'oxydation de la matière organique : la présence de matière organique réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique.

I.4.2.5 Matières En Suspensions (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc.). Les matières en suspension sont exprimées en mg/l [2].

I.4.2.6 Potentiel redox

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur, ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox. Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique. Le potentiel redox se mesure en mV [7].

I.4.3 Paramètres chimiques

I.4.3.1 Minéralisation globale

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que les carbonates, les bicarbonates, les chlorures, les sulfates, le calcium, le sodium, le potassium, le magnésium. Une minéralisation excessive donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs. La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs, on distingue :

- ✓ Les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium ;
- ✓ Les anions : chlorure, sulfates, nitrates et bicarbonate.

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques ou par certaines eaux usées industrielles. Les pics de concentration en chlorures s'observent le plus souvent en période de gel. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèlent néfastes. D'autres ions tels que le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), potassium (K^+), fluor (F^-) peuvent être également mesurés. Les éléments en solution sont exprimés en mg/l [6, 7].

I.4.3.1.1 Calcium

Le calcium est un minéral blanc très présent dans la nature nécessaire à l'organisme humain, c'est un minéral contenu principalement dans les produits laitiers et certains légumes, et qui possède plusieurs rôles au sein de l'organisme, il permet le bon fonctionnement de la croissance, le système nerveux, le système cardiaque, les muscles et le poids. Il existe plusieurs calciums, qui possèdent des rôles différents : le carbonate de calcium, le bromure de calcium, le chlorure de calcium, le chlorure de chaux [31].

I.4.3.1.2 Magnésium

C'est aussi un élément de la dureté de l'eau dont la teneur dépend des terrains traversés. Indispensable pour la croissance, il intervient comme élément plastique dans l'os et comme élément dynamique dans les synthèses enzymatiques et hormonales. Les concentrations de magnésium ne sont pas tellement dépendantes des activités humaines, donc le magnésium n'est pas utilisé comme indicateur de stress lié à la pollution. Son apport journalier nécessaire à l'adulte est de 200 à 300 mg/l. Toutefois, à partir de certaines teneurs, il donne à l'eau une amertume désagréable [6].

I.4.3.1.3 Sodium

Le sodium est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région du globe à une autre. Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. Dans l'organisme, le sodium assure un équilibre entre les différents compartiments cellulaires, sous l'influence du métabolisme de régulation endocrinien et cardio-vasculaire. Les corrélations entre la consommation journalière du sodium par l'homme et l'hypertension artérielle ont été démontrées [6].

I.4.3.1.4 Potassium

Le potassium se trouve dans la croûte terrestre surtout dans les roches ignées (granite, rhyolite, syénite). Il est à peu près constant dans les eaux naturelles (10 à 15 mg/l) et il n'a pas d'effet sur la santé des populations. Certains rejets industriels (mines de potasse) et d'usines d'engrais peuvent entraîner des quantités de potassium relativement importantes dans l'eau [6].

I.4.3.1.5 Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/L, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1 000 mg/l [6].

I.4.3.1.6 Sulfates

La teneur en sulfates (SO_4^{2-}) dans l'eau est liée aux composés alcalins de la minéralisation. Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles intestinaux [6].

I.4.3.1.7 Bicarbonates

Une concentration trop élevée en bicarbonates dans l'eau est susceptible d'avoir une incidence négative, mais réversible sur la potabilité de l'eau. Ces ions hydrogénocarbonates sont dosés pour connaître leur effet dans la canalisation et les risques de corrosion du réseau de distribution qu'ils peuvent provoquer. Les ions bicarbonates HCO_3^- constituent le tampon principal des systèmes d'eaux douces. Ils permettent le rétablissement des conditions initiales en cas de pollution par des déversements acides [6].

I.4.3.2 Indicateurs de pollution

I.4.3.2.1 Nitrates

Les nitrates sont les formes d'azote les plus solubles dans l'eau. Par conséquent, leurs concentrations varient selon les événements hydrologiques atteignant ou dépassant parfois leurs critères respectifs de qualité pour l'eau brute d'alimentation humaine. La présence de ces ions

dans une eau est un indicateur de la pollution. Ces ions proviennent soit naturellement du sol, soit de la pollution par l'industrie chimique, des décharges électriques ou des engrais azotés. Les eaux naturelles contiennent normalement des nitrates à des doses variant selon les saisons. Les concentrations de ces ions d'origine naturelle dans les eaux de surface et souterraines sont généralement de quelques milligrammes par litre. Dans de nombreuses eaux souterraines et de surfaces, on observe aujourd'hui une augmentation de la concentration de ces ions. La valeur maximale admissible en cet ion, d'après les normes mondiales de santé relatives à la qualité des eaux d'alimentation humaine, est de 40 mg/l (OMS, 2008) et 50 mg/l pour les normes algériennes [8].

I.4.3.2.2 Nitrites

Les nitrites sont réponsus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles. En général, dans les eaux de surface, leurs teneurs excèdent rarement 1 mg/l. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates [8].

I.4.3.2.3 Ammonium

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue l'un des maillons du cycle de l'azote. L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains soit aux rejets industriels. L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir pour origine naturelle, la décomposition des déchets végétaux et animaux. Sa teneur dans les eaux de surface est normalement faible (inférieure à 0,2 mg/l). La présence de l'ammonium dans les eaux peut engendrer divers inconvénients comme la corrosion des conduites, la diminution de l'efficacité du traitement de désinfection au chlorure et le développement de micro-organismes responsables de saveurs et d'odeurs désagréables. Elle peut donc révéler l'existence d'une décomposition de matières organiques dans le milieu, ce qui constitue un indice de pollution des nappes phréatique. La valeur maximale admissible en cet ion, d'après les normes algériennes relatives à la qualité des eaux d'alimentation humaine, est située entre 0,05 – 0,5 mg/l [9].

I.4.3.2.4 Orthophosphates

Le phosphore est naturellement présent dans les eaux superficielles en faible quantité, il est déterminant pour la productivité des écosystèmes aquatiques. Cet élément joue un rôle très important dans le développement des algues ; il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les eaux des lacs où elles contribuent à l'eutrophisation. Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence naturelle dans l'eau est liée aux caractéristiques

des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution. La valeur maximale admissible en cet ion, selon les normes algériennes relatives à la qualité des eaux d'alimentation humaine, est de 0,5 mg/l [9].

I.4.3.2.5 Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅) est la quantité, exprimée en mg/l, d'oxygène consommée par l'activité bactérienne pour dégrader les matières organiques biodégradables pendant 5 jours (à 20 °C et dans l'obscurité). La DBO₅ constitue une fraction de la DCO. Selon l'OMS, les eaux superficielles destinées à la production de l'eau alimentaire doivent avoir des limites raisonnables de 3 - 5 mg/l. Cependant, la valeur maximale admissible en cet ion, d'après les normes algériennes relatives à la qualité des eaux d'alimentation humaine, est de 7 mg/l. La DBO₅ peut être plutôt favorable à la vie aquatique et il est admis qu'une DBO₅ inférieure à 1 mg/l peut être considérée comme normale, entre 1 et 3 mg/l acceptable et au-delà de 7 mg/l comme douteuse ou anormale [9].

I.4.3.2.6 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la concentration, exprimée en mg/l, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate consommée par la matière organique contenue dans l'échantillon soumis à l'oxydation par dichromate de potassium, dans des conditions précises. La DCO représente la quantité de l'oxygène O₂ consommée par toutes les matières réductrices présentes dans les eaux. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques, mais également de sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures). Les eaux résiduaires industrielles peuvent fréquemment atteindre des valeurs de plusieurs grammes par litre en demande chimique en oxygène. La DCO constitue un précieux paramètre indicateur de la présence de polluants dans les eaux résiduaires. La norme mondiale de santé relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine et la norme algérienne, est de 30 mg/l (OMS, 2008) [9].

I.4.3.3 Métaux lourds

La plus grande partie des métaux lourds dissous transportés par les systèmes aquatiques naturels se fait dans les conditions physico-chimiques normales. Ils sont fixés par la matière en suspension par adsorption. Ces métaux immobilisés dans les sédiments n'y restent pas définitivement, mais peuvent se retrouver en solution dans l'eau sous l'action d'un acide dans le milieu, par exemple. À propos des teneurs métalliques dans la matière en suspension, des études ont montré une relation linéaire entre les teneurs en métaux lourds et la taille des particules pour des tailles inférieures à 16 µm dans des échantillons récoltés au même endroit.

Il a été noté que, dans la plupart des rivières, l'équilibre ne peut être complètement établi entre les deux phases solide et aqueuse à cause de la courte durée d'existence des métaux en solution et que ces derniers peuvent s'éliminer progressivement de la phase aqueuse en fonction de la distance parcourue [9].

I.4.4 Paramètres bactériologiques

Il existe un grand nombre de micro-organismes pathogènes susceptibles de se retrouver dans les eaux et la majorité de ces microorganismes proviennent de déjections humaines ou animales. L'analyser d'une eau pour tous les pathogènes connus est un procédé compliqué et coûteux [10].

Les eaux superficielles peuvent contenir tous les micro-organismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes [10].

I.4.4.1 Bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10¹² bactéries/g. Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ Proteus et entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridium. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonelles dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau, ce sont les coliformes thermo tolérants [10].

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné des généralités sur les eaux superficielles à savoir la pollution de ces eaux ainsi que les paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques de surveillance de la qualité de ces eaux superficielles.

La qualité des eaux superficielles est affectée par les activités anthropiques et les processus naturels. Ces derniers, influant sur la qualité de l'eau, renferment le taux de précipitation, les processus d'érosion et le transport des sédiments. Par contre, les activités anthropiques incluent le développement urbain, l'expansion industrielle et les pratiques agricoles. Par conséquent, une gestion efficace à long terme de l'eau de surface d'un oued nécessite une compréhension fondamentale des caractéristiques physico-chimiques et biologiques.

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

II.1 Introduction

La pollution des eaux de surface ne peut être évaluée sans une étude préalable des caractéristiques du site. C'est pourquoi une description générale de la zone d'étude sera élaborée au premier lieu, où nous ferons ressortir ses caractéristiques physico-géographiques et climatiques ainsi que les différentes sources potentielles de pollution.

II.2 Présentation générale du sous bassin versant de l'oued Mouillah

L'oued Mouillah est un affluent de la rive gauche de la Tafna. Il traverse le territoire marocain où il prend le nom de l'Oued Bounaim (Isly) ; son cours d'eau intermittent redevient permanent en aval de la ville d'Oujda (Maroc). A son entrée en Algérie, il prend le nom de l'Oued Mouillah où il est permanent, il représente les 4/5 des rapports au barrage de Hammam Boughrara. L'oued Mouillah est alimenté par les rejets urbains et industriels de la ville d'Oujda et de quelques petites localités avoisinantes [12].

II.2.1 Localisation géographique

Le bassin versant de l'oued Mouillah est situé au Nord-Ouest de l'Algérie, il s'étend sur une superficie de 2650 km², pour un périmètre de 230 km. Affluent rive gauche de la Tafna, oued Mouillah, s'écoule sur une longueur de 124 km. Il prend naissance dans la région d'El Abed, en Algérie, à 1250 m d'altitude, puis pénètre au Maroc et prend le nom d'oued Isly et suit un cours intermittent. Il redevient permanent en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation d'oued Mouillah. Il reçoit sur sa rive droite, Oued Ouardeffou avec ses affluents, Oued EL Abbas, Oued Aouina et Oued Mehaguene et sur sa rive gauche Bouslit, Oued Ben Saria et Oued El Aouedj.

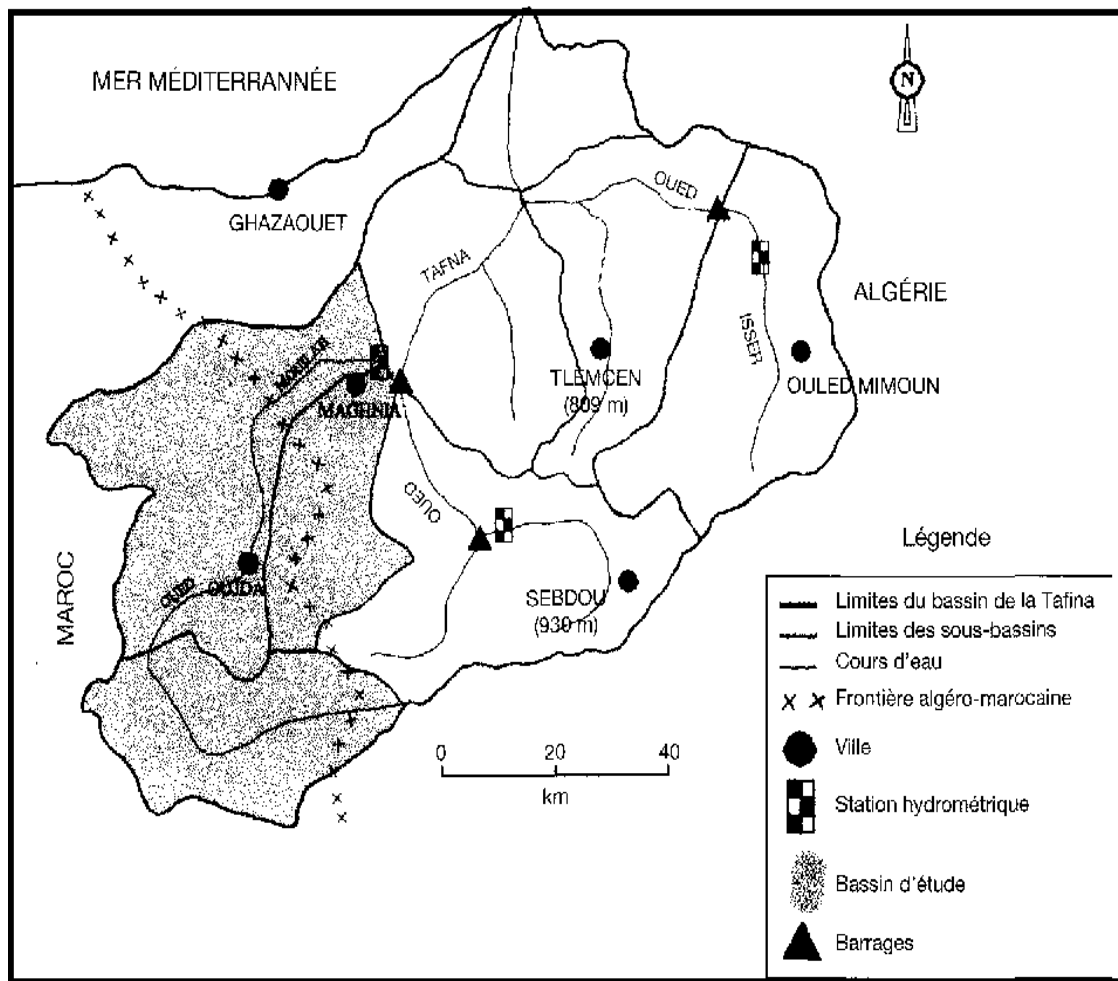


Figure II.1 : Situation géographique de l'oued Mouilah [14]

II.2.2 Caractéristiques morphométriques

La forme du bassin-versant peut avoir des conséquences hydrologiques importantes, notamment sur la relation pluie-débit et l'évolution des écoulements et matières solides en suspension en période de crue. Outre la nature de l'averse les caractéristiques morphologiques du bassin conditionnent la forme des hydrogrammes observés à l'exutoire. Les caractéristiques morphologiques du bassin versant de l'oued Mouilah sont résumées dans le tableau ci-après [14] :

Tableau II.1 : Caractéristiques générales du bassin versant de l'oued Mouillah [14]

A (Km ²)	P (Km)	L (Km)	kc	Rectangle équivalent		Ig (m/Km)	Ip	Hmin (m)	Hmoy (m)	Hmax (m)
				Longueur (Km)	Largeur (Km)					
2650	230	124	1,25	81,63	32,46	0,011	1,16	285	746	1430

Avec : P : Périmètre du bassin (km), A : surface (km²), L : longueur de Talweg (Km), Hmin : altitude minimale (m), Hmoy : altitude moyenne (m), Hmax : altitude maximale (m) et Kc : coefficient de compacité.

II.2.2.1 Hypsométrie

Le relief détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration, l'évaporation et caractérise le comportement hydrologique d'un bassin. Partant de la répartition par tranches d'altitudes (**Tableau II.2**), la courbe hypsométrique est donnée dans la **Figure II.2**.

Tableau II.2 : Répartition altimétrique du bassin versant de l'oued Mouillah [14]

Tranche d'altitude (m)	Ai (Km ²)	Ai cumulée (Km ²)	Ai (%)	% Ai cumulée	% Altitude cumulée
1430-1400	26,80	26	0,98	0,98	100
1400-1200	306	332	11,55	12,53	97,39
1200-1000	381	713	14,38	26,91	79,92
1000-800	375	1088	14,15	41,06	62,45
800-600	414,5	1502,2	15,64	56,7	44,98
600-400	904	22406.5	34,11	90,81	27,51
400-285	243,5	2650	9,19	100	10,01

La forme de la courbe hypsométrique **Figure II.2** montre un état d'équilibre du bassin et donc un potentiel érosif moyen. L'accentuation de la pente de la courbe vers les basses altitudes indique que la partie aval du bassin est bien occupée par la plaine importante de Maghnia-Angades. Vers les hautes altitudes, le relief accentué à l'amont du bassin est bien mis en évidence par la forme de la courbe hypsométrique [14].

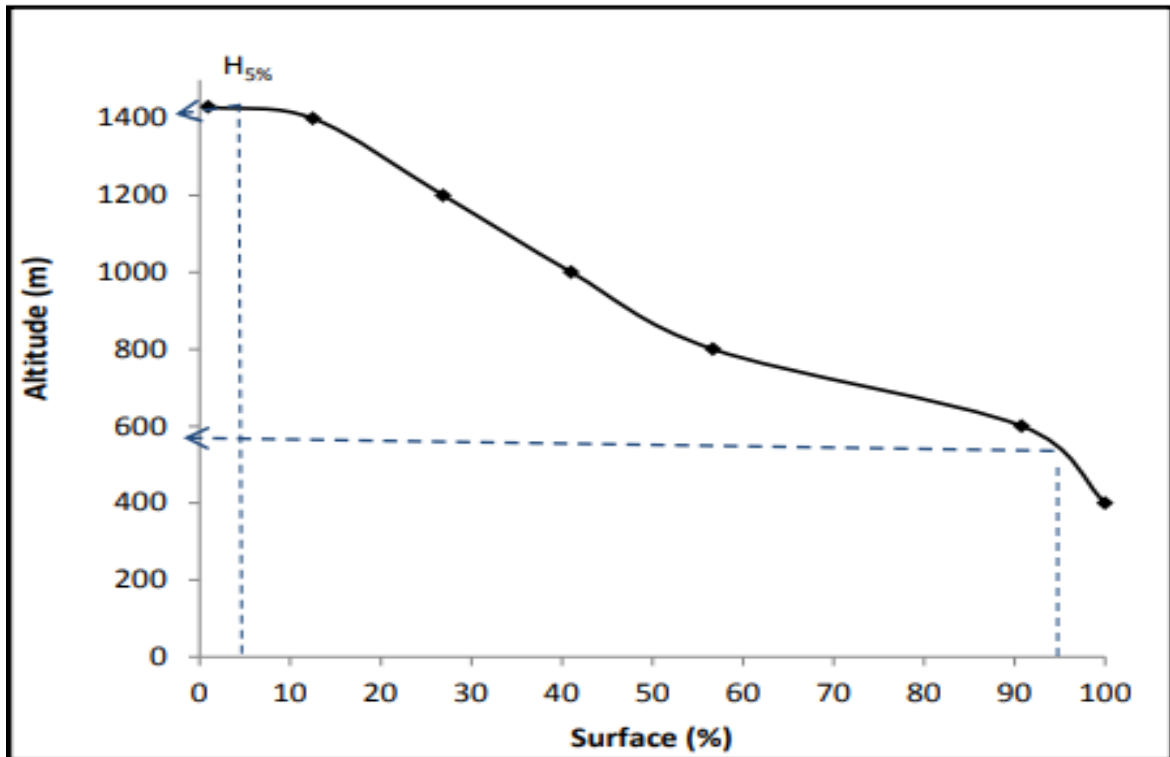


Figure II.2 : Courbe hypsométrique du bassin de Mouilah [14]

II.2.2.2 Pentes

La pente renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une indication sur le temps de parcours du ruissellement direct et influence sur le débit de pointe lors d'une averse. Selon Stewart (1974), la pente des bassins versants est un paramètre clé dans le ruissellement.

La pente moyenne P_{moy} s'exprime en fonction de la longueur L du rectangle équivalent et la différence entre les hauteurs extrêmes ΔH .

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = \frac{1430 - 285}{81,63} = 14,06 \text{ m/km} \quad (\text{II.1})$$

L'indice de pente global, I_g , permet de déterminer l'importance du relief sur le bassin. Il est défini comme étant le rapport entre la dénivellation (D) et la longueur (L) du rectangle.

$$I_g = \frac{D}{L} \text{ (m/Km)} \quad (\text{II.2})$$

Avec D : Dénivelée = $H_5 \% - H_{95} \%$ (m), l'altitude $H_5 \%$ correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 5 % de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique, l'altitude $H_{95} \%$ correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 95 % de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

La valeur de la pente globale pour le bassin versant mouillah est 0.011, soit $0.01 < I_g$, la classification du relief par L'ORTOM (**Tableau III.3**), la valeur de l'indice du pente globale du bassin versant de l'oued de Mouillah montre que le relief est modéré.

Tableau II.3 : Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM [14]

Relief très faible	$I_g < 0.002\text{m/km}$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$0.5\text{m/km} < I_g$

Les pentes sont en général très accentuées. Elles dépassent les 20 % au niveau des zones montagneuses des monts de Traras au nord-ouest et les monts de Tlemcen au sud. Entre ces zones à relief fort, le relief localisé de part et d'autre de l'oued Mouillah est plus au moins aplatie avec des pentes plus douces entre 0 et 10 %. Cette zone constitue la plaine de Maghnia qui ne favorisant pas ou peu le transport de sédiment. En plus, la partie médiane du bassin soit 25 % de la surface totale du bassin à une pente inférieure à 5% pouvant constituer une zone de dépôt des particules solides transportée par l'oued Mouilah [14].

II.2.2.3 Réseau hydrographie du bassin versant

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement, Le réseau hydrographique influence le régime hydrologique à travers la densité de drainage (D_d), le rapport de confluence (R_c) et le rapport des longueurs (R_l).

II.2.2.3.1 Densité de drainage

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin, mais aussi parfois par les conditions climatiques et anthropiques. La relation de la densité de drainage est donnée par la formule suivante :

$$Dd = \sum \frac{Li}{A} \quad (\text{II.3})$$

Avec : Li : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin (km), A : Aire du bassin (km²).

La morphologie du système de drainage est conditionnée principalement par la nature des formations qui constituent la lithologie du bassin du relief ainsi qu'au régime climatique [14].

II.2.2.3.2 Rapport de confluence

Le rapport de confluence est défini par la relation suivante :

$$Rc = \frac{Nn}{N(n+1)} \quad (\text{II.4})$$

Avec : Nn : Nombre de cours d'eau d'ordre n.

Si l'on admet que pour un bassin parfaitement organisé Rc=2, notre bassin est mal hiérarchisé avec une Valeur Rc=3.88 supérieure à 2.

II.2.2.3.3 Rapport des longueurs

Le rapport des longueurs est défini comme suit :

$$RL = \frac{R(n+1)}{Ln} \quad (\text{II.5})$$

Avec : Ln : longueur de cours d'eau d'ordre n.

Le **Tableau II.4** regroupe les paramètres caractérisant le réseau hydrographique de l'oued Mouillah.

Tableau II.4 : Paramètres caractérisant le réseau hydrographique de l'oued Mouillah [14]

Dd (Km/Km2)	Rc	RL
0,16	3,88	2,34

II.2.3 Caractéristiques climatiques

Le bassin versant d'Oued Mouillah se caractérise par un climat semi-aride. Les températures annuelles varient entre 15,7 et 18,4 °C (période 1977-1993), la moyenne étant de 16,7 °C. Les précipitations sont relativement faibles. Avec une moyenne interannuelle de 300 mm (période 1977-1993), elles sont très inégalement réparties au cours de l'année [15].

II.2.3.1 Pluviométrie

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux [16].

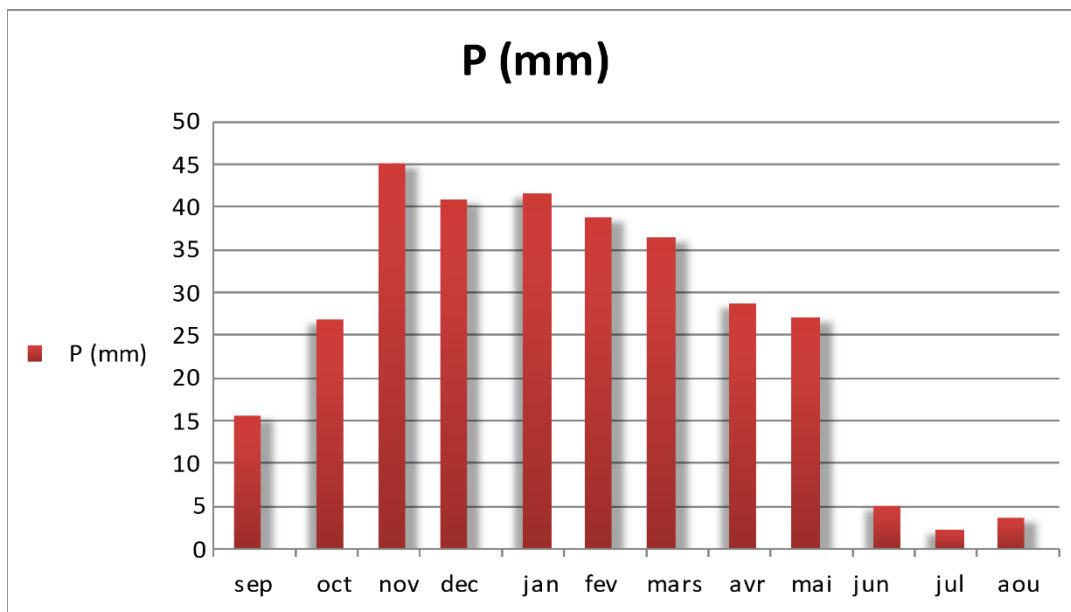


Figure II.3 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de l'oued Mouillah (1970-2011)

II.2.3.2 Température

Les températures ont une grande influence sur l'écoulement ainsi que les données relatives à l'évaporation favorisant le déficit d'écoulement [16].

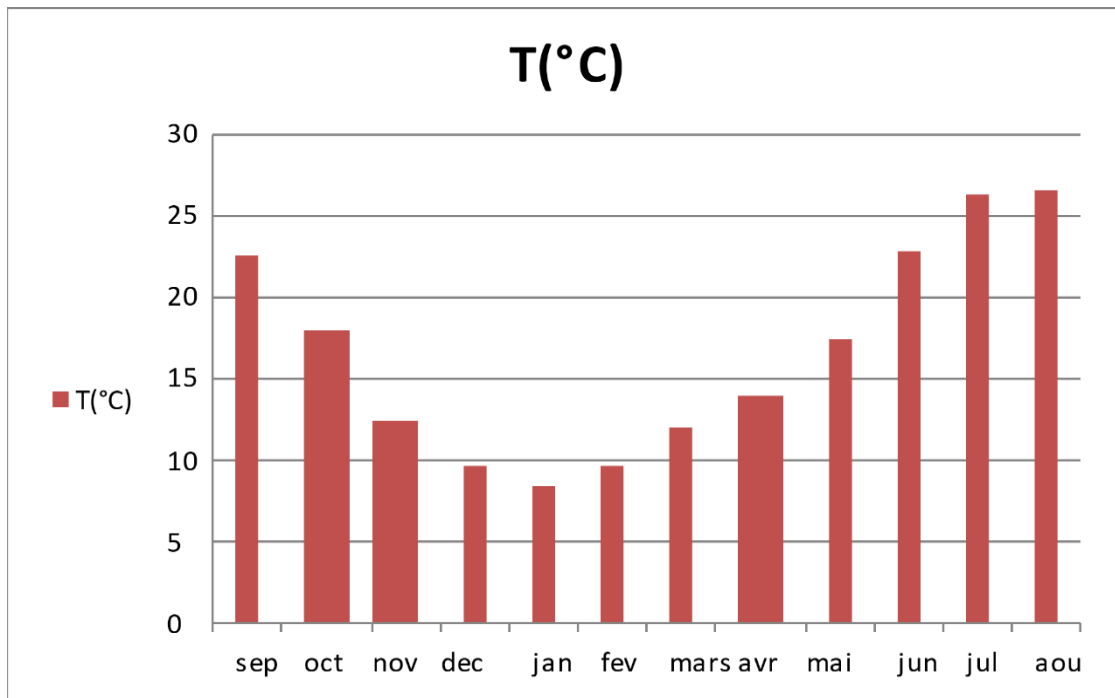


Figure II.4 : Variation des températures moyennes mensuelles de l'oued Mouillah (1970-2011)

Le climat Joue un rôle capital dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant. En plus des paramètres morphogéniques de la connaissance des facteurs hydro climatologiques s'avère indispensable pour mieux comprendre les phénomènes d'écoulement superficiel et par là, le rôle régulateur du bassin versant des divers éléments du bilan hydrologique [16].

II.2.3.2.1 Indice d'aridité annuelle

Pour déterminer le type du climat utilisant l'indice d'aridité " I " de Demartone qui donne les caractéristiques du climat régional.

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (\text{II.6})$$

Avec P : Précipitation moyenne annuelle en mm ; T : Température moyenne annuelle (C°). (T = 16.90 °C) et I : Indice d'aridité annuelle.

Selon Demartonne :

- ✓ Si $I < 5$: le climat est hyper-aride ;
- ✓ Si $5 < I < 7.5$: le climat est désertique ;
- ✓ Si $7.5 < I < 10$: le climat est steppique ;
- ✓ Si $10 < I < 20$: le climat est semi-aride ;
- ✓ Si $20 < I < 30$: le climat est tempéré ;

✓ Si $I > 30$: le climat est humide.

La valeur obtenue pour le paramètre I est de 11,63 pour le sous bassin ce qui implique que le climat de la région est classé en régime semi-aride avec écoulement temporaire [16].

II.2.3.2.2 Indice d'aridité mensuel

L'indice d'aridité mensuel est donné par la formule :

$$I = \frac{12P}{T+10} \quad (\text{II.7})$$

Avec : P : Précipitation moyenne mensuel (mm), T : Température moyenne mensuel (C°) et I : Indice d'aridité mensuel.

Le diagramme illustré dans la **Figure II.5** fait ressortir deux périodes :

- Une période sèche qui s'étend entre le mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre ;
- Une période humide qui dure six mois donc du mois de Novembre jusqu'au mois de Avril.

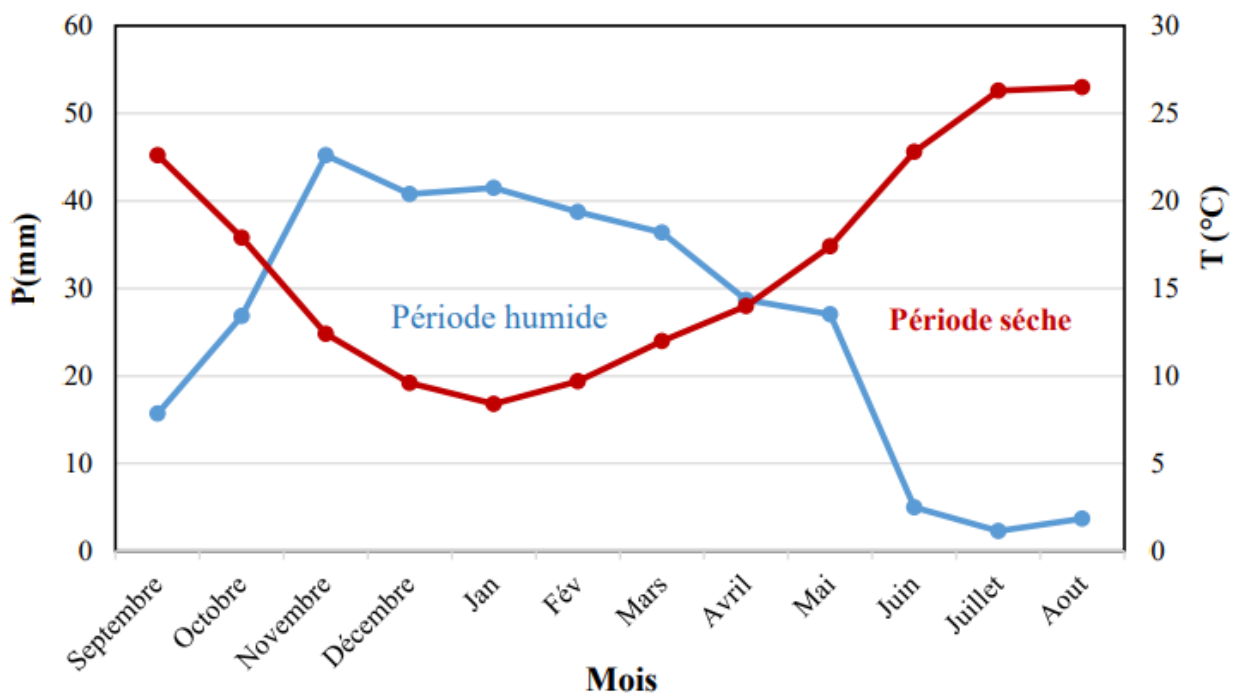


Figure II.5 : Diagramme Ombrothermique de l'oued Mouillah (1970-2011)

II.2.3.3 Évaporation

L'évaporation réelle sur le plan d'eau libre au niveau de l'oued Mouillah a été estimée à environ 1167 mm par an (Direction des Ressources en Eau) [17].

II.2.4 Sol et végétation

D'une manière générale, les sols dans ce bassin sont constitués par [18] :

- Les sols calcaires qui longent l'oued Mouillah et se prolongent au Nord-Est des monts des Traras et aux piémonts de Tlemcen. On y trouve généralement une végétation herbacée ;
 - Les sols calciques : caillouteux et peu profonds, ils se développent surtout le long de la vallée d'oued Mouillah ;
 - Les sols alluviaux constitués principalement de sols calcaires lourds recouvrant les basses terrasses et les lits des oueds. Ils sont localisés au Nord de la plaine de Maghnia.
 - Les sols rouges à encroûtement : ces sols formés de marnes du Miocène, couvrent une grande partie de la plaine de Maghnia où l'on rencontre une culture extensive irriguée.
- La distribution du couvert végétal (**Tableau II.5**), montre que la moitié de la superficie du bassin de l'oued Mouillah est constitué de terrains nus, localisés au Sud. Ces terrains susceptibles d'être transpercés par l'effet de pluies violentes, correspondent à une zone plate à pente inférieure à 5 %. L'autre partie du bassin se trouve suffisamment couverte pour résister aux menaces érosives.

Tableau II.5 : Distribution du couvert végétal au niveau de l'oued Mouillah [18]

Occupation des sols	Surface (ha)	Surface (%)
Cultures extensives	57 200	21,58
Couvert forestier dégradé	9 500	3,58
Couvert forestier normal	39 000	14,72
Arboriculture	1 200	0,45
Couvert mort	131 000	49,43
Prairies et terrains de pacage	27 100	10,23

II.2.5 Géologie

La connaissance de la géologie d'un bassin versant s'avère importante pour cerner l'influence des caractéristiques physiographiques. La géologie du substratum influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine, mais également sur le ruissellement de surface. Dans ce dernier cas, les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie (nature de la roche mère) et la structure tectonique du substratum. Les matériaux géologiques se composent de formations meubles (sables, argiles, marnes) ou de formations consolidées (grès, calcaires, dolomies). Nous nous abstenons à une présentation brève de quelques caractères géologiques du bassin de Mouillah [19].

L'évolution des terrains rencontrés sur la région de la Tafna va du Primaire au Plio-Quaternaire :

- ✓ Primaire : Il affleure dans le bassin de l'oued Mouillah au niveau des Monts de Ghar-Roubane à l'Ouest et de Dj. Fellaoucène à l'Est. Il est caractérisé par la présence d'une formation schisto-quartzite d'âge Silurien à Dévonien. Il s'agit de formations fortement plissées recouvrant une grande surface ;
- ✓ Secondaire : La série litho stratigraphique est représentée par :
 - Trias : Localisé essentiellement au Nord d'Ain Tellout et au niveau de Béni-Bahdel et à l'Est dans le bassin d'Oued Mouillah et au niveau de la stèle pour Emir Abdelkader.
- ✓ Tertiaire : Il comporte :
 - Miocène moyen : Il est constitué essentiellement par une épaisse série d'argiles marneuses grises ou bleutées, bien représenté à 4 Km à l'Est de Hammam Boughrara ;
 - Miocène supérieur : Formé par des dépôts de grès durs, jaunes d'or ou citron. Il affleure entre Tlemcen et Remchi, dans le bassin de Sikkak ; comme c'est le cas au Nord et au Sud de la plaine de Maghnia dans le bassin du Mouillah.
- ✓ Plio-Quaternaire : Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus formés d'éléments hétérométriques et hétérogènes. Les facies suivants sont rencontrés :
 - Des marnes avec peu ou pas de galets, plus ou moins tufeuses, parfois très épaisses au niveau du bassin de l'Oued Mouillah ;
 - Des anciennes alluvions allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets en passant par les limons et les graviers au niveau des oueds principaux du bassin.

II.3 Présentation générale du barrage Hammam Bouhrara

II.3.1 Situation géographique du barrage

Le barrage Hammam Bouhrara est le plus important de la wilaya de Tlemcen, il est situé sur le point de confluence entre l'oued Tafna et l'oued Mouillah à environ 1 Km, en amont de la localité de Hammam Bouhrara et à 10 Km, de la daïra de Maghnia. Il est destiné à satisfaire les besoins en eau, essentiellement, des villes d'Oran (33 Hm³) et de Maghnia (17 Hm³) et en eau d'irrigation de la moyenne Tafna (9 Hm³) [20].



Figure II.6 : Barrage de Hammam Bouhrara [11]

Il s'étend entre la commune de Sabra et la ville de Maghnia. Ce BV s'insère à l'intérieur d'un quadrilatère dont les coordonnées DMS Longitude/Latitude sont [11] :

- ✓ X (1°41' à 1°26') Ouest ;
- ✓ Y (34°52' à 34°37') Nord.

Le bassin versant s'étend sur une superficie de 313.5 Km², la longueur de l'oued principale et leurs affluents et d'environ 142,60 Km. Ce bassin a une forme ramassé orientée Sud-Nord et s'allonge depuis les monts du Tlemcen vers les monts de Traras [11].

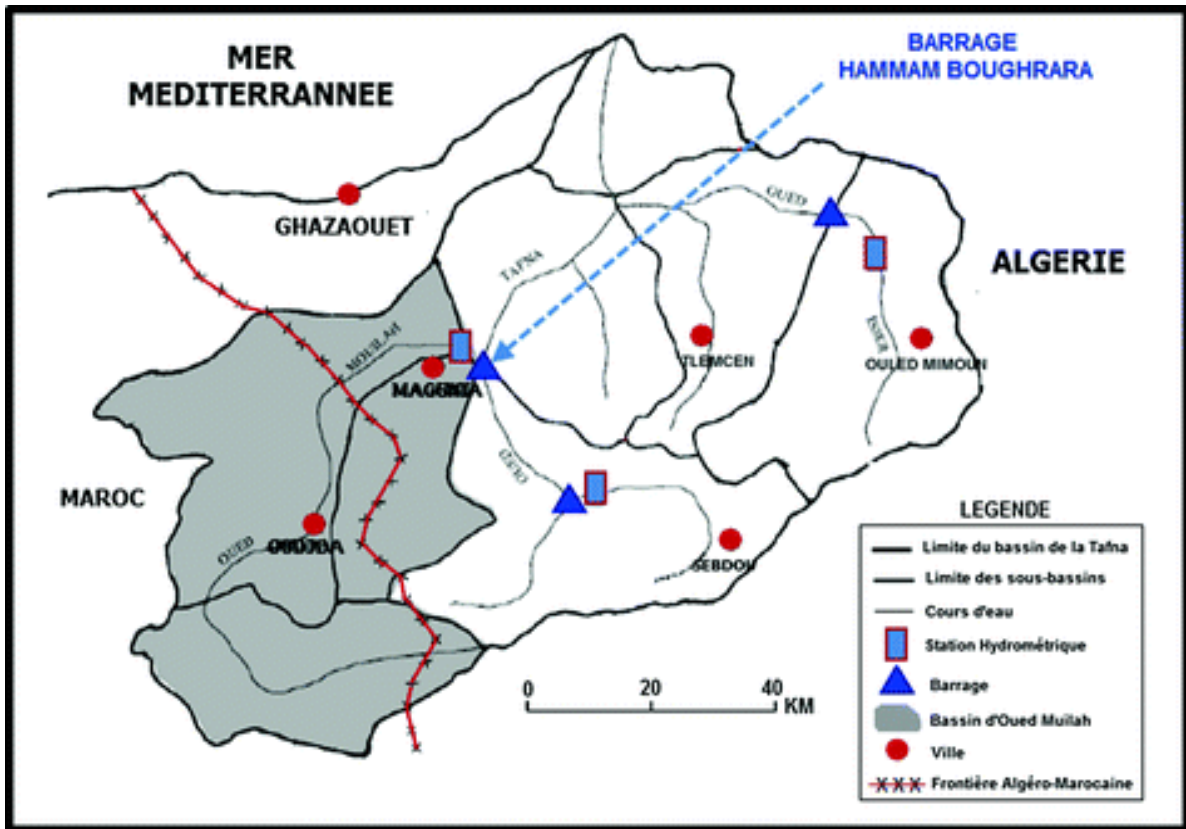


Figure II.7 : Carte de situation de la zone d'étude [19]

II.3.2 Caractéristiques physiques et hydrauliques du barrage

Le barrage Hammam Bouhrara possède différentes caractéristiques physiques et hydrauliques comme montre le **Tableau II.6**.

Tableau II.6 : Différentes caractéristiques du barrage Hammam Bouhrara [20]

<u>Caractéristiques physiques</u>	<u>Caractéristiques hydrauliques</u>
Coordonnées : X = 102.92, Y = 185.2 et Z = 251.00	Capacité totale : 177 Hm ³
Type : digue en terre hétérogène	Volume régularisé : 59 Hm ³
Hauteur maximale : 75 m	Volume mort : 23,3 Hm ³
Longueur de la crête : 1055 m	Superficie du lac : 894 ha
Largeur de la crête : 10 m	Superficie du B.V : 2060 Km ³
Evacuateur de crues	Précipitation moyenne : 530 mm
a) Latéral	Débit de crues : 5880 m ³ /s
Débit max évacué : 2900 m ³ /s	Apport solide moyen : 510,1 T/an
Longueur : 547,70 m	Caractéristiques diverses
b) fusible	Excavation : 2100000 m ³
	Remblais : 4500000 m ³

<p>Débit évacué : 2220 m³/s</p> <p>Longueur : 250 m, largeur : 25 m et hauteur : 3,5m</p> <p>Tour de prise</p> <p>Type : galerie avec une tour</p> <p>Débit de la prise : 5,8 m³/s</p> <p>Débit de vidange de fond : 600 m³/s</p> <p>Longueur de la galerie : 220 m</p> <p>Hauteur de la tour de prise : 66,7 m</p>	<p>Béton : 171000 m³</p> <p>Forage et injection : 258000 ml</p>
--	--

Le site du barrage Hammam Boughrara se présente comme une source secondairement pollution, alimentée par les oueds Mouillah et Tafna et leurs différents affluents. Cette pollution composée de différents paramètres et éléments chimiques, organiques et biologiques constitue un réel danger sur la qualité et la potabilité des eaux régularisées par le barrage. Ainsi, cet important ouvrage joue actuellement le rôle d'une grande lagune, il est utilisé pour les objectifs auxquels il a été conçu après les grandes actions d'amélioration de la qualité des rejets, mais risque reste toujours, si autres actions de lutte contre sa pollution ne sont entreprises [20].

II.3.3 Description générale des ouvrages annexes du barrage

L'aménagement comprend : une digue zonée, à noyau central en argile et des recharges en graviers et sables, d'une hauteur de 60 m, un évacuateur de crues, une galerie d'injection et de drainage, une tour de prise et une galerie de dérivation [23].

On trouve une vanne papillon pour but d'évacuer l'eau du barrage dans les crues et parfois pour diminuer la charge de l'envasement qui est la conséquence la plus dramatique des phénomènes de l'érosion [24].

II.3.4 Origines de la pollution du barrage

Les apports liquides de l'Oued Mouillah, jusqu'au Barrage de Hammam Boughrara, mesurés par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) durant la période de 1988–2007 représentent en moyenne 79 % de l'apport total. Le reste est assuré par ses affluents, pour le barrage Hammam Boughrara sont gravement infectés par une pollution générée par les activités urbaines et industrielles, de plus il faut signaler l'existence de décharges sauvages des déchets solides et ordures ménagères de Maghnia situées à proximité de l'Oued Mouillah et en amont du barrage de Hammam boughrara. Ceci cause de graves problèmes de pollution [21, 22].

II.3.4.1 Pollution urbaine

Généralement, cette pollution est due aux rejets d'eaux usées domestiques de toutes les villes et agglomérations se trouvant dans la partie algérienne du bassin versant, à savoir les communes de Maghnia, Hammam Bougherara, Sidi Medjahed et Bouhlou. Une station d'épuration, de capacité totale de 150 000 équivalents habitants, a été réalisée afin de traiter les eaux usées de la ville de Maghnia. Après plusieurs essais effectués de juin 1999 à janvier 2000, cette station a atteint progressivement des résultats acceptables [21].

II.3.4.2 Pollution agricole

Les activités agricoles dans le bassin versant étudié sont essentiellement implantées dans le périmètre irrigué de Maghnia et plus particulièrement dans la plaine d'Angad. Les sources de pollution majeures découlant de ces activités sont : l'épandage d'engrais, le traitement des sols et des végétaux et l'élevage, en particulier avicole. Ajouté à cela, le stockage des produits phytosanitaires périmés et l'entretien des machines agricoles (vidange) ainsi que des carburants et des lubrifiants constituent des sources de pollutions potentielles pouvant causer des dommages sérieux à la santé et à l'environnement [21].

II.3.4.3 Pollution industrielle

Les effluents industriels proviennent de quatre entreprises [21] :

- ✓ L'ENOF : Entreprise des produits miniers non ferreux et des substances utiles. Elle produit la terre décolorante ainsi que la bentonite de fonderie, et utilise comme matières premières : l'argile et le carbonate de calcium (CaCO_3), et comme matières secondaires : l'acide sulfurique à 98 % (H_2SO_4) et le carbonate de sodium (Na_2CO_3). Elle rejette 500 m^3/j d'eaux chargées en particules d'argile en suspension, en métaux et en métaux lourds. Tous ces rejets se font dans l'Oued Ouerdifou ;
- ✓ L'ENCG : Complexe de corps gras. Il produit de l'huile, du savon et de la glycérine. Il utilise comme matières premières : l'huile brute, les graisses animales et végétales, et comme matières secondaires : la soude (NaOH), l'acide phosphorique (H_3PO_4), le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure ferrique (FeCl_3). Il rejette 528 m^3/j d'eaux chargées d'huiles brutes, de suif et de glycérine. Les rejets se font dans l'Oued Abbès (affluent de l'Oued Ouerdifou) ;
- ✓ L'ERIAD : Entreprise des industries alimentaires et dérivés. L'unité fabrique des produits dérivés de maïs. Elle utilise comme matières premières le maïs, et comme matières secondaires : l'eau sulfureuse à 0,2 % (SO_2), l'acide chlorhydrique (HCl), le carbonate de soude et le bisulfite de sodium. Elle rejette 600 m^3/j d'eaux chargées en gluten dans l'Oued Abbès ;

- ✓ L'ECVO : Entreprise de céramique vaisselle. Elle utilise comme matières premières : l'argile, le kaolin, le sable, l'eau, la calcite, les dolomies, le plâtre, des colorants minéraux et les feldspaths. Elle rejette 130 m³/j d'eaux très chargées en minéraux dans l'Oued Abbès.

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on s'est intéressée à la présentation de l'oued mouillah considéré le plus important affluent dans le bassin versant de Tafna, on a vu les différents facteurs morphologiques, climatiques ainsi que hydrologique qui ont servi à donner une classification de cet oued qui influe directement sur les écoulements superficiels qui sont largement mobilisés par les différents ouvrages. Ainsi que la description générale du barrage Hammam Boughrara et les effets de la pollution générée par les activités urbaines et industrielles.

Chapitre III

Qualité physico-chimique des

eaux du barrage Hammam

Boughrara

III.1 Introduction

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface constitue un moyen d'investigation parmi d'autres pour l'évaluation des risques de pollution et l'état de contamination de ces eaux. Dans ce chapitre, nous procédons à une interprétation des résultats des paramètres physico-chimiques obtenus auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Oran.

III.2 Analyse statistique des données physico-chimiques

Nous avons collecté un ensemble de paramètres physico-chimiques, considérés comme indicateurs de présence de pollutions, auprès de l'ANRH d'Oran. Les prélèvements ont été effectués en surface une fois en chaque mois. Ces paramètres sont en nombre de 18 et couvrent une période de 4 ans allant de janvier 2009 jusqu'au décembre 2012, donc les quatre séries chronologiques des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Hammam Boughrara étudiées forment une matrice de 18 variables et 48 observations (**Tableau III.1**). Les paramètres physico-chimiques analysés sont : la conductivité (CE), le pH, la température (T), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-), les nitrates (NO_3^-), les phosphates (PO_4^{3-}), la turbidité (TU), les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène (DBO_5), la matière organique (MO) et l'oxygène dissous (O_d). Les analyses physico-chimiques des échantillons ont été effectuées au sein du Laboratoire d'Analyse de l'Eau de l'ANRH.

Tableau III.1 : Structure de la matrice des données initiales des différents paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Hammam Boughrara

Date	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH (-)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)	TU (NTU)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO_5 (mg/l)	MO (mg/l)	O_d (mg/l)
01/01/2009	1008	7,27	13	60	3	138	11	243	108	211	6	2,17	3,30	22	60	20	5,40	6,2
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
01/12/2010	966	7,45	10	56	49	133	5	247	144	165	6	0,6	5,70	45	60	5	8,90	6,2
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
01/12/2012	1163	7,7	10	52	44	179	13	266	118	232	2	0,67	6	10	96	21,6	13	4,3

III.2.1 Statistiques descriptives

Le **Tableau III.2** montre les caractéristiques statistiques élémentaires des analyses physico-chimiques des eaux du barrage Hammam Boughrara. La comparaison de la moyenne avec la médiane, montre que les valeurs de ces deux caractéristiques statistiques sont très proches, à l'exception du sodium, potassium, nitrates, turbidité, MES et DBO₅, ceci montre que les valeurs de ces paramètres ne sont pas homogènes.

D'après les valeurs du coefficient d'aplatissement, nous constatons que la conductivité, la température, le sodium, les chlorures, les sulfates, la DBO₅, la matière organique ainsi que l'oxygène dissous se répartissent selon des courbes aplaties, par contre le reste des paramètres se répartissent selon des courbes rétrécies. D'après les valeurs du coefficient d'asymétrie, il est clair que la distribution de température, du calcium, du magnésium, des sulfates et des bicarbonates est étalée à gauche, et pour le reste des paramètres, la distribution est étalée à droite.

Tableau III.2 : Caractéristiques statistiques élémentaires des analyses physico-chimiques des eaux du barrage Hammam Boughrara

Paramètres Physico-chimiques	CE	pH	T	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	TU	MES	DCO	DBO ₅	MO	O _d
Min	815,00	7,25	9,00	12,00	3,00	115,00	5,00	211,00	98,00	68,00	1,00	0,10	2,40	5,00	18,00	4,80	3,90	1,31
Moyenne	1116,13	7,74	19,41	54,48	54,04	156,38	14,00	267,77	129,06	219,21	5,98	1,32	10,64	24,31	58,77	14,36	8,10	5,78
Médiane	1081,50	7,59	19,40	55,50	51,00	138,00	12,00	264,00	130,00	225,00	5,00	1,38	5,90	21,50	57,00	13,00	7,60	6,05
Max	1461,00	8,90	29,00	80,00	73,00	239,00	37,00	355,00	154,00	315,00	35,00	4,20	41,00	66,00	130,00	30,00	15,00	13,60
Écart type	156,90	0,45	5,88	13,07	13,12	37,59	7,53	43,06	15,67	47,05	5,38	0,77	10,55	14,32	26,42	6,19	3,21	3,08
Coefficient d'aplatissement	-0,49	0,13	-1,27	3,18	3,27	-0,37	5,43	-0,91	-1,05	2,20	17,69	2,94	2,08	0,01	0,23	-0,34	-0,55	-0,62
Coefficient d'asymétrie	0,54	0,91	-0,17	-0,97	-0,95	0,99	2,27	0,48	-0,17	-0,92	3,39	1,10	1,71	0,63	0,80	0,48	0,74	0,43

III.2.2 Analyse des corrélations selon les critères de Spearman

Les corrélations linéaires obtenues pour les 18 variables prises deux à deux et pour 48 observations ont été reportées dans le **Tableau III.3**. Dans notre étude, nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Spearman, car la distribution statistique pour la totalité des paramètres étudiés est dissymétrique.

La matrice de corrélation montre l'existence des corrélations positives (0,01 à 0,88) et des corrélations négatives (-0,56 à -0,002). La conductivité, le pH ainsi que la température sont liés positivement avec l'ensemble des éléments majeurs. La conductivité est fortement corrélée avec le sodium (0,85) et les chlorures (0,88) ainsi que la turbidité avec le pH (0,72) et la matière

organique (0,88). La relation entre le pH et les nutriments (NO_3^- , PO_4^{3-}) sont négatifs avec des coefficients de corrélation de -0,13, -0,15 respectivement. Les nitrates sont liés positivement aux phosphates avec un coefficient de corrélation de 0,29. Nous constatons une absence de corrélation entre HCO_3^- - SO_4^{2-} ainsi que DCO- Mg^{2+} . Les éléments de pollution sont légèrement liés TU-MES (0,14), DCO- DBO_5 (0,5) et DCO-MO (0,12), ceci est en liaison avec les rejets urbains et l'érosion du sol dans le bassin versant.

Tableau III.3 : Matrice de corrélation

Paramètres Physico-chimiques	CE	pH	T	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl ⁻	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	TU	MES	DCO	DBO_5	MO	O_d
CE	1,00																	
pH	0,44	1,00																
T	0,29	0,55	1,00															
Ca^{2+}	0,05	-0,22	0,04	1,00														
Mg^{2+}	0,11	0,19	0,18	-0,06	1,00													
Na^+	0,85	0,46	0,13	-0,19	0,11	1,00												
K^+	0,55	0,27	0,18	-0,05	-0,20	0,45	1,00											
Cl ⁻	0,88	0,35	0,26	0,08	0,06	0,77	0,47	1,00										
SO_4^{2-}	0,31	0,27	0,35	0,07	0,18	0,24	-0,06	0,16	1,00									
HCO_3^-	0,48	-0,05	-0,20	0,23	0,04	0,23	0,29	0,31	-0,002	1,00								
NO_3^-	-0,08	-0,13	0,12	0,22	-0,07	-0,16	-0,06	-0,04	-0,01	0,02	1,00							
PO_4^{3-}	-0,11	-0,15	-0,12	0,09	-0,18	-0,15	0,02	-0,11	-0,17	0,39	0,29	1,00						
TU	0,24	0,72	0,57	-0,13	0,24	0,29	0,21	0,36	0,13	-0,30	0,01	-0,10	1,00					
MES	-0,20	-0,12	-0,11	-0,24	0,27	-0,19	-0,22	-0,10	-0,06	-0,27	0,11	-0,15	0,14	1,00				
DCO	-0,19	-0,07	0,01	0,38	-0,004	-0,27	-0,02	-0,07	-0,04	-0,13	0,10	0,02	0,15	0,09	1,00			
DBO_5	-0,35	-0,22	-0,09	0,22	0,09	-0,45	-0,18	-0,30	-0,13	-0,11	0,26	0,13	-0,02	0,15	0,50	1,00		
MO	0,24	0,58	0,49	-0,03	0,18	0,29	0,10	0,37	0,16	-0,25	0,08	-0,13	0,88	0,15	0,12	-0,04	1,00	
O_d	0,06	0,15	-0,23	-0,56	-0,09	0,28	0,13	0,08	-0,16	-0,17	-0,26	-0,19	0,07	0,06	-0,23	-0,14	-0,02	1,00

III.2.3 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP est une approche statistique multidimensionnelle qui permet une étude globale des données mises en jeu. Elle permet également de résumer, de représenter, de classer, de visualiser et de définir les relations qui pourraient exister entre les variables.

Étant donné le grand nombre des variables utilisées, et afin de bien visualiser les tendances majeures entre les 18 variables et 48 observations : la conductivité (CE), le pH, la température (T), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le chlorures (Cl⁻), les sulfates (SO_4^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-), les nitrates (NO_3^-), les

phosphates (PO_4^{3-}), la turbidité (TU), les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène (DBO_5), la matière organique (MO) et l'oxygène dissous (O_d), une analyse en composante principale a été effectuée par le biais du logiciel XLSTAT 2022.



Figure III.1 : Contribution des variables

L'analyse des résultats de l'ACP montre que l'axe 1 englobe 23,82 % de l'information totale et l'axe 2 représente 14,02 % de l'information totale, le plan factoriel F1-F2 expose 37,85 % de l'inertie totale (**Figure III.2**) et par conséquent l'analyse des résultats de l'ACP se limitera sur ces deux axes. Ces axes montrent une bonne répartition et représentation des variables étudiés. La température de l'eau est corrélée positivement avec F1 ($r = 0,32$). Cette dernière, par son pôle positif, regroupe les mois les plus chauds (juin, juillet, août et septembre).

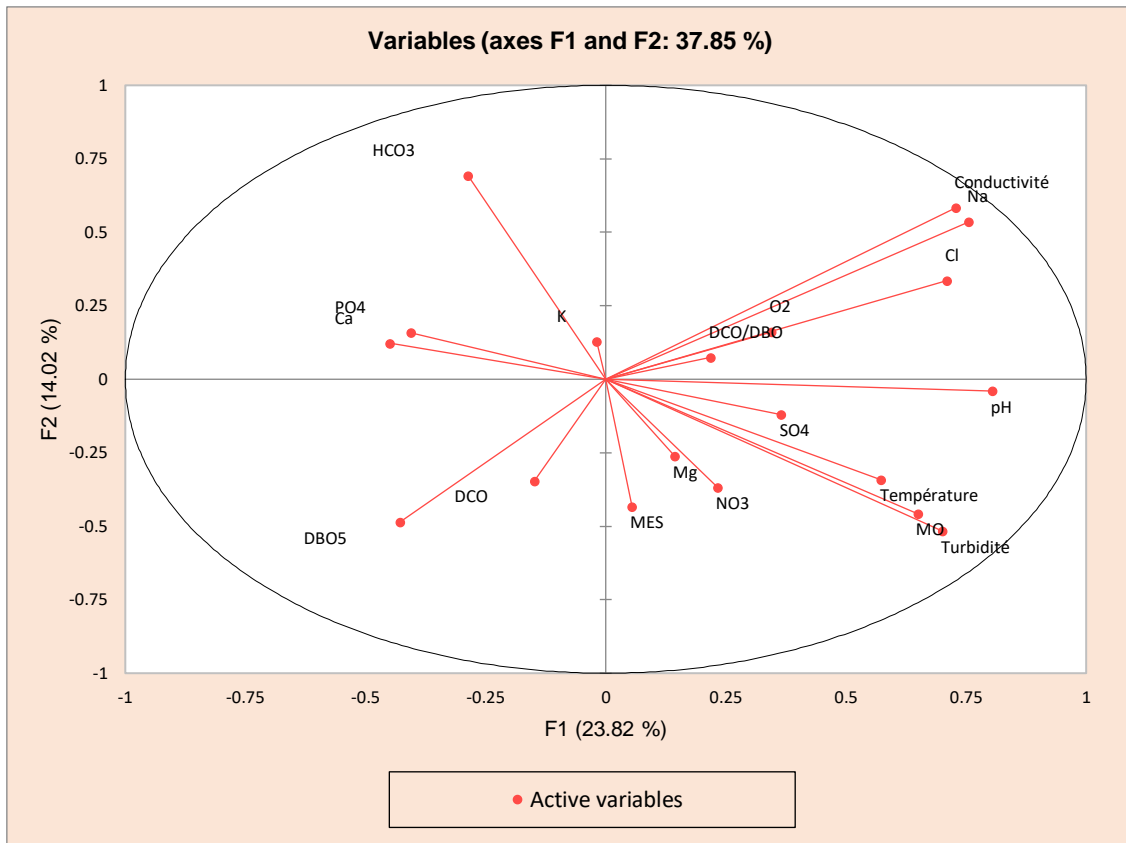


Figure III.2 : Représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2

L'axe factoriel F1 se trouve bien corrélé avec le pH ($r = 0,647$) et la conductivité ($r = 0,531$), ces deux paramètres sont situés du côté positif de la composante, et aussi avec la turbidité ($r = 0,492$) ainsi que le calcium et l'oxygène dissous.

Les paramètres suivants sont corrélés négativement avec l'axe factoriel F1 : le calcium ($r = -0,44$), le potassium ($r = -0,02$), les bicarbonates ($r = -0,28$), les phosphates ($r = -0,41$), la DCO ($r = -0,14$), la DBO₅ ($r = -0,42$). Pour le cas du potassium, une variable est proche du centre du plan factoriel avec une corrélation qui n'est certainement pas très forte. Ces variables sont probablement mieux expliquées par d'autres composantes principales, autres que F1 et F2.

L'axe factoriel F2 se trouve bien corrélé avec les bicarbonates ($r = 0,69$) et la conductivité ($r = 0,58$), et pour les autres paramètres qui sont corrélés négativement avec F1 : la turbidité ($r = -0,51$), les MES ($r = -0,43$), la DCO ($r = -0,34$), la DBO₅ ($r = -0,48$) et la matière organique ($r = -0,45$).

Les valeurs maximales enregistrées seraient dues à l'élévation de l'activité algale stimulée par l'enrichissement du milieu en sels nutritifs notamment, le phosphore et l'azote [22].

III.3 Paramètres physico-chimiques des eaux

III.3.1 Paramètres physiques

III.3.1.1 Variation de la conductivité

Durant la période 2009-2012, les valeurs de la conductivité (**Figure III.3**) sont inférieures à la norme de l'OMS (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), elles sont comprises entre 815 et 1461 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indiquant une minéralisation élevée. Cette minéralisation importante traduit une forte teneur des cations et anions dans cette eau qui est due probablement au drainage des terrains triasiques très riches en sels et en gypse (la nature géologique des couches traversées). Il est clair que la conductivité tend à augmenter durant la période étudiée, ceci est dû au phénomène d'évaporation de l'eau du barrage.

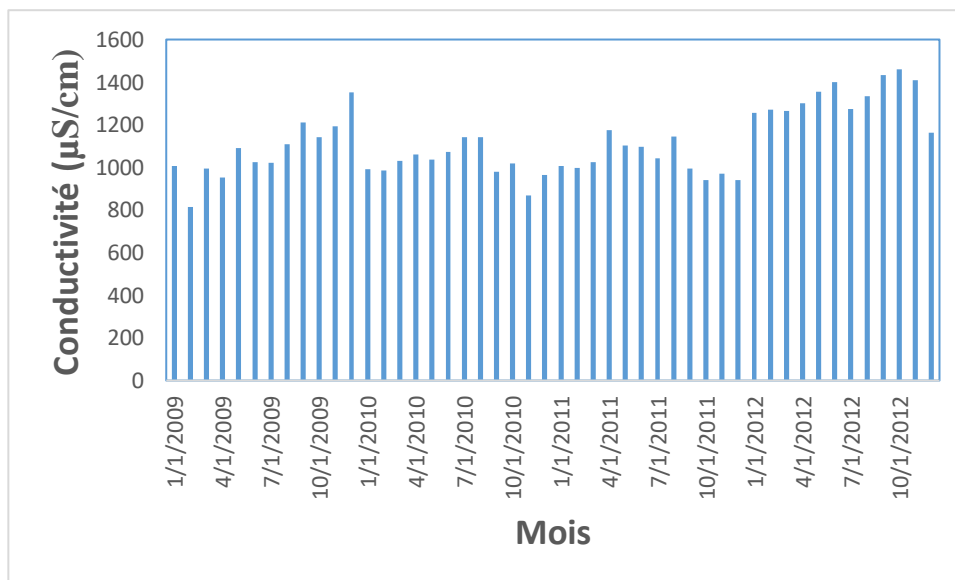


Figure III.3 : Variation de la conductivité des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.1.2 Variation du pH

Les valeurs du pH durant toute la période 2009 - 2012 (**Figure III.4**) sont conformes aux normes de l'OMS. Elles sont comprises entre 7,25 et 8,9 durant cette période, ce sont donc des eaux légèrement alcalines, ceci peut être expliqué par l'absence des pluies acides dans la région étudiée ou bien par la solubilité des minéraux véhiculés au cours du ruissellement.

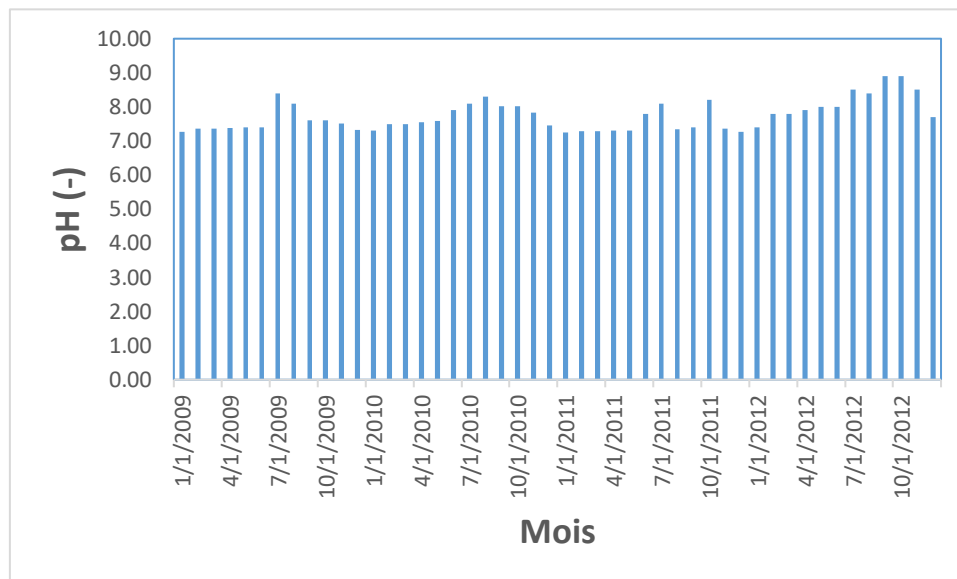


Figure III.4 : Variation du pH des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.1.3 Variation de la température

La température des eaux (**Figure III.5**) oscille entre 9 et 29 °C, ces valeurs sont en parfaite concordance avec le climat, les pics coïncident avec la saison estivale et les valeurs minimales coïncident avec la période hivernale. Ces observations montrent un effet saisonnier très marqué du climat sur l'état thermique de l'eau. L'analyse graphique de ce paramètre montre que la température est quasiment identique pendant toute la période d'observation.

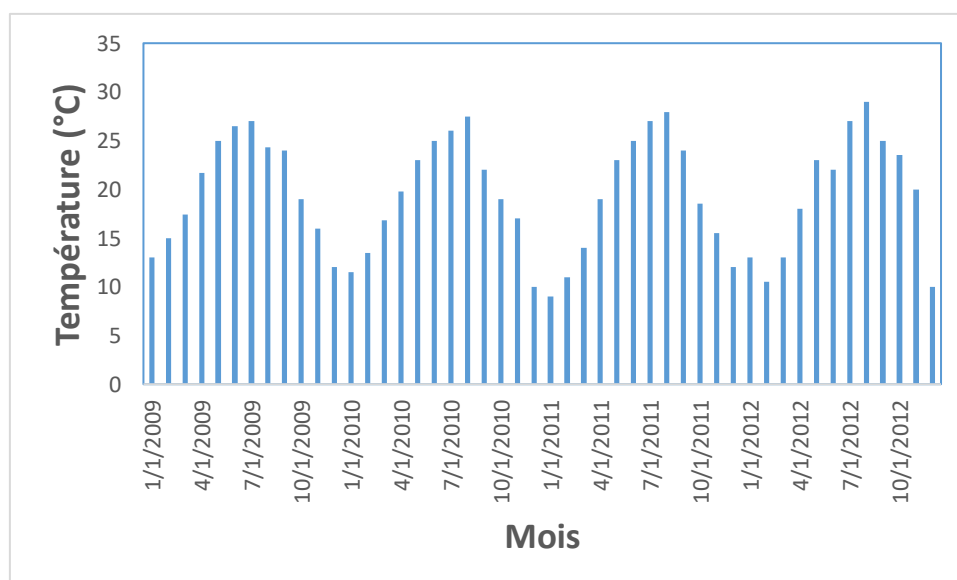


Figure III.5 : Variation de la température des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.1.4 Variation de l'oxygène dissous

La teneur en oxygène dissous (**Figure III.6**) est comprise entre 1,31 et 13,6 mg/l indiquant une saturation en oxygène très bonne, ceci est en relation avec la grande surface du

lac du barrage qui permet une meilleure oxygénation du milieu. L'augmentation de l'oxygène dissous indique une oxygénation continue en liaison avec la grande dimension du lac, la diminution de la température, l'augmentation de la vitesse du vent et la forte précipitation de la région.

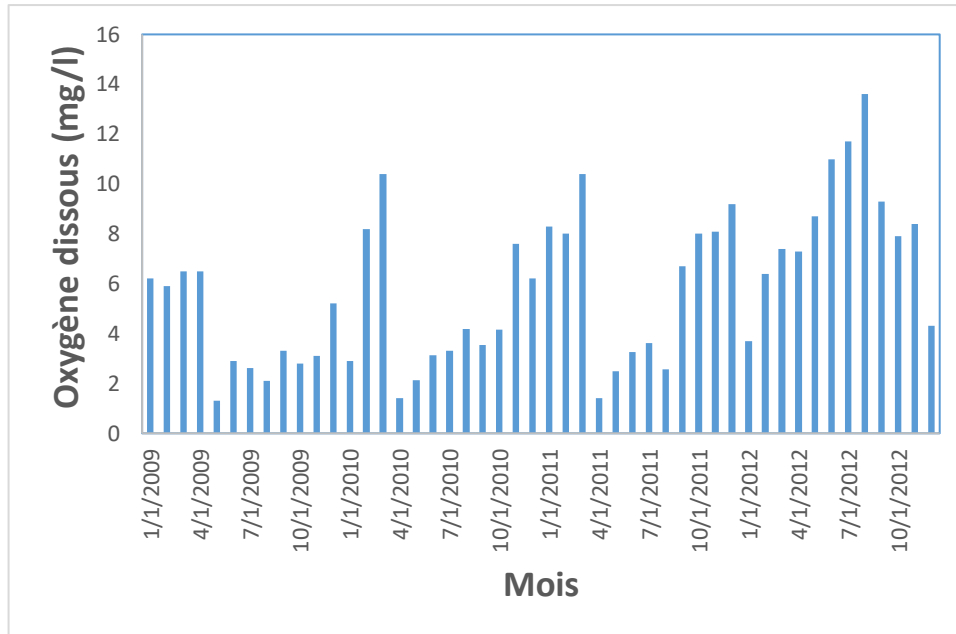


Figure III.6 : Variation de l'oxygène dissous des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.2 Paramètres chimiques

III.3.2.1 Variation des cations

Les cations mis en jeu sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium (**Figure III.7**). L'évolution de calcium et de magnésium durant la période d'étude affiche pratiquement la même évolution. Les valeurs de Ca^{2+} et Mg^{2+} obtenues montrent qu'il s'agit d'eaux riches en calcaires. Les concentrations en sodium et en potassium tendent à augmenter, ce qui traduit une augmentation de la teneur de ces éléments en accord avec la conductivité électrique. La concentration de tous les cations étudiés est inférieure à la norme préconisée par l'OMS.

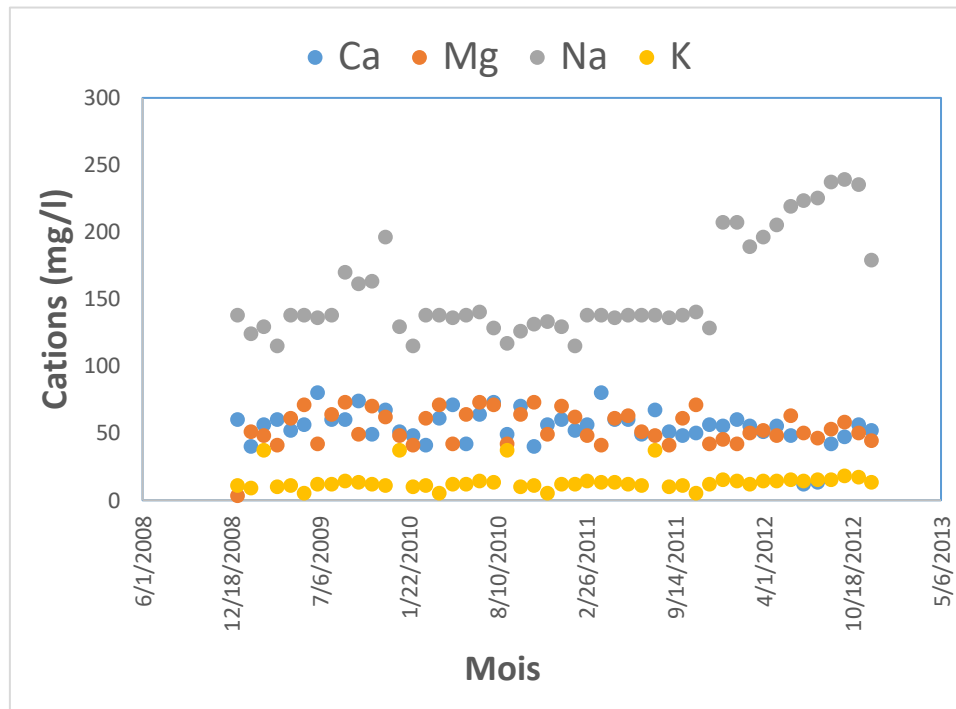


Figure III.7 : Variation des cations des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.2.2 Variation des anions

Les anions mis en jeu sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates (**Figure III.8**). L'apport continu en ces éléments est en liaison avec l'action anthropique. La concentration en chlorures et en sulfates ont tendance à augmenter durant la période étudiée, la concentration en chlorures présente des teneurs variables et très fortes dépassant la norme exigée par l'OMS, par contre la valeur en sulfates répond à la norme de l'OMS. La concentration en bicarbonates tend à baisser et elle varie entre 68 et 315 mg/l.

Les fortes teneurs en anions pourraient s'expliquer par la géologie des terrains de la région ou par une contamination directe de l'eau de l'oued par des rejets domestiques surtout riches en détergents [27].

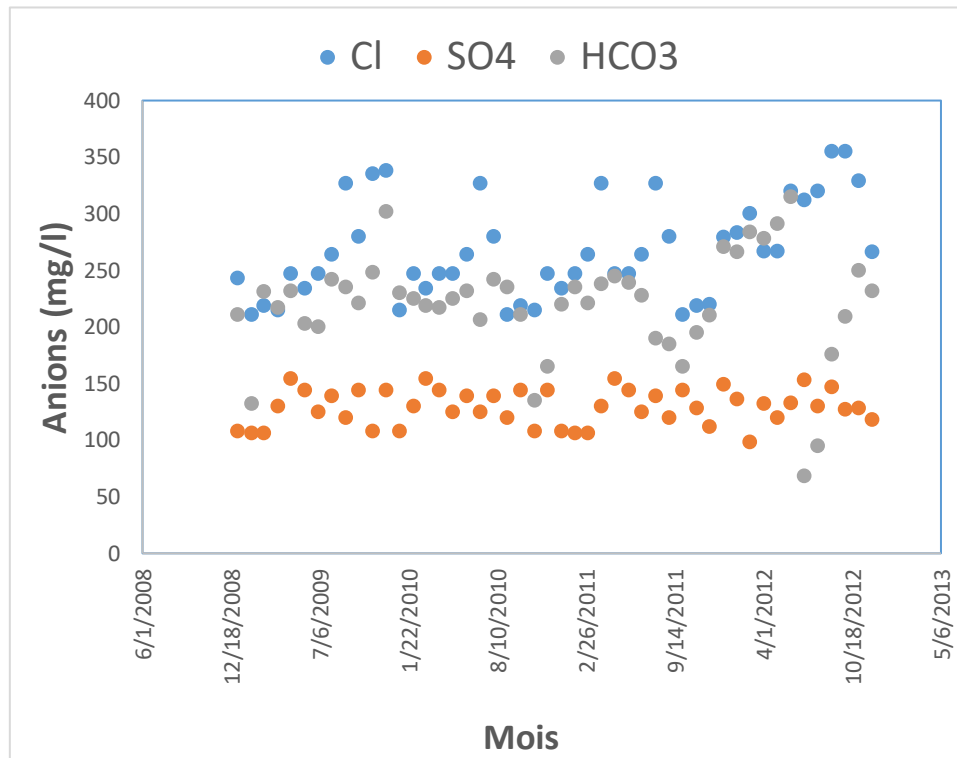


Figure III.8 : Variation des anions des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.2.3 Variation des nutriments

Les nutriments étudiés sont les nitrates et les phosphates (**Figure III.9**). Pour le cas des nitrates, dont l'origine est essentiellement agricole, nous assistons à des concentrations relativement plus élevées durant la période étudiée, ceci est expliqué par le lessivage des terres agricoles. Bien que ces résultats ne dépassent pas la norme admise pour les eaux de surface, mais présentent une pollution par les nutriments dont les origines sont probablement liées aux engrais utilisés dans la région et à l'oxydation des nitrites par les bactéries de la nitrification suite au mélange des eaux usées avec celles du cours d'eau.

Les teneurs en phosphates durant la période étudiée sont très élevées et supérieures à la norme 0,5 mg/l décrite par l'OMS. Cette situation peut être expliquée par le fait que le phosphore est très mobile et il n'est pas facilement absorbé par les colloïdes du sol.

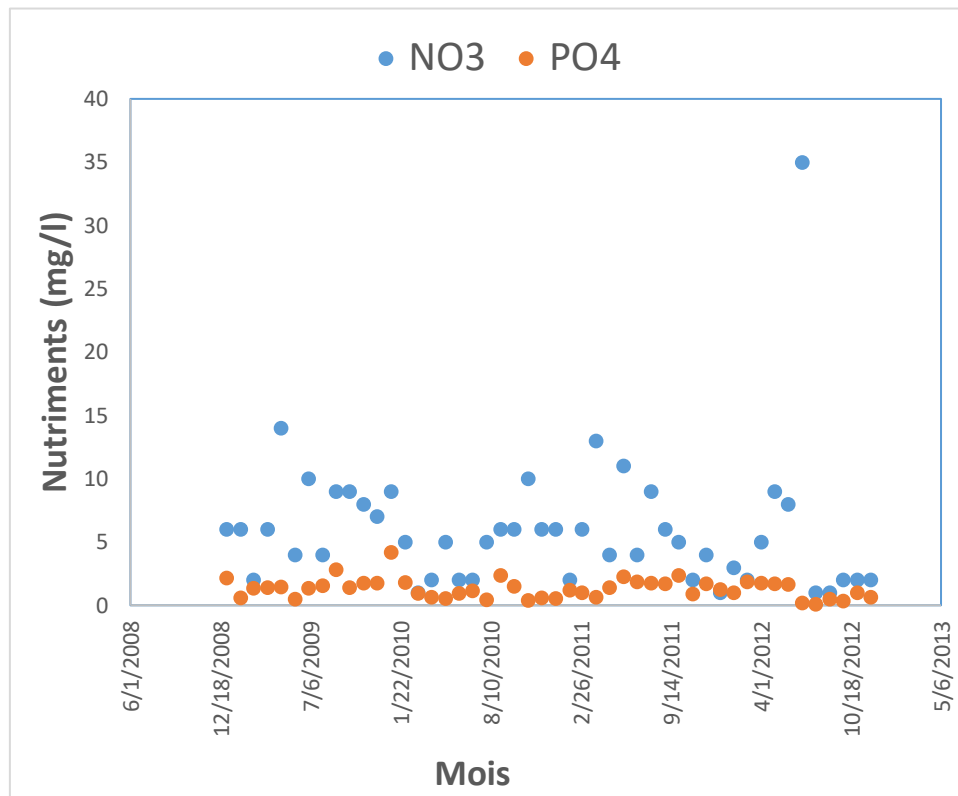


Figure III.9 : Variation des nutriments des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.3 Paramètres indicateurs de la pollution

III.3.3.1 Turbidité et MES

La **Figure III.10** représente la variation de la turbidité et les MES en fonction de la période d'étude. Comme les valeurs de la turbidité des eaux du barrage de Hammam Boughrara sont comprises entre 2,4 et 41 NTU, nous pouvons dire que ces eaux sont classées dans la classe « eau claire » ainsi que « eau légèrement trouble ». L'augmentation de la turbidité est expliquée par l'existence du couvert végétal dans le bassin versant. Concernant les MES des eaux du barrage, nous constatons des faibles teneurs. La diminution des teneurs en MES est expliqué par la diminution du phénomène d'érosion dans la période d'étude.

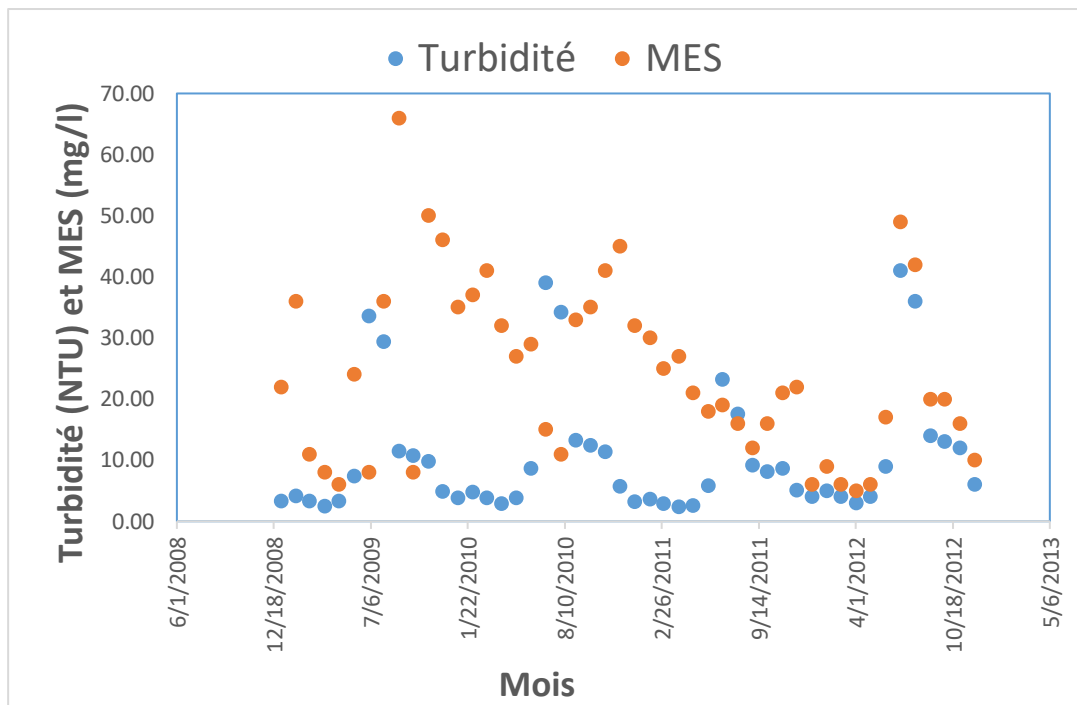


Figure III.10 : Variation de la turbidité et les MES des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.3.2 DBO₅ et DCO

La **Figure III.11** montre la variation de la DBO₅ et la DCO des eaux du barrage Hammam Boughrara. Les valeurs de la DBO₅ durant la période d'observation varient entre un maximum de 30 mg/l et un minimum de 4,8 mg/l. La moyenne est de l'ordre de 14,36 mg/l. Comme la moyenne est proche de 15 mg/l (la norme exigée), nous pouvons dire que l'eau du barrage Hammam Boughrara est de mauvaise qualité. Pendant la période d'observation, nous observons une baisse des teneurs en DBO₅ en 2012 dans les eaux du Barrage, ceci peut être expliqué par la mise en service d'une station d'épuration qui a contribué à la réduction de l'apport en matière organique rejetée dans l'oued.

L'évolution de la teneur de la DCO dans l'eau du barrage varie entre une valeur maximale de 130 mg/l et une valeur minimale de 18 mg/l, la moyenne est de l'ordre de 58,77 mg/l. Comme la moyenne dépasse la norme 50 mg/l, donc l'eau est de mauvaise qualité. L'évolution globale de ce paramètre en 2012 montre une diminution traduisant la réduction de la matière organique non-biodégradable d'origine industrielle.

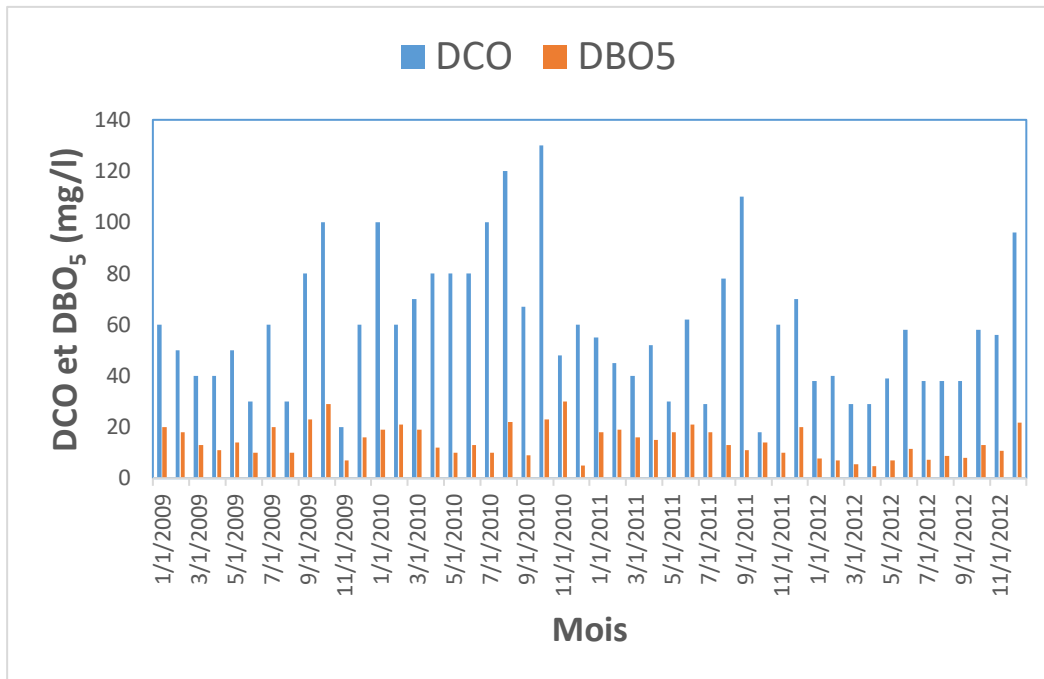


Figure III.11 : Variation de la DBO₅ et la DCO des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.3.3 Rapport DCO / DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ permet d'évaluer la biodégradabilité d'une eau polluée, c'est-à-dire la faculté de la transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Selon la valeur de ce rapport, les eaux peuvent être classées en trois catégories :

- ✓ Pour les effluents originaires des industries agroalimentaires, il varie entre 1,5 et 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité ;
- ✓ Pour les eaux originaires d'un effluent à dominante domestique, ce rapport est généralement compris entre 2 et 3 ;
- ✓ Enfin, lorsqu'il est supérieur à 3, cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable.

Le calcul de ce rapport montre (**Figure III.12**) :

- ✓ 8,33 % des échantillons proviennent des effluents originaires d'industries agroalimentaires ;
- ✓ 20,83 % des échantillons prélevés proviennent des effluents à dominance domestique ;
- ✓ 70,83 % des échantillons prélevés contiennent de la matière organique difficilement biodégradable.

Selon ces résultats, nous pouvons dire que les eaux du barrage Hammam Boughrara proviennent majoritairement à des effluents industriels chargés en matières organiques

difficilement biodégradable. Dans ce cas, la possibilité d'autoépuration de l'eau du barrage est inadaptée.

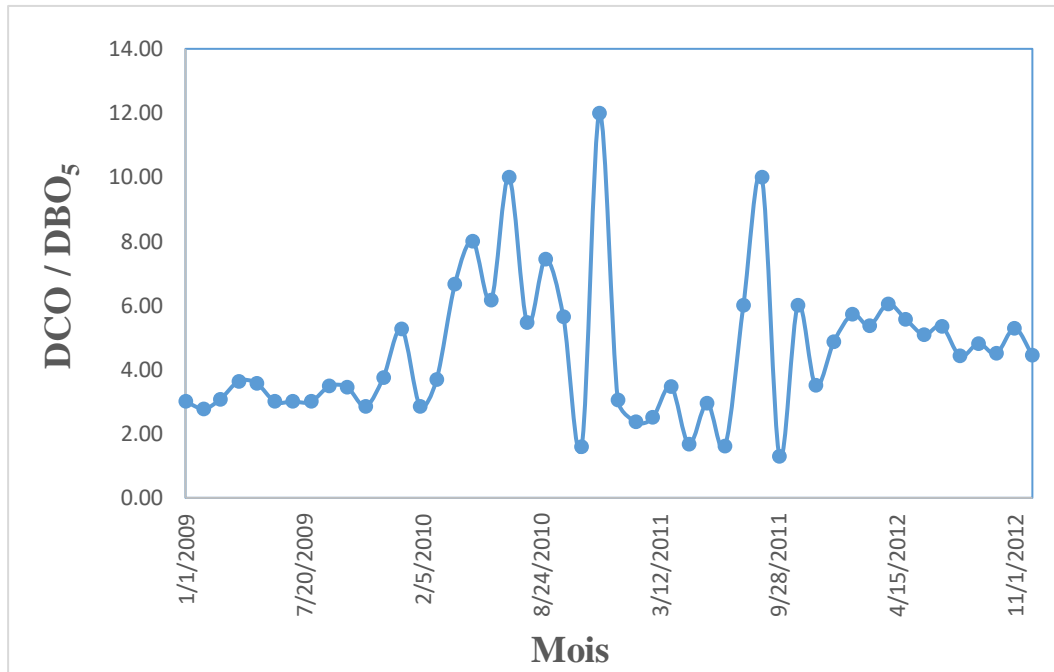


Figure III.12 : Variation du rapport DCO / DBO₅ des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.3.3.4 Matière organique

Les concentrations de la teneur en matière organique des eaux du barrage de Hammam Boughrara (**Figure III.13**) varient entre la valeur minimale de 3,9 mg/l, la valeur maximale de 15 mg/l et la moyenne de 8.1 mg/l, ceci traduit une qualité moyenne à mauvaise. L'augmentation de la matière organique est expliquée par l'accumulation de la charge polluante dans le lac du barrage. Ces teneurs enregistrées en matières organiques pourraient surtout provenir d'une pollution naturelle (végétation en décomposition) et de pollution d'origine exogène (rejets urbains et pratiques agricoles).

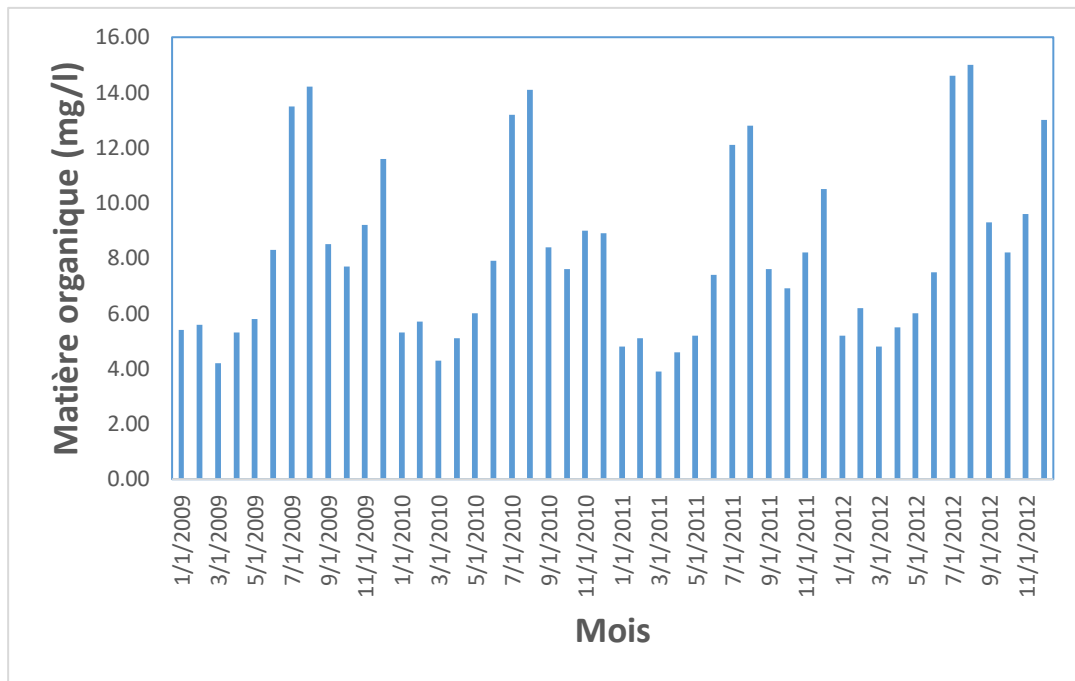


Figure III.13 : Variation de la matière organique des eaux du barrage Hammam Boughrara

III.4 Conclusion

La distribution statistique de presque tous les paramètres physico-chimiques est asymétrique. Les résultats de la qualité des eaux du barrage Hammam Boughrara indiquent que ces eaux mettent en évidence l'impact direct de la pollution globale générée par les rejets des eaux usées et par l'utilisation des engrais et des pesticides dans l'agriculture. Nous constatons également que du point de vue paramètres indicateurs de la pollution, les eaux brutes étudiées sont de mauvaise qualité traduisant l'augmentation de la charge polluante suite à l'action anthropique.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'eau est un constituant majeur de toute matière vivante et joue un rôle primordial, irremplaçable dans le développement de la vie humaine, animale et végétale, ainsi que dans l'évolution des sociétés.

La présente étude s'est effectuée sur la qualité physico-chimique des eaux du barrage Hammam Boughrara. Le site de l'étude appartient au sous bassin versant de l'oued Mouillah.

La distribution des paramètres physico-chimiques est majoritairement dissymétrique. La matrice de corrélation a montré que la conductivité est fortement corrélée avec le sodium (0,85) et les chlorures (0,88) ainsi que la turbidité avec le pH (0,72) et la matière organique (0,88). Nous avons noté aussi que les nitrates sont liés positivement aux phosphates avec un coefficient de corrélation de 0,29. Nous avons constaté une absence de corrélation entre HCO_3^- SO_4^{2-} ainsi que DCO-Mg²⁺. Les éléments de pollution sont légèrement liés TU-MES (0,14), DCO-DBO₅ (0,5) et DCO-MO (0,12).

La qualité physique des eaux brutes du barrage Hammam Boughrara révèle que le pH des eaux est voisin de la neutralité avec un léger caractère alcalin et que la saturation en oxygène est très bonne. Les résultats des paramètres chimiques indiquent que les eaux de surface du barrage mettent en évidence l'impact direct de la pollution globale générée par les rejets des eaux usées et par l'utilisation des engrais et des pesticides dans l'agriculture. Nous constatons que du point de vue paramètres indicateurs de la pollution, les eaux brutes étudiées sont de mauvaise qualité traduisant l'augmentation de la charge polluante suite à l'action anthropique. Les eaux du barrage Hammam Boughrara proviennent majoritairement à des effluents industriels chargés en matières organiques difficilement biodégradable dont la possibilité d'autoépuration de l'eau du barrage est inadaptée.

Nous envisageons en perspectives d'étudier :

- ✚ La qualité des eaux du barrage Hammam Boughrara sur une longue série d'observation ;
- ✚ La contamination des produits agricoles irrigués par les eaux du barrage Hammam Boughrara ;
- ✚ L'intoxication de la population humaine consommatrice des eaux du barrage Hammam Boughrara ;
- ✚ La qualité microbiologique par la recherche de germes pathogènes ;
- ✚ L'hydrochimie des eaux du barrage Hammam Boughrara ;
- ✚ Le risque de pollution par les éléments traces métalliques des terres agricoles irriguées par les eaux du barrage Hammam Boughrara.

À la lumière des principales conclusions de cette étude, les recommandations et les directives suivantes sont proposées :

- L'arrêt des déversements directs des rejets urbains et industriels au niveau des oueds du bassin par la réalisation des traitements préalables de ces effluents avant qu'ils atteignent les oueds ;
- L'implantation de stations hydrométriques et de suivi de la pollution en continu le long du cours d'eau pourrait être un outil complémentaire et intéressant dans la quantification de la variation de débit et des flux de contaminants ainsi que des différents rapports de dilution en adéquation avec les teneurs en éléments chimiques des eaux de surface.

Références bibliographiques

- [1] HARRACHE D (2019). Evaluation de la matière organique dans les eaux de surface des barrages de l'ouest d'Algérie et évolution des trihalométhanes et le plomb dans le réseau d'eau Potable. Thèse de doctorat en sciences UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES SIDI BEL ABBÈS.
- [2] Benkaddour, B. (2018). *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie)* (Doctoral dissertation, Perpignan).
- [3] Hamsatou, M. M. D. (2005). Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. UNIVERSITE DE BAMAKO Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie.
- [4] Assaad, A. (2014). Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [5] TOUATI L (2021). Cours de pollution des eaux Niveau Master 1 Écologie Fondamentale & Appliquée. Université Frères Mentouri Constantine 1.
- [6] Debbih, H. & Naili, B. E. (2015). Etude de qualité des eaux des barrages de l'Est Algérien.
- [7] Belmiloud N. MODULE : CHIMIE ENVIRONNEMENTALE DE L'EAU. Université Hassiba Benbouali de Chlef.
- [8] GAAGAI, A. (2017). Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [9] GAAGAI, Aissam. Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Diss. Université de Batna 2, 2017.

- [10] Zeghoud, M. (2014). Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire de master, Université d'el-Oued, P20.
- [11] GATAÂN (2017). L'étude de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin versant du barrage de Boughrara (W.Tlemcen), mémoire de master. Département Hydraulique Urbaine.
- [12] BOUDJEMA S (2007). Modélisation de la nappe de la plaine de Maghnia, Thèse de Magister. Université d'Oran 2.
- [13] Dahmani S. Ferhait A. Yebdri, D., Bounoua, R. & Djafer Khodja, H. (2018). Development of Reservoir Management Optimal Rules: Case of Hammam Boughrara Dam, Wilaya of Tlemcen, Algeria. In *Advances in Hydroinformatics* (pp. 347-358). Springer, Singapore.
- [14] Sarradj M. Benramdane M. (2017). ETUDE DES APPORTS LIQUIDES ET SOLIDES A L'ECHELLE EVENEMENTIELLE (CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED MOUILAH). Mémoire de projet de fin d'études. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID.
- [15] Terfous, A., Megnounif, A., & Bouanani, A. (2001). Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord-Ouest Algérien). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 14(2), 173-185.
- [16] Fatima, B. E. N. C. H. A. O. U. I., & Wissame, B. O. U. A. B. D. A. L. L. A. H. (2021). Variabilité et tendances observées sur les débits moyens mensuels, saisonniers et annuels dans le bassin de la Tafna (Nord-Ouest de l'Algérie) (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).
- [17] DJELITA, B., NEHAR, K., & BOUZID-LAGHA, S. (2015). Mécanismes d'eutrophisation dans le barrage de Hammam Boughrara, Algérie : Apports en nutriments et dynamique des populations phytoplanctoniques. *Geo-Eco-Trop*, 39, 101-118.

- [18] Bouanani, A. (2004). Hydrologie, Transport solide et Modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Doctorat d'Etat en hydrogéologie, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie.
- [19] Dahmani, S., Ferhait, A., Yebdri, D., Bounoua, R., & Djafer Khodja, H. (2018). Development of Reservoir Management Optimal Rules: Case of Hammam Boughrara Dam, Wilaya of Tlemcen, Algeria. In *Advances in Hydroinformatics* (pp. 347-358). Springer, Singapore.
- [20] Chaïb Draa Tani, M (2019). Acteurs de l'eau et leurs interactions dans la gestion de l'eau au niveau du bassin versant Tafna. Mémoire de master. Université Aboubakr Belkaïd–Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE.
- [21] KHENNANE F (2015). MODELISATION DE LA QUALITE DES EAUX DU COURS D'EAU DE MOUILLAH PAR WEAP. Thèse de magister. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF.
- [22] Bouzid-Lagha, S., & Djelita, B. (2012). Etude du phénomène d'eutrophisation dans le Barrage de Hammam Boughrara (Wilaya de Tlemcen, Algérie). *Hydrological sciences journal*, 57(1), 186-201.
- [23] Hezzat H (2012). Etude critique des différents moyens de dépollution. Mémoire de master. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMEN.
- [24] SMAIL, N., & ROUISSAT, B. (2020). Auscultation des zones d'interface des remblais des barrages en terre avec les ouvrages en béton. *Academic Journal of Civil Engineering*, 38(2), 6-9.
- [25] Rapport de stage. Présentation du barrage Hammam Boughrara.
- [26] Amimer S (2015). Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux brutes du barrage de Boukerdane et des eaux traitées au niveau de la station de traitement des eaux potables de sidi Amer. Mémoire de master. UNIVERSITE BLIDA -1-.

[27] Debbih, H., & Naili, B. E. (2015). Etude de qualité des eaux des barrages de l'Est Algérien.

[28] GAAGAI, A. (2017). Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).

[29] ACHOUR, S., & AFOUFOU, F. (2014). EFFET DE LA PRECHLORATION SUR L'ELIMINATION DES SUBSTANCES HUMIQUES PAR FLOCCULATION THE EFFECT OF PRECHLORINATION ON THE REMOVAL OF HUMIC SUBSTANCES BY FLOCCULATION.

[30] Sehli Ma (2020). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Cheurfas II . Mémoire de Master, USTO -MB-

[31] MERAH, F. (2020). Etude et modélisation informatique de la qualité des eaux de surface de l'oued Agroun (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).

Annexe 1

Généralités sur la corrélation

1.1 Définition

La corrélation mesure la relation entre deux variables ou plus. Les échelles de mesure utilisées doivent au moins être des échelles d'intervalles, mais il existe d'autres coefficients de corrélation pour traiter d'autres types de données. Les coefficients de corrélation sont compris dans l'intervalle -1 à +1. La valeur -1 représente une parfaite corrélation négative tandis que la valeur +1 représente une parfaite corrélation positive. La valeur 0 représente une absence de corrélation (ou l'indépendance entre les variables).

La corrélation est l'analyse qui permet de vérifier l'existence d'une relation entre deux variables X et Y, nous distinguons deux types de corrélation :

- ✚ La Corrélation paramétrique représenté par le coefficient de Pearson ;
- ✚ La Corrélation non-paramétrique représenté par le coefficient de Spearman ;

1.2 Test de corrélation linéaire de Pearson

Le coefficient de corrélation linéaire Pearson permet de calculer la dépendance entre deux variables quantitatives. Les deux échantillons sont supposés suivre une distribution de loi normale. Cette mesure est normée de telle sorte que la corrélation positive est comprise entre 0 et +1 et la corrélation négative est comprise entre -1 et 0. Pour des valeurs de -1 et +1, la dépendance est parfaite. Si le coefficient est nul, alors les deux variables sont parfaitement indépendantes.

La formule générale du coefficient de corrélation fait intervenir les écarts-types et la covariance des deux variables. Pour deux variables aléatoires X et Y, si nous notons leur covariance $Cov(X, Y)$, et leur écart-type respectif σ_x et σ_y , le coefficient de corrélation de Pearson se calcule ainsi :

$$cov(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad (1.1)$$

1.3 Test de corrélation linéaire de Spearman

Le coefficient de corrélation de Spearman, symbolisé par ρ , mesure le degré de liaison existant entre le classement des éléments selon la variable X et le classement selon Y. Il s'agit en fait d'un coefficient de corrélation de Pearson calculé non pas sur les valeurs de X et Y, mais sur les rangs des valeurs de X et Y.

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (1.2)$$

Avec R_i correspond au rang de la variable X, \bar{R} correspond à la moyenne des rangs de la variable X, S_i correspond au rang de la variable Y et \bar{S} correspond à la moyenne des rangs de la variable Y.

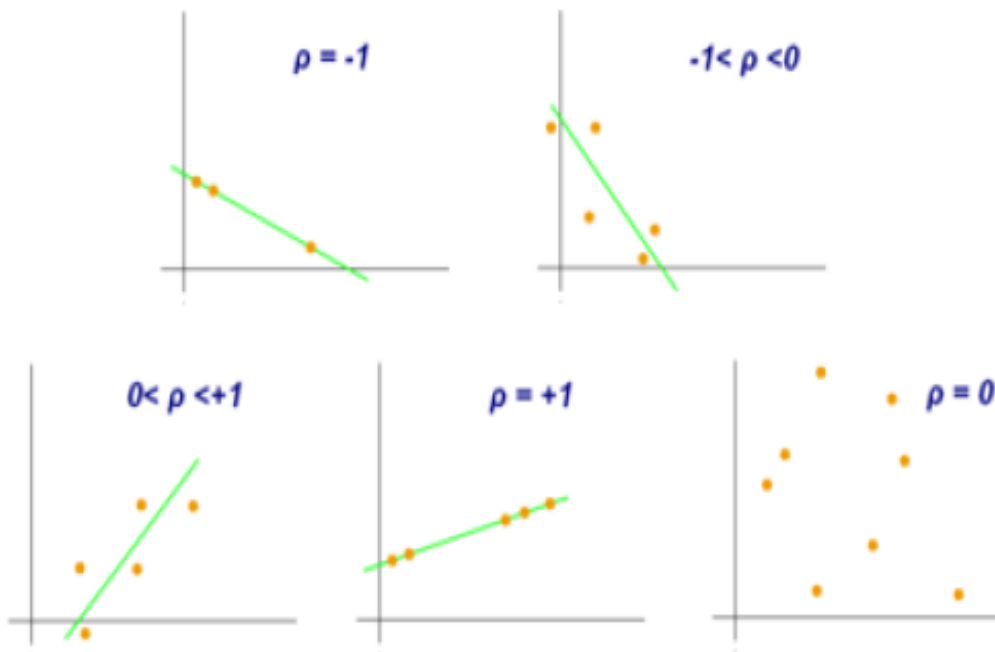


Figure 1.1 : Exemples de diagrammes de dispersion avec différentes valeurs de coefficient de corrélation de Spearman

Le tableau 1.1 montre la comparaison entre le test de corrélation de Pearson et celui de Spearman.

Tableau 1.1 : Différence entre le coefficient de corrélation de Pearson et Spearman

Points de divergence	Corrélation paramétrique	Corrélation non-paramétrique
Coefficient	Pearson	Spearman
Nature de variable	Qualitative	Semi-qualitative, ordinale
Distribution des variables	Symétrique	Dissymétrique
Test de signification	Test d'étude	n ne doit compris entre 20 et plus
Nuage de points	Relation linéaire $ax+b$, méthode des moindres carrés	Relation monotone, exponentiel, ou parabolique pour déterminer la courbe il faut utiliser un modèle mathématique

Annexe 2

Normes de potabilité de l'eau selon l'OMS, l'UE et l'algérienne

Tableau 2.1 : Normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable

Paramètres organoleptiques	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (UE ,1998)	Norme (Algérienne, 2000)
Turbidité	Unité Jackson	<5	2	Au maximum 2
Couleur	mg/l de platine	15	-	Au maximum 25
Odeur	Seuil de perception à 25°C	4	2	Au maximum 4
Saveur	Seuil de perception à 25°C	2	4	Au maximum 4

Tableau 2.2 : Normes des paramètres physico-chimiques d'une eau potable

Paramètres physico-chimiques	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (ADE, 2005)	Norme (Algérienne, 2000)
température	°C	≤ 25	≤ 25	-
pH	-	6,5 à 8,5	6,5 à 9	6.5 à 8.5
Conductivité	µs/cm	2800	1000	Max 2800
Résidus secs	mg/l après séchage	Max 2000	Max 1500	1.5 à 2
Alcalinité totale	°F	≥ 2,5	≥ 2,5	-
Dureté totale	°F	≤ 15	≤ 15	10 à 50
Chlorure	mg/l de Cl ⁻	200	200	200 à 500
Sulfates	mg/l de SO ₄ ⁻	200	200	200 à 400
sodium	mg/l de Na ⁺	200	150	200
Potassium	mg/l de K ⁺	20	12	20

Tableau 2.3 : Normes des paramètres de pollution d'une eau potable

Paramètres de pollution	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (UE ,1998)	Norme (Algérienne, 2000)
Nitrates	mg/l	(Voir azote)	50	Au maximum 50
Nitrites	mg/l	(Voir azote)	0.50	Au maximum 0.1
Ammonium	mg/l	0.5	Max 0.5	Au maximum 0.5
Phosphate	mg/l	0.5	Max 0.5	-