

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade** de **DOCTEUR EN SCIENCES**

En : Hydraulique

Spécialité : Science de l'eau et l'environnement

Par : **BENADDA Lotfi**

Sujet

Modélisation du comportement de la pollution hydrique à travers le bassin versant de l'Oued Mouillah et dans la cuvette du Barrage de Hammam Boughrara

Soutenue publiquement, le 31 / 10 / 2022, devant le jury composé de :

M. BOUCHELKIA Hamid	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. CHIBOUB FELLAH Abdelghani	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
M. BENYAHIA Mohamed	Professeur	Univ. Sidi Belabbes	Examineur 1
M. ROUISSET Boucherit	MCA	ESSA-Tlemcen	Examineur 2
M. ZEGAIT Rachid	MCA	Univ. Djelefa	Examineur 3

Année universitaire 2022 – 2023

A mes grands-pères

*Benadda Belkacem & Bousalah Bénali et Okkacha
Martyrs de la guerre de libération nationale*

*A la mémoire de mon très cher père Mostéfa
« Paix à son âme »*

A la mémoire de mes grands-mères

A mon adorable épouse Faiza

A mes enfants Hanane, Bénali et Nadjib

A mon frère Belkacem et sa petite famille

A ma sœur Asma et sa petite famille

A ma chaleureuse sœur Hadjira

A ma sœur Hafsa et sa petite famille

A toute ma famille et ma belle famille

A mes amis et collègues

A tous ceux qui m'ont enseignés

A tous ceux qui me sont chers

A VOUS TOUS

Je dédie ce travail

Lotfi

AVANT-PROPOS

Grâce au bon Dieu, que je remercie en premier et toujours, ce travail est le fruit d'une dizaine d'années d'investigations et de recherches fastidieuses ; arrive de voir le jour.

Ainsi, au terme de cette recherche, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Je suis conscient de la reconnaissance que je dois à mon défunt père Monsieur **BENADDA Mostéfa**, initiateur de ce thème qu'il lui tenait à cœur et qu'il souhaité voir, qu'il repose en paix et que Dieu l'accueil dans son vaste paradis.

Je remercie, mon Professeur, Monsieur **Abdelghani CHIBOUB FELLAH** d'avoir accepté de diriger cette thèse et de m'avoir prêté aide et conseils. Sa confiance en moi s'est traduite par une liberté d'action parfois agréable, qui m'a permis d'apprendre beaucoup de choses. Par ses grandes qualités humaines il a toujours répondu favorablement pour toutes sollicitations, il m'a permis d'être un des initiateurs du laboratoire VRE qu'il dirige, m'a facilité toutes les conditions pour mener à bien ce travail. Il ne m'est guère possible d'exprimer en quelques mots ce que je lui dois.

Mes remerciements vont également à tous les membres du jury, pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

En premier, je remercie très vivement et en particulier Monsieur le Professeur **Hamid BOUCHELKIA**, d'avoir accepté de présider le Jury, je lui en suis très reconnaissant, je tiens également à lui présenter une fois de plus ma grande gratitude pour ses encouragements continus, le soutien administratif infaillible et son aide morale.

Mes vives gratitude vont aussi à Monsieur le Professeur **BENYAHIA Mohammed** de l'Université de Sidi Belabbès, par son expérience très vaste il m'a vivement honoré en acceptant de faire part de ce jury et portant son empreinte de plus à cette thèse, qu'il trouve ici mes sincères et chaleureuses remerciements.

Que Monsieur le Docteur **Boucherit ROUISSAT (Si Tayeb)**, Maître de conférences, Directeur de l'Ecole Supérieur des Sciences Appliquées de Tlemcen, trouve ici mes remerciements les plus sincères, pour avoir accepté malgré la tâche fastidieuse de responsabilité qu'il occupe, de faire partie à ce jury en examinant cette thèse et de l'enrichir par ces connaissances très développées et concrètes dans ce domaine.

Je tiens absolument de présenter à Monsieur le Docteur **Rachid ZEGAIT**, Maître de conférences à l'Université de Djelfa, mes très vifs gratitudee, d'avoir répondu favorablement à examiner cette thèse, merci chaleureusement d'avoir réservé un grand intérêt à ce travail, je suis très honoré par le plus d'enrichissement que vous avez apporté à cette thèse.

Je dois des vives reconnaissances aux ingénieurs du laboratoire de l'ANRH-Oran, précisément Monsieur **Abdelhamid LACHACHI** et Monsieur **Chakib MAHI**, pour leurs aides très précieuses et orientations bénéfiques.

Il m'est également agréable de présenter mes remerciements à tous ceux que j'ai côtoyés pour mener à terme ce travail, précisément Monsieur **Rafik ROSTNAE** de la Direction des Ressources en Eau de Tlemcen, Monsieur **ZITOUNI** de la subdivision Agricole de Maghnia, le personnel des industries de Maghnia (Maïserie de Tafna, ANOF, ECVO et ENCG), ainsi que le personnel de l'ANBT du Barrage Hammam Boughrara. Qu'ils trouvent ici mes vives gratitudee.

Je voudrais aussi remercier mon ami le Professeur **Belkheir DJELITA** pour son point d'appui scientifique, son implication directe pour bien mener les travaux de recherche et son encouragement moral et financier.

Ma grande gratitude est présentée à mon frère le Professeur **Belkacem BENADDA** pour sa présence en chaque besoin, ses directives et son appui fécond nécessaire sur des aspects que je ne maîtrisais pas vraiment.

Je réintègre mes chaleureuses remerciements à tous les membres de ma famille, de m'avoir toujours soutenu durant ces années et d'avoir montré un fort intérêt à mon travail

Je voudrais en particulier remercier **Faiza**, mon épouse, d'avoir toujours été un appui qui m'a souvent permis de me détacher aux travaux de la thèse, de booster ma confiance et d'avoir patiemment écouté mes plaintes.

Je tiens absolument à remercier l'ensemble de mes collègues et amis enseignants, administrateurs et travailleurs de l'université de Tlemcen et celle de Ghardaïa.

Résumé

Ce travail décrit l'étude du comportement de la pollution hydrique le long du cours d'eau de l'Oued Mouillah et de ses principaux affluents et leurs impacts sur le barrage de Hammam Boughrara, situé au Nord-Ouest de l'Algérie, dans la Wilaya de Tlemcen. L'exploitation d'une base de données relative à des variables physico-chimiques, biotiques et hydrologiques, couvrant notamment la période de janvier 2009 à décembre 2019, a contribué à la compréhension de l'évolution de cet écosystème par rapport aux paramètres polluants. Suite à des analyses de corrélation et structurales qui ont permis le choix de onze éléments ayant relation directe avec la pollution, des études sur l'évolution spatio-temporelle de chaque variable, l'altération des éléments, ainsi que l'application des modèles mathématiques de la diffusion par convection-dispersion et convection-réaction ; on mit en exergue l'évolution de la propagation des polluants dans le flux et le mélange liquide. Les résultats obtenus permettront à une meilleure gestion de la qualité de l'eau en termes de lutte contre la propagation de la pollution, ils peuvent être utilisés pour appuyer les décisions dans le cadre du développement durable.

Mots clés : Oued Mouillah, Barrage Hammam Boughrara, pollution, corrélation, modélisation, diffusion.

Abstract

This work describes the study of the behavior of water pollution along the watercourse of Oued Mouillah and its main tributaries and their impacts on the Hammam Boughrara dam, located in the North-west of Algeria, in the Wilaya of Tlemcen. The use of a database relating to physicochemical, biotic and hydrological variables, covering the period from January 2009 to December 2019, has contributed to understanding the evolution of this ecosystem in relation to polluting parameters. Following correlation and structural analyzes which allowed the choice of eleven elements having a direct relationship with pollution, studies on the spatio-temporal evolution of each variable, the alteration of the elements, as well as the application of mathematical models diffusion by convection-dispersion and convection-reaction; highlighted the evolution of the propagation of pollutants in the flow and the liquid mixture. The results obtained will allow better management of water quality in terms of the fight against the spread of pollution. They can be used to support decisions in the context of sustainable development.

Keywords: Mouillah Wadi, Hammam Boughrara dam, pollution, correlation, modeling, diffusion.

ملخص

في مذكرة الدكتوراه هذه قمنا بدراسة سلوك ملوثات المياه على طول مجرى واد مويلح وروافده الرئيسية وتأثيراتها على سد حمام بوغرة الواقع بولاية تلمسان، شمال غرب الجزائر. ساهم استخدام قاعدة البيانات المتعلقة بالمتغيرات الفيزيائية والكيميائية والأحيائية والهيدرولوجية، والتي تغطي الفترة من يناير 2009 إلى ديسمبر 2019، في فهم تطور هذا النظام البيئي فيما يتعلق بالمعايير الملوثة. التحاليل الإحصائية و الهيكلية ساهمت في اختيار أحد عشر عنصراً لها علاقة مباشرة بالتلوث، ما سهل القيام بدراسات حول التطور الصرفي والزمني لكل عنصر، تغيير العناصر، وكذا تطبيق النماذج الرياضية للانتشار عن طريق الحمل التشتتي و الحمل التفاعلي. مما ساهم في تبيين طريقة انتشار الملوثات في الوادي والسد. النتائج التي تم الحصول عليها ستسمح بإدارة جودة المياه بشكل أفضل من حيث مكافحة انتشار التلوث، ويمكن استخدامها لدعم القرارات في سياق التنمية المستدامة .

الكلمات المفتاحية : وادي مويلح، سد حمام بوغرة، تلوث، تحاليل، نمذجة، انتشار.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	i
RESUME	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	xi
NOMENCLATURES	xiv
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I.1. INTRODUCTION	4
I.2. SUIVI DE LA QUALITE PAR L'ALTERATION DES SUBSTANCES	5
I.2.1. ALTERATION DES (DCO ET DBO)	6
I.2.2. ALTERATION PAR LES MATIERES AZOTEES	6
I.2.2.1. L'AMMONIUM (NH_4^+)	6
I.2.2.2. NITRATES (NO_3^-) ET NITRITES (NO_2^-)	7
I.2.2.3. AZOTE KJELDAHL (NTK)	7
I.2.3. ALTERATION PAR LE PHOSPHORE ET CHLOROPHYLLE	7
I.2.4. ALTERATION PAR LES MICRO ORGANISMES	7
I.2.5. ALTERATION PAR LES MATIERES EN SUSPENSION (MES)	7
I.2.6. ALTERATION PAR LA FAMILLE DES METAUX DE TRANSITION	8
I.2.7. ALTERATION PAR LA FAMILLE DU (Na^+), (K^+) ET DU (Cl^-)	8
I.2.8. ALTERATION PAR LA FAMILLE DU (Mg^{+2}) ET DU (Ca^{+2})	8
I.2.9. ALTERATION PAR LA FAMILLE DES METAUX LOURDS	8
I.2.10. ALTERATION PAR LA FAMILLE DES (HCO_3^-) ET (SO_4^{-2})	8
I.3. TRANSPORT DE LA MATIERE POLLUANTE	9
I.3.1. NOTION DE LA DIFFUSION	9
I.3.2. TRANSPORT PAR CONVECTION-DIFFUSION	11
I.3.3. TRANSPORT PAR CONVECTION-DIFFUSION TURBULENTE	12
I.3.3.1. DIFFUSIVITE	15
I.3.3.2. DIFFUSION TRANSVERSALE	16
I.3.3.3. DISPERSIVITE	18
I.3.3.4. DISPERSION LONGITUDINALE	18
I.3.3.5. DISPERSION ET TRANSPORT AVEC REACTION	20
I.4. POUVOIR AUTO-EPURATEUR DES COURS D'EAU	22
I.4.1. OXYGENATION BIOCHIMIQUE	22
I.4.2. REOXYGENATION	23
I.4.3. BILAN D'OXYGENE DISSOUS	23
I.5. EUTROPHISATION DU MILIEU	25
I.5.1. PHASES DE L'EUTROPHISATION DANS UN PLAN D'EAU	25
I.5.2. FACTEURS DE CONTROLE DE L'EUTROPHISATION	25
I.5.2.1. LES NUTRIMENTS	25
I.5.2.2. AZOTE	25

I.5.2.3.	PHOSPHORE	26
I.5.2.4.	MATIERE ORGANIQUE	26
I.5.2.5.	CLIMAT ET HYDROLOGIE	26
I.5.2.6.	GEOLOGIE ET TOPOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT	27
I.5.2.7.	FACTEURS HUMAINS.....	27
I.5.2.8.	FACTEURS LIES AU PLAN D'EAU	28
I.5.3.	INDICATEURS DE L'ETAT TROPHIQUE.....	28
I.5.4.	STRATIFICATION ET BRASSAGE DE LA MASSE D'EAU	30
CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE		31
II.1.	INTRODUCTION	31
II.2.	SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	31
II.3.	CARACTERE GEOLOGIQUE.....	34
II.3.1.	QUATERNAIRE	34
II.3.2.	TERTIAIRE	36
II.3.2.1.	LE TERTIAIRE MARIN	36
II.3.2.2.	LE TERTIAIRE CONTINENTAL	36
II.3.3.	SECONDAIRE	37
II.3.2.1.	LE CRETACE.....	37
II.3.3.1.	JURASSIQUE	37
II.3.4.	PRIMAIRE.....	40
II.3.4.1.	PALEOZOÏQUE	40
II.3.4.2.	LE GOTLANDIEN	41
II.3.4.3.	LE DEVONIEN.....	41
II.3.4.4.	LE CARBONIFERE	41
II.3.4.5.	LE MESOZOIQUE	41
II.3.5.	LES ELEMENTS STRUCTURAUX DE LA REGION D'ETUDE	41
II.3.5.1.	CHAINE DES HORSTS	42
II.3.5.2.	GRABEN Oujda-MAGHNIA.....	42
II.3.5.3.	LA CHAINE DES BENI SNASSENE-TRARAS	42
II.4.	OCCUPATION DES SOLS	42
II.4.1.	NATURE ET PEDOLOGIE DES SOLS	42
II.4.2.	DISTRIBUTION VEGETALE.....	43
II.5.	CADRE HYDRO- CLIMATOLOGIQUE	44
II.5.1.	INTRODUCTION.....	44
II.5.2.	LES PRECIPITATIONS.....	44
II.5.2.1.	ANALYSE DES P RECIPITATIONS A NNUELLES	45
II.5.2.2.	PRECIPITATIONS MENSUELLES	46
II.5.2.3.	PRECIPITATIONS MAXIMALES JOURNALIERES.....	47
II.5.3.	LES VARIABLES C LIMATIQUES	50
II.5.3.1.	LES PRECIPITATIONS (AUTRE QUE LA PLUIE)	50
II.5.3.2.	TEMPERATURES.....	51
II.5.3.3.	LES VENTS	52
II.5.3.4.	EVAPOTRANSPIRATION	52
II.5.3.5.	INSOLATION	53
II.5.4.	LE REGIME CLIMATIQUE DE LA REGION D'ETUDE.....	54
II.5.4.1.	INDICE DE DE MARTONNE	54
II.5.4.2.	INDICE D'EMBERGER.....	54

II.5.4.3.	COURBE OMBROTHERMIQUE.....	55
II.6.	HYDROMORPHOMETRIE	56
II.6.1.	INTRODUCTION.....	56
II.6.2.	CARACTERISTIQUES HYDROGRAPHIQUES	56
II.7.	HYDROLOGIE	61
II.7.1.	INTRODUCTION.....	61
II.7.2.	ESTIMATION DU TEMPS DE CONCENTRATION	61
II.7.3.	CALCUL DES APPORTS LIQUIDES	62
II.7.3.1.	APPORTS LIQUIDES ANNUELS DU BASSIN VERSANT	63
II.7.3.2.	APPORTS LIQUIDES SAISONNIERS DU BASSIN VERSANT.....	63
II.7.3.3.	APPORTS LIQUIDES MENSUELS DU BASSIN VERSANT.....	63
II.7.4.	LES APPORTS SOLIDES.....	64
II.7.4.1.	APPORTS ANNUELS	64
II.7.4.2.	APPORTS SAISONNIERS.....	65
II.7.4.3.	LES APPORTS MENSUELS	65
II.7.5.	ETUDE DE LA CRUE LA PLUS IMPORTANTE	65
II.8.	HYDROGEOLOGIE	66
II.8.1.	INTRODUCTION.....	66
II.8.2.	IDENTIFICATION AQUIFEERTS ET LEURS CARACTERISTIQUES.....	66
II.8.3.	PRESENTATION DES PRINCIPALES NAPPES	67
II.8.3.1.	NAPPE : « NP01 »	67
II.8.3.2.	NAPPE : « NP02 »	67
II.8.3.3.	NAPPE : « NP03 »	68
II.8.3.4.	NAPPE : « NP04 »	68
II.8.3.5.	NAPPE : « NP05 »	68
II.8.4.	PRESENTATION DES PRINCIPAUX FORAGES	68
II.9.	CADRE SOCIO- ECONOMIQUE.....	69
II.9.1.	ARMATURE URBAINE DU BASSIN VERSANT	69
II.9.2.	REGION D'OUJDA	69
II.9.3.	COMMUNE DE MAGHNA	70
II.9.4.	LA COMMUNE DE HAMMAM BOUGHRARA.....	70
II.9.5.	SITUATION DEMOGRAPHIQUE.....	70
II.9.5.1.	OUJDA	70
II.9.5.2.	DAÏRA DE MAGHNA	70
II.9.6.	ACTIVITES E CONOMIQUES	71
II.9.6.1.	REGION D'OUJDA.....	71
II.9.6.2.	REGION DE MAGHNA	71
II.10.	SYNTHESE	72
 CHPAITRE III : MATERIELS ET METHODES.....		 73
III.1.	INTRODUCTION.....	73
III.2.	POLLUTION COTE ALGERIEN	73
III.2.1.	SOURCES DE POLLUTION DOMESTIQUE.....	73
III.2.2.	SOURCES DE POLLUTION SOLIDE.....	75
III.2.3.	SOURCES DE POLLUTION INDUSTRIELLE.....	75
III.2.3.1.	AUDIT A L'ENCG	77
III.2.3.2.	AUDIT A LA MAÏSERIE DE LA TAFNA.....	80
III.2.3.3.	AUDIT A L'ENOF	84

III.2.3.4.	AUDIT A CERTAF (Ex-ECVO).....	87
III.2.4.	SOURCES DE POLLUTION AGRICOLE.....	89
III.2.4.1.	LES ENGRAIS.....	89
III.2.4.2.	L'ELEVAGE.....	90
III.2.4.3.	PRODUITS PHYTOSANITAIRES ET PESTICIDES.....	90
III.3.	POLLUTION DU COTE MAROCAIN.....	90
III.3.1.	REJETS DOMESTIQUES.....	90
III.3.2.	REJETS INDUSTRIELS.....	91
III.3.3.	CONTROLE DE LA POLLUTION MAROCAINE.....	92
III.4.	IMPACT DE LA POLLUTION.....	93
III.4.1.	INTRODUCTION.....	93
III.4.2.	IMPACT SUR LE BASSIN VERSANT DE L'OUED MOUILLAH.....	93
III.4.2.1.	IMPACT DE LA POLLUTION SUR L'ETRE HUMAIN.....	93
III.4.2.2.	IMPACT DE LA POLLUTION SUR LE MILIEU RECEPTEUR.....	93
III.4.2.3.	IMPACT DE LA POLLUTION SUR LE BARRAGE.....	94
III.5.	ANALYSE ET DESCRIPTION DES PARAMETRES POLLUANTS.....	95
III.5.1.	INTRODUCTION.....	95
III.5.2.	PRESENTATION DES POINTS DE PRELEVEMENT.....	96
III.5.3.	ECHANTILLONNAGE.....	98
III.5.4.	LES PARAMETRES MESURES IN SITU.....	99
III.5.4.1.	LE POTENTIEL HYDROGENE (pH).....	99
III.5.4.2.	L'OXYGENE DISSOUS (O ₂).....	99
III.5.4.3.	LA CONDUCTIVITE.....	99
III.5.4.4.	TRANSPARENCE.....	99
III.5.5.	ANALYSE ABIOTIQUE AU LABORATOIRE.....	100
III.5.5.1.	MATIERES EN SUSPENSION (MES).....	100
III.5.5.2.	PARAMETRES CHIMIQUES.....	100
III.5.6.	ANALYSE DES FACTEURS BIOTIQUES AU LABORATOIRE.....	101
III.5.6.1.	DOSAGE DE LA CHLOROPHYLLE «a».....	101
III.5.6.2.	ETUDE DU PHYTOPLANCTON.....	101
III.5.7.	CRITIQUE ET REPRESENTATIVITE DES DONNEES.....	103
III.6.	DATA MANING DES PARAMETRES MESURES.....	104
III.6.1.	INTRODUCTION.....	104
III.6.2.	STATISTIQUE PAR ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES..	104
III.6.3.	L'ACP AUX SERIES DES ELEMENTS PHYSICO- CHIMIQUES.....	105
III.6.4.	ANALYSE STRUCTURALE DES ELEMENTS.....	108
III.7.	ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA POLLUTION.....	109
III.7.1.	PRECISION SUR L'APPROCHE CHOISIE.....	109
III.7.2.	ANALYSE SPATIOTEMPORELLE A EFFECTUER.....	109
III.8.	CONCLUSION.....	111
CHPAITRE IV - ANALYSES, RESULTATS ET DISCUSSIONS.....		112
IV.1.	INTRODUCTION.....	112
IV.2.	ETUDE DE LA VARIATION SPATIOTEMPORELLE.....	112
IV.2.1.	PRESENTATION DE LA MATRICE DES DONNEES.....	112
IV.2.2.	APPROCHE NEURONALE DE COMPLEMENT DES DONNEES.....	113
IV.2.3.	PRESENTATION DE L'ANALYSE SPATIOTEMPORELLE DES PARAMETRES.....	116

IV.2.4.	INTERPRETATION DE L'ANALYSE SPATIOTEMPORELLE	119
IV.3.	ETUDE DE L'ALTERATION	121
IV.3.1.	DESCRIPTION DE L'ALTERATION	121
IV.3.2.	ALTERATION DES PARAMETRES	121
IV.3.2.1.	ALTERATION DU pH	121
IV.3.2.2.	ALTERATION DU Na^{+2}	122
IV.3.2.3.	ALTERATION DU SO_4^{-2}	123
IV.3.2.4.	ALTERATION LIES AU DEVELOPPEMENT BACTERIEN	124
IV.3.2.5.	ALTERATION DES MATIERES AZOTEES	126
IV.3.2.6.	ALTERATION DU PHOSPHORE.....	128
IV.3.3.	ETAT GENRALE DE LA POLLUTION.....	129
IV.4.	ETUDE DU POUVOIR AUTO-EPURATOIR	130
IV.4.1.	INTRODUCTION.....	130
IV.4.2.	PARAMETRES DE BASE DE L'ETUDE DE LA DIFFUSION.....	130
IV.4.3.	MODELISATION DE PROPAGATION DE LA DBO_5 ET DU P_T	131
IV.4.3.1.	MODELE CONVECTION-DIFFUSION ET DISPERSION UTILISE	131
IV.4.3.2.	MODELISATION DE LA DBO A TRAVERS OUED MOUILLAH	134
IV.4.3.3.	MODELISATION DU P_T A TRAVERS OUED MOUILLAH.....	135
IV.4.3.4.	MODELE DISPERSION LONGITUDINALE DANS LA CUVETTE	136
IV.4.3.5.	MODELISATION DE LA DBO_5 ET DU P_T A LA CUVETTE	138
IV.5.	EUTROPHISATION DE LA CUVETTE	139
IV.5.1.	INTRODUCTION.....	139
IV.5.2.	LES APPORTS LIQUIDES A LA RETENUE	139
IV.5.3.	ETUDES LIMNOLOGIQUES DANS LA RETENUE-.....	140
IV.5.3.1.	ETUDES SUR LA QUALITE DE L'EAU	140
IV.5.3.2.	TEMPERATURE et pH	140
IV.5.3.3.	TRANSPARENCE DE L'EAU, LES MATIERES EN SUSPENSION	141
IV.5.3.4.	MATIERES OXYDANTES.....	142
IV.5.3.5.	SELS NUTRITIFS	143
IV.5.3.6.	CONDUCTIVITE	144
IV.5.3.7.	ETUDE DE L'HOMOGENEITE DE LA MASSE D'EAU	145
IV.5.4.	FACTEURS LIMITANT LA PRODUCTION.....	149
IV.6.	SYNTHESE	151
	CONCLUSION GENERALE.....	153
	ANNEXES.....	155
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	194

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs de la diffusivité	10
Tableau 2 : Coefficient de réaction des matières organiques dans les eaux usées	23
Tableau 3 : Classification des états trophiques des lacs (OCDE, 1982).....	29
Tableau 4 : Situation du barrage de Hammam Boughrara 2009 – 2019.....	33
Tableau 5 : Distribution du couvert végétal du bassin de l'Oued Mouillah	43
Tableau 6 : Stations pluviométriques prises en compte dans le secteur d'étude	45
Tableau 7 : Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles.....	46
Tableau 8 : Caractéristiques statistiques des précipitations maximales	48
Tableau 9 : Calcul des intensités pluviales	50
Tableau 10 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures (ANRH, 2008)	51
Tableau 11 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent à Maghnia	52
Tableau 12 : Valeurs de l'évapotranspiration à Béni Bahdel (Anonyme III, 2001).....	53
Tableau 13 : Valeurs de l'ETPr corrigées selon Thornthwaite.....	53
Tableau 14 : La radiation solaire	53
Tableau 15 : Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant de l'Oued Mouillah	58
Tableau 16 : Répartition altimétrique du bassin versant de l'Oued Mouillah	59
Tableau 17 : Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant	60
Tableau 18 : Valeurs γ_x En fonction du type du couvert végétal.....	62
Tableau 19 : Apports Liquides Annuels et Lames d'eau écoulées	63
Tableau 20 : Apports Liquides Saisonniers et Lames d'eau écoulées	63
Tableau 21 : Apports Liquides Mensuels et Lames d'eau écoulées	63
Tableau 22 : Apports Solides et Apports Solides Spécifiques Annuels	64
Tableau 23 : Apports Solides et Apports Solides Spécifiques Saisonniers	65
Tableau 24 : Apports Solides et Apports Solides Spécifiques Mensuels	65
Tableau 25 : Caractéristiques de la crue du mois de Novembre 1986.....	65
Tableau 26 : Caractéristiques du Transport Solide lors de la crue du mois de 11/1986. 66	66
Tableau 27 : Forages contenues dans l'aire d'étude (partie Algérienne)	69
Tableau 28 : Population du daïra de Maghnia	71
Tableau 29 : Principales unités industrielles.....	71
Tableau 30 : Résultats d'analyses des rejets domestiques	74
Tableau 31 : Qualité des rejets de l'usine après traitement	78
Tableau 32 : résultats des analyses du 08/05/2001	81
Tableau 33 : Rejet final : résultats des analyses	81
Tableau 34 : Résultats des analyses du 30/10/00 : rejet final	84
Tableau 35 : Résultats d'analyses des rejets de l'usine	85
Tableau 36 : Résultats d'analyses des lixiviations du dépôt de boues.....	85
Tableau 37 : Caractéristiques du rejet brut	85
Tableau 38 : Qualité des rejets de l'unité après traitement.....	88
Tableau 39 : Entreprises de la région orientale du Maroc par province	91
Tableau 40 : Statistiques des entreprises de la région d'Oujda – Angad.....	92

Tableau 41 : Résultats d'analyse de la DBO5 et la DCO	92
Tableau 42 : Caractéristiques du Barrage Hammam Bouhrara	95
Tableau 43 : Localisation des stations à la cuvette du Barrage H. Bouhrara	97
Tableau 44 : Type de pollution et paramètres physico-chimiques	98
Tableau 45 : Les méthodes de dosage des cations et anions de l'eau.....	100
Tableau 46 : Les méthodes de dosage des sels nutritifs	100
Tableau 47 : Temps de sédimentation en fonction du volume de l'échantillon	101
Tableau 48 : Valeurs propres et inerties des 3 premiers composantes de l'ACP	105
Tableau 49 : Matrice de corrélations	106
Tableau 50 : Partie du programme sur Python	116
Tableau 51 : Caractéristique de base pour l'étude de la diffusion.....	131
Tableau 52 : Caractéristique de base pour l'étude de la diffusion.....	133
Tableau 53 : Résultats d'analyses de différentes fractions d'azote dans l'épilimnion .	144
Tableau 54 : Conductivité de l'eau de l'Oued correspondant aux différents débits.....	145
Tableau 55 : Concentrations moyennes, minimales et maximales des ions de la conductivité de l'eau à la station PT. Période de janvier 2017 à décembre 2019	145

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Effet de l'action sur l'impact du milieu	4
Figure 2 : Phénomène du comportement des polluants dans un cours d'eau	5
Figure 3 : Classes de qualité des cours d'eau	5
Figure 4 : Transformation des matières azotés	6
Figure 5 : Illustration de la diffusion moléculaire	10
Figure 6 : Domaine matériel D soumis à un bilan pour une grandeur physique cf	11
Figure 7 : Evolution de la répartition de la concentration $c(x, t)$	12
Figure 8 : Illustration de la convection-diffusion turbulente	13
Figure 9 : Répartition de la vitesse et de la concentration	14
Figure 10 : Schéma de la diffusivité instantanée et continue	16
Figure 11 : diffusion transversale pour un polluant injecté à une berge ou au centre	17
Figure 12 : Evolution de la concentration, $C(x,t)$, pour une masse, M_0	19
Figure 13 : Evolution de la concentration, $C(x,t)$	20
Figure 14 : Evolution de la répartition de la concentration, C/C_0	21
Figure 15 : Evolution de la concentration et du déficit en oxygène dissous	24
Figure 16 : Les Grands Bassins Versants Algériens (A.N.R.H, 2008).....	31
Figure 17 : Situation du bassin versant de l'oued Mouillah (Djelita B., & al. 2016).....	32
Figure 18 : Vue d'ensemble de la cuvette du barrage Hammam Boughrara.....	34
Figure 19 : Extrait de la carte géologique de Tlemcen 1/200.000	35
Figure 20 : Chabet Bir El Hemama, chemin de Ghar Rouban à Touisit	40
Figure 21 : Coupe du dogger de la cluse de Tiouli	40
Figure 22 : Le Paléozoïque	40
Figure 23 : Occupation du sol au niveau du Bassin Versant de l'Oued Mouillah.....	44
Figure 24 : Chronologie des pluies annuelles au niveau des différentes stations.....	45
Figure 25 : Variation mensuelle des précipitations	46
Figure 26 : Régime de la pluviométrie mensuelle (moyenne mensuelle).....	47
Figure 27 : Variation des pluies journalières maximales.....	48
Figure 28 : Pluie maximale journalière de la station de Maghnia	48
Figure 29 : Pluie maximale journalière de la station de Béni Ouassine	49
Figure 30 : Pluie maximale journalière de la station de Béni Bahdel.....	49
Figure 31 – Pluie maximale journalière de la station de Sidi Medjahed	49
Figure 32 : Pluie maximale journalière de la station de Hammam Bougherara	50
Figure 33 : Courbes des Températures Mensuelles	51
Figure 34 : Direction des vents dominants	52
Figure 35 : Indice de DEMARTONE	54
Figure 36 : Climmagramme d'Emberger.....	55
Figure 37 : Courbe Ombrothermique.....	56
Figure 38 – Réseau Hydrographique du Bassin Versant	57
Figure 39 : Courbes Hypsométriques	60
Figure 40 : Identification et caractéristiques des aquifères.....	67

Figure 41 : Présentation des principales nappes	68
Figure 42 : Station d'épuration de Legfaf (Maghnia) par boues activées	74
Figure 43 : Centre d'enfouissement technique de Maghnia	75
Figure 44 : Situation des industries de la ville de Maghnia.....	76
Figure 45 : Schéma de la filière de traitement des effluents de l'ENCG.....	79
Figure 46 : Bassin de Neutralisation de la Station de Traitement de la Maïserie.....	80
Figure 47 : Processus de fabrication de la Maïserie	82
Figure 48 : Mode de traitement de la Maïserie	83
Figure 49 : Schéma de traitement de la Maïserie.....	83
Figure 50 : Bilan du circuit des terres décolorantes de l'ENOF	86
Figure 51 : Schéma de la chaîne de traitement des eaux de l'ENOF.....	86
Figure 52 : Processus de fabrication	88
Figure 53 : Schéma d'épuration de l'unité.....	89
Figure 54 : Site de contrôle de la pollution marocaine par l'ANRH	92
Figure 55 : Points de prélèvement au niveau du bassin versant	97
Figure 56 : Graphe des valeurs propres	105
Figure 57 : ACP des variables physico-chimiques (fact. 1 et 2) Inertie : 52,55 %	107
Figure 58 : ACP des variables physico-chimiques (fact. 1 et 3) Inertie : 50,15 %	107
Figure 59 : Analyse spectrophotométrique d'échantillons (année 2019)	108
Figure 60 : Points de prélèvement	113
Figure 61 : Définition des couches d'un réseau multicouches	114
Figure 62 : Evolution du vecteur d'activation sur une période de trois cycles	114
Figure 63 : Recherche de la concentration dans l'espace des poids du réseau.....	115
Figure 64 : Organigramme de l'apprentissage de comblement des données.....	116
Figure 65 : Variation spatiotemporelle des paramètres analysés	119
Figure 66 : Classes de qualité de l'altération	121
Figure 67 : Altération du pH.....	122
Figure 68 : Altération du Na^{+2}	123
Figure 69 : Altération du SO_4^{-2}	124
Figure 70 : Altération de la DCO.....	125
Figure 71 : Altération de la DBO_5	125
Figure 72 : Altération du NO_3^-	127
Figure 73 : Altération du NH_4^+	127
Figure 74 : Altération du P_T	128
Figure 75 : Etat temporel de la pollution du bassin versant de l'Oued Mouillah	129
Figure 76 : Etat penctuel de la pollution du bassin versant de l'Oued Mouillah.....	129
Figure 77 : Organigramme du programme DISPTUR.....	132
Figure 78 : Variation de la DBO_5 entre les stations	134
Figure 79 : Variation du P_T entre les stations	136
Figure 80 : Organigramme du programme DIFDIS	137
Figure 81 : Organigramme du programme DIFDIS	138
Figure 82 : (a) Variation des cotes de la retenue, (b) Apports liquides mensuels	139
Figure 83 : Evolution dans le temps de la température (a), du pH (b) à la station P_T .	141

Figure 84 : Evolution dans le temps de la profondeur du disque de Secchi	142
Figure 85 : Evolution dans le temps de la concentration de l'oxygène dissous	143
Figure 86 : Evolution dans le temps de la concentration de PO ₄ et de NH ₄	144
Figure 87 : Diagrammes d'isoètes	146
Figure 88 : Variations de la température, de la saturation en oxygène et du pH.....	147
Figure 89 : La campagne du 26-29/02/2019 avant l'établissement de la stratification	148
Figure 90 : campagne du 20-26/09/2019 juste après la première crue de l'automne...	148
Figure 91 : La campagne du 17 novembre 2019 juste avant le brassage	149
Figure 92 : Evolution du quotient (N/P) et de la chlorophylle a (mg/L)	150

NOMENCLATURE DES SUBSTANCES CHIMIQUES

Ca ⁺²	: CALICIUM
Cd	: CADMIUM
Cl ⁻²	: CHLORE
Cr	: CHROME
Cu	: CUIVRE
DBO	: DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE
DCO	: DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE
Fe	: FER
HCO ₃ ⁻	: BICARBONATES
H ₂ CO ₃	: ACIDE CARBONIQUE
HPO ₄	: ACIDE PHOSPHORIQUE
H ₂ PO ₄	: DIHYDROGENOPHOSPHATE
H ₂ O	: MONOXYDE DE DIHYDROGENE
H ₃ O ⁺	: HYDRONIUM
HSO ₄ ⁻	: HYDROGENOSULFATE
H ₂ SO ₄	: ACIDE SULFURIQUE
K ⁺	: POTASSIUM
MES	: MATIERES EN SUSPENSION
Mg ⁺²	: MANGANESE
Mn	: MANGANESE
MO	: MATIERE ORGANIQUE
Na ⁺	: SODIUM
NH ₄ ⁺	: AMMONIUM
Ni	: NICKEL
NO ₂	: NITRITES
NO ₃ ⁻	: NITRATES
NTK	: AZOTE KJELDAHL
O ₂	: OXYGENE DISSOUS
pH	: POTENTIEL HYDROGENE
Pb	: PLOMBE
PT	: PHOSPHORE TOTAL
SO ₄ ⁻²	: OXYDE DE SOUFRE
Zn	: ZINC

NOMENCLATURE DES SYMBOLES

A	: Respiration endogène ;
A_L	: Apport liquide annuel, mensuel ou saisonnier [Hm^3] ;
A_s	: Apport solide annuel, mensuel ou saisonnier [MT] ;
A_{ss}	: Apport solide spécifique [$t.km^{-2}.an^{-1}$] ;
B	: Largeur du cours d'eau [m] ;
c^*	: Concentration moyenne finale [kg/m^3] ;
C_0	: Concentration initiale homogène [kg/m^3] ;
$C_{(DBO)}$: Consommation d'oxygène (oxydation) biochimique [kg/m^3] ;
c_f	: Concentration d'une substance locale [kg/m^3] ;
c'_f	: Fluctuations aléatoires de la concentration ;
C_{max}	: Concentration maximale [kg/m^3] ;
C_{OD}	: Concentration d'oxygène dissous [kg/m^3] ;
$C_{s(OD)}$: Concentration de saturation en oxygène dissous [$g\ d'O_2/m^3/j$] ;
C_v	: Coefficient de variation ;
D	: Dénivelé [m] ;
$D_{0(OD)}$: Déficit initial en oxygène dissous [$g\ d'O_2/m^3/j$] ;
D_d	: Densité de drainage [km/km^2] ;
E	: Lamé d'eau écoulée ou ruissellement [mm] ;
<i>erfc</i>	: Fonction complémentaire d'erreur ;
e. s.	: Erreur standard à la moyenne ;
ETP	: Evapotranspiration climatique ou potentielle [mm] ;
ETR	: Evapotranspiration réelle [mm] ;
F	: Fond du canal ;
$F_{1\%}$: Fréquence des cours d'eau d'ordre 1 ;
F_q	: Fréquence [%] ;
h	: Profondeur d'eau [m] ;
H_{max}	: Altitude maximale [m] ;
H_{min}	: Altitude minimale [m] ;
H_{moy}	: Altitude moyenne [m] ;
i	: Pente moyenne [m/km] ;
I	: Intensité pluviale [mm/h] ;
j	: Pente moyenne des versants [%] ;
k	: Coefficient de la diffusivité moléculaire ;
K_c	: Indice de compacité ;
K_r	: Coefficient de réaction de la substance dans le mélange ;
k_t	: Diffusivité turbulente ;
K_x'	: Coefficient de dispersivité turbulente longitudinale ;
L_H	: Charge de matière organique facilement dégradée [$g/m^2/j$] ;
L_L	: Longueur caractéristique longitudinale [m] ;
l_{Req}	: Largeur du rectangle équivalent [Km] ;
L_{Req}	: Longueur du rectangle équivalent [Km] ;

L_{Twg}	: Longueur du talweg principal [Km] ;
L_V	: Longueur caractéristique verticale [m] ;
L_y	: Longueur caractéristique transversale [m] ;
m	: Température moyenne des minima du mois le plus froid [$^{\circ}\text{K}$] ;
M	: Température moyenne des maxima du mois le plus chaud [$^{\circ}\text{K}$] ;
M_0	: Masse totale de la substance [kg/m^2] ;
M_1	: Masse initiale surfacique instantanée [kg/m^2] ;
N	: Nombre de secondes dans l'année, le mois ou la saison ;
OG	: Ordre de grandeur ;
P	: Précipitations moyennes annuelles [mm] ;
P_{BV}	: Périmètre [Km] ;
$P_{\text{J Max}}$: Pluie journalière maximale [mm] ;
Q	: Débit total dans le canal [m^3/s] ;
Q_2	: Coefficient d'Emberger ;
q_e	: Débit des sources dans un domaine [m^3/s] ;
q_f	: Débit des sources par unité de surface [m^3/s] ;
Q_L	: Débit moyen annuel, mensuel ou saisonnier [m^3/s] ;
Q_s	: Débit solide annuel mensuel ou saisonnier [Kg/s] ;
R	: Ré-oxygénation à travers la surface du cours d'eau ;
R_h	: Rayon hydraulique [m] ;
S	: Section du canal [m^2] ;
S_{BV}	: Surface du BV [Km^2] ;
S_c	: Nombre de Schmidt ;
S_x	: Surface afférente au type x du couvert végétal [Km^2] ;
T	: Températures moyennes mensuelles [$^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{K}$] ;
T_C	: Temps de concentration [h] ;
U	: Vitesse moyenne [m/s] ;
V	: Vitesse [m^2/s] ;
V_L	: Vitesse caractéristique longitudinale [m/s] ;
V_{Le}	: Vitesse de la lame d'eau écoulee [m/s] ;
x	: Coordonnées longitudinale [m] ;
\bar{x}	: Moyenne géométrique [m] ;
y	: Coordonnées transversale [m] ;
z	: Coordonnées altimétrique [m] ;
Z_H	: Profondeur moyenne de l'hypolimnion [m] ;
$\Delta\tau$: Temps infiniment petit [s] ;
ε_m	: Diffusivité massique de la substance [cm^2/s] ;
ε_t	: Diffusivité massique [cm^2/s] ;
γ_x	: Coefficient d'écoulement spécifique relatif au type x du couvert végétal.
ν	: viscosité cinématique [m^2/s] ;
ρ	: Masse volumique [kg/m^3] ;
ξ_y	: Coefficient de la position.

NOMENCLATURE DES ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en composante principale ;
AFC	: Analyse factorielle des composantes ;
ANBT	: Agence Nationale des Barrages et Transferts ;
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydriques ;
APC	: Assemblée populaire communale ;
CERTAF	: Entreprise nationale des produits à base de terre décolorante ;
DRE	: Direction des ressources en eau ;
DSA	: Direction des services agricoles ;
ENCG	: Entreprise nationale des corps gras ;
ENOF	: Entreprise nationale des produits miniers non ferreux ;
ERIAD	: Entreprise nationale des dérivés du maïs ;
FAO	: Food and Agriculture Organisation (FAO) ;
OCDE	: Organisation de coopération et de développement économiques ;
OMS	: Organisation mondiale de la santé ;
SD	: Disque de Secchi ;
USDA	: Département de l'Agriculture des États-Unis.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est reconnue comme étant la substance liée à l'existence de toute sorte de vie, notamment celle des humains. Cette ressource est le facteur régulateur du développement d'un pays, elle est considérée comme le pilier autour duquel s'appuie toute existence et s'articule tout développement.

Cependant, il est primordial de préserver cette ressource vitale et de la gérer d'une façon très rigoureuse. Malheureusement ce n'est toujours pas le cas ; car les facteurs socio-économiques définis le développement démographique et économique des agglomérations a souvent comme corollaire un impact nuisible sur l'environnement plus ou moins important.

Autrement dit, il est à signaler que certaines pratiques humaines ont amplifié d'avantage le processus de pollution ; presque la totalité des écosystèmes sont sérieusement affectés par les rejets directement dans le milieu naturel. Cette pollution finie souvent par se retrouver dans l'eau (rivières, plans d'eau, nappes souterraines ...etc.), ce qui a engendré des problèmes assez complexes ayant des répercussions sur la qualité de cette ressource.

En général, la pollution des eaux est due soit par des rejets directes de différents types de substances dans les milieux hydriques sans traitement préalable, ou indirecte, comme par exemple suite à la chute des pluies, entraînant lessivage des sols et lixiviation.

Par ailleurs, l'Algérie étant un pays en voie de développement, accorde un intérêt particulier à la valorisation du potentiel hydraulique point de vu quantité et qualité, ceci c'est amplifié par les exigences accrues en eau d'un pays méditerranéen en pleine phase de développement social et économique, et disposant de plus de sept millions d'hectares de terres agricoles majoritairement sèches (Khaoua, N., 2005), ce qui oblige à prendre conscience plus que jamais du rôle capital de l'eau.

Pour sa situation hydrique, les précipitations en Algérie sont évaluées à environ 100 milliards de m³/an dont plus de 85,5 % s'évaporent et le reste est représenté par 12.5 milliards de m³/an en écoulement superficiel et 02 milliards de m³/an en écoulement et souterrains. De ce constat, si tous les moyens de mobilisation sont mis en œuvre (barrages, forages, puits, captages ...etc.), il est possible de mobiliser 6 ou 7 milliards de m³/an. En plus, au Sahara, les réserves sont évaluées à 5 milliards de m³/an et dans la plus part des cas non ou faiblement renouvelables (Mozas, M., & al., 2013).

Malheureusement, ces ressources sont pratiquement touchées en majorité par le fléau de la pollution, par le fait, des rejets domestiques, industriels et agricoles se trouveront d'une façon directe ou indirecte dans les milieux hydriques, polluant ainsi, la majorité des eaux de surfaces et une partie des nappes d'eaux souterraines.

Face à ce constat, l'état Algérien a mobilisé différents de ses structures étatiques notamment l'ANRH, l'AGIRE, la DRE ...etc., pour le suivi de la qualité des eaux

naturelles et prendre les mesures utiles dans le cadre d'une approche systémique de préservation et développement de cette ressource (Rouissat, B. & al., 2012).

Dans le cadre de cette orientation, nous espérons apporter une contribution utile pour atténuer le problème de la pollution, grâce à l'étude du comportement des matières polluantes déversées dans le bassin versant de l'Oued Mouillah, faisant partie de la Haute Tafna considéré comme étant un bassin bien représentatif de l'Ouest algérien.

Le choix du bassin versant de l'Oued Mouillah, repose sur le fait qu'il est l'un des affluents les plus importants du bassin de la Tafna (grand bassin hydrique de l'Ouest Algérien), il occupe une surface agricole très importante de près de 85.500 Ha (Belarbi, F. & al. 2020), il est constitué d'un réseau hydrographique très dense (Tani, H. A. K. & al. 2020) incluant dans son importante superficie (2650 Km²) deux villes frontalières très importantes ; Maghnia (Wilaya de Tlemcen, en Algérie) et Oujda (au Maroc), en plus, à la avec l'Oued Tafna, au lieudit « Hammam Bougherara » un barrage a été conçu ; mobilisant 56 Hm³ pour l'alimentation en eau potable et du couloir Ouest de la Wilaya de Tlemcen, ainsi que l'irrigation des périmètres de la moyenne Tafna (Djelita, B. & al. 2021).

Ainsi, en matière de la modélisation du comportement de la pollution hydrique, ce bassin versant constitue un modèle bien descriptif et complexe, vu qu'il charrie une pollution frontalière (côté Marocain du bassin versant), les rejets domestiques et industriels de la ville de Maghnia, les polluants de source agricole (engrais chimiques, pesticides, produits phytosanitaires ...etc.), en plus, le réservoir du barrage Hammam Bougherara dangereusement affectées.

Dans la présente étude, les résultats couvrent notamment la période allant de janvier 2009 à décembre 2019, nos objectifs sont :

- Etablir un diagnostic de l'état du cours d'eau de l'Oued Mouillah, de la cuvette du barrage et de caractériser la variabilité spatiale et temporelle des changements de qualité de l'eau, afin de contribuer à la connaissance de l'évolution de cet écosystème.
- Viser, d'une part, à établir une meilleure connaissance de la relation quantitative entre l'apport en matières nutritives et la réponse trophique, d'autre part, à déterminer l'impact de la morphologie, de l'hydrologie et des caractéristiques physicochimiques sur l'état trophique de l'écosystème étudié.
- Etablir une base de données scientifique, voire systématique, pour la compréhension de l'évolution interannuelle de la qualité de l'eau. Cette base nous aidera à élaborer une stratégie de préservation de l'eau du réservoir.

Afin d'atteindre les objectifs suscités, nous avons articulé le travail sur quatre chapitres:

- Le premier chapitre fait le point bibliographique, d'une part, sur la problématique de la pollution des eaux de surface, ses causes et conséquences directes ou indirectes sur la qualité par visualisation des altérations des substances rejetées, d'autre part, sur le transport des matières chimiques diluées dans le flux hydrique.
- Le deuxième chapitre concerne la présentation de la région d'étude, qui va nous permettre de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'écoulement tels que l'orographie et morphologie, lithologie, géologie, hydrologie, hydrogéologie, climatologie et biogéographiques. Leur interaction est déterminante dans le comportement de l'écosystème.
- Le troisième chapitre présente les matériels et les méthodes d'analyses utilisées, avec présentations des résultats qualitatifs et quantitatifs des facteurs abiotiques et biotiques, suivi par une approche statistique multidimensionnelle.
- Le quatrième chapitre a fait l'objet de donner une approche analytique par la modélisation de la dynamique des polluants, leur variabilité spatio-temporelle, ainsi que l'action de l'eau sur notre bassin versant.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION

La pollution des cours d'eau c'est toute contamination directe ou indirecte, de types chimique, physique ou biologique affectant la qualité de l'eau, causée par les rejets de plusieurs origines (domestiques, industrielles, agricoles) entraînent d'innombrables agents polluants diffusés dans le flux liquide des cours d'eau, induisant directement à un effet nocif sur l'ensemble de l'écosystème et la santé des êtres vivants.

Ainsi, la surveillance de la pollution des eaux des cours d'eau est un enjeu primordial pour préserver la qualité des eaux et protéger les écosystèmes aquatiques.

En effet, pour qu'il y ait une pollution ayant un impact sur l'environnement il faut :

- L'action génératrice : décrite et découpée en action et/ou installation représentant des sources potentielles de nuisances.
- Le milieu : comprend le milieu récepteur immédiat et généralement vecteur des nuisances, ainsi que les milieux éloignés qui risquent de subir des conséquences. Le milieu atteint est généralement considéré sous ses aspects physico-chimiques et surtout biologiques ou humains.
- Le niveau de pollution : le niveau de pollution est généralement objectif, il peut être décrit à la source, dans le milieu vecteur et dans le milieu atteint.
- L'impact : la force de l'impact dépend à la fois de la nature de l'ampleur des niveaux de pollution et de la sensibilité du milieu. L'impact représente des effets sur le milieu (généralement le milieu vivant) qui résulteraient d'un niveau de pollution dépassant le niveau admissible.

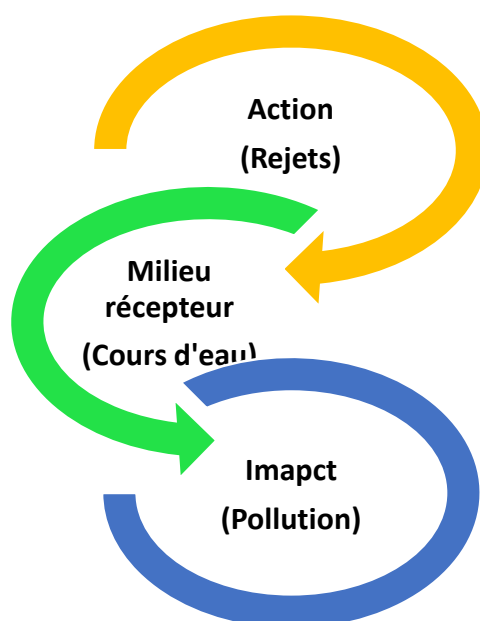


Figure 1 : Effet de l'action sur l'impact du milieu

Toutefois, le degré de la pollution dans un cours d'eau est instantanément variable, il dépend de plusieurs paramètres physiques, mécaniques et chimiques ayant des combinaisons complexes.

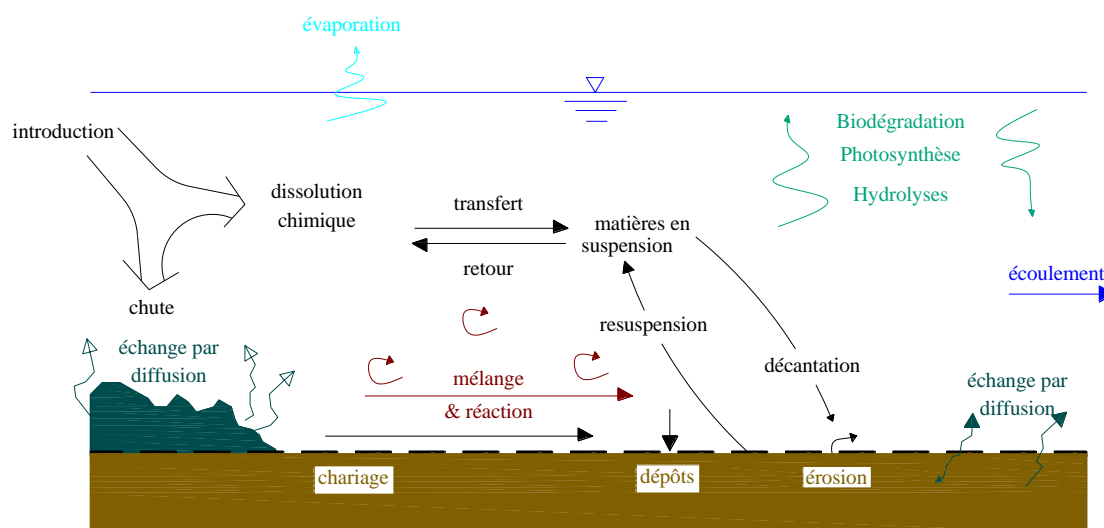


Figure 2 : Phénomène du comportement des polluants dans un cours d'eau (Benadda L., 2004)

Dans ce chapitre, nous allons présenter les bases théoriques de la surveillance de la qualité des cours d'eau, par la description des différents agents polluants, leurs valeurs limites admissibles, leurs conséquences sur le milieu, leurs altérations du flux hydrique et leurs types de diffusion et transport dans la masse liquide à travers l'espace d'écoulement et pendant le temps.

I.2. SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DES RIVIERES PAR L'ALTERATION DES SUBSTANCES

La qualité des eaux des cours d'eau est évaluée à partir du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau (SEQ-Eau), fondé sur la notion d'altération des substances, à base des analyses continu ou discontinu dans l'espace (Thierry, E. 2019).

La qualité des cours d'eau est évaluée à partir d'une grille qui définit, pour chaque altération ou paramètre physico-chimiques, cinq classes de qualité associées à des indices (Cadilhac, L. 2003) :

très bonne	bonne	passable	mauvaise	très mauvaise
indice 100 à 81	indice 80 à 61	indice 60 à 41	indice 40 à 21	indice 20 à 0

Figure 3 : Classes de qualité des cours d'eau (Humbel, X., & Hennebert, P., 2008)

- La classe très bonne permet la vie aquatique, la production d'eau potable après un simple traitement et les loisirs et sports aquatiques.
- A l'opposé, la classe très mauvaise ne permet plus de satisfaire les usages suscités ni d'assurer les équilibres biologiques.

En outre, La matière organique présente dans les eaux provient naturellement de la dégradation des composés végétaux et animaux qui peuplent les eaux ou qui transitent dans les cours d'eau. Les bactéries présentes dans les eaux, en présence d'oxygène, dégradent cette matière; il s'agit de l'autoépuration.

Les apports d'eaux résiduaires font augmenter la matière organique ; une altération qui indique la présence de matière organique susceptible de consommer l'oxygène dissous et compromettre la qualité des eaux.

I.2.1. ALTERATION DES DEMANDE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE EN OXYGENE (DCO ET DBO)

La DCO et la DBO font partie de la composante des eaux résiduaires d'origine domestique, agricole et industrielle, elles correspondent à la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables existantes dans l'eau respectivement par processus chimique et biologique. La mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quel que soit leur origine organique ou minérale (Rodier, J. 2009).

La vie aquatique est affectée par un taux trop élevé de matières organiques en raison de la réduction des teneurs en oxygène dissous qu'elles entraînent.

I.2.2. ALTERATION PAR LES MATIERES AZOTEES

La famille est composée du Nitrites (NO_2^-), du Nitrates (NO_3^-), de l'Ammonium (NH_4^+) et de l'azote Kjeldahl (NTK). L'étude de l'altération de ces matières est très importante ; vue les interactions des composés Azotés qui se transforment de la manière suivante (Rodier, J. 2009) :

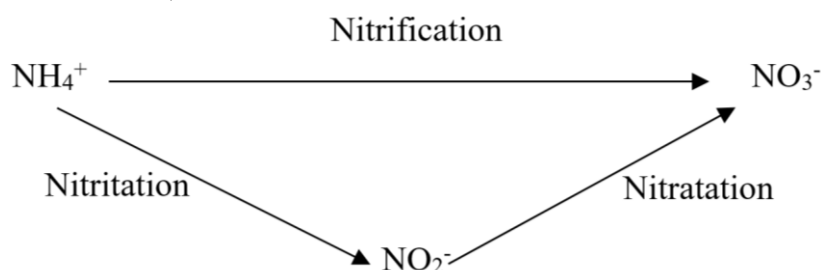


Figure 4 : Transformation des matières azotés

I.2.2.1. L'AMMONIUM (NH_4^+)

L'ion ammonium correspond à la forme réduite de l'azote. L'ion NH_4^+ provient essentiellement des déjections animales et humaines, par dissolution de l'azote atmosphérique dans les nuages ainsi que la décomposition de la matière organique par les bactéries et les champignons. Ce composé azoté est caractéristique des eaux résiduaires où il est associé à l'azote organique. Dans des conditions d'oxygénation normale, cet élément est oxydé en nitrites puis en nitrates.

Ce n'est pas la forme ionisée (NH_4^+) qui est toxique, mais la forme non ionisée (NH_3). La transition vers cette forme non ionisée dépend du pH, de la température et du taux d'oxygène. Il peut provoquer la corrosion des conduites et limiter l'effet désinfectant du Chlore (Rodier, J. 2009).

I.2.2.2. NITRATES (NO₃⁻) ET NITRITES (NO₂⁻)

Les nitrates (NO₃⁻) et les nitrites (NO₂⁻) sont la forme finale de l'oxydation de l'azote, ils sont des éléments nutritifs pour les micro-organismes.

Le NO₃⁻ est essentiellement soluble est mobile, le seul frein à sa migration est son assimilation par les micro-organismes ou sa transformation par dénitrification.

Le NO₂⁻ provient soit d'une oxydation incomplète des ions ammoniums, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Les nitrites sont très solubles mais peu résistants, la nitratisation étant beaucoup plus rapide que la nitrification (Rodier, J. 2009).

Pour l'homme, les nitrates ne sont pas en soi dangereux pour la santé, mais c'est leur transformation en nitrites dans l'estomac qui représente un risque potentiel. La transformation des nitrates en nitrites provoque une diminution du pH dans l'estomac ce qui favorise une prolifération des bactéries.

I.2.2.3. AZOTE KJELDAHL (NTK)

L'azote Kjeldahl mesure l'azote organique et l'azote ammoniacal. C'est une valeur importante pour la protection du milieu aquatique car sa transformation détruit l'équilibre biologique à l'aval du rejet.

A fortes doses, l'azote ammoniacal et organique peut être toxique pour la biocénose (faune et flore) du milieu récepteur par la consommation d'oxygène nécessaire à sa transformation et la toxicité propre à l'ammoniac.

I.2.3. ALTERATION PAR LE PHOSPHORE ET CHLOROPHYLLE

Le phosphore existe sous deux formes principales : le phosphore minéral ou le phosphore organique. Le phosphore est le principal facteur de l'eutrophisation en eau douce.

Son altération est déterminée à partir de la mesure des ortho-phosphates et du phosphore total qui sont des nutriments pour la croissance des micro-organismes. En excès dans le milieu, le phosphore contribue au phénomène d'eutrophisation (enrichissement des cours d'eau et des plans d'eau en éléments nutritifs).

Alors-que, la chlorophylle est un pigment présent dans les chloroplastes des cellules de végétaux vert. La chlorophylle réalise la première étape de la photosynthèse. Cette concentration évalue la quantité d'algues planctoniques présentes dans l'eau, ce qui permet d'estimer le niveau d'eutrophisation du milieu.

I.2.4. ALTERATION PAR LES MICRO ORGANISMES

Cette altération apporte une information sur le développement algal et notamment sur l'eutrophisation. Elle permet de déterminer la quantité de bactéries fécales présentes dans les eaux.

I.2.5. ALTERATION PAR LES MATIERES EN SUSPENSION (MES)

Ces particules minérales ou organiques sont présentes dans les eaux naturelles ou polluées. Les MES comprennent les matières décantables et les colloïdes, mais pas les matières dissoutes.

Elles comportent souvent dans les cours d'eau des particules de nature argilo-humique provenant de l'érosion des sols, mais également bien d'autres constituants, en particulier d'origine organique. Elles représentent la cause essentielle de la turbidité de l'eau.

La photosynthèse est ralentie par une forte teneur en matières en suspension qui trouble l'eau. Ceci a une répercussion sur toutes les chaînes alimentaires présentes dans le cours d'eau (effet sur la reproduction : destruction des frayères, baisse de la teneur en oxygène). Une forte teneur en MES entraîne également une atteinte aux usages récréatifs (Yari, A. & al. 2020).

I.2.6. ALTERATION PAR LA FAMILLE DES METAUX DE TRANSITION

Ils sont le Chrome (Cr), le Manganèse (Mn), le Fer (Fe), le Nickel (Ni), le Cuivre (Cu), le Zinc (Zn) qui se trouve dans la première période et le Cadmium (Cd) dans la deuxième période.

I.2.7. ALTERATION PAR LA FAMILLE DU SODIUM (Na⁺), POTASSIUM (K⁺) ET DU CHLORE (Cl⁻²)

Dans cette deuxième famille, le Sodium (Na⁺) et le Potassium (K⁺) qui se trouve dans la première colonne du Tableau de MENDELEIEV, ainsi que les Chlorures (Cl⁻²) qui réagissent avec ces deux cations.

Le Na⁺, non seulement, a les mêmes caractéristiques que le K⁺, ses valeurs sont plus grandes que celles du K⁺, d'une part, d'autre part il réagit avec les Chlorures (Rodier, J. 2009).

I.2.8. ALTERATION PAR LA FAMILLE DU MANGANESE (Mg⁺²) ET DU CALICIUM (Ca⁺²)

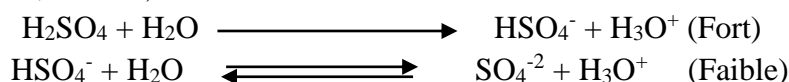
Leurs valeurs ne sont pas assez grandes, en plus ces composés ne présentent pas une pollution nuisible, ils constituent par contre le degré de dureté des eaux.

I.2.9. ALTERATION PAR LA FAMILLE DES COMPOSES EN METAUX LOURDS

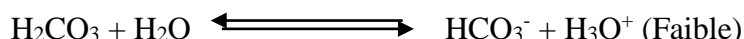
Cette famille constitue une partie des métaux lourds toxiques, dans un cours d'eau elle est ponctuelle et de l'ordre de trace, souvent son altération est négligeable sauf dans les conditions accidentelles.

I.2.10. ALTERATION PAR LA FAMILLE DES BICARBONATES (HCO₃⁻) ET L'OXYDE DE SOUFRE (SO₄⁻²)

Ces deux familles sont souvent présent par leurs altérations sous forme acide fort tel-que le (H₂SO₄) ou faible tel-que (H₂CO₃) dont la forme ionique dans l'eau est la suivante (Rodier, J. 2009) :



Tandis que le H₂CO₃ est un acide faible :



I.3. TRANSPORT DE LA MATIERE POLLUANTE

Dans cette partie nous décrivons le transport (ou transfert) d'une entité physique dans la masse liquide, telle qu'une substance solide ou soluble comme les polluants. Ce processus de transport, est dû à deux phénomènes ; celui de la diffusion moléculaire d'une part et de la convection-diffusion turbulente dans le cas des cours d'eau, d'autre part.

I.3.1. NOTION DE LA DIFFUSION

Le transport par diffusion dans un cours d'eau est caractérisé par une loi phénoménologique (Padet, 1991), celle-ci a une grandeur extensive de densité volumique locale $c_f(x, y, z)$, où le vecteur de densité du flux q_f , proportionnel au gradient de densité volumique, est dirigé dans le sens des densités décroissantes :

$$q_f = -k \text{ grad } c_f \rightarrow q_{fi} = -k \frac{\partial c_f}{\partial x_i} \quad (1)$$

Où k est une constante dite coefficient de la diffusivité moléculaire, c'est une grandeur intrinsèque du fluide dépendant de la température et de la pression.

La loi de diffusion donne une relation entre la répartition d'une grandeur extensive dans l'espace du flux. Une autre relation peut encore être obtenue par l'application de l'équation de bilan. Nous avons ainsi une relation générale entre le flux et les sources.

Pour le transport par diffusion d'une substance ou constituant passif, A, dans le fluide, le vecteur de densité du flux est donné par la loi de Fick :

$$q_m = -\varepsilon_m \text{ grad } c \rightarrow -\varepsilon_m \frac{\partial c}{\partial x_i} \quad (2)$$

Où : c , est la concentration (locale) définie par la masse de la substance par le volume du fluide, en unité [kg/m³]; on remplace c par C_0 si le milieu représente une concentration initiale homogène. ε_m est la diffusivité massique de la substance, A, dans le mélange, exprimée en [L²/T] ; elle dépend aussi de la composition chimique et de la concentration molaire de la substance (Bird et al., 1960).

Le transport par diffusion moléculaire dans un fluide sans mouvement ou en mouvement laminaire (1) où la diffusivité moléculaire, k , est un scalaire. Cette dernière est constante, dépendant du fluide et non du mouvement et de sa direction, x, y et z .

Pour les différentes grandeurs physiques, on a ;

- La diffusivité massique : ε_m ,
- La viscosité : ν .

Le tableau 1 donne les valeurs approximatives des types de la diffusivité dans un mélange liquide en écoulement, en considérant une estimation par ordre de grandeur OG .

Tableau 1 : Valeurs de la diffusivité

Diffusivité (cm ² /s)	Moléculaire	Turbulente	
		Longitudinale	Verticale
Massique : ε_m	10^{-5}	$OG(10^5)$	$OG(10^3)$
Viscosité : ν	10^{-2}	$OG(10^5)$	$OG(10^3)$

Le nombre de Schmidt est le rapport entre les diffusivités moléculaires sans dimensions ($Sc = \nu/\varepsilon_m$), pour une solution aqueuse à une température de 20°C : $10^2 < Sc < 10^3$.

La loi de Fick, exprime qu'une substance dans un mélange à tendance d'uniformiser sa répartition, autrement dit, qu'il se forme un flux des zones de forte concentration vers des zones de faible concentration.

Pour le transfert d'une grandeur extensive est associée à l'impulsion volumique, soit $c_f = \rho V$, le tenseur de densité du flux est donné par la loi de Newton :

$$\vec{q}_{mt} = - \nu \overrightarrow{\text{grad}} (\rho \vec{V}) \quad (3)$$

$$q_{mt;ij} = - \rho \nu \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = \tau_{ij} \quad (\rho = \text{Cte}) \quad (4)$$

Où $V(u, v, w)$ est la vitesse (locale) du fluide, et τ_{ij} une tension de frottement, par ailleurs, ν est la diffusivité d'impulsion présentée par la viscosité cinématique en $[L^2/T]$, ρ est la densité du mélange.

Le transfert de l'impulsion provoquée par les forces de viscosité s'apparente donc à un mécanisme de diffusion.

En résumé, on voit qu'il y a une analogie formelle entre la diffusivité moléculaire ε_m et la viscosité cinématique, ν (Bird et al., 1960). Chacun des deux différents cas de transport par diffusion peut être décrit par une propriété cinématique du fluide avec la même unité $[L^2/T]$.

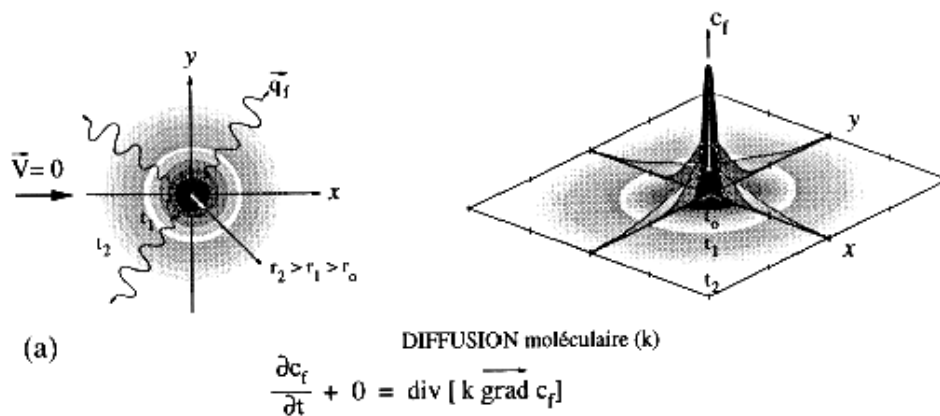


Figure 5 : Illustration de la diffusion moléculaire

I.3.2. TRANSPORT PAR CONVECTION-DIFFUSION

La loi de diffusion (1), donne une relation entre la répartition d'une grandeur extensive dans l'espace et le flux. Une autre relation peut encore être obtenue par l'application de l'équation de bilan. On a ainsi une relation générale entre le flux et les sources.

On considère un domaine matériel fluide, D , délimité par une surface fixe, S , à travers laquelle une entité physique, $c_f(x, y, z, t)$, est transportée par diffusion ainsi que par le fluide en mouvement à vitesse, V , ce dernier transport est appelé convection.

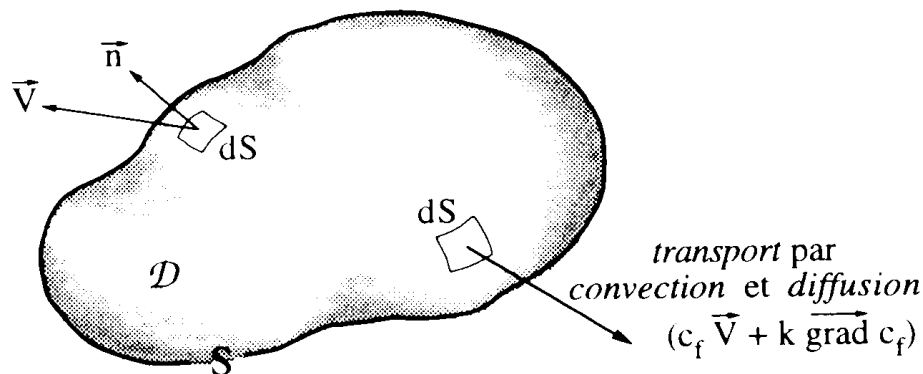


Figure 6 : Domaine matériel D soumis à un bilan pour une grandeur physique c_f

Le transport par diffusion et par convection est montré par la figure suivante, permettant de visualiser une source ponctuelle d'une grandeur extensive, $c_f(x, y, z)$.

Ce type de transport permet de considérer les deux bilans, celui de la matière et de la quantité de mouvement.

L'équation générale du bilan sous forme locale s'exprime (Daily et Harleman, 1966) par :

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} + \text{div} (c_f V) = - \text{div} q_f + q_e \quad (5)$$

Où : q_f est le débit des sources par unité de surface et q_e le débit des sources dans le domaine, D , par unité de volume. Le terme $\text{div} (c_f V)$ représente la convection de la grandeur physique.

En introduisant la diffusivité, l'équation du bilan s'exprime par:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \text{grad} c = \text{div} (\epsilon_m \text{grad} c) \quad (6)$$

Pour l'équation du bilan de quantité de mouvement dite également d'impulsion, les deux forces due à la pression, p , et de la pesanteur, g , sont appliquées au système (Padet, 1991) :

$$\frac{\partial V_j}{\partial t} + V \text{grad} V_j = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P^*}{\partial x_j} + \text{div} (v \text{grad} V_j) \quad (7)$$

Pour la solution de l'équation de la diffusion selon l'axe de la trajectoire d'un cours d'eau, on considère une substance de concentration c_0 , ayant une masse totale M_0 , introduite dans le milieu aqueux à une certaine station à $x = 0$, on définit M_1 comme la masse (M_0) injectée par unité de surface.

Dans la condition d'un mélange en état stationnaire ou en écoulement laminaire, la diffusion de la concentration c_0 dans l'espace et dans le temps $c(x, t)$, dépend de la résolution de l'équation :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \varepsilon_m \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (8)$$

La solution est donnée par l'utilisation de l'équation complémentaire d'erreur (erfc) définie par les transformations de Laplace (Vreugdenhil et al., 1973) :

$$c(x, t) = c_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{4 \varepsilon_m t}} \right) \quad (9)$$

Où la fonction complémentaire d'erreur est donnée par : $\operatorname{erfc}(Y) = \frac{2}{\pi} \int_Y^\infty e^{-\xi^2} d\xi$, où ξ est un coefficient expérimental de correction et dont les valeurs de la fonction erfc sont donnée dans les tables mathématiques (en Annexe).

Cette équation décrit la diffusion unidimensionnelle pure d'une concentration à l'origine $x = 0$, qui s'étale selon la courbe erfc (Figure 7).

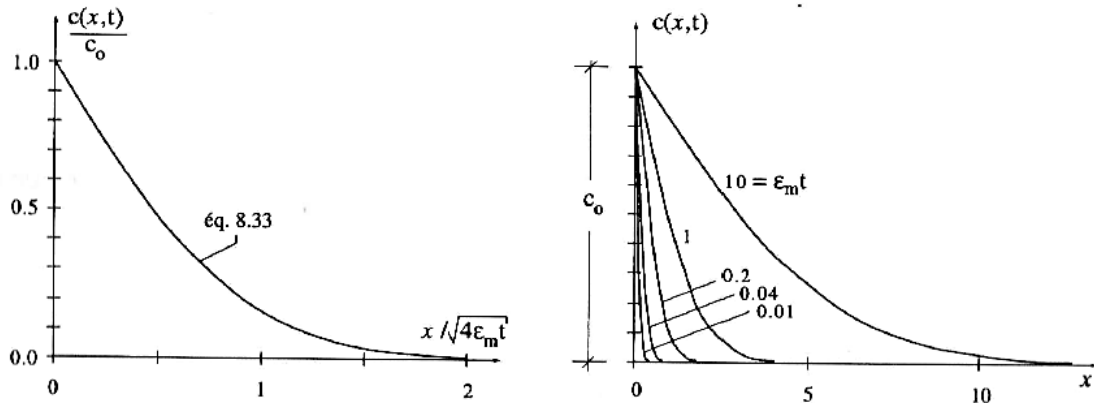


Figure 7 : Evolution de la répartition de la concentration $c(x, t)$

I.3.3. TRANSPORT PAR CONVECTION-DIFFUSION TURBULENTE

Lorsqu'un écoulement est turbulent, toute grandeur physique instantanée, c_f , doit être exprimée par une valeur moyenne temporelle, plus une valeur due aux fluctuations aléatoires, c'_f , la concentration devient $c_f \rightarrow c_f + c'_f$

L'équation du bilan en régime turbulent s'écrit :

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} + \operatorname{div}(c_f V) = \operatorname{div}[(k + k_t) \operatorname{grad} c_f] \quad (10)$$

Où : k_t est la diffusivité turbulente de la grandeur physique, c_f , qui dépend des propriétés (statistiques) locales de l'écoulement turbulent et non pas du fluide.

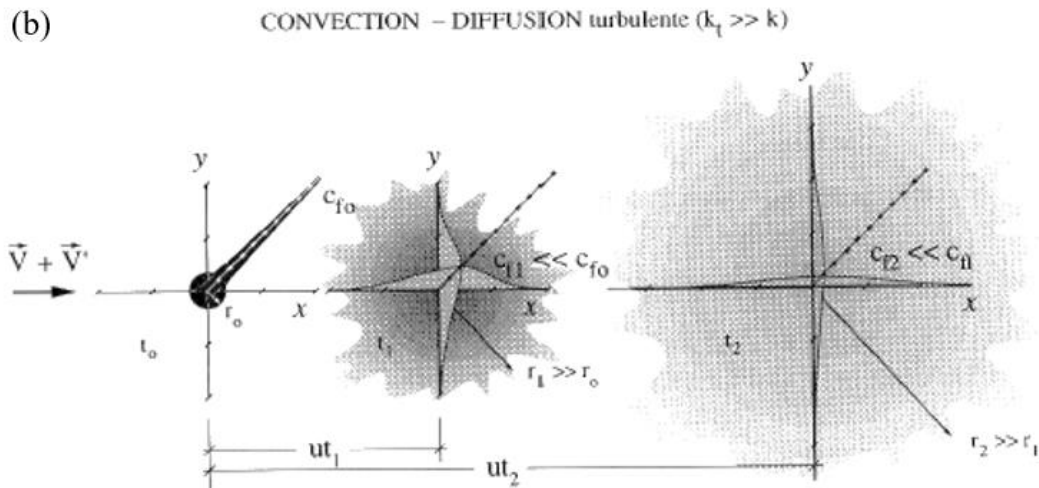


Figure 8 : Illustration de la convection-diffusion turbulente

Dans le cas du transport par diffusion turbulente dans fluide en écoulement, la diffusivité turbulente, k_t , ne dépend du fluide mais du mouvement et de sa direction x , y et z :

- La diffusivité massique : ε_t (ε_{tx} , ε_{ty} , ε_{tz}),
- La viscosité : ν_t (ν_{tx} , ν_{ty} , ν_{tz}).

Généralement, la diffusivité turbulente est très importante par rapport à la diffusivité moléculaire : $k_t \gg k$.

Une paramétrisation de la diffusivité, k_t , dépendra des échelles du mouvement turbulent. En appliquant une estimation dimensionnelle, il est possible de montrer que la diffusivité doit être liée à une longueur et à une vitesse directionnelle :

$$k_t = L_c \cdot U_c$$

Le choix des grandeurs caractéristiques, L_c et U_c , ainsi que la détermination de la constante de proportionnalité, doivent être effectués au moyen d'expériences. Une estimation par ordre de grandeur, OG , sont faite pour l'écoulement dans un cours d'eau :

- Longueur caractéristique longitudinale, L_L : $OG(10^1 \text{ [m]})$,
- Longueur caractéristique verticale, L_v : $OG(10^0 \text{ [m]})$,
- Vitesse caractéristique longitudinale, V_L : $OG(10^0 \text{ [m/s]})$.

Pour l'échelle géophysique d'un écoulement de fluide incompressible (cours d'eau), on obtient les diffusivités suivante (Graf W. & al., 1988) :

- $\varepsilon_{tx} = OG(10^3 \text{ [m}^2\text{/s]})$,
- $\varepsilon_{tz} = OG(10^{-3} \text{ [m}^2\text{/s]})$.

Selon l'analogie de Reynolds (Taylor, 1954), qui est une hypothèse où l'on admet que le transfert turbulent de la masse et de l'impulsion est exactement analogue ($\varepsilon_t = \nu_t$) ; cela indique que le nombre de Schmidt, Sc_t , en régime turbulent est : $Sc_t = 1$.

En considérant le mélange incompressible, l'introduction de diffusivité massique est nécessaire, l'équation du bilan devient :

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} + V \text{grad } c = \text{div} [(\varepsilon_m + \varepsilon_t) \text{grad } c] \quad (11)$$

Pour l'équation du bilan de quantité de mouvement en régime turbulent, elle s'écrit (Padet, 1991) :

$$\frac{\partial v_j}{\partial t} + V \text{grad } V_j = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P^*}{\partial x_j} + \text{div} [(v + v_{tj}) \text{grad } V_j] \quad (12)$$

On ne présentera par la suite les solutions pour la diffusion d'une matière de concentration c , en précisant que pour un régime turbulent, l'écoulement dans un cours d'eau se manifeste par une répartition de vitesse qui doit être prise en compte.

Par l'intégration de l'équation (13) sur la profondeur d'eau, h , (Rutherford, 1994), on obtient :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UC) + \frac{\partial}{\partial x}(\overline{U'C'}) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{\varepsilon_{tx}} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\overline{\varepsilon_{tz}} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (13)$$

Dans cette équation (11), on a :

- U est la vitesse moyenne et C la concentration moyenne,
- $U' = u - U$ et $C' = c - C$ représentent, dans le profil, les déviations de $u(z)$ et de $c(z)$ par rapport à ses valeurs moyennes, U et C , respectivement (Fig. 9),
- Le terme, $\partial(UC)/\partial x$, représente la dispersivité longitudinale, appelée aussi la diffusion différentielle due à la répartition de la vitesse sur la profondeur d'eau,
- $\overline{\varepsilon_{ti}}$ sont les diffusivités turbulentes moyennes.

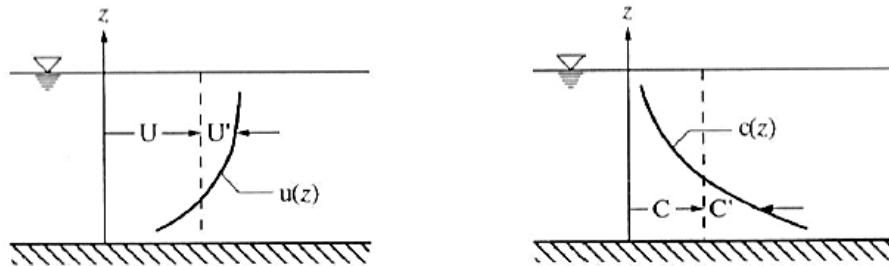


Figure 9 : Répartition de la vitesse et de la concentration

Les valeurs moyennes sur la profondeur sont :

$$\int_0^h u \, dz = U h \quad (14)$$

$$\int_0^h c \, dz = C h \quad (15)$$

$$\int_0^h uc \, dz = \overline{uc} h = (UC + \overline{U'C'})h \quad (16)$$

$$\int_0^h \varepsilon_{ti} \frac{\partial c}{\partial x_i} \, dz = \left(\overline{\varepsilon_{ti}} \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) h \quad (17)$$

Ainsi, en transport par diffusion-convection on parle de quatre phénomènes suivants :

- La diffusivité,
- La diffusion transversale,
- La dispersivité,
- La dispersion longitudinale et
- La dispersion avec réaction.

I.3.3.1. DIFFUSIVITE

L'estimation de la valeur de la diffusivité turbulente est importante, il a été démontré que la diffusivité doit être liée à une longueur et à une vitesse caractéristique :

$$\varepsilon_t \approx L_c U_c \quad (18)$$

Pour un écoulement dans un canal ayant une profondeur d'eau, h , et une vitesse de frottement, u^* , on pose :

$$\varepsilon_t \approx h u^* \quad (19)$$

La diffusivité turbulente est en général un tenseur diagonal, $\vec{\varepsilon}_t(\varepsilon_{tx}, \varepsilon_{ty}, \varepsilon_{tz})$. On distingue donc une diffusivité longitudinale, ε_{tx} , transversale, ε_{ty} , et verticale, ε_{tz} .

Il n'y a pas de relation théorique pour la détermination de la diffusivité longitudinale, ε_{tx} , Selon les expériences (Elder, 1959), la relation suivante a été proposée :

$$\varepsilon_{tx} \cong 0.23 (h u^*) \quad (20)$$

La diffusivité longitudinale par la turbulence est habituellement considérée comme peu importante car la dispersion longitudinale, K'_x , qui résulte de la répartition de vitesse est dominante.

Pour la diffusivité transversale, ε_{ty} , il n'y a pas de relation théorique pour la détermination également. Pour les cours d'eau irréguliers avec des variables méandres (Fischers et al., 1979), des expériences ont conduit à la valeur approximative suivante :

$$\varepsilon_{ty} \cong 0.6 (h u^*) \quad (21)$$

La diffusivité transversale atteint toute la largeur du cours d'eau, B , après une certaine distance, L_y , ou après un certain temps, t_y , soit :

$$t_y = \xi_y \frac{B^2}{\varepsilon_{ty}} \quad \text{ou} \quad L_y = \xi_y U \frac{B^2}{\varepsilon_{ty}} \quad (22)$$

Le coefficient ξ_y dépend de la position de la source : $\xi_y = 0.5$ si l'introduction de la source est aux berges du cours d'eau, ou $\xi_y = 0.1$ si l'introduction de la source est au centre du cours d'eau (Rutherford, 1994).

Quant à la diffusivité verticale, elle atteint pratiquement toute la profondeur d'eau, h , après une certaine distance, L_z , ou après un certain temps, t_z , comptés à partir du point de l'introduction de la substance (Fischer et al., 1979), soit :

$$t_z = \xi_z \frac{h^2}{\varepsilon_{tz}} \quad \text{ou} \quad L_z = \xi_z U \frac{h^2}{\varepsilon_{tz}} \quad (23)$$

Le coefficient ξ_z dépend de la position de la source : $\xi_z = 0.4$ si l'introduction de la source est aux berges du cours d'eau, ou $\xi_z = 0.1$ si l'introduction de la source est au centre du cours d'eau (Rutherford, 1994).

Divers scénarios de la diffusivité ont été investigués, la figure suivante résume schématiquement la distance de la diffusivité totale sur la verticale, L_z , et celle sur la transversale, L_y , pour une injection instantanée et continue.

Pour les distances au-delà, $L > L_y$, il y a dispersion longitudinale.

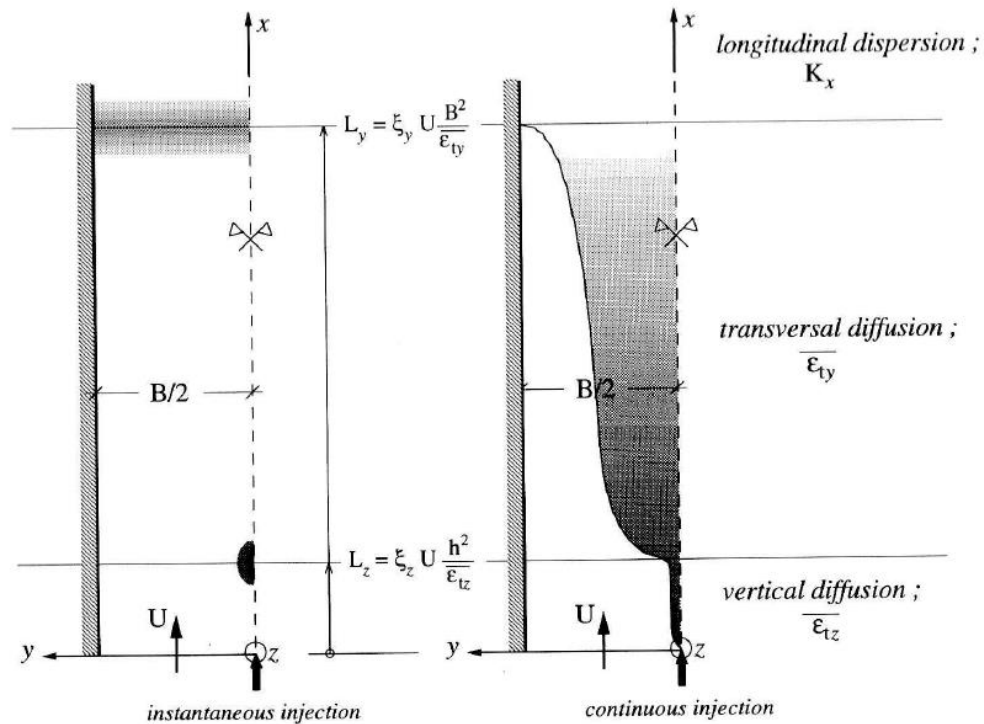


Figure 10 : Schéma de la diffusivité instantanée et continue

On distingue donc trois zones :

- La diffusivité verticale est un phénomène qui se produit dans une zone proche de la source. La zone s'étend jusqu'à une distance, L_z . A noter que, dans cette zone, l'impulsion avec laquelle la substance est injectée peut avoir une importance.
- Cette zone proche est suivie d'une zone moins proche où la diffusivité transversale se développe. La zone s'étend jusqu'à une distance, L_y .
- Cette zone éloignée est ensuite suivie d'une zone plus lointaine où la diffusivité prend place et la concentration de la source est répandue à travers toute la section.

I.3.3.2. DIFFUSION TRANSVERSALE

Sur la base de la diffusivité, la diffusion transversale peut être déterminée, sachant qu'un cours d'eau est un milieu limité géographiquement, avec une largeur, B . les conditions aux limites sont :

$$\frac{\partial C}{\partial y} = 0 \quad \text{à : } y = 0 \quad \text{et } y = B$$

Par conséquent, les berges sont considérées imperméables de réflexion. De telles conditions aux limites peuvent être satisfaites en créant des sources imaginaires, $n = 1, 2 \dots N$. Une solution pour milieu limité peut être donnée (Rutherford, 1994) comme :

$$C(x,y) = C_u(x,y + y_0) + C_u(x,y - y_0) + \sum_{n=1}^N C_u(x, 2nB \pm y \pm y_0) \quad (24)$$

Où C et C_u sont la concentration en milieu respectivement limité et non limité. B est la largeur du canal et y_0 est la position transversale en y où une source est injectée.

Une solution de l'équation (24), sous forme graphique s'avère très utile. La Figure 11, montre les résultats pour une source positionnée au centre, $y^* = y/B = 0.5$, et à une berge, $y^* = y/B = 0.0$, du cours d'eau. Cette solution est aussi valable pour une source positionnée à $y^* = 1.0$, donc à l'autre berge. Cela est dû au fait que les conditions aux limites sont symétriques.

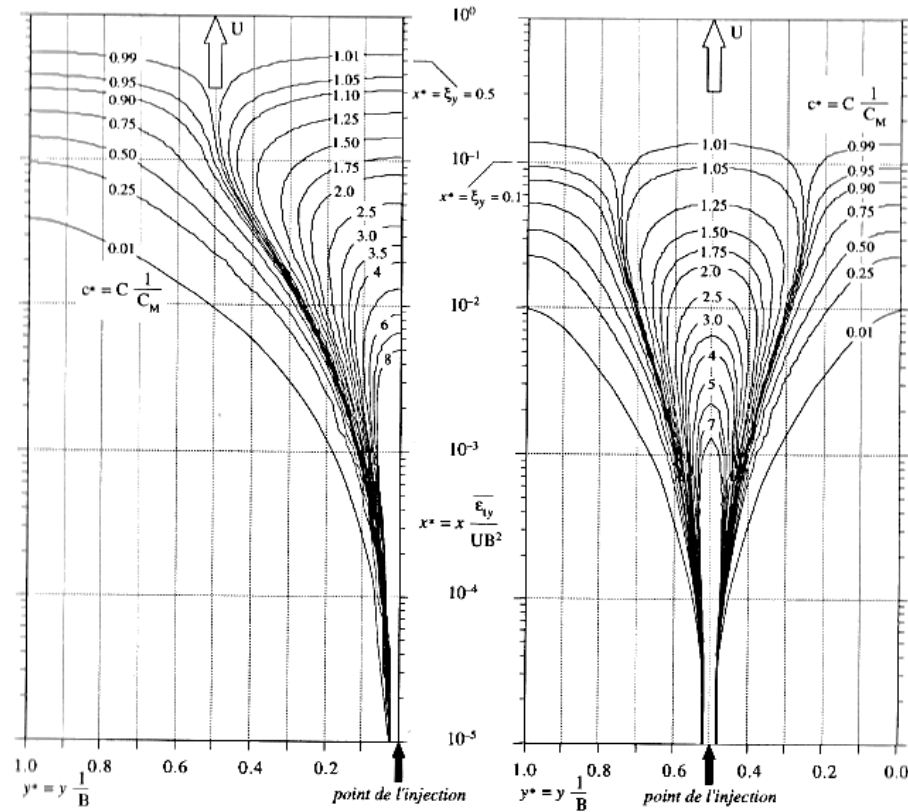


Figure 11 : Solution générale de la diffusion transversale pour un polluant injecté à une berge ou au centre du cours d'eau

Les variables dans l'équation (24), ont été exprimées de façon adimensionnelle :

- La distance transversale : $y^* = y \frac{1}{B}$,
- La distance longitudinale : $x^* = x \frac{\overline{\varepsilon_{ty}}}{UB^2}$,
- La concentration : $c^* = C \frac{1}{C_M}$.

Où C , est la concentration moyennée sur la profondeur d'eau et $c^* = G_0/Q$ est la concentration moyenne finale après que la diffusion transversale soit complètement achevée sur toute la largeur, B , du canal. Q est le débit total dans le canal et $G_0 = (M_0/t)$, est le débit massique de la substance injectée. A noter encore que la vitesse, $u = U$, et la diffusivité transversale, $\varepsilon_{ty} = \overline{\varepsilon_{ty}}$, sont admises comme étant constantes dans la section du cours d'eau.

Pour des problèmes plus complexes, tel que le parcours d'un cours d'eau en différents régimes d'écoulement des modèles numériques s'imposent pour déterminer la diffusion transversale (Rutherford, 1994).

I.3.3.3. DISPERSIVITE

Dans la convection-diffusion en régime turbulent il y a diffusion mais également dispersion. Le terme dispersion longitudinale est dû à la répartition de la vitesse du transport convectif longitudinale.

La vitesse, $u(z)$, et la concentration, $c(z)$, sont réparties dans une section (Figure 9). Leurs valeurs moyennes, U et C , sont définies précédemment. U' et C' représentent les déviations des valeurs, $u(z)$ et $c(z)$, par rapport aux valeurs U et C .

Il a été admis par Taylor (Fischer et al., 1979) que la quantité $(\overline{U'C'})$ est proportionnelle au gradient de la concentration moyenne, C , soit :

$$-\overline{(U'C')} = -\frac{1}{h} \int_0^h U'C' dz = K_x' \frac{\partial C}{\partial \xi} \quad (25)$$

Avec K_x' est coefficient de dispersivité turbulente longitudinale, où $K_x' + \overline{\varepsilon_{ty}} = K_x$. Alors que $\xi = x - Ut$, représente l'abscisse d'un observateur accompagnant le mouvement à la vitesse moyenne, U .

Pour des cours d'eau naturels, on donne comme solution à la dispersivité (Fischer et al., 1979) une valeur approximative :

$$K_x = 0.011 \frac{B^2 U^2}{hu^*} \quad (26)$$

D'autre part, pour le cas de l'écoulement dans les cours d'eau où il y a répartition de la vitesse dans la verticale aussi bien que dans la transversale (Fischer et al., 1979), on donne en générale :

$$140 < \frac{K_x}{hu^*} < 500 \quad (27)$$

Des valeurs élevées de K_x , doivent souvent être associées à des écoulements avec des zones à grandes irrégularités géométriques; l'eau y reste stagnante et ne participe que lentement au processus de mélange.

L'extrême variabilité de la dispersivité, K_x , tient en partie au fait que les hypothèses utilisées pour obtenir l'expression du modèle de Taylor, ne sont pas toujours satisfaisantes.

La valeur choisie pour la dispersivité, K_x , doit toujours être considérée comme approximative.

I.3.3.4. DISPERSION LONGITUDINALE

On présentera ici quelques solutions analytiques au phénomène de la dispersion longitudinale d'une substance polluante.

Dans un premier cas, la masse totale de la substance, M_0 , est introduite ou arrive uniformément sur toute la section, S , du cours d'eau, de façon quasi instantanée (Figure 13.a). La solution (Daily et Harleman, 1966) à l'équation de la dispersion longitudinale pour n'importe quel instant, t , est :

$$C(x,t) = \frac{M_0}{\sqrt{4\pi K_x t}} \exp \left[-\frac{(x - Ut)^2}{4 K_x t} \right] \quad (28)$$

Où, $M_1 = M_0/S$, est une source surfacique instantanée en unité $[\text{kg}/\text{m}^2]$. La matière, M_0 , se déplace à la vitesse moyenne, U , et en même temps s'étale selon une courbe gaussienne-normale (Figure 12).

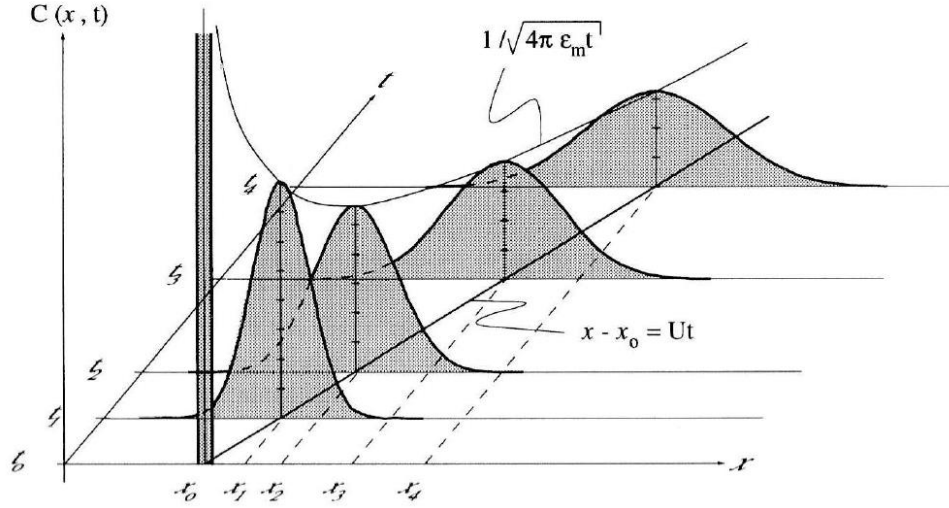


Figure 12 : Evolution de la concentration, $C(x,t)$, pour une masse, M_0

La concentration maximale, C_{\max} , est propagée à la vitesse, $U = x/t$, et elle décroît avec le temps :

$$C_{\max}(t) = \frac{M_1}{\sqrt{4\pi K_x t}} \times 1 = \frac{M_1}{\sqrt{4\pi K_x x/U}} \quad (29)$$

Dans un deuxième cas, la masse totale de la substance, M_0 , est introduite ou arrive uniformément répartie sur toute la section, S , du cours d'eau pendant un temps variable ou fini, M_0/T (Figure 13.b), peut être assimilé par une série d'injections successives de petites masses, $(M_0/T)\Delta\tau = m_i$, pendant un temps, $\Delta\tau$, infiniment petit. Chaque mini injection va créer son nuage qui évolue de façon gaussienne (Fischer et al., 1979) :

$$\Delta C_i(x,t) = \frac{m_i}{S \sqrt{4\pi K_x(t - \tau_i)}} \exp\left[-\frac{[x - U(t - \tau_i)]^2}{4 K_x(t - \tau_i)}\right] \quad (30)$$

Enfin, la concentration totale est la somme des concentrations de chacune des mini-injections, soit :

$$C(x,t) = \sum_{i=1}^n \Delta C_i(x,t) = \frac{1}{S\sqrt{4\pi K_x}} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\sqrt{t - \tau_i}} \exp\left[-\frac{[x - U(t - \tau_i)]^2}{4 K_x(t - \tau_i)}\right] \quad (31)$$

Dans un troisième cas, à une certaine station, $x = 0$, une concentration est introduite ou arrive uniformément répartie sur toute la section, S , du cours d'eau pendant de façon permanente et constante, $C_0 = \text{Cte}$ (Figure 13.c). la solution (Daily et Harleman, 1966) pour n'importe quel instant, t , est :

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2} \left[\exp\left(\frac{Ux}{K_x}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x + Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{x - Ut}{\sqrt{4K_x t}}\right) \right] \quad (32)$$

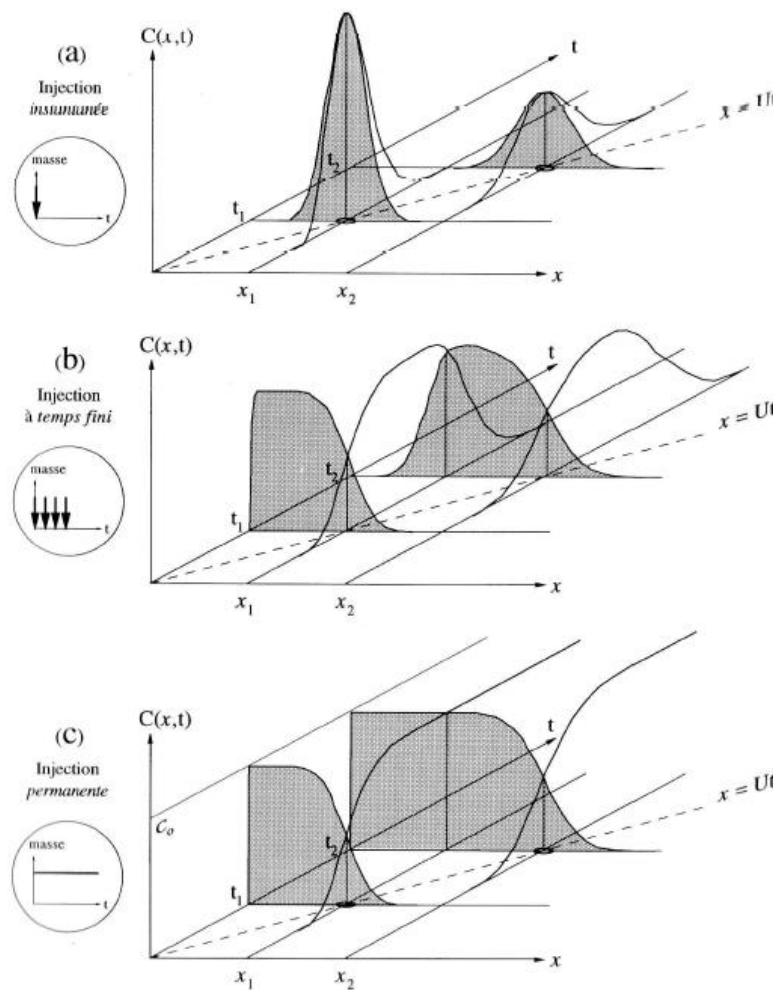


Figure 13 : Evolution de la concentration, $C(x,t)$, introduite uniformément sur toute S : a) de façon instantanée, b) temps variable ou fini, c) de façon permanente et constante

I.3.3.5. DISPERSION ET TRANSPORT AVEC REACTION

Il existe néanmoins un certain nombre de problèmes où le terme des sources internes doit être considéré. C'est notamment le cas s'il s'agit d'une substance réactive qui ne se conserve pas; dans un tel cas, le mélange est le siège d'une transformation dans sa composition.

L'équation de convection-dispersion s'écrit alors :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \pm (K_r C) \quad (33)$$

Où $(K_r C)$ est le terme de réaction chimique du premier ordre. Il exprime le taux avec lequel une substance active augmente (+) ou diminue (-) par réaction. K_r , est un coefficient (constant) de réaction de la substance dans le mélange, en dimension $[1/T]$. U et C sont la vitesse et la concentration moyenne dans la section.

Il faut rappeler que cette équation unidimensionnelle est seulement valable si la concentration de la substance, C , est bien répartie sur toute la section. Il existe deux solutions analytiques à cette équation.

Le premier cas, la masse totale de substance active, M_0 , est introduite sur toute la section, S , de façon instantanée, la solution est donnée par (Metcalaf, 1972) :

$$C(x,t) = \frac{M_0}{S\sqrt{4\pi K_x t}} \exp\left[-\frac{(x-Ut)^2}{4 K_x t} \pm k_r t\right] \quad (34)$$

Dans ce cas, la matière se déplace à la vitesse moyenne, U , et s'étale selon une courbe gaussienne-normale mais augmente (+) ou diminue (-) lentement de façon exponentielle en raison de la réaction.

Pour le second cas, La concentration de substance active, C_0 , est introduite sur toute la section, S , de façon permanente et constante. On admet ensuite la condition aux limites de $C \rightarrow 0$ à $x \rightarrow \infty$ et l'état permanent lorsque $t \rightarrow \infty$. Une solution à l'équation (31) s'écrit (Fischer et al., 1979) comme :

$$\frac{C(x)}{C_0} = \exp\left\{-\frac{k_r x}{U} \left[\frac{2}{\alpha_r} (\sqrt{\alpha_r + 1} - 1) \right]\right\} \quad (35)$$

Où : $\alpha_r = (4 K_x K_r / U^2)$ est un coefficient dimensionnel de réaction dispersion ; $(-K_r)$ est pris de façon décroissante.

L'évolution de la concentration, selon cette équation, est montrée dans la figure 14, la concentration de la substance active décroît de façon exponentielle. Le coefficient (constant) de réaction de la substance dans le mélange, K_r , dépend de la substance elle-même et de la température. Dans le cas où la dispersion longitudinale est négligeable, l'équation de convection- dispersion avec réaction devient :

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \pm(K_r C) \quad (36)$$

L'intégration de cette équation donne :

$$\frac{C(x)}{C_0} = e^{\pm K_r (x/U)} \quad (37)$$

En mesurant la vitesse moyenne, U (ou le débit d'écoulement du cours d'eau à la section S_0 à $x = 0$), et les concentrations, $C(x)$ et C_0 (à $x = 0$), le coefficient de réaction K_r peut être déterminé par l'équation précédente.

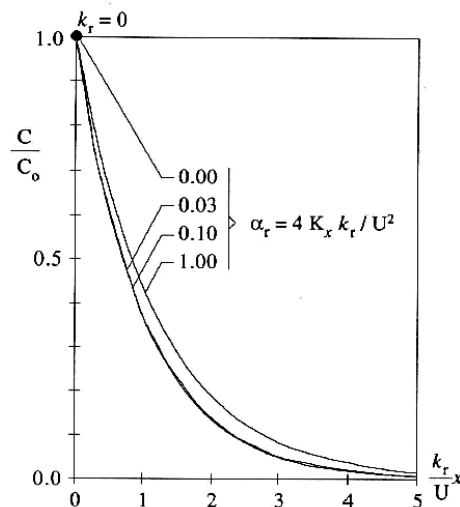


Figure 14 : Evolution de la répartition de la concentration, C/C_0 , pour une convection-dispersion avec réaction

I.4. POUVOIR AUTO-EPURATEUR DES COURS D'EAU

L'équation du transport avec réaction (36), peut être utilisée pour étudier le pouvoir auto-épurateur des cours d'eau qui reçoivent des eaux usées riches en matières organiques polluantes, dont la dégradation s'effectue grâce aux micro-organismes épurateurs, par réaction biochimique en utilisant l'oxygène dissous dans le flux.

On exprime la variation totale de la concentration d'oxygène dissous dans l'eau, $C_{(OD)}$, par l'équation différentielle (Metcalf, 1972) suivante :

$$U \frac{dC_{(OD)}}{dt} = R + P - (K_r C_{(DBO)} + F + A) \quad (38)$$

Les sources d'oxygène sont : la ré-oxygénation à travers la surface du cours d'eau, R , et la photosynthèse, P . La consommation d'oxygène (oxydation) biochimique s'effectue par la DBO, $C_{(DBO)}$, la respiration des boues déposées au fond, F , et aussi la respiration endogène, A .

L'évaluation - par des mesures in situ - de certains paramètres, P , F et A , s'avère difficile, raison pour laquelle on admet souvent leur non importance. En plus, on admet l'état permanent, $dC/dt = 0$, et la relation ci-dessus s'écrit :

$$U \frac{\partial C_{(OD)}}{\partial x} = R - K_r C_{(DBO)} \quad (39)$$

La teneur en oxygène dissous dans l'eau est habituellement considérée comme un critère important de la qualité de l'eau.

En cas de manque d'oxygène dissous, les micro-organismes anaérobies entrent en jeu ; ils empruntent l'oxygène nécessaire à des substances, telles les nitrates et les sulfates, et provoquent des odeurs nauséabondes, avec une mauvaise dégradation de la matière.

Ainsi, pour avoir un pouvoir auto-épurateur, il faut s'assurer de trois paramètres :

- L'oxygénation biochimique,
- La ré-oxygénation et
- Le bilan d'oxygène dissous.

I.4.1. OXYGENATION BIOCHIMIQUE

Pour estimer l'évolution de l'oxygénation biochimique (DBO), on utilise la relation (36) :

$$U \frac{\partial C_{(DBO)}}{\partial x} = -K_r C_{(DBO)} \quad (40)$$

La DBO_5 est généralement mesurée au moyen d'un test sur un échantillon d'eau prélevé en rivière et incubé en laboratoire pendant cinq jours. Cela est un index représentatif de la consommation d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques. On sous-entend : $DBO_5 = C_{5(DBO)}^*$. La solution de l'équation (41) est donnée par :

$$C_{5(DBO)}^* = C_{0(DBO)} [1 - e^{-K_r(5)}] \quad (41)$$

Dans le tableau suivant, quelques valeurs du coefficient de réaction, K_r , en fonction de la concentration initiale de la DBO, $C_{0(DBO)}$, et de type du flux rejeté dans une rivière.

Tableau 2 : Coefficient de réaction des matières organiques contenue dans les eaux usées

	K_r [j^{-1}]	$C_{0(DBO)}$ [mg/l]
Eau usée, chargée	0.39	> 250
Eau usée, peu chargée	0.35	150 à 250
Eau usée, épurée	0.12 à 0.23	15 à 75
Eau de consommation	< 0.12	< 1

I.4.2. REOXYGENATION

La ré-oxygénation de l'eau dans le cours d'eau se fait essentiellement par transfert gazeux de l'atmosphère vers l'eau qui est favorisé par le vent, les vagues et le renouvellement constant de l'eau à la surface. Cette oxygénation naturelle peut être assistée par différents types d'oxygénation artificielle. Le taux de ré-oxygénation dépend aussi du déficit en oxygène de l'eau du cours d'eau.

En utilisant l'équation (36), le déficit d'oxygène, $D_{(OD)}$, est donné par :

$$D_{(OD)} = D_{0(OD)} [e^{-K_a(x/U)}] \quad (42)$$

Où le déficit d'oxygène, $D_{(OD)} = (C_{s(OD)} - C_{(OD)})$, avec C_{OD} est la concentration d'oxygène dissous, $C_{s(OD)}$ la concentration de saturation en oxygène dissous, et $D_{0(OD)}$ est le déficit initial à $x = 0$, alors que le coefficient de ré-oxygénation, K_a , dépend de la température de l'eau.

La concentration de saturation, $C_{s(OD)}$ [mg/l], est une fonction qui décroît avec la température, T [°C], (Fair et al., 1968) :

$$C_{s(OD)} = 14.65 - 0.41 (T) + 0.008 (T^2) \quad (43)$$

Le coefficient de ré-oxygénation, K_a , dépend du volume de l'eau participant au transfert et de la surface de contact entre l'air et l'eau (Rayon hydraulique, R_h [m]), il est déterminé empiriquement par la relation (Fair et al., 1968) :

$$K_a = 5 U/R_h^{5/3} [j^{-1}] \quad (44)$$

I.4.3. BILAN D'OXYGENE DISSOUS

En matière d'oxygène dissous, dans un cours d'eau en assiste à un état d'oxygénation et désoxygénation, dont la relation est déduite à partir des relations suscitées :

$$U \frac{\partial C_{(OD)}}{\partial x} = k_a (C_{s(OD)} - C_{(OD)}) - k_r C_{(DBO)} \quad (45)$$

L'intégration de cette équation, permet de déterminer l'évolution du déficit en oxygène dissous, $D_{(OD)}$, qui est exprimé par l'addition des deux courbes de l'oxygénation et la désoxygénation :

$$D_{(OD)} = \frac{k_r}{k_a - k_r} C_{0(DBO)} [e^{-k_r(x/U)} - e^{-k_a(x/U)}] + D_{0(OD)} [e^{-k_a(x/U)}] \quad (46)$$

Cette courbe « en sac », appelée aussi courbe de fléchissement de l'oxygène dissous, a été présentée en 1925 par Streeter et Phelps (Fair et al., 1968). Compte tenu des hypothèses importantes, il est évident que ce modèle reste seulement schématique et néglige quelques phénomènes.

La courbe « en sac » peut être interprétée comme suit :

- Au départ, les eaux dans un cours d'eau sont saturées ou presque avec l'oxygène dissous, $C_{(DO)} = C_{s(DO)}$, le déficit en oxygène est donc nul, $D_{(DO)} = 0$.
- Après introduction des eaux usées, une décomposition biochimique des eaux usées avec l'oxygène dissous, $C_{(OD)}$, commence. Un déficit en oxygène dissous, $D_{(OD)}$, s'établit.
- Ce déficit en oxygène dissous, $D_{(OD)}$, sera plus ou moins comblé par la ré-oxygénation des eaux par transfert gazeux.
- Après une certaine distance (temps), souvent importante, les eaux dans le cours d'eau, y compris les eaux usées, sont à nouveau saturées ou presque avec l'oxygène dissous, $C_{(OD)} = C_{s(OD)}$ le déficit en oxygène est ramené à zéro, $D_{(OD)} = 0$.

L'état critique d'un cours d'eau (déficit maximal ou critique, $D_{K(OD)}$) ne se produit pas au point de rejet, mais à une distance éloignée, x_K , et à un temps $t_K = (x_K/U)$. la valeur de l'état critique est déduite par (Metcalf, 1972) :

$$D_{K(OD)} = \frac{k_r}{k_a} C_{(DBO)} = \frac{k_r}{k_a} C_{o(DBO)} [e^{-k_r(x/U)}] \quad (47)$$

Alors que la distance critique est égale :

$$x_K = \frac{U}{k_a - k_r} \ln \frac{k_a}{k_r} \left[1 - \frac{D_{o(OD)} (k_a - k_r)}{k_r C_{o(DBO)}} \right] \quad (48)$$

On arrive ainsi, à calculer la teneur en oxygène dissous minimale dans le cours d'eau, qui est souvent utilisée comme critère de la qualité de l'eau :

$$C_{K(OD)} = C_{s(OD)} - D_{K(OD)} \quad (49)$$

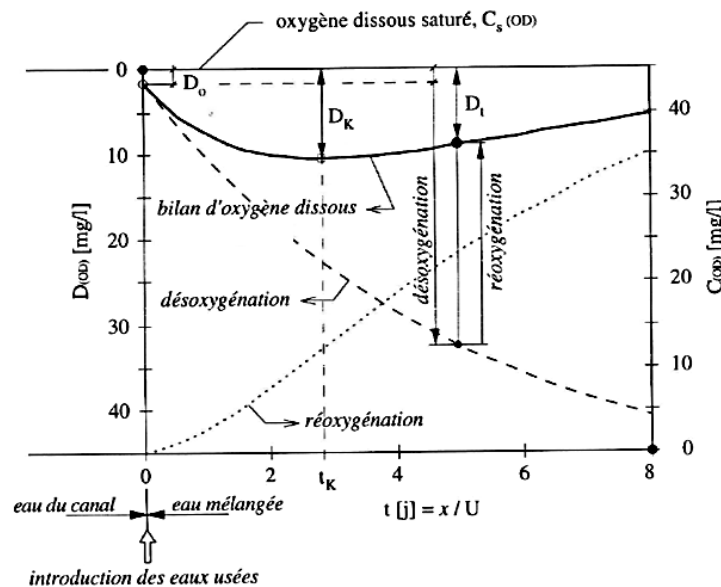


Figure 15 : Evolution de la concentration et du déficit en oxygène dissous, désoxygénation et ré-oxygénation

I.5. EUTROPHISATION DU MILIEU

L'eutrophisation est un concept normalement utilisé pour décrire un phénomène d'accroissement excessif d'algues ou de plantes aquatiques supérieures associé à des apports élevés de sels nutritifs, la prolifération d'algues et d'autres plantes aquatiques, suivie d'une accumulation de biomasse végétale et de débris, résulte en général d'une dégradation de la qualité de l'eau, qui peut nuire de façon significative à son utilisation à des fins multiples. Vollenweider (1968) a défini l'eutrophisation comme « un enrichissement en éléments nutritifs et la détérioration progressive ainsi provoquée de la qualité de l'eau, en particulier dans les lacs, du fait de l'accroissement abondant des algues avec tous ses effets sur le métabolisme des eaux affectées ».

Plus tard, l'OCDE (1982) a formulé la définition suivante: « L'eutrophisation est l'enrichissement des eaux en éléments nutritifs, ce qui aboutit à la stimulation d'une multitude de changements symptomatiques, parmi lesquels l'augmentation de la production des algues et des macrophytes, la détérioration de la qualité de l'eau et d'autres modifications qui sont nuisibles et interfèrent avec l'utilisation des eaux affectées ».

I.5.1. PHASES DE L'EUTROPHISATION DANS UN PLAN D'EAU

Selon Ramade (1981), les principales phases de l'eutrophisation des eaux sont les suivantes :

- Pollution croissante,
- Prolifération des algues,
- Décomposition anaérobie,
- Dégradation extrême du milieu avec une simplification des espèces présentes.

I.5.2. FACTEURS DE CONTROLE DE L'EUTROPHISATION

Pour limiter le phénomène d'eutrophisation, il est nécessaire de connaître les différents facteurs de contrôle de l'eutrophisation.

I.5.2.1. LES NUTRIMENTS

L'eutrophisation est engendrée par l'augmentation des apports de sels nutritifs azotés et phosphorés. Ainsi, il est primordial d'établir un bilan des nutriments dans le milieu en prenant en compte, si possible, l'évolution au cours du temps des différents paramètres impliqués dans ces processus.

Ces nutriments ont trois origines : les apports directs par les précipitations tombant sur le plan d'eau ; les apports par les cours d'eau en provenance des bassins versants et les apports provenant de rejets anthropiques directs dans le plan d'eau.

I.5.2.2. AZOTE

L'azote apporté au milieu provient de trois sources principales :

- Rejets domestiques,
- Rejets industriels,
- Rejets diffus issus du lessivage des sols enrichis en engrais azotés.

L'ampleur et la hiérarchie des apports d'azote aux eaux de surface sont donc fonction de l'importance relative de l'urbanisation (rejets domestiques), de l'industrialisation (rejets industriels) et de l'intensification de l'agriculture (rejets issus du lessivage des sols) de la région considérée.

I.5.2.3. PHOSPHORE

On distingue deux formes principales du phosphore :

- les phosphates (sous forme HPO_4 ou H_2PO_4 dans les eaux naturelles) correspondent à la fraction de phosphore qui se trouve sous forme minérale dissoute.
- le phosphore total (PT) résulte de l'analyse d'eaux non filtrées. Cette fraction rassemble le phosphore organique et minéral, dissous et particulaire.

La majorité des apports de phosphore provient de sources ponctuelles : rejets urbains ou industriels, déjections animales provenant d'élevages traditionnels ou industriels.

Quelles que soient ses origines, le phosphore se retrouve dans les eaux de surface sous plusieurs formes : organiques (phospholipides, phosphoprotéines,...) et minérales (phosphates et polyphosphates), plus ou moins complexées. Les relations du phosphore avec les sédiments des cours d'eau et avec les sols régissent la plus grosse part des apports dans les eaux superficielles (Matejka et al., 1992).

I.5.2.4. MATIERE ORGANIQUE

Les apports importants de matière organique peuvent être une source de perturbation dans un écosystème aquatique avec une consommation de l'oxygène dissous lors de la décomposition de la matière organique.

L'origine de l'excès de ces apports peut être endogène (forte production primaire), la désoxygénation des eaux se manifesterait alors en profondeur, où le phytoplancton sédimente et où la lumière est insuffisante pour que la production primaire contribue à la réoxygénation des eaux. Une augmentation importante de la mortalité de la faune la plus sensible est alors observée (Pouriot & Meybeck, 1995).

I.5.2.5. CLIMAT ET HYDROLOGIE

Le climat influence la productivité des lacs en agissant sur l'apport annuel d'eau et d'énergie, sur l'hydrologie du bassin versant et sur le taux de renouvellement de l'eau, ainsi que sur le transport des nutriments et sédiments vers le plan d'eau (Moss et al., 2005).

Le climat détermine entre autres la température de l'eau, la durée de la période de croissance végétale, la direction et la force du vent, la pluviométrie et la stratification thermique du plan d'eau. La disponibilité en énergie solaire est un facteur important du contrôle de la productivité phytoplanctonique.

Ainsi, l'augmentation de température dans les systèmes aquatiques liée au réchauffement climatique peut accélérer le développement des microorganismes et conduire à une majoration de l'eutrophisation.

Par ailleurs, cette augmentation de la température peut induire une augmentation de l'évaporation et conduire alors à un accroissement des concentrations en nutriments dans les eaux, ce qui favorisera également l'eutrophisation.

Les lacs et les réservoirs reçoivent alors des apports considérables de sédiments et autres matériaux en saison de pluie. En outre, le calendrier des pluies, la nature des activités agricoles en fonction de ce calendrier des précipitations, jouent un rôle majeur dans le transfert des nutriments vers les systèmes aquatiques.

I.5.2.6. GEOLOGIE ET TOPOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant forme une unité de base de l'écosystème, puisque les fractions terrestres et aquatiques du bassin hydrographique sont intimement reliées par le déplacement de matériaux, des terres vers l'eau (LIKENS et BROMANN, 1974). La composition chimique de l'eau d'un lac dépend donc de la composition géologique du bassin versant, de sa dimension et de sa topographie.

Le contenu minéral des eaux douces varie considérablement en fonction des caractéristiques climatiques et géochimiques. En général, les roches éruptives contiennent de 0,07 à 0,13% de phosphore (sous forme d'apatite). Le pourcentage de phosphore est plus élevé dans les roches volcaniques proprement dites mais ce sont les roches sédimentaires qui sont les plus riches en phosphore (Cözar et al., 2007).

Pour un bassin versant exempt d'activités humaines, la quantité de nutriments fournis au plan d'eau par les précipitations, le sol et la végétation est souvent inversement proportionnelle au volume du lac (Schindler, 1971). Pour les bassins similaires présentant les mêmes caractéristiques générales (rapport superficie du bassin versant / volume du lac, etc.), les teneurs en éléments nutritifs dépendront surtout de la fertilité du sol du bassin versant.

I.5.2.7. FACTEURS HUMAINS

Les stations d'épuration des eaux usées et les autres sources ponctuelles du bassin versant sont les sources principales de nutriments (Edmondson, 1970 ; Moss et al., 2005). Alors que la structure géologique et la géographie physique du bassin versant déterminent généralement les caractéristiques physico-chimiques des eaux, la perturbation et la modification du bassin versant par l'homme peuvent engendrer un transfert de nutriments vers le plan d'eau bien plus important que celui dû aux facteurs naturels.

Des changements de techniques de mise en valeur des terres et l'utilisation d'engrais peuvent modifier considérablement la charge nutritive des eaux de ruissellement

Les activités qui dégradent le bassin versant peuvent causer une augmentation de la température du sol, une diminution de la rétention de l'eau par le sol, et une accélération de la minéralisation de l'azote à un moment où son assimilation par la végétation est compromise. Cet azote minéralisé se retrouve dans les rivières et les eaux souterraines (Vitousek et al., 1979).

Les effets combinés de la déforestation et des pertes engendrées par les activités agricoles peuvent causer un enrichissement des rivières qui vont alimenter les lacs en aval.

I.5.2.8. FACTEURS LIES AU PLAN D'EAU

Bien que les causes principales d'une eutrophisation accélérée demeurent le plus souvent externes au plan d'eau, les caractéristiques de ce dernier peuvent en accentuer ou en atténuer les effets.

La productivité globale du plan d'eau n'est pas uniquement fonction des apports externes et des concentrations internes ; la distribution, la disponibilité ou l'assimilation des nutriments sont des facteurs qui interviennent indirectement (BREZONIK, 1969).

Le recyclage interne des substances nutritives à travers le réseau microbien (phytoplancton, zooplancton etc...), le relargage à partir des sédiments de nutriments, de même que les propriétés spécifiques au bassin versant lacustre (morphologie et hydrodynamique), régulent le phénomène d'eutrophisation.

La profondeur moyenne d'un plan d'eau peut influencer considérablement les effets de l'accroissement de la charge nutritive d'un lac ou d'un réservoir.

La teneur en oxygène de l'hypolimnion durant les périodes de stratification thermique dépend en grande partie de la profondeur moyenne de l'hypolimnion. Les processus de dégradation de la qualité de l'eau et de relargage des nutriments à partir des sédiments y sont également étroitement liés (RAMADE, 1994).

La production d'une même biomasse de phytoplancton dans la couche euphotique demandera une consommation en oxygène par unité de volume de l'hypolimnion bien plus importante dans les plans d'eau où l'hypolimnion est profond. La consommation d'oxygène par décomposition bactérienne dans l'hypolimnion (R_H [g d'O₂/m³/j]) peut généralement être estimée de la manière suivante :

$$R_H = L_H/Z_H \quad (50)$$

Avec, L_H : Charge de matière organique facilement dégradée (phytoplancton en décomposition [g/m²/j]) et Z_H : Profondeur moyenne de l'hypolimnion (m).

I.5.3. INDICATEURS DE L'ETAT TROPHIQUE

Les eaux de surface sont classées comme oligotrophes (d'après le terme grec signifiant « peu nourris ») et eutrophes « bien nourris ».

Les eaux de surface oligotrophes sont généralement caractérisés par une faible concentration en nutriments dans la colonne d'eau, une grande diversité des communautés biologiques (végétales et animales), une productivité primaire faible, une biomasse peu importante et des eaux de bonne qualité convenant à la plupart des usages.

Les eaux eutrophes présentent, au contraire, les caractéristiques suivantes : productivité et biomasse élevées à tous les niveaux trophiques, pullulations fréquentes d'algues, eaux de la couche profonde (hypolimnion) déficientes en oxygène durant les périodes de stratification thermique, diversité de plantes et d'animaux souvent réduite, croissance accrue des plantes aquatiques de la zone littorale.

Un troisième terme descriptif mésotrophe a aussi été introduit pour caractériser les masses d'eau en état de transition entre les deux extrêmes trophiques.

Ces derniers temps, d'autres termes encore sont apparus sur l'échelle trophique ultra-oligotrophe pour décrire des systèmes très pauvres en éléments nutritifs et hypereutrophe pour des systèmes extrêmement productifs.

Il existe des relations entre les termes descriptifs de l'état trophique des lacs et les valeurs limites spécifiques de certains paramètres de qualité de l'eau, qui donne une classification correcte si un paramètre au maximum dévie de la moyenne géométrique par ± 2 écarts types (tableau N°03).

Tableau 3 : Classification des états trophiques des lacs (OCDE, 1982)

paramètres		Oligotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Hypereutrophe
Phosphore total (µg/l)	\bar{x}		26,7	84,4	
	± 1 e. s.	4,85-13,3	14,5-49	49-189	
	± 2 e. s.	2,9-22,1	7,9-90,8	16,8-424	
	max-min	3,0-17,7	10,9-95,6	16,2-386	750-1200
	n	21	19	71	2
Chlorophylle a (µg/l)	\bar{x}	1,7	4,7	14,3	
	± 1 e. s.	0,8-3,4	3,0-7,4	6,7-31	
	± 2 e. s.	0,4-7,1	1,9-11,6	3,1-66	
	max-min	0,3-4,5	3,0-11	2,7-78	100-150
	n	22	16	70	2
Chlorophylle a valeur maximale (µg/l)	\bar{x}	4,2	16,1	42,6	
	± 1 e. s.	2,6-7,6	8,9-29	16,9-107	
	± 2 e. s.	1,5-13	4,9-52,5	6,7-270	
	max-min	1,3-10,6	4,9-49,5	9,5-275	
	n	16	12	46	
Profondeur du disque de Secchi (m)	\bar{x}	9,9	4,2	2,45	
	± 1 e. s.	5,9-16,5	2,4-7,4	1,5-4,0	
	± 2 e. s.	3,6-27,5	1,4-13	0,9-6,7	
	max-min	5,4-28,3	1,5-8,1	0,8-7,0	0,4-0,5
	n	13	20	70	

Avec :

\bar{x} = moyenne géométrique.

e. s. = erreur standard à la moyenne

L'évaluation du niveau trophique prend appui sur les apports nutritifs mais aussi sur les facteurs environnementaux comme la profondeur et la morphologie des systèmes aquatiques (Moss et al., 2005 ; Hadj et al., 2008).

I.5.4. STRATIFICATION ET BRASSAGE DE LA MASSE D'EAU

La stratification thermique est l'effet majeur de la température sur le fonctionnement du lac, on peut définir trois zones thermiques :

- L'épilimnion : qui est cette couche superficielle réchauffée. L'eau, mise en mouvement par le vent permet une homogénéisation de la température. L'épaisseur de cette couche est variable selon la saison.
- L'hypolimnion : est la couche inférieure, toujours froide et à température peu variable. Il se situe en fonction des saisons en dessous de 15 à 30 m.
- Le métalimnion : est la couche intermédiaire à température rapidement variable, son épaisseur est de l'ordre de 10 à 15 m.

Les caractéristiques de brassage des cours d'eau et réservoirs sont déterminées principalement par le régime thermique de la masse d'eau. L'envergure et la fréquence du brassage sont, à leur tour, décisifs pour régler la dynamique de la production primaire, le recyclage des éléments nutritifs, les concentrations d'oxygène, etc. La caractéristique spécifique de brassage dépend de la situation géographique, du climat local, de l'évaporation, de l'exposition aux vents, de la taille et de la morphologie du réservoir (LANDNER et WAHLGREN, 1986).

CHAPITRE II : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE

II.1. INTRODUCTION

Dans cette partie nous présentons une description détaillée sur les caractéristiques physiques du bassin versant étudié de l'Oued Mouillah, à savoir :

- Situation géographique,
- Caractère géologique,
- Occupation des sols,
- Présentation climatologique,
- Hydrologie et Hydrogéologie,
- Description socio-économique.

II.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE

L'Oued Mouillah est situé à l'extrême Nord-Ouest de la wilaya de Tlemcen (Nord-Ouest Algérien), Il est l'un des affluents principaux du bassin de l'oued Tafna (7245 km²), considéré comme l'un des quinze (15) bassins les plus importants dans le territoire Algérien (figure 16).

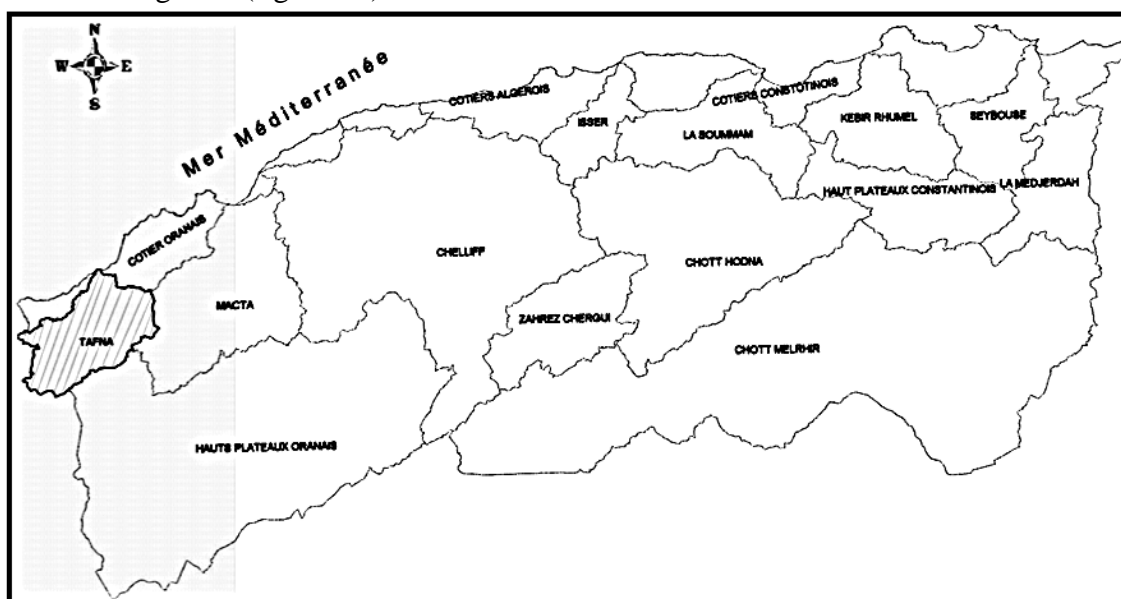


Figure 16 : Les Grands Bassins Versants Algériens (A.N.R.H, 2008)

Le bassin de l'Oued Mouillah occupe une superficie de 2650 km² avec un périmètre de 241 km (largement partagée avec le Maroc). Ce bassin est composé dans sa majorité par les plaines d'Angad (situées à Oujda en territoire Marocain) et celle de Zrigua (située à Maghnia en territoire Algérien).

L'oued Mouillah, affluent rive gauche de l'oued Tafna prend naissance dans la région d'El-Abed en Algérie à 1250 m d'altitude puis pénètre au Maroc et prend le nom de l'oued Isly et suit un cours intermittent.

Il redevient permanent en aval de la ville d'Oujda (Maroc) à 490 m d'altitude pour s'appeler oued Bou- Naïm et pénètre en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation de oued Mouillah (BENADDA, L. 2004).

Il reçoit sur sa rive droite l'oued Ouerdeffou qui forme la réunion des oueds Abbès, Aouina et Mehaguen et sur sa rive gauche les oueds Bou Selit, Ben Saria et El Aouedj. La confluence de l'oued Mouillah avec l'oued Tafna est situé au niveau de Sidi Belkheir à une altitude de 285 m en amont du barrage Hammam Boughrara (Belarbi, F., & al., 2020).

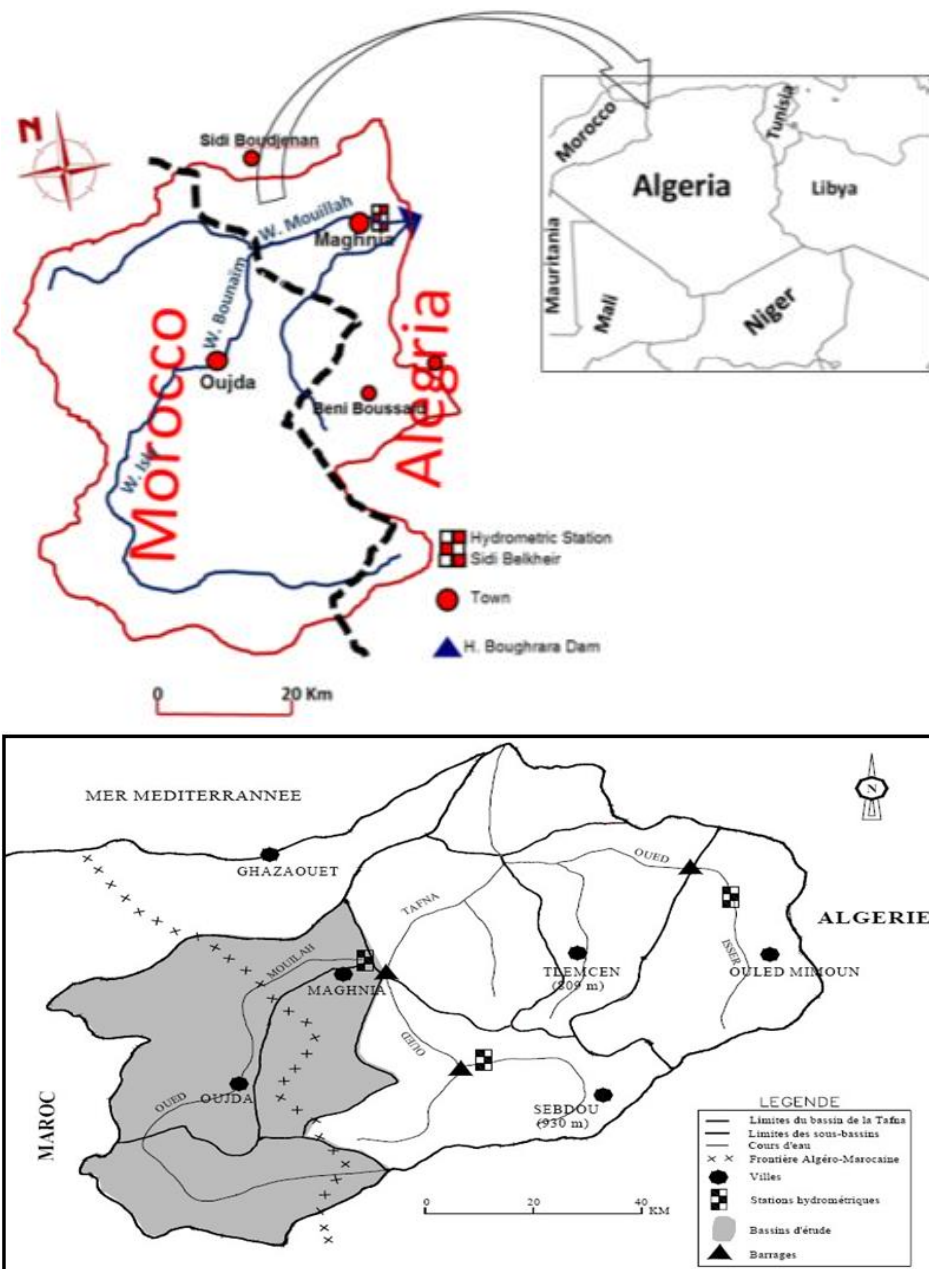


Figure 17 : Situation du bassin versant de l'oued Mouillah (Djelita B., & al. 2016)

Au niveau du point de confluence entre Oued Mouillah et Oued Tafna, au lieu-dit Hammam Boughrara, un barrage a été conçu, il a été mis en eau en 1998, avec une capacité de 177 Mm³, dont 59 Mm³ sont régularisables et 23,30 Mm³ constitue le volume mort. La superficie de son plan d'eau varie de 2,5 à 4,8 km², sa profondeur moyenne est de 15 m et sa profondeur maximale de 32 m (DRE, 2000).

Le barrage Hammam Boughrara est destiné, principalement, à satisfaire les besoins d'alimentation en eau potable (AEP) du couloir Ouest de la Wilaya de Tlemcen (50 Mm³) et 9 Mm³ sont prévus pour l'irrigation (DRE, 2000).

Il faut noter qu'avant la construction du barrage, aucune étude écologique, permettant de prévoir le développement de la qualité de l'eau de la retenue à créer, n'a été réalisée. Quant à l'exploitation du barrage, un suivi a été effectué durant la période 1999–2021.

Les principaux résultats sont représentés dans le tableau 4, Il faut noter que les apports ont été calculés par année hydrologique, c'est à dire de septembre à août.

Tableau 4 : Situation du barrage de Hammam Boughrara 2009 – 2019

Années	Pluie (mm)	Affluent (Mm ³)	Consommation - AEP		Irrigation (Mm ³)	Lâcher (Mm ³)	Fuite (Mm ³)	Evaporation (Mm ³)	Défluent (Mm ³)
			(Mm ³)						
			Oran	Maghnia					
2009–2010	215	11,593	-	-	8,958	-	0,01	3,663	12,612
2010–2011	238,6	36,651	8,888	-	9,626	-	0,014	4,681	23,208
2011–2012	308,6	43,917	39,75	-	9,273	0,324	0,03	4,569	53,946
2012–2013	293,6	38,15	31,98	-	1,916	0,027	0,036	4,173	38,132
2013–2014	346,6	48,371	39,378	-	4,409	0,36	0,036	3,863	48,011
2014–2015	229,3	15,202	6,044	0,342	-	1,023	0,036	3,441	12,196
2015–2016	189,6	38,449	6,909	7,008	-	0,54	0,036	5,093	19,643
2016–2017	253	32,325	1,992	6,49	-	0,343	0,045	6,252	15,122
2017–2018	203	30,12	4,465	3,21	-	0,087	0,026	3,834	16,422
2018-2019	224	50,074	7,24	7,367	9,013	0,232	0,021	-	19,126
2019-2020	321,3	54,534	6,21	8,21	8,887	1,981	0,068	-	57,652
2020-2021	286,6	28,872	8,13	7,91	8,094	0,867	0,044	-	22,168

(Source ANBT)



Figure 18 : Vue d'ensemble de la cuvette du barrage Hammam Boughrara

II.3. CARACTERE GEOLOGIQUE

L'étude des caractères géologiques de la région ont un intérêt primordial non négligeable dans la compréhension des phénomènes qui régissent les relations entre les interactions physiques et le sol (figure N°19).

II.3.1. QUATERNAIRE

Le Quaternaire forme des alluvions et des colluvions rubéfiées dans la croûte calcaire où il présente des taches claires dans le profil. Ces formations correspondent à des colluvions identiques reposant sur des cailloutis non indurés (selon la carte géologique de l'ANRH).

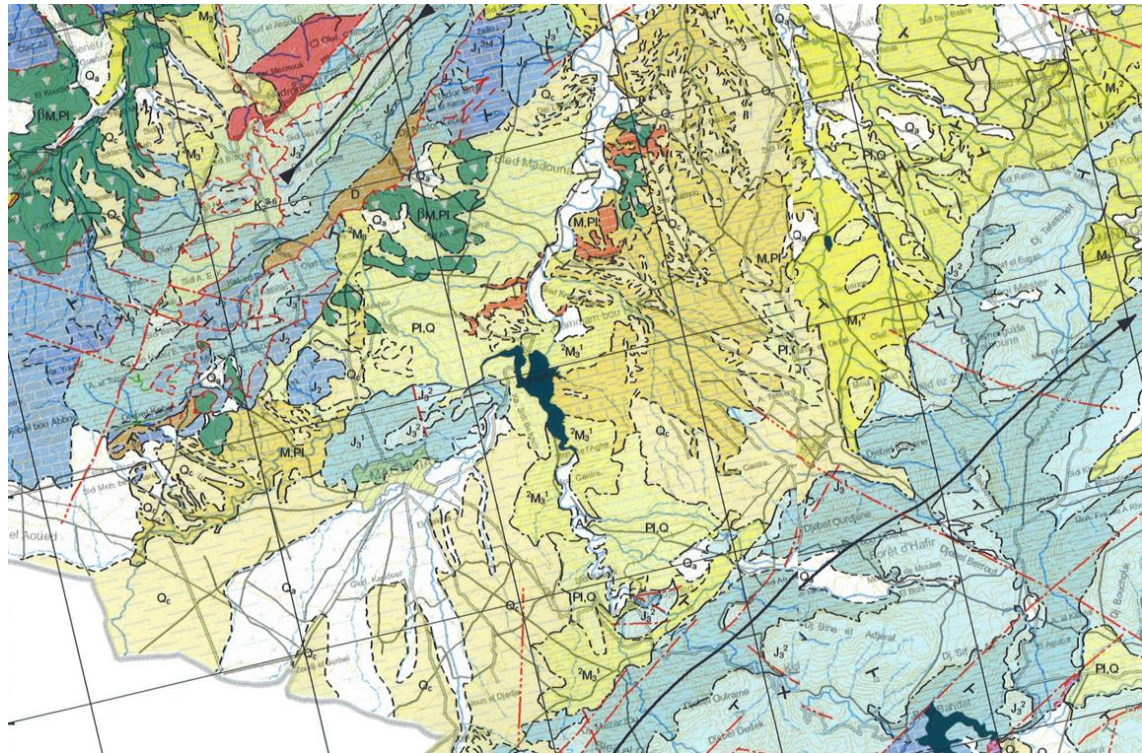
Le quaternaire est classiquement résumé comme suit :

- Des sédiments de pentes (glacis et piémonts) englobant des cailloutis et des limons généralement encrustés du quaternaire moyen ;
- Des terrasses alluviales sont souvent limoneuses avec des lits de sables et de cailloutis et de gros galets ;
- Des dépôts incrustants (travertins) en aval des sources perchées (Hammam Chiguer).

Pour le Plio-Quaternaire, Il est représenté dans le bassin versant de l'Oued Mouilah, par des formations continentales localement lagunaires.

Outre des formations Volcano-sédimentaires représentées par des basaltes, des tufs et des argiles gréseuses. On trouve ces formations dans la plaine Oujda-Maghnia et plaine de Zriga. Au niveau des Hauts plateaux, il est représenté par des conglomerats, des grès calcaires et des calcaires lacustres.

Alors-que, le Volcanisme Néogène, du Miocène supérieur au Quaternaire, la méditerranée occidentale a été le siège d'un volcanisme intense. En raison du caractère calco-alcalin du magmatisme au Miocène supérieur, la plupart des auteurs l'ont associé à des mécanismes de subduction (DELARUE, C., & BROUSSE, 1974).



Légende des formations litho-stratigraphiques

<p>A. Quaternaire (Holocène) Alluvions actuelles : sables, graviers, limons et argiles</p> <p>Q₁ Quaternaire (Holocène) Alluvions actuelles et récentes par endroit : éboulis des pentes et accumulation de piémont - sables, graviers et argiles</p> <p>Q₂ Quaternaire (Holocène) Formations dunaires consolidées, quelques lamachelles, poulingues et grès</p> <p>Q₃ Quaternaire : Croûte calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée</p> <p>Q₄ Quaternaire (Pliocène inférieur/Mioclénien) : Terrasses argiles et cailloutis</p> <p>PI.Q Plio-Quaternaire : Cailloutis (grès et conglomérats) et marnes</p> <p>M₃⁺ Pliocène supérieur (Astien/Pliocénien supérieur) : Grès</p> <p>M₃⁺ Pliocène supérieur (Astien/Pliocénien supérieur) : Calcaires gréseux, calcaires construits, grès, marnes jaunes, sables</p> <p>M₃⁺ Pliocène supérieur (Pliocénien/Pliocénien inférieur) : Marnes, argiles et grès de base</p> <p>M₃⁺ Mio-Pliocène : Basaltes et tufs basaltiques</p> <p>M₃⁺ Mio-Pliocène : Argiles et conglomérats, calcaires lacustres</p> <p>M₃⁺ Miocène supérieur (Messinien) : Argiles sableuses et argiles à tuffis, gypses et argiles gypseuses</p> <p>M₃⁺ Miocène supérieur (Tortonien) : Sables</p> <p>M₃⁺ Miocène supérieur (Tortonien) : Marnes bleues</p> <p>M₃⁺ Miocène supérieur (Tortonien) : Calcaires à lithothamnium et grès à tuyautiers</p> <p>M₃⁺ Miocène supérieur : Rhyolites et tufs rhyolitiques</p> <p>M₃ Miocène moyen (Helvétien) : Calcaires</p>	<p>M₂ Miocène moyen (Helvétien) : Argiles, marnes et grès</p> <p>M₂⁺ Miocène moyen et supérieur (Vindobonien) : Marno-calcaire et grès</p> <p>M₂⁺ Miocène moyen et supérieur (Vindobonien) : Grès et poulingues</p> <p>M₂⁺ Miocène inférieur (Burdigalien) : Marnes</p> <p>M₂⁺ Miocène inférieur (Burdigalien) : Grès et poulingues</p> <p>M₂ Miocène inférieur : Marnes et argiles</p> <p>DM Oligo-Miocène : Alternance de marnes, de grès et parandrites de calcaires</p> <p>O₁ Oligocène : Grès et sables marneux</p> <p>E₁ Eocène supérieur : Marnes, grès et calcaires gréseux</p> <p>E₂ Eocène moyen (Lutétien supérieur) : Marnes, argiles et localement conglomérats</p> <p>E₃ Eocène inférieur et moyen (Yprésien et Lutétien inférieur) : Calcaires à silex et marno-calcaires</p> <p>PI Paléocène-Messinien : Marnes et marno-calcaires</p> <p>M₃⁺ Crétacé supérieur (Coniacien et Santonien) : Calcaires</p> <p>M₃⁺ Crétacé supérieur (Coniacien-Mastrichtien) : Marnes grises et calcaires liés au sommet</p> <p>M₃⁺ Crétacé supérieur (Turonien) : Calcaires et marnes</p> <p>M₃⁺ Crétacé supérieur (Turonien) : Calcaires massifs</p> <p>M₃⁺ Crétacé supérieur (Cénomannien) : Calcaires jaunes, marnes et gypse</p> <p>M₃⁺ Crétacé supérieur (Cénomannien) : Marnes et calcaires</p>	<p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Albien) : Grès, calcaires coires et argiles</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Albien) : Schistes et quartzites</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Aptien) : Calcaires et grès</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Aptien) : Marnes, schistes et calcaires</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Hautlivrien-Barémien) : Grès, dolomies et argiles gréseuses</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Berriasien-Hautlivrien) : Calcaires dolomités et marnes</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Berriasien-Barémien) : Schistes et calcaires</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Indétérminé) : Marno-calcaires</p> <p>M₃⁺ Crétacé sup.-Crétacé inf. : Schistes plus ou moins calcaires et quartzites et calcachistes à faunes</p> <p>M₃⁺ Crétacé inférieur (Tithonien) : Dolomies cristallines, calcaires et marnes</p> <p>M₃⁺ Jurassique supérieur (Kimméridgien-Tithonien) : Calcaires et marnes gypseuses</p> <p>M₃⁺ Jurassique supérieur (Kimméridgien) : Dolomies, calcaires, grès et argiles</p> <p>M₃⁺ Jurassique supérieur (Kimméridgien) : Ensemble marno-calcaire à la base et calcaro-gréseux au sommet</p> <p>M₃⁺ Jurassique supérieur (Kimméridgien) : Supérieur complexe griso-argileux</p> <p>M₃⁺ Jurassique supérieur (Kimméridgien) : Calcaires à polyptères</p> <p>M₃⁺ Jurassique supérieur (Oxfordien) : Argiles, grès calcaires et marnes</p> <p>M₃⁺ Jurassique supérieur (Oxfordien) : Inférieur complexe griso-argileux</p> <p>M₃⁺ Jurassique moyen et supérieur : Calcaires</p>	<p>J₂ Jurassique moyen (Dogger) : Calcaires à silex et dolomies</p> <p>J₂ Jurassique moyen (Dogger) : Argiles siliceuses avec des intercalations de grès</p> <p>J₂⁺ Jurassique inférieur (Pliensbachien et Toarcien) : Calcaires, calcaires marneux et marnes</p> <p>J₂⁺ Jurassique inférieur (Pliensbachien et Toarcien) : Calcaires marneux à silex et marnes</p> <p>J₂⁺ Jurassique inférieur (Hetztingen-Pliensbachien) : Calcaires et dolomies</p> <p>J₂⁺ Jurassique inférieur (Lias) : Calcaires massifs</p> <p>J₂⁺ Jurassique (Indétérminé) : Calcaires</p> <p>T₁ Trias : Anhydrites</p> <p>T₂ Trias : Dorites, ophtes, gabbros</p> <p>T₃ Trias : Gypses, argiles et dolomies noires</p> <p>P₁ Permio-Trias : Schistes, quartzites et conglomérats</p> <p>C Carbonifère : Schistes, psammites, grès, conglomérats et lydennes</p> <p>D Dévonien : Schistes, microbrèches et grès</p> <p>S Silurien : Schistes gris et phanites</p> <p>Ca.O Cambro-Ordovicien : Schistes</p> <p>Pz Paléozoïque : Granites</p>
---	--	--	--

Figure 19 : Extrait de la carte géologique de Tlemcen 1/200.000

II.3.2. TERTIAIRE

Le pliocène supérieur constitue les calcaires lacustres de la basse vallée de l'Oued Mouillah en relation avec la source de Hammam Chigueur. Le Miocène débute par les formations continentales représentées par des bancs d'alluvions assez fins et des conglomérats rubéfiés et passe latéralement dans quelque endroit au Miocène marin qui est représenté par une épaisse formation marneuse bien développée dans le bassin.

La transgression marine n'atteignant pas la région de la moyenne Tafna, il y a continuité de la sédimentation continentale entre le miocène terminal et le pliocène (ZERROUKI, M. A., 2011).

Autrement, cette formation est du Cénozoïque, composée dans la zone comme suit :

II.3.2.1. LE TERTIAIRE MARIN

Il peut être subdivisé en deux ensembles, les dépôts anté-nappes d'âge Miocène inférieur à moyen et les dépôts Miocène supérieur-Pliocène.

Dans le couloir Taza-oujda-maghnia, le Miocène anté et post nappes est représenté par plusieurs formations plus ou moins développées et qui sont du bas vers le haut (Benzaquene et al, 1965) :

- Une formation détritique ou molasse de base (conglomérats, grés, marnes sableuses), son épaisseur varie de 800 m au Sud-ouest de Guercif, à 100 m autour de Terni-Mazgout et les Beni Sassène occidentaux ainsi que dans la région de Taourirt. L'âge de cette formation est supposé Miocène inférieur à moyen dans les Beni Snassène (in Naciri, 1986) et du Tortonien inférieur ailleurs ;
- Une formation de marnes sableuses dont l'épaisseur varie de 1000 m vers M'ssiouene et 550 m au sud-ouest de Guercif et au centre du couloir Taourirt-Oujda-Maghnia où elle se réduit progressivement vers les rebords des paléo-relief. L'âge de cette formation serait Tortonien moyen-supérieur ;
- Une formation marneuse régressive (argiles et marnes), l'âge de cette formation est attribué au Miocène supérieur-Pliocène (Messinien-Pliocène inférieur), son épaisseur est aussi variable mais nettement inférieur à celle de la formation de marnes sableuses.

II.3.2.2. LE TERTIAIRE CONTINENTAL

Il est constitué par des conglomérats, des marnes sableuses, des marnes gypsifères et des calcaires lacustres. L'âge de cette formation serait le Miocène supérieur-Pliocène. L'épaisseur pouvant être importante.

II.3.3. SECONDAIRE

Composé du Crétacé Inférieur et du jurassique, présenté comme suit :

II.3.3.1. LE CRETACE INFERIEUR

Il n'est connu que dans les Beni-Sanassène occidentaux et Djebel Bou Rhena au Nord d'Oujda (Cattaneo, A. 1987), l'avant pays rifain oriental (Benest, M. 1985) et quelques affleurements dans la région de Taourirt, est représenté par le Berriasien et une partie du Valanginien.

Il est caractérisé essentiellement par des niveaux calcareo-gréseux marquant la reprise mésozoïque du Maroc oriental.

Les caractéristiques du Crétacé Inférieur dans la région sont :

- Le Coniacien formé de marnes crayeuses à lits marno-calcaires, gris à ocre pâle à patine blanche. Ces marnes glauconieuses et phosphatées ont une épaisseur de 30 à 50 m.
- Le Cénomaniens est caractérisé à sa base par des argiles pélitiques de couleurs ocre grisâtre, avec quelques bancs de grès glauconieux et phosphatés.
- L'Aptien est représenté au niveau de deux régions :
- Région d'Ain Kebira au niveau des dolomies sableuses, contenant quelques lentilles de calcaire.
- Région de Dar Nasseur : dans cette région l'Aptien est représenté par deux barres de grès rouille surmontées par des calcaires sableux.

II.3.3.2. LE JURASSIQUE

Le jurassique est fort bien caractérisé dans la région presque tous les étages du sommet du lias inférieur au portlandien sont présents et bien datés. Les types lithologiques sont très variés. Le jurassique est divisé en lias, Dogger et jurassique supérieur. Le lias, dans l'ensemble, le lias est calcaire où calcaire marneux (ZERROUKI, M. A., 2011).

On distingue :

- ***Le jurassique supérieur*** : Composé du :
 - ❖ Le Callovo-Oxfordien : Il s'agit de pelites et argiles ocre, à petits bancs de grès quartzitiques sombre.

Ils sont généralement groupés en un seul terme Callovo-Oxfordien, il est répandu dans le bassin de Mouilah, connu comme un ensemble argileux, à minces bancs de grès fins, souvent bariolés. Dans la région comprise entre Djorf Ouazzéne, Dj.Tounzait et la Chebket Tiouli (Maroc), les affleurements du Callovo-Oxfordien sont bien représentés, ils forment pratiquement, la totalité des grabens de l'oued Tazouggart, des plaines de Msiouine et de Tiouli.

Les puissances du Callovo-Oxfordien, mesurées sur les gisements où ces étages sont entièrement observables, manifestent d'étranges variations : relativement faibles à l'Est, elles sont grandes dans la région de Ghar Rouban, et se réduisent beaucoup autour de Tiouli, où la présence de grès en gros bancs indique l'importance des apports détritiques.

- ❖ Kimméridgien : le Djebel Fillaoucène est représenté par des dolomies cristallines massives, le plus souvent bréchiques.
Il se constitue du : Kimmeridgien-Portlandien : les affleurements de cet étage sont répartis dans les mêmes régions que ceux du Lusitanien : bas du Talus des Beni Bou Said, où l'étage n'existe qu'à l'état de lambeaux. Ils sont d'un faciès carbonaté.
A l'intérieur du Maroc, l'étage est formé par des bancs de calcaire et de dolomies, les épaisseurs varient de 10 à 760 m dans les Beni-Snassène. Le Kimméridgien à Barrémien : C'est un ensemble de grès tendres et de passé calcaro-dolomiques, d'épaisseur varie de 10 à 100 m.
 - ❖ Oxfordien supérieur à Kimméridgien : c'est une épaisse série de grès fins, tendres et homogènes, contenant des petits lits de marnes.
 - ❖ Tithonique, constitué du : Tithonique à Barrémien : Ce sont des bancs de dolomies à intercalations de petits lits marno-calcaires d'une épaisseur de 80 cm. Ainsi du Tithonique à Valanginien : Il y a des bancs de dolomies, de calcaires et de grès séparés par des lits marno-sableux.
 - ❖ Bajocien à Callovien inférieur : représenté par des marnes gris jaune, contenant quelques bancs de calcaires à filaments.
 - ❖ Toarcién à Bathonien inférieur : Dans la région du Djebel Kebir, les calcaires peuvent être séparés en deux masses par une combe plus marneuse à lits de calcaires grossièrement sableux.
 - ❖ Le Lusitanien : Les grès lusitanien, connu déjà dans les régions voisines-Fllaoussène, Beni Snasen, Tlemcen- ont été remarqués par tous les auteurs qui ont visité la région de Ghar Rouban. Ils ont une vaste extension ; leur répartition est différente de celle des étages déjà étudiés : l'érosion les a entièrement enlevés du domaine des Horsts, et on ne les retrouve plus que dans les zones tectoniquement abaissées, Monts du Kef, Plateau ras Asfour, Chainon du Koudiet Ed Debagh et dj Raourai. Ils font totalement défaut dans le SW, au Sud de sidi Aissa et à l'Ouest.
- ***Le jurassique moyen et inférieur*** : Composé du :
- ❖ Lias et Dogger : Au centre de la chaîne fillaoucène, on trouve au-dessous des pelites et grès du Callovo-Oxfordien, une série calcaro-dolomitique massive.
 - ❖ Lias moyen et supérieur : A été seul découvert au Djebel Hamra (Sud Est de la ville d'Oudja), l'existence de fossiles au Djebel Hamra (ammonites semble indiquer que le primaire formait un haut fond peut être émergé).
A l'ouest de la zone des horsts, émergée du horst de Ghar Rouban, où règnent des fossés récifaux, la subsidence y est insensible. Vers l'Ouest de la chaîne du fillaoucène, le Lias devient plus marneux, il est formé par des calcaires noduleux, alternant avec des marno-calcaires gris.
Il se termine par des marnes jaunâtres. Par contre, à l'Est et au nord, la zone Oudja – Sebdu, d'abord peu profonde (dolomies), puis s'approfondissant rapidement (calcaires bitumineux à ammonites) prenant ainsi le caractère qu'elle gardera jusqu'à la fin du dogger.

- ❖ Le Toarcien : La surface couverte par les affleurements est beaucoup plus grande au Toarcien qu'au charmouthien, et l'on peut dire que le Toarcien est toarcien est transgressif.
Les faciès sont encore plus variés qu'au Domérien. Toujours à Djebel El Hamra, une coupe montre sur le primaire rubéfié, recouvert lui-même par les couches rouges plus ou moins conglomératiques, et les basaltes altérés du Trias, reposent des calcaires gris Jaunâtres, parfois spathiques : ce niveau peu épais est recouvert de la dolomie qui supporte un calcaire bleu dur et dont la puissance est d'environ 80m, enfin 150 à 200 m de dolomies recouvrent le tout, au jorf el Hendia, au nord de Touissit, on y trouve des calcaires.
- ❖ Le Dogger : Tous Les faciès des calcaires sont encore plus variés, on trouve L'Aalénien et le Bajocien inférieur et moyen, inséparables ; puis le Bajocien supérieur ; enfin et Bathonien, qui passe presque partout, au jurassique supérieur.
- ❖ Le Bajocien Inférieur et Moyen : Dans la zone, la vasière Oudja Sebdu et la partie profondément immergée du horst, dans l'Ouest de la zone des horsts, on trouve comme au Toarcien, une zone à cimentation dolomitique, cette zone s'étend graduellement vers l'Est et occupe une partie, puis la totalité de la chaîne surtout celle de Tenouchfi (l'amont de l'Oued Mouillah).
- ❖ Le Bajocien Supérieur : Le bajocien supérieur ne peut être distingué des niveaux voisins, il fait partie de la masse dolomitique qui représente l'ensemble de l'Aalénien, du bajocien et du Bathonien, à djebel Medolera (amont du BV), on en trouve dans presque toute la série, les dolomies sont très cristallines, grises, roses ou blanches des calcaires prendoolithiques, clairs y sont associés, surtout à la base.
- ❖ Le Bathonien : Le bathonien prend une allure prépondérante en affleurement dans le horst du djebel Ouazzéne, la partie orientale de celui de Touissit Sidi Boubekour et l'extrême pointe est de celui du Menjel el Akabal ainsi que dans les grabens qui les bordent, les terrains qui surmontent les dolomies présentent des calcaires gris à berges durs à cassures esquilleuse oolitiques ferrugineux avec des passages de dolomitisés (figure 20).
Dans la partie sud occidentale du BV connue sous le nom des horsts occidentaux, la partie occidentale du horst de Touissit : chebket el Hamra, Djebel Zendara, avec le gisement de Sidi Rokma, et l'ensemble du horst de Menjel et Akahal (gisement de la cluse de Tioulé, de l'ain Ghozlane et de ses environs) ; des affleurements des calcaires à oolithes ferrugineuses se réduisent à une épaisseur insignifiante, à la cluse de Tiouili (figure 21) le bathonien est bien exposé, il repose encore sur les calcaires homogènes.

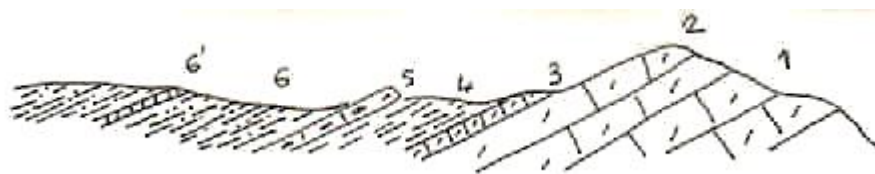


Figure 20 : Coupe au sommet du Chabet Bir El Hemama, chemin de Ghar Rouban à Touisit

1. Dolomies cristallines ; 2. Id, chargée de fer sur environ 1m ; 3. Dolomie grenue, mal cimentée, à deux fossiles Bathonien (20 cm) ; 4. Calcaire microgréseux argileux, et calcaire bleu, spathique de 2 m passant à 5 m ; 5. Calcaire à oolites ferrugineuses rouges (40 cm) ; 6. Argiles à bancs de grès ; 6'. Calcaire à oolithe ferrugineuses vertes (Callovien).

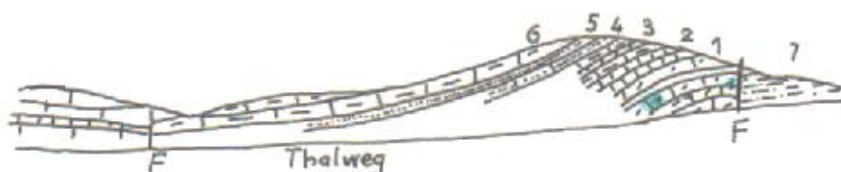


Figure 21 : Coupe du dogger de la cluse de Tiouli

1. Dolomie cristalline, avec intercalation de calcaire homogène ; 2. Calcaire homogène ; 3. Calcaire à fossiles, dolomies rosées, banc inter stratifié de calcaire homogène ; 4. Calcaire gréseux ; 5. Grès (50 cm) ; 6. Calcaires argileux, jaune claire, à fossiles ; 7. Argiles et grès (Callovien).

II.3.4. PRIMAIRE

Ce sont des niveaux détritiques, d'épaisseur variable, composés de débris de pélites, de grès primaire et de granite fortement rubéfiés (ZERROUKI, M. A., 2011).

Il est composé de :

II.3.4.1. PALEOZOÏQUE

Géologiquement, dans le bassin versant de l'oued Mouillah affleurent toutes les roches dont l'âge s'était du paléozoïque au quaternaire (figure 22) on donnera, dans ce qui suit : une disruption sommaire de toutes ces formations lithologiques, en commençant par les plus anciennes.

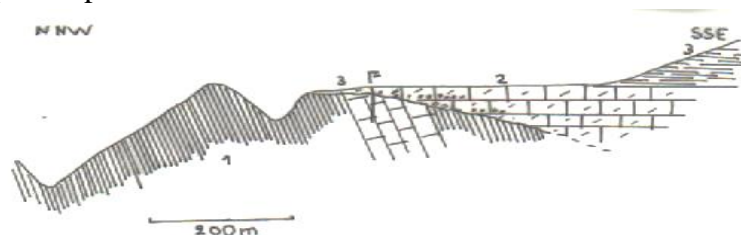


Figure 22 : Le Paléozoïque

1. Schistes ; 2. Dolomies liasique ; 3. calcaire microgréseux

En outre, le paléozoïque est largement représenté dans la région frontalière Algéro-Marocaine, aux environs d'Oujda.

L'étude des horsts de Ghar Rouban et du Djorf Ouazzéne, nous met en présence d'un complexe Schisto-gréseux extrêmement chiffonné et accidenté, traverse par des filons de phtanites et de calcaires. Les phtanites constituent un banc disloqué, près du Djorf Ouazzéne (Maroc).

II.3.4.2. LE GOTLANDIEN

Le seul affleurement attribué au Gothlandien est celui du Djorf Ouazzéne constitué de schistes esquilleuse gris bleus puis de schistes micacés gris verdâtres, en gros bancs.

Sur la route Oudja-Sidi Boubekour au Maroc au niveau du piémont occidental du Djorf Hendia, le petit sommet situé entre l'Ain et Rhoula et l'Ain el Hallouf est constitué d'une épaisse bande de phtanite noire, sépare les schistes satinés d'une puissance série de schistes gris brunâtres, contenant quelques petits bancs de quartzites et supportant une puissante barre constituée par de gros bancs grossiers passant à un poudingue quartzueux.

II.3.4.3. LE DEVONIEN

Il est connu au pied du Djebel Aourir au sud d'Oudja constitué de calcaire inter shatifies régulièrement dans un complexe de schistes, schistes et quartzite.

A Ghar Rouban, une coupe du dévonien montre des hauts vers le bas :

- Microbrèches en gros bancs, dominant nettement sur les schistes.
- Schistes et Microbrèches.
- Schistes et grés avec Microbrèches, contenant une intercalation de calcaires récifaux fossilifères
- Grés grossiers à graviers et galets de Gothlandien.

II.3.4.4. LE CARBONIFERE

A le Ghar Rouban et autour de Touissit (Chebiket El Hamra) au sud d'Oudja, se trouve sous forme de barres calcaires, puissantes de 50 à 80 m dolomitisées.

II.3.4.5. LE MESOZOIQUE

C'est une formation détritique composée de galets locaux, schistes, quartzites grés, et roches éruptives souvent mal cimentés-.

Cette formation se rencontre sous une épaisseur variable mais généralement faible, en quelques points des Horst occidentaux du bassin d'El Mouilah ; et partout cette série est reprise au sommet dans le lias qui la recouvre ; les galets sont mal cimentés par un calcaire analogue à celui qui constituera les bancs liasiques, et la roche prend le caractère d'un poudingue de base du lias.

Dans l'oued el Amar à l'ouest de la mine de Touissit, on rencontre un gisement où les galets, peu roulés, sont surtout formés de dacites et de roches volcaniques très altérées.

II.3.5. LES ELEMENTS STRUCTURAUX DE LA REGION D'ETUDE

Cette zone appartient au bassin subméditerranéen alpin orienté Est-Ouest. Le substratum de cette région est constitué par la plaque paléozoïque rigide affectée de failles d'importance régionale et orientée Est-Ouest, ceci a conduit à l'apparition d'un système de compartiments allongés dont la direction répète celle des failles.

Ces compartiments différemment surélevés et effondrés les uns par rapport aux autres, ont évolué respectivement en horsts et grabens (ZERROUKI, M. A., 2011).

II.3.5.1. CHAINE DES HORSTS

La zone des Hosts est caractérisée par une tectonique cassante très particulière commandée par des fractures du socle ancien, ayant joué dans des mouvements discontinus, qui se sont poursuivis pendant la sédimentation secondaire, depuis le Trias jusqu'au jurassique supérieur (in BURGEAP, 1993).

Cette tectonique est responsable d'une structure en horsts et grabens, elle a provoqué des zones de subsidence et de hauts fonds marqués par les différences de puissance et de faciès de dépôts. Les principales lignes de fractures sont orientées WSW-ENE, les autres sont tous WNW-ESE. Antérieurement à cette tectonique cassante.

II.3.5.2. GRABEN OUJDA-MAGHNA

Un seuil paléozoïque étroit et allongé Est-Ouest, très peu marqué dans le relief est encadré par des dépôts du Jurassique inférieur et moyen, se fait remarquer dans sa partie centrale.

A l'Est, aux environs d'Oujda-Zriga, on observe de vastes surfaces de formations volcaniques Néogène-Quaternaire.

La majeure partie du graben Oujda-Angad-Maghna est constituée en surface par des dépôts du jurassique et du Néogène-Quaternaire.

Les dépôts jurassiques sont affectés par des plis montrant les directions Est-Ouest. Les anticlinaux sont étroits et très allongés avec des pendages de flancs de 15°, les synclinaux sont aussi longs mais plus larges et aux flancs plus doux.

II.3.5.3. LA CHAINE DES BENI SNASSENE-TRARAS

elle s'étend en direction Est-Ouest, il s'agit d'un massif anté-paléozoïque, enveloppé par une épaisse série de dépôts rouges du Trias et du jurassique inférieur et moyen, ce dernier étage atteint plus de 800m d'épaisseur et est recouvert, en discordance, par le jurassique supérieur.

II.4. OCCUPATION DES SOLS

Le sol constitue un facteur physique très important pour le processus d'écoulement et la propagation de la pollution, notamment, dans le cas de l'érosion et le transport de la pollution dans les sédiments véhiculés par la masse liquide.

La végétation, quant-à elle, est un facteur permettant d'avoir une idée sur le volume du sol érodé d'une part, et la quantité des engrais, insecticides et fongicides appliqués en agriculture qui se trouvera d'une façon ou d'une autre dans les réseaux d'écoulement d'autre part.

II.4.1. NATURE ET PEDOLOGIE DES SOLS

Le bassin versant de l'Oued Mouillah est dominé par les sols calcaires. Des vertisols (USDA 1978, FAO 1990) qui longent son thalweg principal et se prolongent au nord-est des monts des Traras et aux piémonts des monts de Tlemcen. Il comporte aussi des formations calcaïques peu profondes (luvisols) et des terrains alluviaux (fluvisols) développés dans la partie nord de la plaine de Maghna.

La partie sud de la plaine comprend des sols rouges (arénoles) à encroûtement formés de marnes salifères du Miocène (Ghenim et al 2008).

D'une manière générale, les sols dans ce bassin sont constitués de :

- Les sols calcaires : ils longent l'Oued Mouillah et se prolongent au Nord-Est des monts des Traras et aux piémonts des monts de Tlemcen. On y trouve généralement une végétation généralement herbacée.
- Les sols calcaïques : Ces formations se sont développées au-dépend des sédiments caillouteux des montagnes voisines donnant naissance à des sols peu profonds développés surtout le long de la vallée d'Oued Mouillah.
- Les sols alluviaux : constitués généralement par des sols calcaires lourds recouvrant les basses terrasses et les lits des Oueds. On les retrouve dans la partie nord de la plaine de Maghnia.
- Les sols rouges à encroûtement : ces sols formés de marnes salifères du Miocène couvrent une bonne partie de la plaine de Maghnia où l'on retrouve une culture extensive irriguée.

II.4.2. DISTRIBUTION VEGETALE

La distribution du couvert végétal dans le bassin versant d'oued Mouillah est donnée dans le tableau N°05.

Tableau N°05 : Distribution du couvert végétal du bassin de l'Oued Mouillah

Occupation des sols	Surfaces	% des
Cultures extensives	57200	21.58
Couvert forestier dégradé	9500	03.58
Couvert forestier normal	39000	14.72
Arboriculture	1200	0.45
Couvert mort	131000	49.43
Prairies et terrains de	27100	10.23

Presque la moitié de la superficie du bassin versant d'oued Mouillah est constituée de terrains généralement nus (tableau N°05), localisés dans la partie Ouest du bassin.

Ces terrains susceptibles d'être transpercés par l'effet de pluies violentes, se trouvent dans une zone plate où la pente est inférieure à 5 % ; cette dernière empêche les eaux ruisselantes d'atteindre une vitesse capable d'emporter les sédiments détachés vers le lit de l'Oued Mouillah.

L'autre partie du bassin se trouve suffisamment couverte pour résister aux menaces érosives (figure 23).

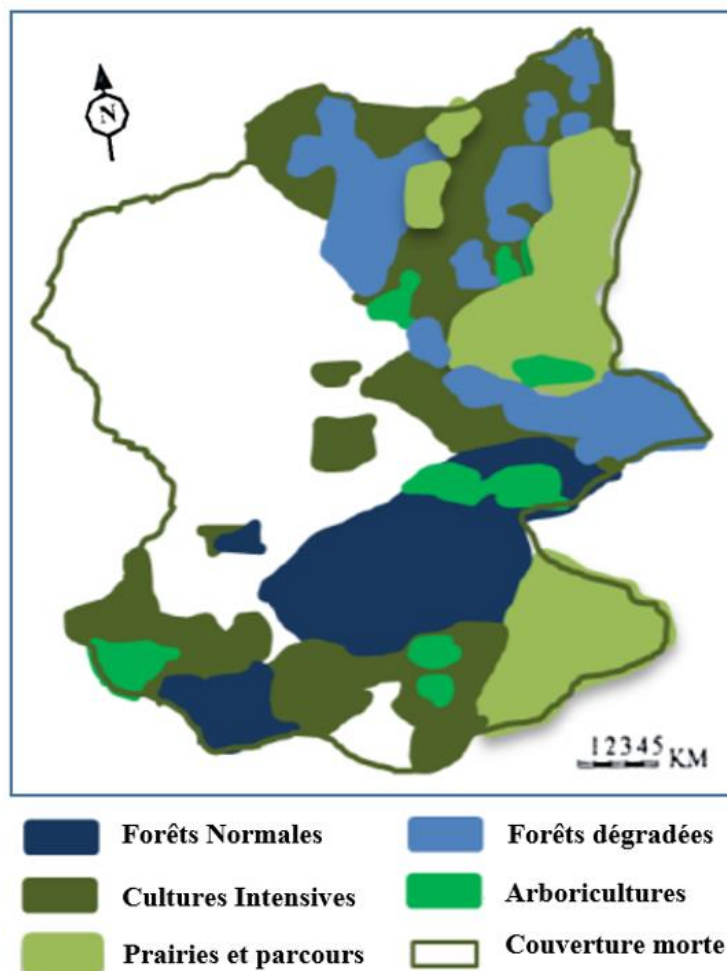


Figure 23 : Occupation du sol au niveau du Bassin Versant de l’Oued Mouillah (BELARBI F. & al. 2020)

II.5. CADRE HYDRO- CLIMATOLOGIQUE

II.5.1. INTRODUCTION

L’analyse des paramètres climatiques ont de fortes relations avec l’écoulement de surface et ses variations, ainsi que la diffusion des matières polluantes dans le milieu liquide.

II.5.2. LES PRECIPITATIONS

Les précipitations sont l’un des facteurs climatiques qui conditionnent le maintien et la répartition du tapis végétal, l’alimentation des nappes, des barrages, des plans d’eau et contribuent à la dégradation du milieu naturel par le phénomène d’érosion.

Les précipitations liquides constituent le facteur essentiel où leur quantité moyenne et maximale mensuelle et annuelle est l’un des paramètres qui permet de caractériser le climat.

Les données d’observation utilisées sont celles enregistrées au niveau de plusieurs stations climatiques incluses dans la partie Algérienne du bassin versant de l’oued Mouillah.

Les stations couvrent pratiquement toute la partie algérienne du secteur d'étude, permettant ainsi l'estimation en tout point des valeurs des pluies de différentes fréquences de retour et des débits des ruissellements correspondants à l'exutoire des bassins versants considérés, barrage Hammam Bougherara.

Les paramètres essentiels des stations pluviométriques concernées par l'étude sont résumés dans le tableau 06 (les données sont en annexes) :

Tableau 6 : Stations pluviométriques prises en compte dans le secteur d'étude (ANRH, 2008)

Stations	Codes	Périodes d'observation étudiées	Nombre d'années d'effectif
Maghnia	160302	1972 – 1998	25
Béni Ouassinre	160303	1953 – 1998	45
Béni Bahdel	160403	1939 – 1998	60
Sidi Medjahed	160407	1967 – 1998	31
Hammam Bougherara	160501	1968 – 1997	28

II.5.2.1. ANALYSE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES

La variation des précipitations annuelles durant la période d'observation montre l'écart important entre les valeurs extrêmes, signe d'une grande irrégularité. En outre, nous remarquons que la variation des précipitations entre les différentes stations a une tendance identique.

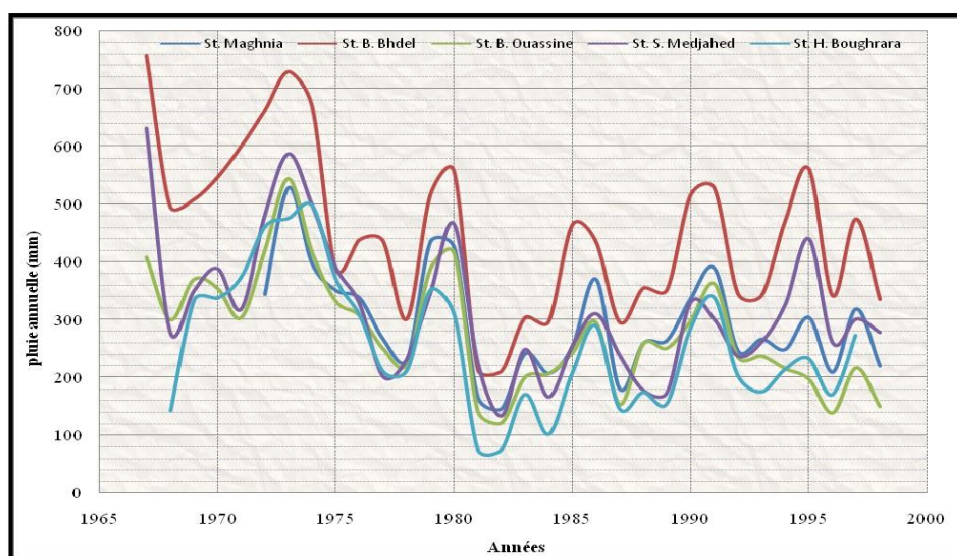


Figure 24 : Chronologie des pluies annuelles au niveau des différentes stations

Nous remarquons aussi, d'après la figure 24, que la variation des précipitations entre les différentes stations est serrée, notamment, au cours des trois dernières décennies, mise à part, les précipitations des stations de Béni Bahdel et de Maghnia qui représentent des valeurs plus élevées, probablement dû à leur emplacement à des côtes plus élevées.

Tableau 7 : Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles

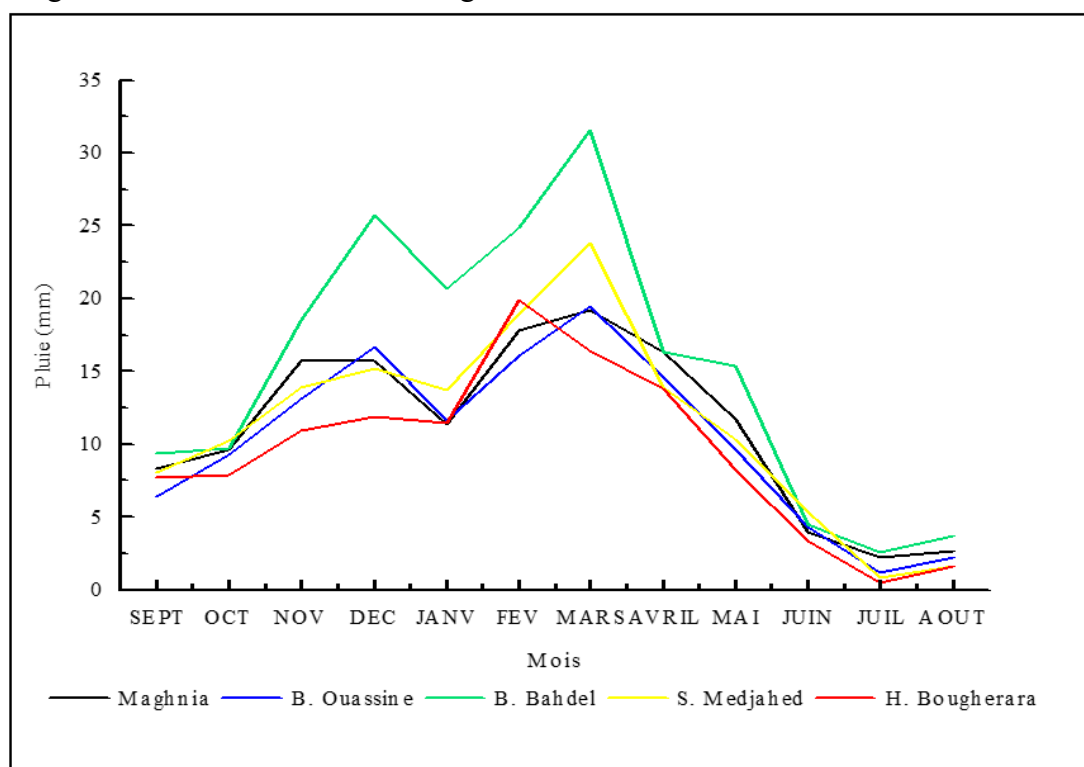
Stations	B.Bahdel	B.Ouassine	Maghnia	H.Bougherara	S.Medjahed
Moy.	180.42	124.98	290.99	110.85	132.86
Min.	74.80	54.80	144.90	38.80	60.30
Max.	288.90	225.20	528.40	212.00	228.30
Ecart – type	49.60	43.23	94.38	46.34	39.83
Cv	0.27	0.35	0.32	0.42	0.30

II.5.2.2. PRECIPITATIONS MENSUELLES

Suite à la présentation graphique des précipitations mensuelles (figure 25), nous remarquons que pour toutes les stations, la période la plus arrosée s'étend du mois de janvier jusqu'au mois d'avril, alors que la période sèche s'étale de juin jusqu'en octobre.

Un pique de précipitations est enregistré le mois de Mars pour pratiquement toutes les stations, par ailleurs, le mois de Juillet constitue le mois le moins pluvieux.

D'autre part, le maximum des précipitations est enregistré par la station de Béni Bahdel vu son emplacement à la côte la plus élevée par rapport aux autres stations, suivi par les stations de Sidi Medjahed et Béni Ouassine, situées plus au Sud des stations de Maghnia et Hammam Bougherara. Ainsi, les précipitations augmentent avec l'augmentation de l'altitude et l'éloignement de la mer.

**Figure 25 : Variation mensuelle des précipitations**

La représentation graphique des précipitations mensuelles (figure 26), montre que pour toutes les stations, la période la plus arrosée s'étend du mois de novembre jusqu'au mois d'avril, alors que la période sèche s'étale de juin jusqu'en octobre.

Un pic de précipitations est enregistré le mois de Mars pratiquement au niveau de toutes les stations, par ailleurs, le mois de Juillet constitue le mois le moins pluvieux.

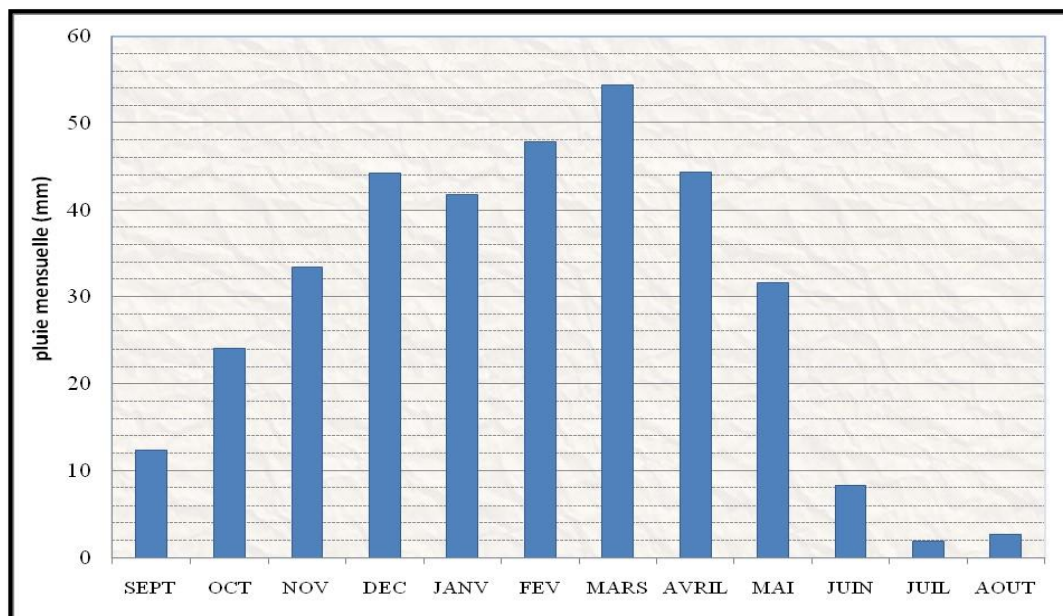


Figure 26 : Régime de la pluviométrie mensuelle (moyenne mensuelle)

En résumé, le bassin versant d'Oued Mouilah se caractérise par des précipitations relativement faibles, avec une moyenne inter-annuelle de l'ordre de 325 mm (période 1943-1998), elles sont très inégalement réparties au cours de l'année, avec un coefficient de variation de 0,30.

II.5.2.3. PRECIPITATIONS MAXIMALES JOURNALIERES

Les précipitations journalières maximales permettent de calculer les intensités des pluies les plus fréquentes et d'estimer, par conséquent, la fréquence des crues.

Dans notre cas, nous avons utilisé les précipitations journalières maximales des cinq précédentes stations (voir annexe). La figure 26 illustre la chronologie des pluies maximales journalières. Nous remarquons que les précipitations ont pratiquement la même tendance avec une hausse dès les années 1970, suivi par des minima durant les quelques dernières années (à partir du 1996).

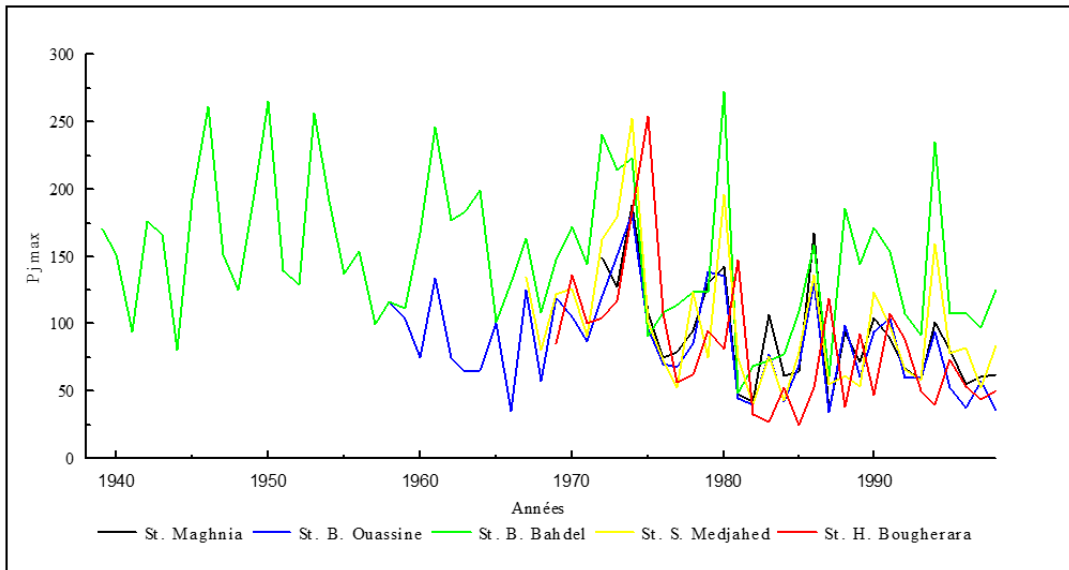


Figure 27 : Variation des pluies journalières maximales

Les histogrammes des figures 28 à 32 montrent la variation des pluies maximales journalières des années. Celle-ci montre qu’il y a une dissymétrie à gauche, signe que les séries suivent une loi gaussienne semi-normale (logarithmique).

Pour le confirmer nous avons calculé les différents paramètres statistiques, que nous avons résumés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Caractéristiques statistiques des précipitations maximales

	Maghnia	B.Ouassine	B.Bahdel	S.Medjahed	H.Bougherara
Moyenne	91.56	85.90	148.25	99.72	84.69
Ecart Type	38.33	35.73	54.73	48.68	49.35
Coef. Asymétrie	0.85	0.53	0.53	1.32	1.56

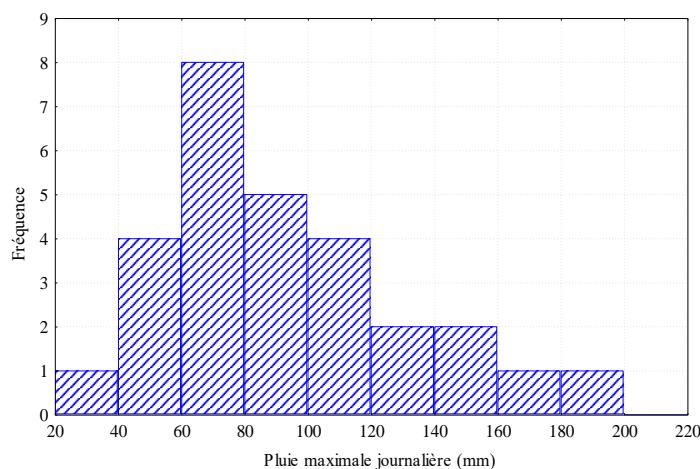


Figure 28 : Pluie maximale journalière de la station de Maghnia

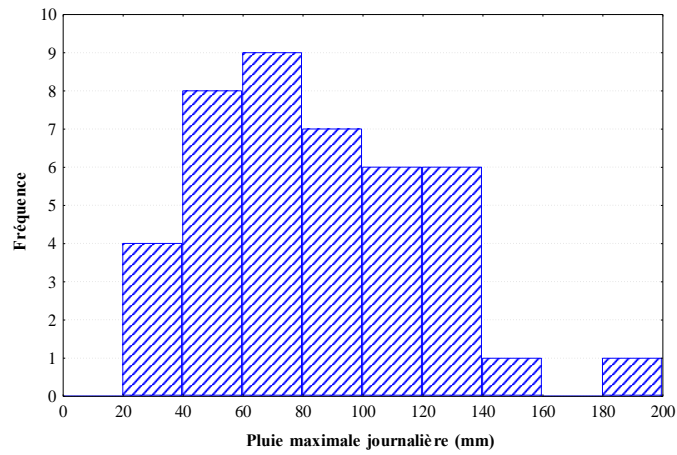


Figure 29 : Pluie maximale journalière de la station de Béni Ouassine

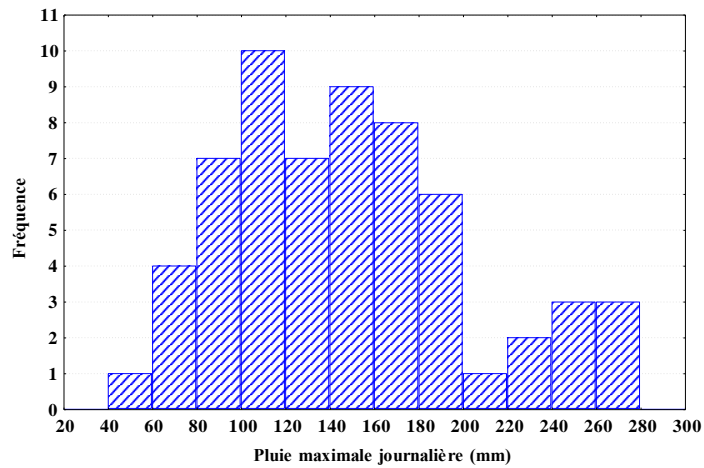


Figure 30 : Pluie maximale journalière de la station de Béni Bahdel

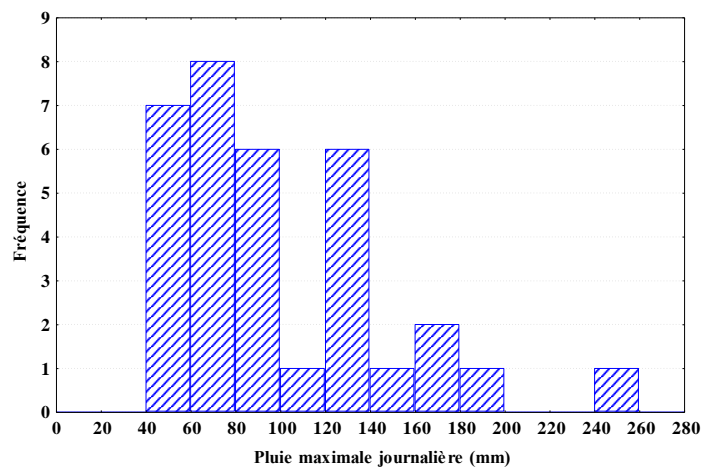


Figure 31 – Pluie maximale journalière de la station de Sidi Medjahed

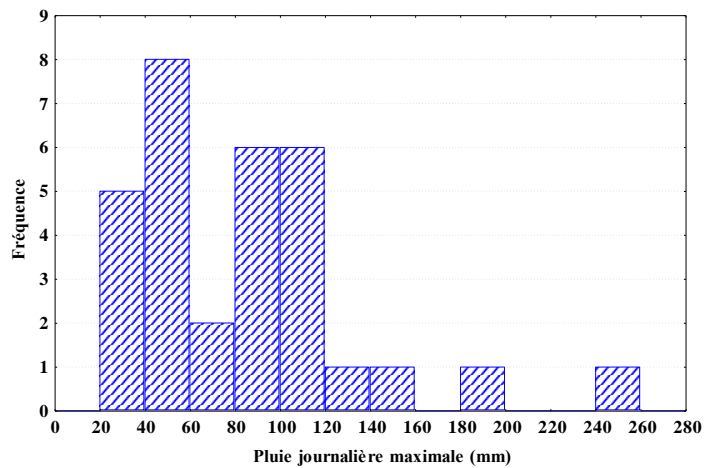


Figure 32 : Pluie maximale journalière de la station de Hammam Bougherara

D’après les résultats du tableau 08, nous remarquons que les valeurs du coefficient d’asymétrie confirment que les distributions des précipitations maximales journalières suivent une loi gaussienne semi-normale (logarithmique).

Nous avons par la suite déterminé les intensités pluviales génératrices des crues, en fonction des précipitations journalières maximales estimées par le biais des lois d’ajustement logarithmiques.

Le tableau ci-dessous résume le calcul des intensités pluviales pour une durée d’une demi-heure et à des fréquences différentes.

Tableau 9 : Calcul des intensités pluviales

Station	Loi d’ajustement	Fq. = 90.00 % (10 ans)		Fq. = 99.00 % (100 ans)		Fq. = 99.90 % (1000 ans)	
		P _{J Max} (mm)	I (mm/h)	P _{J Max} (mm)	I (mm/h)	P _{J Max} (mm)	I (mm/h)
Maghnia	Log(P)=1.923+μ0.183	8.7	17.3	10.5	21.0	11.8	23.6
B. Ouassine	Log(P)=1.893+μ0.192	8.5	17.0	10.4	20.8	11.8	23.6
B. Bahdel	Log(P)=2.143+μ0.670	20.2	40.5	40.6	81.2	63.2	126.4
S. Medjahed	Log(P)=1.953+μ0.199	9.1	18.2	11.2	22.4	12.8	25.6
H. Bougherara	Log(P)=1.859+μ0.244	8.8	17.6	11.3	22.7	13.3	26.6
Moyenne	–	11.1	22.1	16.8	33.6	22.6	45.2

II.5.3. LES VARIABLES CLIMATIQUES

II.5.3.1. LES PRECIPITATIONS (AUTRE QUE LA PLUIE)

Elles se résument par :

- La Neige : La neige dans la région du bassin versant de l’oued Mouillah est très rare et fond très rapidement.
- La Grêle : Elle est fréquente surtout au début du printemps avec environ trois (03) jours de chute par an sous forme « d’averse ».
- Les Orages : Les orages se produisent en saison humide et se succèdent par des pluies sous forme « d’averse » provoquant des dégâts considérables sur les cultures, la végétation et les sols.

II.5.3.2. TEMPERATURES

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biogéographiques.

Les données relatives à la station météorologique du barrage Hammam Boughrara pour la période 1999-2007, consignés au tableau 10, nous ont permis de tracer les courbes de la figure 33.

Tableau 10 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures (ANRH, 2008)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moy. An.
Max	32	28	21,1	17,8	20	18,8	20,9	24	28	33	36	36,4	26,3
Min	15,4	13	7,2	5,1	3,9	5,5	7,1	9	11	15	18	19	10,8
(M+m)/2	23,7	21	14,2	11,5	12	12,2	14	16	19	24	27	27,7	18,5

Avec :

- Max : Les moyennes mensuelles et annuelles des maxima en °C.
- Min : Les moyennes mensuelles et annuelles des minima en °C.
- (M+m)/2 : Les moyennes mensuelles des températures moyennes en °C.

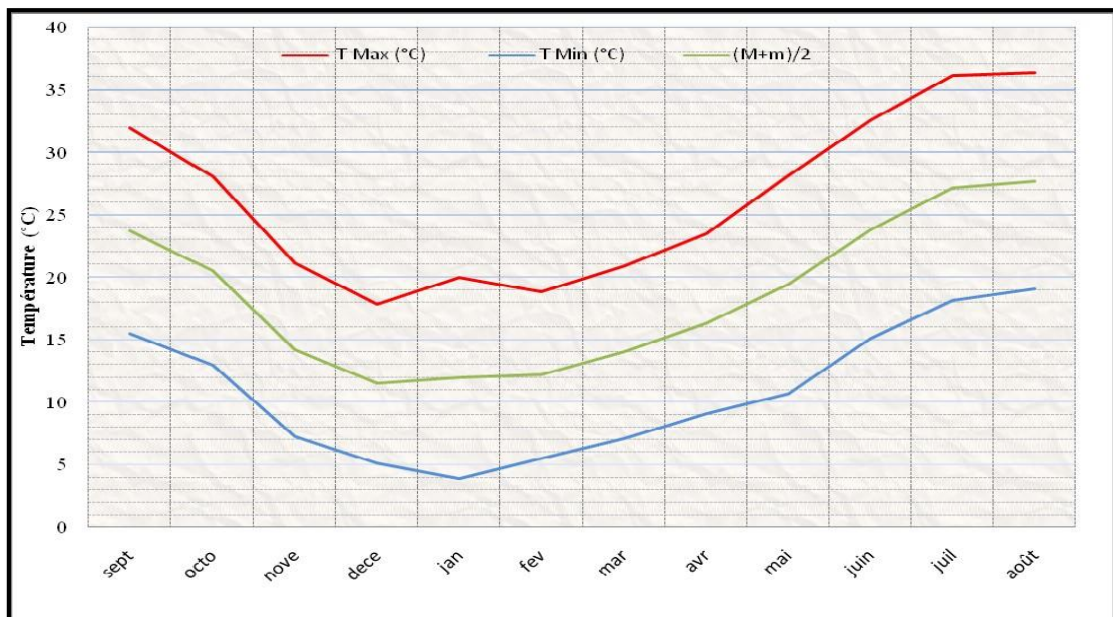


Figure 33 : Courbes des Températures Mensuelles

- Les températures maximales : La température la plus basse apparaît au mois de décembre avec 17,8 °C alors que la plus élevée se présente en août où elle atteint 36,4°C.
- Les températures minimales : La valeur la plus basse apparaît également en janvier avec seulement 3,9 °C et la valeur la plus élevée en août avec 19 °C.
- Les températures moyennes : Elles sont inférieures à 11,5 °C en décembre pour atteindre leur maximum en août où l'on enregistre 27,7 °C.

II.5.3.3. LES VENTS

Le vent présente une action directe sur le couvert végétal comme il peut influencer sur le climat par sa charge en humidité. C'est un élément climatique défini par la vitesse et la direction (LACOSTE et SALANON, 2001).

Selon les données (période 1976-1984) du tableau N°08 les vents dominants sont de direction Ouest – Sud – Ouest (Figure 34).

Tableau 11 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent à Maghnia

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
Vitesse moyenne (m/s).	2.8	3.6	3.1	3.0	2.9	2.4	2.4	2.7	2.4	2.5	2.9	3.3	2.8

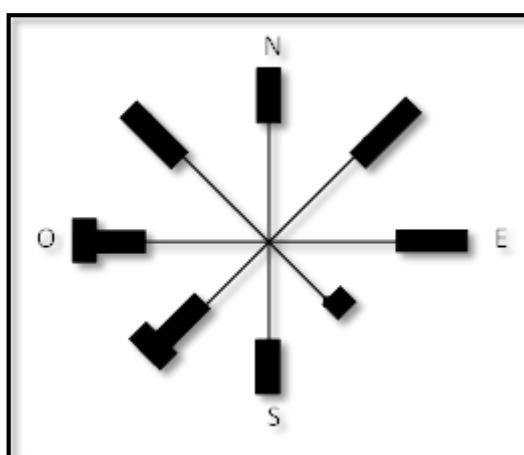


Figure 34 : Direction des vents dominants

L'analyse des moyennes mensuelles des vitesses du vent déterminées à Maghnia, montre une stabilité des vitesses avec un maximum de 3.6 m/s en février et un minimum en juin, juillet et septembre de 2.4 m/s.

II.5.3.4. EVAPOTRANSPIRATION

L'augmentation des températures et les modifications de l'importance et des répartitions des précipitations font augmenter l'évapotranspiration, paramètre qui est aussi sous la dépendance d'autres facteurs (énergie radiative, humidité de l'air et vent).

L'évapotranspiration climatique ou potentielle (ETP) correspond à l'évapotranspiration d'un couvert végétal fermé et parfaitement alimenté en eau. L'évapotranspiration réelle (ETR) dépend des disponibilités en eau dans le sol et est inférieure ou égale à l'ETP.

Le fonctionnement hydrique et photosynthétique et la croissance des arbres est d'autant plus favorable que le rapport ETR/ETP est proche de 1. Dans le contexte climatique actuel ce rapport est toujours inférieur à 1.

Aussi, si les températures augmentent et si la pluviométrie est déficitaire en été ce rapport sera plus faible et la croissance en sera affectée et ainsi que la survie de certaines espèces pourra être aussi compromise.

Les mesures de l'évaporation sur un Bac Colorado de la station de Béni Bahdel sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Valeurs de l'évapotranspiration à Béni Bahdel (Anonyme III, 2001)

	Sep.	Oct.	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Année
ETP (mm)	139.00	86.00	50.60	35.10	38.50	41.60	69.80	84.40	116.00	151.00	187.00	168.00	1167.00
M – m (°C)	13.25	11.34	9.89	9.29	9.50	10.43	10.52	10.84	11.89	12.99	14.89	14.68	11.63
Moy.	23.46	18.06	13.53	10.04	9.73	10.65	12.21	14.18	17.94	22.16	26.43	26.79	17.10

Source A.N.R.H

Il faut noter que la corrélation entre l'ETP et l'écart des maxima et minima de température (M-m) est assez bonne. Les deux relations donnent de bonnes corrélations linéaires :

- Corrélation ETP – (M-m) : $ETP = (27.3 \pm 3.73)(M-m) + (-220.4 \pm 43.93) \rightarrow R = 0.98$.
- Corrélation ETP – Moy. : $ETP = (8.27 \pm 1.66)(Moy) + (-44.11 \pm 24.58) \rightarrow R = 0.97$.

D'autre part, il existe des méthodes de calcul de l'ETR et de l'ETP, tel que la méthode de Turc pour le calcul de l'ETR et celle de Thornthwaite pour l'ETP.

- Méthode de Turc : L'évapotranspiration réelle calculée donne une valeur de ETR = 302.62 mm. Ainsi, cette méthode donne une valeur qui dépasse la valeur de la lame d'eau précipitée pendant l'année moyenne.
- Méthode de Thornthwaite : Les valeurs de l'évapotranspiration relatives aux différents mois de l'année sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13 : Valeurs de l'ETPr corrigées selon Thornthwaite

	Sep.	Oct.	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Année
T (°C)	23.06	18.37	13.86	10.91	9.24	11.03	12.64	14.45	17.46	21.88	25.81	26.39	17.09
i (mm)	10.12	7.17	4.68	3.26	2.53	3.31	4.07	4.99	6.64	9.34	12.00	12.41	80.52
ETP (mm)	108.12	67.80	36.33	23.40	17.80	23.87	36.90	49.60	77.24	115.63	157.92	154.97	869.58

II.5.3.5. INSOLATION

La durée d'insolation est donnée au tableau 14 en heures par mois. La moyenne journalière mensuelle d'insolation la plus faible est enregistrée en Janvier (5.7 h), alors que la plus grande en Juin (10h) : la moyenne de durée d'insolation journalière annuelle est de 7.6 h.

Tableau 14 : La radiation solaire

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
Heures	252	229	191	183	178	175	205	251	247	300	299	281	2791
Radiation kWh/m ² /j	5.52	4.16	3.03	2.54	2.77	3.63	4.73	6.04	6.64	7.19	7.44	6.66	5.03

II.5.4. LE REGIME CLIMATIQUE DE LA REGION D'ETUDE

Les variables climatiques constituent un système complexe agissant d'une manière synthétique sur les interactions écoulements – pollutions. Plusieurs formules et approches pratiques essaient de représenter cette action synthétique du climat par des indices et des méthodes graphiques.

II.5.4.1. Indice de De Martonne

L'indice d'aridité reporté sur l'abaque de DE MARTONNE (figure N°35), appartient à la « Zone D » traduisant un régime semi-aride à écoulement temporaire et à formations herbacées proche du régime désertique.

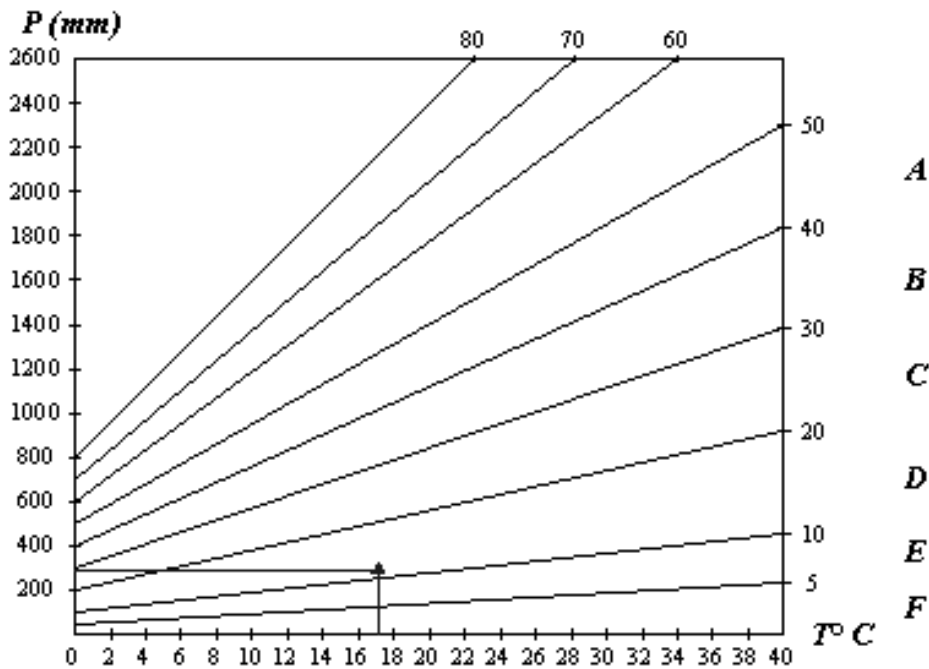


Figure 35 : Indice de DEMARTONE

- Zone A : Ecoulement abondant, Zone B : Ecoulement exoréique,
- Zone C : Zone tempérée, drainage extérieur, irrigation non indispensable,
- Zone D : Régime semi-aride, écoulements temporaires, formations herbacées,
- Zone E : Régime désertique, écoulements temporaires,
- Zone F : Hyper-aridité, aréisme.

II.5.4.2. INDICE D'EMBERGER

En 1955, Emberger a proposé un quotient pluviométrique et un climagramme qui permet de séparer les différents étages bioclimatiques méditerranéens ainsi que les variantes de chaque étage (hiver doux, frais, froid ou chaud). Il est défini par l'équation suivante :

$$Q_2 = 2000 P / (M+m) (M-m) \quad (51)$$

P : précipitations moyennes annuelles en mm (DAJOZ, 2000)

M : température moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Kelvin.

m : température moyenne des minima du mois le plus froid en degré Kelvin.

Selon les résultats, la valeur de Q_2 égale à 34,11 avec : $P= 325 \text{ mm}$; $M=36,4 \text{ }^\circ\text{C}$; $m= 3,9 \text{ }^\circ\text{C}$. (Données ONM 1999-2007).

Suivant ce climagramme, le barrage de Hammam Bouhrara est situé dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré (figure N°36).

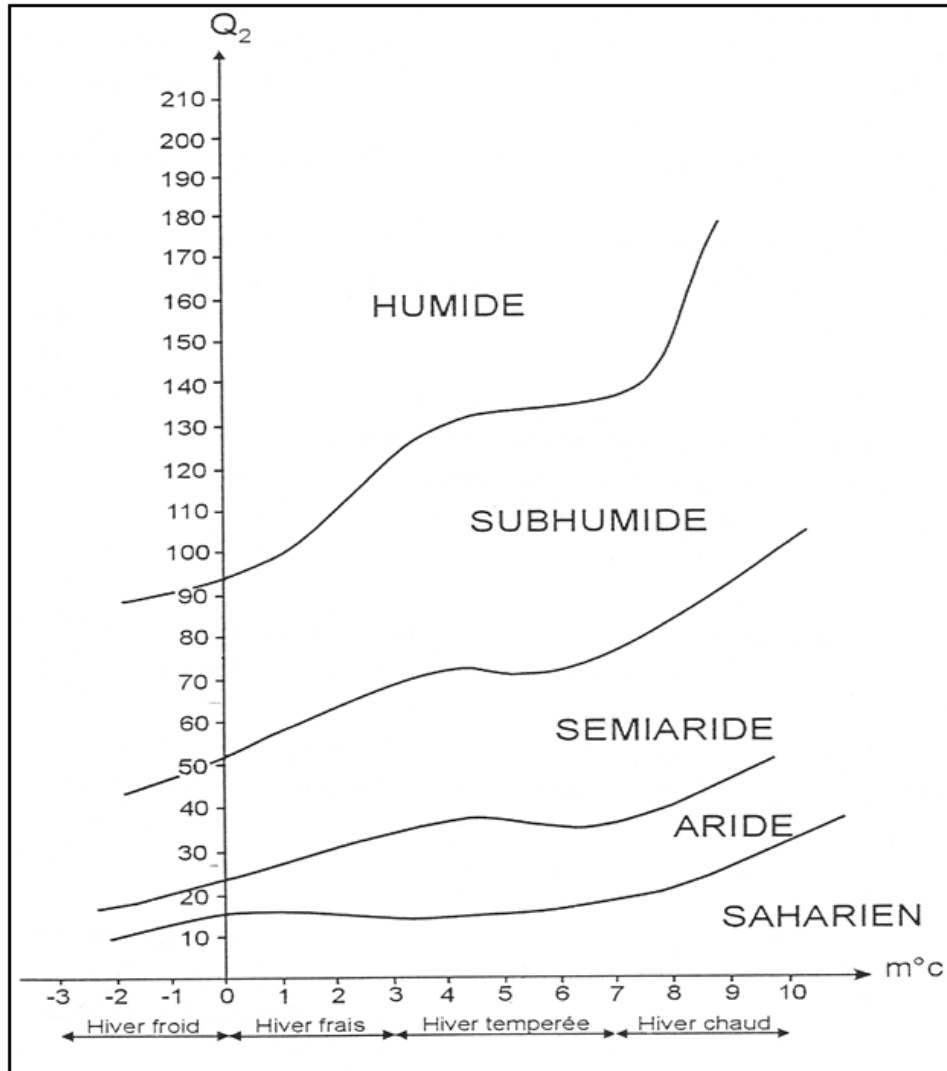


Figure 36 : Climagramme d'Emberger

II.5.4.3. COURBE OMBROTHERMIQUE

Ce mode de représentation permet de visualiser et de quantifier les périodes sèches et humides d'une région donnée. Il met en rapport les précipitations et les températures moyennes mensuelles. Avec $T= M+m / 2$. Sur le même graphique sont portés :

En abscisse, les mois de l'année, alors qu'en ordonnée, les températures ($^\circ\text{C}$) et les précipitations (mm) de telle sorte que l'échelle des températures soit relative au double de celle des précipitations ($P \approx 2 T$).

La période humide correspond à toute la partie pour laquelle la courbe pluviométrique se trouve au-dessus de la courbe thermique, et les deux zones extrêmes du graphe sont les périodes sèches (DAJOZ, 2000).

Notre région d'étude est caractérisée par une saison humide hivernale qui s'étale sur 05 mois (entre Novembre à Avril) et une saison sèche estivale qui s'étale sur le reste de l'année (figure 37).

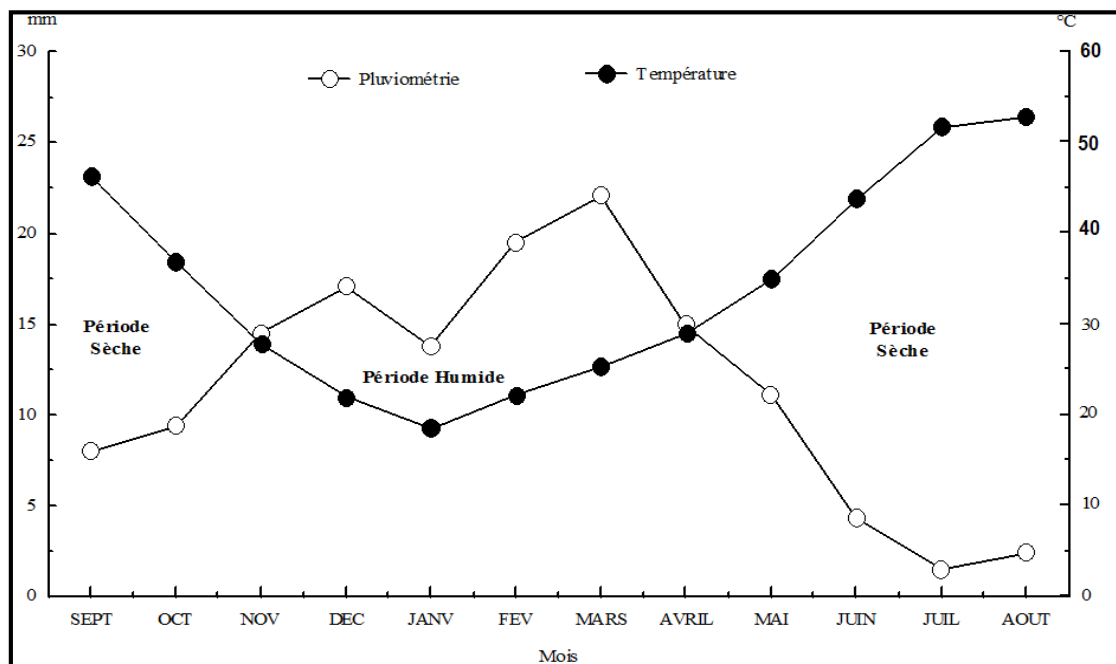


Figure 37 : Courbe Ombrothermique

II.6. HYDROMORPHOMETRIE

II.6.1. INTRODUCTION

L'analyse des caractéristiques géographiques et physiques de la région d'étude constitue un premier diagnostic permettant la mise en évidence des facteurs et paramètres contribuant à la détermination de la masse d'écoulement, importante dans l'étude de la pollution et sa propagation dans le courant liquide (BENYAHIA, M. & al. 2014).

Ainsi, cette partie traite les conditions hydrographiques et morphologiques du bassin versant de l'Oued Mouillah.

II.6.2. CARACTERISTIQUES HYDROGRAPHIQUES

Le bassin versant d'Oued Mouillah est constitué par des zones très hétérogènes où on trouve les plaines de Maghnia et d'Angad qui représentent des vallées encaissées entre les monts de Tlemcen au sud et les monts des Traras au Nord. Le relief est assez varié constitué de zones de montagnes, de plaines et de vallées (figure 38).

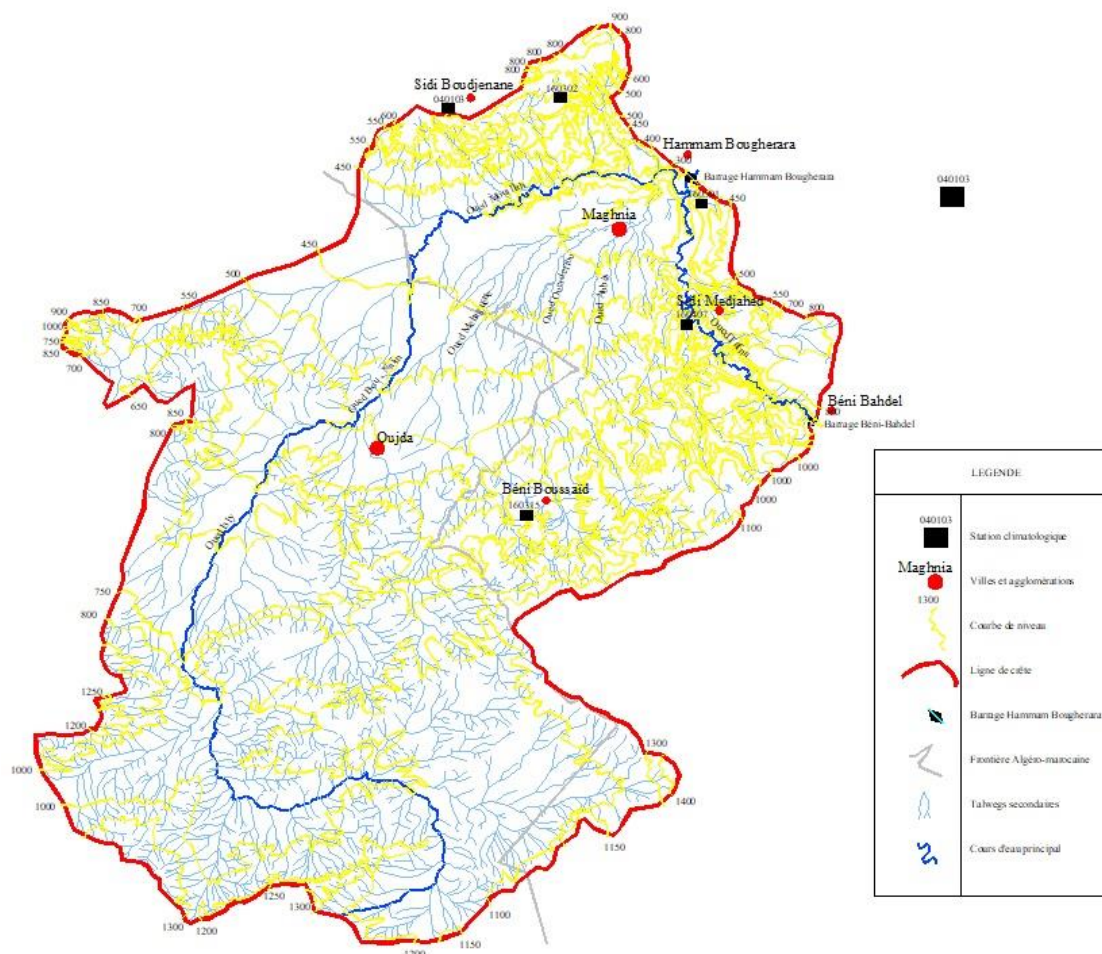


Figure 38 – Réseau Hydrographique du Bassin Versant

L'essentiel des caractéristiques hydrographiques se présente comme suit :

- Les altitudes H_{max} et H_{min} du bassin versant sont respectivement de 1450 m et 250 m.
- La surface du bassin versant obtenue par planimétrage est de 2650 km².
- Le périmètre mesuré au curvimètre atteint 241 km.
- Longueur du talweg principal est de 104.40 km.
- Le coefficient de compacité de Gravelius de 1.50.
- Les caractéristiques du rectangle équivalent sont pour la longueur 98.70 km et pour la largeur de 20.30 km.
- Vu le relief souvent accidenté, l'écoulement superficiel est assez turbulent, avec une dénivelé D égale à : $D = (H_{95\%} - H_{5\%}) = 740$ m
- L'altitude moyenne correspondante aux aires partielles entre les courbes de niveau du bassin versant, est de 747 m, les données de base pour calcul sont données au tableau 15.
- La courbe hypsométrique est donnée au tableau 16 et figure 39.

Tableau 15 : Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant de l'Oued Mouillah

Classes d'altitude (m)	Altitude moyenne partielle (km)	Aire partielle (km²)	Produit (km³)
1450 - 1400	1.425	1.79	2.55
1400 - 1350	1.375	1.46	2.01
1350 - 1300	1.325	17.46	23.13
1300 - 1250	1.275	21.02	26.80
1250 - 1200	1.225	34.69	42.50
1200 - 1150	1.175	24.70	29.02
1150 - 1100	1.125	21.72	24.44
1100 - 1050	1.075	179.15	192.59
1050 - 1000	1.025	181.00	185.53
1000 - 950	0.975	76.25	74.34
950 - 900	0.925	77.31	71.51
900 - 850	0.875	78.50	68.69
850 - 800	0.825	101.35	83.61
800 - 750	0.775	81.85	63.43
750 - 700	0.725	135.23	98.04
700 - 650	0.675	124.66	84.15
650 - 600	0.625	137.85	86.16
600 - 550	0.575	139.57	80.25
550 - 500	0.525	146.71	77.02
500 - 450	0.475	153.22	72.78
450 - 400	0.425	189.23	80.42
400 - 300	0.35	56.49	19.77
300 - 250	0.275	18.79	5.17
Altitude moyenne = 0.747 km (747 m)			

Tableau 16 : Répartition altimétrique du bassin versant de l'Oued Mouillah

Altitude (m)	Surfaces partielles (km²)	Surfaces cumulées (km²)	% des surfaces partielles	% des surfaces cumulées	% des altitudes	% des altitudes cumulées
1450 - 1400	1.79	1.79	0.090	0.090	4.17	95.83
1400 - 1350	1.46	3.25	0.073	0.163	4.17	91.67
1350 - 1300	17.46	20.71	0.873	1.036	4.17	87.50
1300 - 1250	21.02	41.73	1.051	2.087	4.17	83.33
1250 - 1200	34.69	76.42	1.735	3.821	4.17	79.17
1200 - 1150	24.70	101.12	1.235	5.056	4.17	75.00
1150 - 1100	21.72	122.84	1.086	6.142	4.17	70.83
1100 - 1050	179.15	301.99	8.958	15.100	4.17	66.67
1050 - 1000	181.00	482.99	9.050	24.150	4.17	62.50
1000 - 950	76.25	559.24	3.813	27.962	4.17	58.33
950 - 900	77.31	636.55	3.866	31.828	4.17	54.17
900 - 850	78.50	715.05	3.925	35.753	4.17	50.00
850 - 800	101.35	816.40	5.068	40.820	4.17	45.83
800 - 750	81.85	898.25	4.093	44.913	4.17	41.67
750 - 700	135.23	1033.48	6.762	51.674	4.17	37.50
700 - 650	124.66	1158.14	6.233	57.907	4.17	33.33
650 - 600	137.85	1295.99	6.893	64.800	4.17	29.17
600 - 550	139.57	1435.56	6.979	71.778	4.17	25.00
550 - 500	146.71	1582.27	7.336	79.114	4.17	20.83
500 - 450	153.22	1735.49	7.661	86.775	4.17	16.67
450 - 400	189.23	1924.72	9.462	96.236	4.17	12.50
400 - 300	56.49	1981.21	2.825	99.061	8.33	4.17
300 - 250	18.79	2000.00	0.940	100.000	4.17	0.00

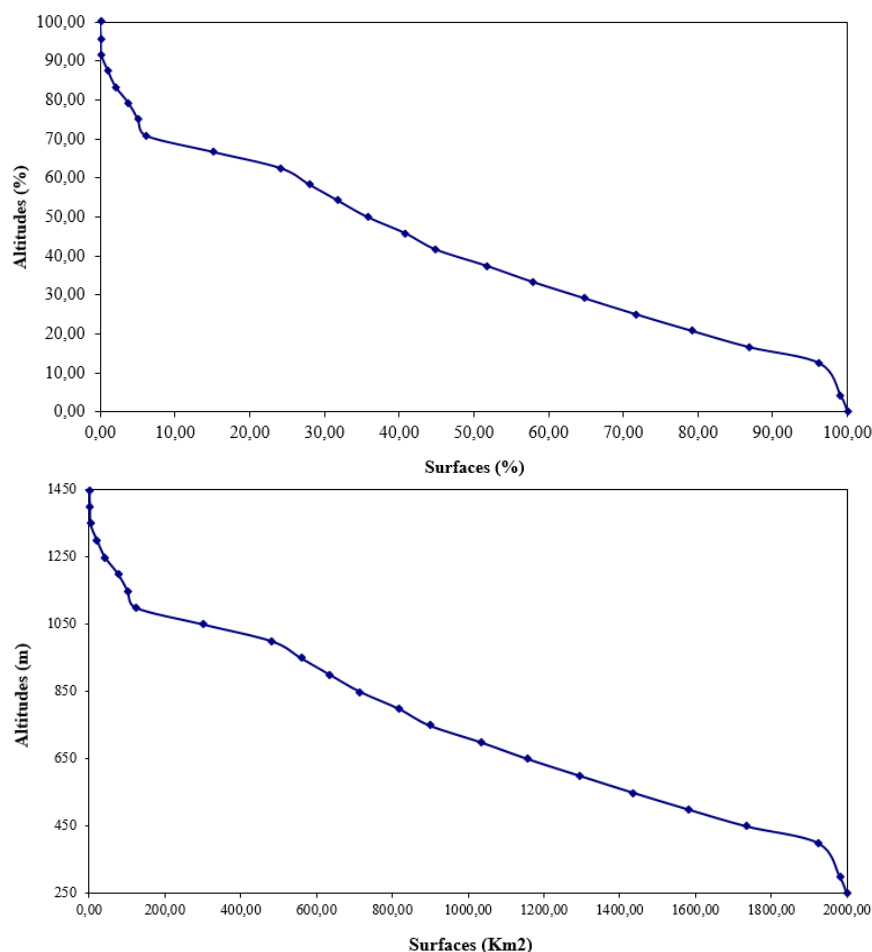


Figure 39 : Courbes Hypsométriques

Les paramètres ci-dessus ainsi que d'autres critères physiques du bassin versant de l'Oued Mouillah sont donnés au tableau ci-après.

Tableau 17 : Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant

Paramètres	Valeurs
Surface du BV (km ²)	2650
Périmètre (km)	241
Indice de compacité, Kc	1.50
Longueur du rectangle équivalent, L (km)	98.70
Largeur du rectangle équivalent, l (km)	20.30
Altitude maximale, H _{max} (m)	1430
Altitude minimale, H _{min} (m)	250
Altitude moyenne, H _{moy} (m)	747
Dénivelé (m)	740
Pente moyenne (m/km)	33.55
Densité de drainage (km/km ²)	0.69
Fréquence des cours d'eau d'ordre 1, (nombre = 1378)	0.94
Longueur du talweg principal	104.40

II.7. HYDROLOGIE

II.7.1. INTRODUCTION

La prédiction des crues et de leurs effets, l'érosion des sols, la pollution d'origine urbaine, agricole ou industrielle et plus généralement l'influence du développement de l'agriculture et de l'urbanisation sur l'écologie, sont autant de questions qui se posent lorsqu'on se demande comment améliorer ou même simplement conserver sans dégrader le patrimoine : Eau et Sol

La réponse à ces préoccupations, posées à l'échelle d'un bassin versant, passe nécessairement par l'étude des bilans hydrologiques menés sur une période d'observation pour évaluer ainsi la sensibilité des rivières aux variations du climat.

L'approche quantitative d'un système hydrologique repose sur l'évaluation des flux d'eau qui le traversent, de leur concentration en sédiments et sur l'analyse des mécanismes qui régissent ces flux. Ainsi, selon la disponibilité des données de mesures :

- Quantifier les apports liquides moyens annuels, mensuels ;
- Etudier la variabilité des apports ;
- Quantifier les apports solides.

II.7.2. ESTIMATION DU TEMPS DE CONCENTRATION

Il représente la durée nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydrologique le plus éloigné en amont du bassin versant jusqu'à l'exutoire. La détermination de ce paramètre est basée sur la méthode empirique de GIANDOTTI.

$$T = \frac{30.E\sqrt{j}}{V} \sqrt{S} + 1.5.L \quad (52)$$

$$0.8.\sqrt{h}$$

- T : Temps de concentration ou durée de la phase ascendante de la crue (h) ;
- V : Vitesse de la lame d'eau écoulée (m/s) ;
- E : Epaisseur de la lame d'eau écoulée (m) ;
- j : Pente moyenne des versants (%) ;
- S : Surface du bassin versant (km²) ;
- L : Longueur du thalweg principal (km) ;
- h : Altitude moyenne du bassin par rapport à l'exutoire (m).

Le rapport $\frac{V}{E\sqrt{j}}$ est appelé coefficient d'écoulement spécifique (γ). Il est à noter

que chaque bassin est caractérisé par une surface occupée par un type de couvert végétal et à chaque type correspond un coefficient d'écoulement spécifique γ_x (tableau 18) :

Tableau 18 : Valeurs γ_x En fonction du type du couvert végétal

Type de couvert végétal	γ_x
Arboriculture	10
Culture extensive	15
Couvert mort	20
Couvert forestier dégradé	07.5
Couvert forestier normal	06
Prairies et terrains de parcours	05

Pour chaque bassin versant, le temps de concentration est calculé en considérant la valeur de γ de la manière suivante :

$$\gamma = \frac{\sum \gamma_x \cdot S_x}{S} \quad (53)$$

Avec :

- γ_x : Coefficient d'écoulement spécifique relatif au type x du couvert végétal.
- S_x : Surface afférente au type x du couvert végétal.
- S : Surface totale du bassin versant.

Pour un coefficient d'écoulement spécifique de 14.83, pour le bassin versant de l'Oued Mouillah, les calculs donnent un temps de concentration est de l'ordre de **12^H49'21''**.

Devant la superficie importante du bassin et la longueur du thalweg principal, Cette valeur n'est pas très importante vue la distance parcourue par une goutte d'eau pour arriver à la cuvette du barrage Hammam Boughrara.

II.7.3. CALCUL DES APPORTS LIQUIDES

Les apports et les lames d'eau écoulées à l'échelle annuelle, mensuelle ou saisonnière relatifs à chaque bassin sont exprimés par :

$$A_L = Q_L \cdot N \cdot 10^{-6} \quad (54)$$

$$E = (A_L / S) \cdot 10^3 \quad (55)$$

Avec :

- A_L : Apport liquide annuel, mensuel ou saisonnier (Hm³).
- Q_L : Débit moyen annuel, mensuel ou saisonnier (m³/s).
- N : Nombre de secondes dans l'année, le mois ou la saison.
- E : Lame d'eau écoulée ou ruissellement (mm).
- S : Surface du bassin versant (km²).

II.7.3.1. APPORTS LIQUIDES ANNUELS DU BASSIN VERSANT DE O. MOUILLAH

Les apports annuels arrivant au barrage sont importants (Tableau 19) variant entre 16.28 Hm³ et 176.13 Hm³.

Le coefficient d'irrégularité de l'écoulement : rapport des apports de l'année la plus humide à ceux de l'année la plus sèche est de 10.82.

Cette valeur marque l'irrégularité inter-annuelle des apports liquides. La lame d'eau moyenne sur 18 ans n'est que de 25.50 mm soit un déficit d'écoulement de 271.7 mm représentant 91.42 % des précipitations enregistrées à la station de Maghnia.

Tableau 19 : Apports Liquides Annuels et Lames d'eau écoulées

Année	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	
AL (Hm³)	52.41	33.58	154.25	119.97	44.20	33.35	34.73	19.70	18.49	
E (mm)	19.78	12.67	58.21	45.27	16.68	12.58	13.11	7.43	6.98	
Année	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	Moy
AL (Hm³)	176.13	30.28	83.30	97.55	98.38	95.55	16.28	48.04	57.05	67.57
E (mm)	67.59	11.43	31.44	36.81	37.13	36.06	6.14	18.13	21.58	25.50

II.7.3.2. APPORTS LIQUIDES SAISONNIERS DU BASSIN VERSANT

Les apports moyens saisonniers (Tableau 20) sont les plus importants en automne et à un degré moindre au printemps où leur somme représente 70.28% des apports annuels.

Pendant l'hiver, on enregistre environ la moitié des apports de chacune de ces deux saisons. Vu la superficie importante du bassin versant, les lames d'eau écoulées sont faibles n'atteignant pas les 10 mm.

Tableau 20 : Apports Liquides Saisonniers et Lames d'eau écoulées

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été	Moyenne
AL (Hm³)	24.19	14.86	23.30	5.30	16.91
E (mm)	9.13	5.61	8.79	2.00	6.38

II.7.3.3. APPORTS LIQUIDES MENSUELS DU BASSIN VERSANT

Les apports moyens mensuels (Tableau 21) enregistrent leur maximum au mois de novembre et leur minimum au mois d'août.

Nous avons calculé, pour la même période, les déficits d'écoulement moyens mensuels et leurs pourcentages par rapport aux précipitations.

Nous remarquons que ces pourcentages qui varient entre 78.79 % et 96.41 % ne dépendent pas uniquement de la température mais aussi de la quantité des pluies tombées.

Tableau 21 : Apports Liquides Mensuels et Lames d'eau écoulées

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	Moy
AL (Hm³)	3.24	9.05	11.90	6.57	4.46	3.84	10.94	6.19	6.17	2.73	1.31	1.26	5.64
E (mm)	1.22	3.24	4.49	2.48	1.68	1.45	4.13	2.34	2.33	1.03	0.49	0.47	2.13

II.7.4. LES APPORTS SOLIDES

Par leur nature, les mesures de turbidité présentent des difficultés relatives à leur représentativité. Le poids de l'échantillon ne reflète pas, en réalité, la totalité des matériaux arrachés par toutes les formes de dynamique érosive qui affecte les versants. Les transports solides en suspension, ne tiennent pas compte :

- Des charriages de fond.
- Des transports en solution.
- Des variations de la teneur en suspension entre points de la section mouillée.

En conséquence, le taux des transports solides spécifiques obtenu à partir des mesures de la turbidité moyenne ramenée à la superficie totale du bassin étudié, reste inférieur au taux global issu des flux de sédiments de différents calibres.

Les apports solides A_s (10^6 T ou MT) et les apports solides spécifiques A_{ss} ($t.km^{-2}.an^{-1}$) sont calculés de la manière suivante :

$$A_s = Q_s .N.10^{-9} \quad (56)$$

$$A_{ss} = (A_s.10^6)/S \quad (57)$$

Avec :

- A_s : Apport solide annuel, mensuel ou saisonnier (MT).
- Q_s : Débit solide annuel mensuel ou saisonnier (kg/s).
- N : Nombre de secondes dans l'année, le mois ou la saison.
- A_{ss} : Apport solide spécifique ($t.km^{-2}.an^{-1}$).
- S : Superficie du bassin versant (km^2).

II.7.4.1. APPORTS ANNUELS

Avec un apport solide de 5.725 MT, l'année hydrologique 1986-1987 a été exceptionnelle. Durant cette année, il a été exporté plus de 6 fois le transport solide moyen annuel (Tableau 22).

L'ampleur de l'irrégularité inter-annuelle du point de vue quantitatif (le rapport entre les apports solides des années à forte et faible érosion atteint 438.85) et du point de vue de la concentration (elle est de 0.58 g/l en 1978-1979 et 31.96 g/l en 1980-1987, soit 55 fois la précédente).

Malgré les quantités importantes de l'apport solide, la dégradation spécifique reste modeste ne dépassant qu'à deux reprises sur 18 ans le seuil de 1000 t/km²/an.

Tableau 22 : Apports Solides et Apports Solides Spécifiques Annuels

Année	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	
As (MT/an)	0.105	0.019	2.827	0.073	0.218	0.013	0.063	0.035	0.059	
Ass (t/km²/an)	39.77	7.32	1066.9	27.52	82.34	4.99	23.91	13.17	22.18	
C (g/l)	2.01	0.58	18.33	0.61	4.94	0.40	1.82	1.77	3.18	
Année	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	Moy
As (MT/an)	5.725	0.669	0.998	2.601	2.040	1.045	0.096	0.447	0.338	0.965
Ass (t/km²/an)	2160.2	252.54	376.58	981.35	769.74	394.41	36.07	168.70	127.43	364.17
C (g/l)	31.96	22.10	10.98	26.66	20.73	10.94	5.87	9.32	5.92	9.90

II.7.4.2. APPORTS SAISONNIERS

La saison de plus forte érosion est l'automne avec 59.30 % des transports solides annuels. Le printemps est classé deuxième, mais du point de vue de la quantité, il n'est charrié que 51.04 % de la quantité automnale (Tableau 23). Les autres saisons connaissent une activité érosive faible.

Tableau 23 : Apports Solides et Apports Solides Spécifiques Saisonniers

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Moyenne
As (MT)	0.574	0.045	0.293	0.055	0.242
Ass (Km ²)	216.50	17.14	110.57	20.64	91.21

II.7.4.3. LES APPORTS MENSUELS

Les mois d'octobre et novembre sont sujets à une activité érosive intense. Au cours de ces deux mois, 55.35 % de l'apport solide global relatif à l'année moyenne est acheminé vers l'exutoire du bassin.

Le mois de mars, malgré un écoulement classé deuxième sur le plan mensuel, connaît un transport solide modeste. (Tableau 24).

Tableau 24 : Apports Solides et Apports Solides Spécifiques Mensuels

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	Moy
As (MT)	0.035	0.224	0.314	0.009	0.016	0.019	0.150	0.040	0.103	0.048	0.003	0.004	0.081
Ass (t/km ²)	13.27	84.67	118.57	3.39	6.22	7.52	56.67	15.12	38.78	18.04	1.25	1.12	30.40

II.7.5. ETUDE DE LA CRUE LA PLUS IMPORTANTE

La crue survenue au mois de Novembre 1986, est la plus importante sur 18 ans. Elle a duré six jours. Les mesures des débits liquides au cours de ce mois ont été effectuées régulièrement tous les deux jours.

Pendant ce mois, la pluviométrie à la station de Maghnia a atteint 168.3 mm, 4.3 fois la moyenne mensuelle sur 19 ans. Nous avons consigné dans le Tableau 25 les caractéristiques de cette crue.

Tableau 25 : Caractéristiques de la crue du mois de Novembre 1986

Temps de montée de la crue	2 jours
Temps nécessaire à la décrue : 4 jours	4 jours : 581.07 m ³ /s
Débit de pointe	581.07 m ³ /s
Apport liquide de la crue	79.26 Hm ³
% de l'apport de la crue/l'apport mensuel	53.08%
% de l'apport de la crue/l'apport annuel	44.79%
Lame d'eau écoulée	48.04 mm
Tendance de montée de crue	$Q_L = 3.10^{-6} T^{51.65}$ R= 0.97
Tendance de décrue	$Q_L = 4.10^{31} T^{23.46}$ R= 0.98

Au cours de cette crue, la turbidité a augmenté proportionnellement à l'écoulement pour passer de 0.08 g/l au début de la crue (le 15 du mois) à 43.8 g/l enregistrée le jour où la crue a atteint son maximum (le 17 du mois).

Les caractéristiques du transport solide durant cette crue sont données par le tableau suivant :

Tableau 26 : Caractéristiques du Transport Solide lors de la crue du mois de Novembre 1986

Temps de montée de la crue	2 jours
Temps nécessaire à la décrue : 4 iours	4 jours : 581.07 m ³ /s
Débit solide de pointe	25451.68 kg/s
Turbidité de pointe	43.8 g/l
Apport solide pendant la crue	2.88 MT
% de l'apport de la crue /l'apport mensuel	53.33 %
% de l'apport de la crue /l'apport annuel	50.95 %
Apport solide spécifique moyen	1087.57 t/km ²

II.8. HYDROGEOLOGIE

II.8.1. INTRODUCTION

Cette partie permettra d'étudier le contexte hydrogéologique du bassin de l'Oued Mouillah (plaine de zriga et de plaine de Maghnia).

Les séquences lithologiques et les conditions tectoniques déterminées par le contexte géologique de la région de Maghnia permettent d'individualiser plusieurs formations aquifères.

II.8.2. IDENTIFICATION ET CARACTERISTIQUES DES AQUIFEERTS

Dans le bassin versant de l'Oued Mouillah domine la toute la pleine de Maghnia, le réservoir de la nappe se trouve surtout dans les lentilles de galets plus ou moins cimentés incluses dans les alluvions plio-quatérnaires(ZERROUKI, M. A., 2011).

Ce réservoir repose sur le miocène et le pliocène inférieur marneux totalement imperméable. Sous les alluvions plio-quatérnaires, quatre horizons géologiques datés du secondaire et du Tertiaire sont potentiellement aquifères :

- Le lias carbonaté
- Les dolomies de Tlemcen
- Les dolomies de Terni
- Les grès du Miocène
- Les formations du Plio-Quaternaire.

Ainsi, les différents réservoirs et leurs caractéristiques peuvent être résumés dans la figure suivante (figure 40).

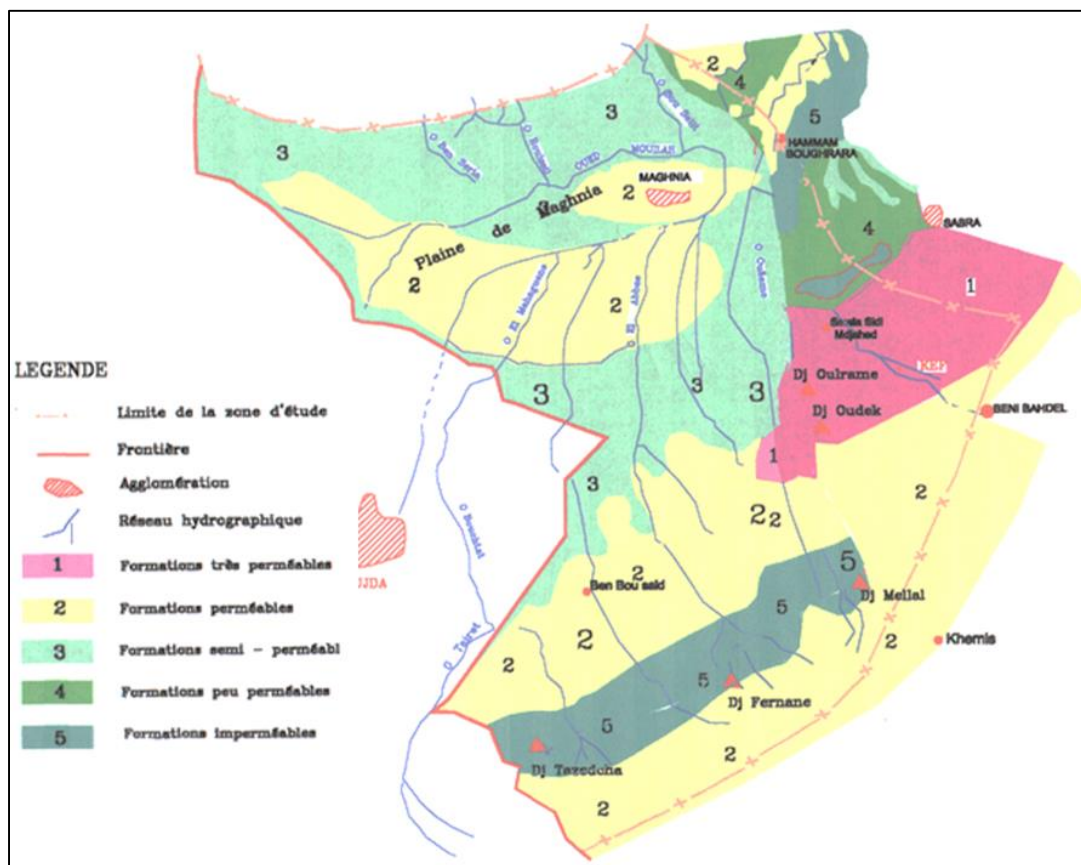


Figure 40 : Identification et caractéristiques des aquifères

II.8.3. PRESENTATION DES PRINCIPALES NAPPES

La protection des ressources en eaux souterraines impose au préalable une localisation précise des aquifères ainsi que la connaissance du fonctionnement général des nappes (BENADDA L., 2004).

Pour le secteur concerné par l'étude, les eaux souterraines sont réparties en cinq nappes contenues dans la plaine de Maghnia et Zrigua (figure 40).

II.8.3.1. NAPPE : « NP01 »

Elle gît dans la plaine de Maghnia en état libre dans les formations plio-quaternaire, à bonne perméabilité, qui se prolongent jusqu'au territoire marocain.

Sa puissance varie de 10 à 75 m avec une surface piézométrique profonde de 5 à 30 m par rapport au sol.

II.8.3.2. NAPPE : « NP02 »

Selon son mode de gisement, elle peut être libre à captive, elle prend son extension de la plaine de Maghnia.

Ses limites litho-stratigraphiques sont : les marnes du plio-quaternaires forment le toit, et le mur de la nappe est constitué dans les marnes du jurassiques ou les grès du lusitanien.

La puissance de l'aquifère varie entre 20 à 80 m, la profondeur de la nappe y est de 20 à 30 m.

II.8.3.3. NAPPE : « NP03 »

Elle se développe dans la partie Ouest des monts de Traras et sous la plaine de Maghnia avec une épaisseur allant de 20 à 100 m.

La profondeur de la surface piézométrique est d'environ 30 m.

II.8.3.4. NAPPE : « NP04 »

C'est une nappe captive, constituée des grès de lusitanien qui forme avec NP03 un réservoir unique à même extension. La partie aquifère possède une épaisseur de 30 à 80 m et la surface piézométrique est sub-artésienne.

II.8.3.5. NAPPE : « NP05 »

Contenue dans les calcaires argileux ou gréseux du lias, elle est libre ou captive. La puissance de la formation calcaire est de 400 m et la surface piézométrique se situe approximativement à 10 m de profondeur.

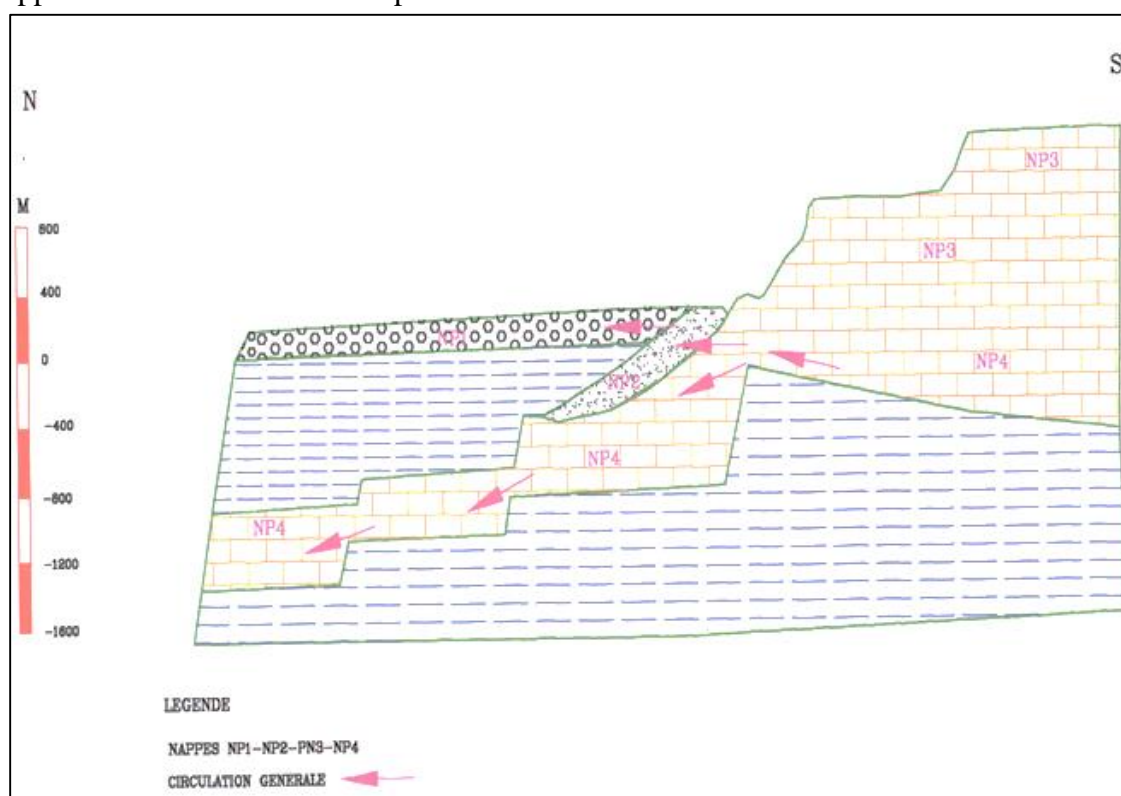


Figure 41 : Présentation des principales nappes

II.8.4. PRESENTATION DES PRINCIPAUX FORAGES

Plusieurs forages sont contenus dans l'aire d'étude, nous les représentons dans le tableau ci-dessous (ANRH) :

Tableau 27 : Forages contenues dans l'aire d'étude (partie Algérienne)

Situation	Nom du forage	Coordonnées du forage			Niveau statique	Profondeur du forage
		Latitude	Longitude	Altitude		
Maghnia	Maghnia01	91.600	178.750	-	22.70	90
Maghnia	Maghnia02	90.625	178.500	-	25.00	100
Maghnia	Maghnia03	90.450	178.850	-	-	110
Maghnia	Maghnia04	92.500	179.875	-	23.00	100
Maghnia	Maghnia05	92.700	180.000	-	25.80	100
Maghnia	Maghnia06	92.500	179.400	395.000	-	100
Maghnia	Maghnia07	91.900	178.000	-	-	190
Maghnia	Akid Lotfi	84.750	176.050	447.000	29.00	172
Maghnia	Zrigua 01	82.450	179.475	431.000	27.00	250
Maghnia	Zrigua 02	83.625	181.075	425.000	16.75	200
Maghnia	Zrigua 03	82.750	180.100	430.000	-	200
Maghnia	Puits 50	77.670	183.350	431.000	14.58	203
Maghnia	Chbikia	81.500	183.600	447.000	34.00	246
Maghnia	Maâziz	654.300	3864.60	565.000	Artésien	400

Source : DSA – Maghnia

Cette partie permettra d'étudier le contexte hydrogéologique du bassin de l'oued Mouillah (plaine de zriga et la plaine de Maghnia).

Les séquences lithologiques et les conditions tectoniques déterminées par le contexte géologique de la région de Maghnia permettent d'individualiser plusieurs formations aquifères.

II.9. CADRE SOCIO- ECONOMIQUE

II.9.1. ARMATURE URBAINE DU BASSIN VERSANT

L'armature urbaine du bassin versant de l'oued Mouillah se compose de la daïra de Maghnia et de la région d'Oujda au Maroc.

La partie du bassin versant de la Tafna concernée par le barrage de Hammam Bouhrara compte trois communes : Sidi Medjahed, Beni Bousaid et Beni Bahdel.

II.9.2. REGION D'OUJDA

Dans le côté Marocain, en plus de la préfecture d'Oujda–Angad (Chef lieu), cinq autres provinces se situent dans le bassin versant de Mouillah, elles sont :

- Au Sud d'Oujda les agglomérations de Touissite, Sidi Boubekour, Oued El Heime et Guenfouda.
- Au Nord d'Oujda, El Aleb et Benidirar.

II.9.3. COMMUNE DE MAGHNIA

Située à l'extrême Nord-Ouest de l'Algérie, sa position frontalière, lui confère un rôle stratégique entre l'Algérie et le Maroc. Elle est limitée géographiquement :

- Au Nord par le massif des Traras qui l'isole de la Mer Méditerranée.
- Du Sud à l'Est par les monts de Tlemcen.
- A l'Ouest et au Sud – Ouest par la ligne frontalière avec le Maroc.

La commune de Maghnia s'étend sur une superficie totale de 294 km², composée de huit agglomérations :

- L'agglomération chef-lieu : Maghnia ;
- Les agglomérations secondaires : Akid Abbés, Akid Lotfi, M'Samda, Bekhata, Chebikia, Bettaine et Lagfef.

II.9.4. LA COMMUNE DE HAMMAM BOUGHRARA

La commune de Hammam Boughrara est située au Nord-Ouest de la Wilaya de Tlemcen à 30 km du chef-lieu de la Wilaya et 10 km à l'Est de la commune de Maghnia. Elle est limitée :

- Au Nord par la commune de Nedroma et Ain Kebira,
- Au Nord – Ouest par la commune de Djebala,
- Au Sud – Ouest par la commune de Maghnia,
- Au Sud par la commune de Bouhlou,
- A l'Est par la commune de Sabra et Ouled Riah et
- Au Nord-Est par la commune d'Ain Fellah.

La commune de Hammam Boughrara couvre une superficie de 167 km² et compte huit agglomérations :

- Agglomération chef-lieu : Hammam Boughrara.
- Agglomérations secondaires : Maaziz, Sidi Mokhtar, Bourakba, Ouled Houari, Ouled Aissa, Ouled Bouhenna et Hadjra Kahla.

II.9.5. SITUATION DEMOGRAPHIQUE

II.9.5.1. OUJDA

La population d'Oujda est de l'ordre 400 000 habitants (en 2000) avec un taux d'accroissement moyen de 2,1% (selon le taux moyen national marocain).

II.9.5.2. DAÏRA DE MAGHNIA

Elle est la plus peuplée à l'échelle de la Wilaya de Tlemcen après le groupement urbain de la ville de Tlemcen. Selon le recensement effectué en 2008 (tableau 28), la population totale était de 126.078 habitants avec un taux d'accroissement moyen de 1,8% pour la commune de Maghnia et 1,1% pour celle de Hammam Boughrara.

Tableau 28 : Population du daïra de Maghnia

Commune	Total
Maghnia	114 634
Hammam Boughrara	11 444
Total	126 078

II.9.6. ACTIVITES E CONOMIQUES**II.9.6.1. REGION D'OUJDA**

Les activités agricoles et agro-alimentaires sont prédominantes dans la région. Par contre l'industrie minière est concentrée dans la région orientale, au Sud d'Oujda, où les gisements de plomb et de zinc sont exploités à Sidi Boubekeur et Touissit avec une production de 16000 tonnes de concentré de plomb et 41 300 tonnes de concentré de zinc.

II.9.6.2. REGION DE MAGHНИЯ

Les activités dans la région de Maghnia se résume par :

- L'agriculture : Les zones exploitées dans la plaine irriguée de Maghnia sont une source potentielle de pollution due à l'épandage des engrais, le traitement des sols et des végétaux et l'exploitation de la nappe.

D'après la direction des services agricoles de la Wilaya de Tlemcen les cultures pratiquées sont les céréalières, fourragères, maraîchères ainsi que l'arboriculture et la viticulture.

La superficie totale irriguée est de 5250 Ha ; par ailleurs, les cultures maraîchères prédominent avec 2878 Ha.

A défaut de données réelles, les estimations théoriques des besoins en eau, à titre indicatif, pour les cultures céréalières, maraîchères, la viticulture et l'arboriculture seraient de l'ordre de 2,05 Hm³/an (DSA, 2019).

- Production animale : L'élevage, peut être une source de pollution des eaux superficielles et souterraines si les déchets générés ne sont pas valorisés ou éliminés dans des conditions d'hygiène et d'environnement adéquat. Les principales espèces élevées sont les bovines 1953 têtes, les ovines 44 125 têtes, les caprins 659 têtes ainsi que l'élevage avicole 390 140 individus (DSA, 2019).
- Industrie : dans la région de Maghnia est prédominée par cinq (05) unités industrielles importantes (tableau 29).

Tableau 29 : Principales unités industrielles

E.N.O.F	Traitement des terres décolorantes
C.E.R.T.A.F	Production de céramique et vaisselle Huiles
E.N.C.G	Alimentaire et savons Production d'amidon
E.R.I.A.D	Production d'olive

- Tourisme : l'activité touristique au niveau de la zone d'étude est axée autour du tourisme thermal. Il existe trois stations thermales dont deux, d'importance régionale (Hammam Boughrara et Hammam Chiguer).

II.10. SYNTHÈSE

Le sous bassin de l'oued Mouillah est situé à l'ouest du bassin versant de la Tafna. Limité par un périmètre de 241 km, il couvre une superficie de 2000 km² composée dans sa majorité par les plaines d'Angad (située à Oujda) en territoire marocain et celle de Zrigua (située à Maghnia en territoire Algérien). La longueur de son talweg principal est de 104,4 km.

La région étudiée est caractérisée par un climat semi-aride à hiver tempéré où les précipitations moyennes annuelles sont de 325mm, la température moyenne annuelle est de 18,5°C et l'évapotranspiration potentielle de 1167 mm. Les vents dominants sont de direction Ouest-Est ouest. Des apports mensuelles sont très variables, le débit moyen mensuel est maximum au mois de novembre avec 6,29 Hm³ et minimum au mois de juin avec 0,8 Hm³.

Les apports solides sont également variables et les débits observés sont les plus élevés en mars 0.15 MT et les plus faibles en juillet 0,003 MT.

Le bassin versant de l'oued Mouillah est constitué de terrains allant du paléozoïque au quaternaire. Les terrains anciens, où prédominent les formations carbonatées (calcaires et dolomies très fissurées et karstifiées), et gréseuses constituent les reliefs. Les dépressions sont recouvertes de terrains meubles représentés par des argiles, des marnes à gypse, des alluvions et des limons.

Les séquences lithologiques et les conditions tectoniques déterminées par le contexte géologique de la région de Maghnia permettent d'individualiser quatre formations aquifères.

Les caractéristiques géomorphologiques de ce bassin : forme allongée, $I_g = 7,5\%$, $k = 1,5$, $T_c = 12$ heures indiquant des vitesses faibles et favorisent la décantation des particules solides au niveau des cours d'eau. De ce fait les eaux de ruissellement atteignent l'exutoire du bassin, pauvres en matières en suspension.

En matière de rejet, le bassin versant de l'oued Mouillah reçoit :

- Les rejets d'eau usée urbaines et industrielles de la ville d'Oujda et des autres agglomérations marocaines.
- Les rejets des eaux usées urbaines et industrielles (ENOF ; ENCG ; ERIAD et ECVO) de la région de Maghnia.

CHPAITRE III : MATERIELS ET METHODES

III.1. INTRODUCTION

Le bassin versant de l'Oued Mouillah connaît de fortes pollutions sollicitées par les divers rejets liquides et solides de part et d'autre de la frontière Algéro-Marocaine.

Les sources de ces rejets sont d'ordre domestique, agricole et industriel. Leur impact varie selon la composition des matières rejetées d'une part, et selon la réaction entre les éléments et leur propagation dans le milieu urbain d'autre part.

Ces rejets ont un impact néfaste sur beaucoup de régions stratégiques de l'ensemble du bassin versant de l'Oued Mouillah, comme le milieu urbain de la ville de Maghnia et, notamment, sur le Barrage Hammam Bougherara situé à l'exutoire principal de l'Oued Mouillah, à la confluence avec l'Oued Tafna.

Ayant une capacité de 177 millions de m³ dont 59 millions régularisables, il a été destiné au départ au renforcement de l'AEP des villes d'Oran, de Aïn Témouchent, de la région de Maghnia, mais actuellement ses eaux servent à l'alimentation en eau du couloirs Nord-Ouest de la Wilaya de Tlemcen, ainsi que l'irrigation des périmètres d'irrigation de la moyenne et une partie de la basse Tafna (DRE 2008).

Ainsi, dans ce chapitre nous allons exposer les différents rejets urbains, agricoles et industriels en deux parties séparées, en l'occurrence rejets de la partie algérienne et ceux de la partie marocaine.

III.2. POLLUTION COTE ALGERIEN

La pollution du côté Algérien au niveau du bassin versant de l'Oued Mouillah est de différents types ; domestique, industrielle et agricole, que nous présentons ci-dessous.

III.2.1. SOURCES DE POLLUTION DOMESTIQUE

Généralement, ces rejets sont constitués des eaux usées domestiques et pluviales, lorsque le réseau d'évacuation est unitaire.

Pour ce qui est du bassin versant de l'Oued Mouillah, cette pollution est due aux rejets des eaux usées d'usage domestique des villes et agglomérations se trouvant dans le bassin versant, en l'occurrence les communes de : Maghnia, Hammam Bougherara, Sidi Medjahed et Bouhlou.

Pour la réduction de l'agressivité de cette pollution, une station d'épuration a été réalisée afin de traiter les eaux usées de la ville de Maghnia. Cette station d'épuration biologique par boues activées à une capacité totale de 150.000 équivalents habitants, elle atteint progressivement des résultats acceptables après plusieurs essais effectués depuis le 05 Juin 1999 jusqu'au Janvier 2000 (DRE 2008).



Figure 42 : Station d'épuration de Legfaf (Maghnia) par boues activées

Les eaux usées à l'entrée de la station passent par plusieurs étapes à savoir :

- Le prétraitement,
- Le traitement de dénitrification,
- Le traitement biologique,
- La décantation finale et
- La désinfection.

Les analyses qui s'effectuent sur les rejets hydriques à la sortie de la STEP donnent les résultats suivant :

Tableau 30 : Résultats d'analyses des rejets domestiques

Analyses	Unité	Entrée	Sortie	Normes
T	C°	16	18	-
pH	-	7,8	7,6	-
O ₂ dissous	mg/l	2,7	5,8	-
M.E.S	mg/l	620	12	30
DBO ₅	mg/l	425	20	30
DCO	mg/l	1485	104	90
Phosphate (PO ₄)	mg/l	47,75	32,5	-
Azote (N.NH ₃)	mg/l	67,5	5	-
Azote (N.NO ₂)	mg/l	12	12	-

Le rendement épuratoire est défini par :

- Demande biologique en O₂ : 95,30%
- Demande chimique en O₂ : 93,00%
- M.E.S : 98,10%
- Le rendement moyen : 95,00%

D'après ces résultats, nous pouvons dire que le problème des rejets hydriques domestiques est résolu, il suffit que les services d'hydrauliques assurent le raccordement de toutes les eaux usées urbaines à la station d'épuration.

III.2.2. SOURCES DE POLLUTION SOLIDE

La décharge actuelle des déchets solides urbains est située en amont de hammam Chigueur environ 2,5 Km de la ville de Maghnia. Cette décharge regroupe différents types de déchets : ménagers, d'abattoirs hospitaliers, industriels et agricoles.



Figure 43 : Centre d'enfouissement technique de Maghnia

Les déchets évacués varient d'une région à l'autre selon les saisons de l'année, les habitudes, le niveau de vie et de l'éducation des habitants.

Actuellement, les déchets ménagers sont estimés à 40.3 tonnes/jour, soit environ 14710 tonnes/an, dont malheureusement, une partie importante de ces déchets se trouvera d'une façon ou d'une autre dans le bassin versant de l'Oued Mouillah, et par conséquent dans le barrage Hammam Boughrara (Direction de l'environnement 2008).

Ainsi, il est suggéré de mener des études de décharges solides afin de régler le problème de pollution solide au niveau du bassin versant de l'Oued Mouillah.

III.2.3. SOURCES DE POLLUTION INDUSTRIELLE

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

Les caractéristiques des eaux de procédé sont fonction du type d'industrie : certaines industries n'en génèrent carrément pas ou très peu, alors que d'autres en produisent des volumes considérables. La contamination des eaux de procédé varie aussi avec le type d'industrie : la fabrication d'aliments engendre des contaminants organiques, alors que la confection d'une multitude de produits de consommation génère surtout des contaminants inorganiques (comme les métaux).

Au côté Algérien de l'aire d'étude, la pollution est causée par quatre (04) principales unités industrielles situées à Maghnia, à savoir l'ENOF (entreprise de bentonite et de la terre décolorante), l'ENCG (entreprise des corps gras), Maïserie Tafna (Ex-ERIAD : Entreprise des aliments et dérivés) et CERTAF (Ex-ECVO : complexe de la vaisselle et céramique).

En plus, juste à l'amont de la cuvette du Barrage Hammam Boughrara, une zone industrielle abritant plusieurs types d'usine de différentes activités à été projeté sur un site de 250 Ha.

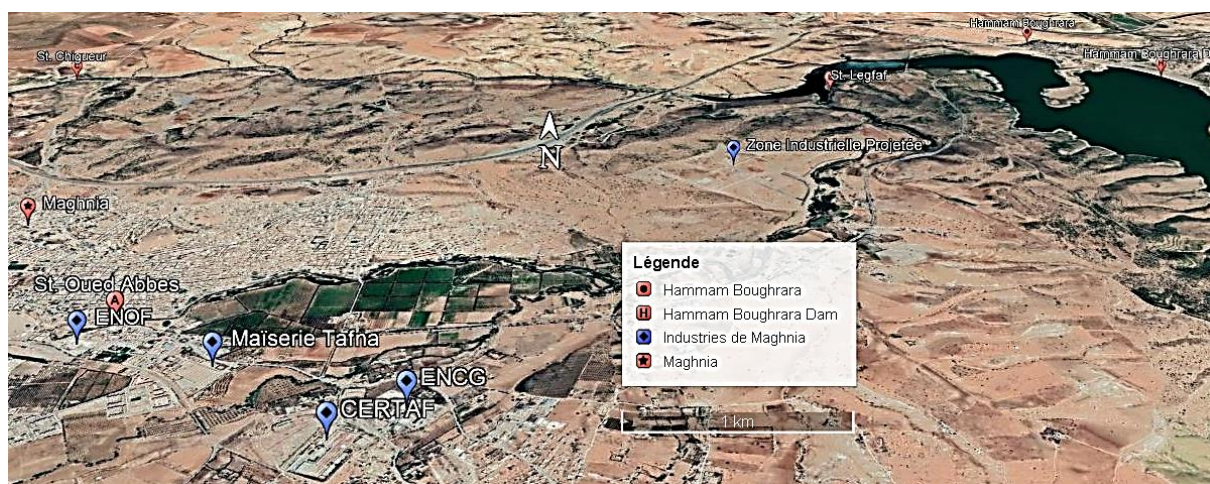
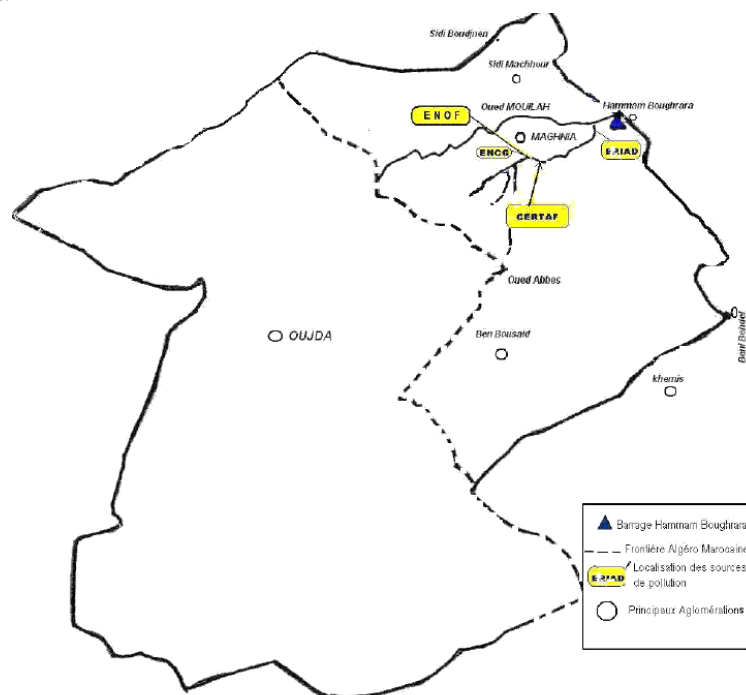


Figure 44 : Situation des industries de la ville de Maghnia

Pour connaître le processus de fabrication de ces différentes industries et les composés de leurs rejets, ainsi que le mode de traitement qu'elles utilisent pour éliminer la pollution et son efficacité, nous avons mené des audits que nous exposons dans ce qui suit.

III.2.3.1. AUDIT A L'ENCG

Le complexe de l'ENCG a été mis en service en 1987, et produit l'huile, le savon et la glycérine. L'usine utilise comme matières premières : l'huile brute (de tournesol et de colza), les graisses animales et végétales et les sous-produits de savonnerie.

Comme matières secondaires, l'usine utilise : l'eau, la soude (NaOH), l'acide phosphorique (H_3PO_4), le sel (NaCl) et le chlorure ferrique ($FeCl_3$).

Elle occupe une superficie de 10 ha et rejette 528 m³/j d'eaux chargées d'huiles brutes, suif et glycérine. Les rejets se font dans l'Oued Abbès.

Le présent audit nous a permis de présenter l'unité, son activité, sa production, les matières qu'elle utilise, le mode de traitement des effluents rejetés et les remèdes qu'elle doit apporter pour réduire la pollution émise par ses rejets.

Nous présentons l'unité par la fiche technique suivante :

- Activité : Huilerie – savonnerie
- Production : Huile et savon
- Capacité de production : Huile 100 T/j, Savon 150 T/j
- Production réelle : Huile 95 T/j et savons 90 T/j
- Consommation en eau : 700 m³/j
- Utilisation de l'eau : Production vapeur, Lavage d'huile, Rinçage résines.
- Débit des effluents : 200 m³/j
- Procédé d'épuration : Physico chimique et biologique, Capacité de 100 m³/h, Rendement biologique est de 0%, et celui physico chimique est de 75%
- Milieu récepteur : Oued Abbès
- Autocontrôle : Laboratoire interne spécifique

Les actions entreprises par l'ENCG pour l'amélioration de la qualité de ses rejets sont présentées par les points suivants :

- Récupération de l'eau glycinée
- Récupération du soap stock
- Réhabilitation de la STEP
- Conditionnement d'huile
- Laboratoire d'auto contrôle

Par ailleurs, ces actions ont donné les résultats suivants :

- Réduction des volumes et charge des eaux glycinées.
- Réduction des volumes et des charges d'huiles et graisses.
- Rabattement de la charge polluante de 70%.
- Les concentrations à la sortie de la STEP restent élevées dû aux fortes charges.
- Réduction des pertes d'huile.
- Meilleur suivi de la STEP.

Ainsi, ces actions ont permis à l'entreprise d'avoir un gain économique conséquent dû principalement à la récupération et la valorisation des eaux glycinées et du soap stock avec une production de la glycérine industrielle et d'huiles acides.

Tableau 31 : Qualité des rejets de l'usine après traitement

Paramètre	Dates de prélèvement		
	30/10/00	21/11/00	17/12/00
Couleur	Marron		
pH	9	7,3	6,4
T°C	15,2	20,5	21
Oxygène dissout mg/l	0	0	3,8
DCO mg/l	28800	8000	5300
DBO₅ mg/l	14404	3361	3818
MES 105 °C	2584	984	152
Orthophosphate	-	30	45,49
Phosphore total	13,5	-	8,70

Les très fortes charges enregistrées le 31/10/00 sont fortement réduites le 21/11/00 et le 17/12/00 ce qui montre deux aspects importants :

- Les pointes possibles dans la qualité des rejets pourraient perturber le fonctionnement de la STEP.
- Une réduction notable de la charge de pollution entre le 30/10/00 et le 17/12/00 de l'ordre de 82% pour la DCO et 73% pour la DBO₅. Ce rabattement des charges serait dû à la mise en service de la filière physico-chimique.

En considérant la charge la plus forte enregistrée le 30/10/00, l'huilerie génère une charge de pollution de 80.000 habitants équivalents.

Si des efforts mesurables et chiffrés ont été consentis par l'entreprise, il n'en reste pas moins que la qualité des effluents en sortie de la STEP reste très élevée par rapport aux normes nationale en vigueur.

Les fluctuations trop importantes de la qualité des rejets nécessitent la maîtrise de la filière Physico-chimique pour augmenter le rabattement des charges, obtenir une qualité de rejets stable et éviter les pointes.

Une action urgente et soutenue doit être accordée à l'amélioration de la filière physico-chimique, ainsi que la réhabilitation et la remise en service de la filière biologique.

D'autre part, nous proposons les actions suivantes à entreprendre :

- Maîtriser la filière physico-chimique afin de rabattre les charges en DCO et DBO₅ à des valeurs respectives de 1000 à 1500 mg/l et 400 à 600 mg/l, pour permettre l'épuration biologique au stade suivant.
- Diagnostiquer et mettre en service l'épuration biologique.
- Audit approfondi pour établir d'un plan « environnement - entreprise ».
- Améliorer la gestion des boues et autres déchets.

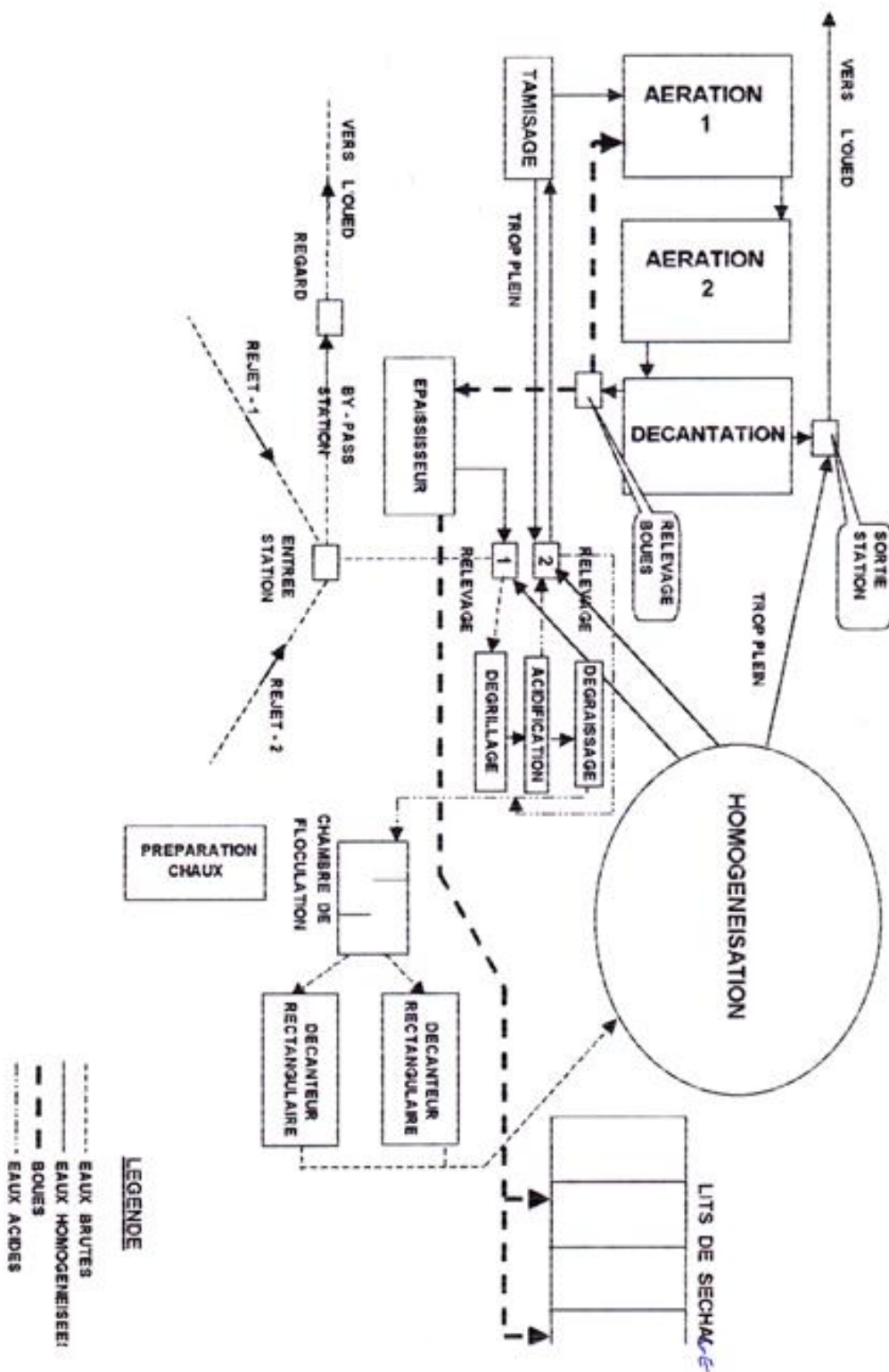


Figure 45 : Schéma de la filière de traitement des effluents de l'ENCG

III.2.3.2. AUDIT A LA MAÏSERIE DE LA TAFNA

L'unité de la Maïserie de la Tafna (ex-ERIAD), a démarré en 1980, elle fabrique des produits dérivés de Maïs. Les eaux usées à la sortie de la chaîne de production notent une pollution très importante. Les eaux usées rejetées renferment une pollution en DBO₅ de l'ordre de 8000 mg/l, et en DCO de 10200 mg/l. Ces valeurs changeant d'un jour à l'autre. Cette entreprise rejette sur l'Oued Abbès 1600 m³/j d'eaux chargées en gluten qui donne des mauvaises odeurs.

Le présent audit nous a permis de présenter l'unité, son activité, sa production, les matières qu'elle utilise, le mode de traitement des effluents rejetés et les remèdes qu'elle doit apporter pour réduire la pollution émise par ses rejets.

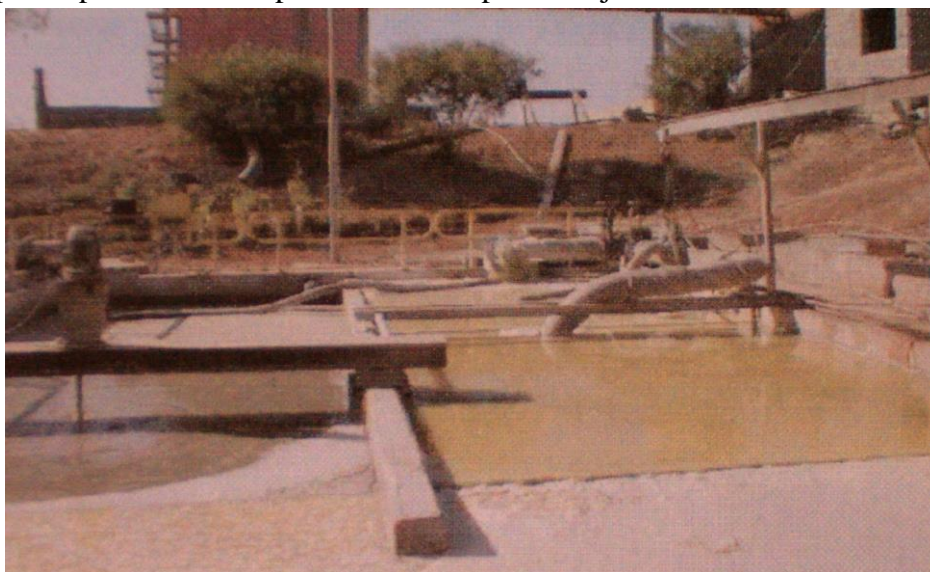


Figure 46 : Bassin de Neutralisation de la Station de Traitement de la Maïserie

Nous présentons l'unité par la fiche technique suivante :

- Activité : Maïserie Amidonnerie
- Production : Amidon, glucose, dextrine, gluten
- Matière première : Maïs 25 000 t/an
- Capacité de production : 200 T/j de maïs
- Production réelle : 100 T/j de maïs
- Consommation en eau : 600 à 800 m³/j
- Source de pollution : Trempage du maïs, Lavage de l'amidon
- Débit des effluents : 25 m³/j
- Qualité des effluents : tableaux 32 et 33
- Procédé d'épuration : bassins de neutralisation-décantation
- Milieu récepteur : Oued Abbès
- Autocontrôle : NON

Les actions entreprises par la Maïserie pour l'amélioration de la qualité de ses rejets sont présentées par les points suivants :

- Réalisation de la station de neutralisation,
- Augmentation du taux de récupération du gluten de 2,5 % à 7% par un meilleur suivi de l'exploitation.

Malheureusement, la station ne permet pas l'obtention d'un rejet de qualité conforme à la réglementation.

Tableau 32 : résultats des analyses du 08/05/2001

Paramètre	Entrée bassin de décantation	Sortie usine
pH	5,4	5,6
MES à 105 °C mg/l	248	312
DCO mg/l	19200	9200
DBO₅ mg/l	12672	5520

Nous marquerons que lors de ces prélèvements le rabattement de la charge est assez important mais restent loin de satisfaire les normes nationales. Le pH reste acide en sortie, donc la neutralisation fonctionnerait mal.

Tableau 33 : Rejet final : résultats des analyses

Paramètres	30/10/00	21/11/00	17/12/00
pH	7,1	6,8	4,6
T°C	24	28	21
Oxygène dissout mg/l	0	0	0
DCO mg/l	7400	10800	11100
DBO₅ mg/l	5329	7129	8659
MES 105 °C	1504	2016	1136
Orthophosphate	4	214	208,7
Phosphore total	10,50	225	238,5

Le pH acide n'est pas neutralisé de façon continue. Sur cinq prélèvements, trois présentaient un caractère acide d'où l'inefficacité de l'installation de neutralisation et de décantation. Les charges de pollution sont irrégulières avec des fluctuations allant jusqu'à 150%. De telles fluctuations portent atteinte au fonctionnement de la station de neutralisation mais aussi à la future installation d'épuration de l'unité.

La charge de pollution globale de l'unité calculée à partir du résultat des analyses du 17/12/00 est de 130000 habitants équivalents, soit supérieure à celle de la ville de Maghnia. Pour les valeurs de la campagne du 08/05/01 la charge serait de 190000 habitants équivalents. Ainsi, comme seuls remèdes pour l'usine sont de fournir de gros efforts concentrés sur la réduction de la pollution à sa source par une meilleure maîtrise du circuit de l'eau et des produits. Nous proposons :

- Diagnostic approfondi du procédé de fabrication,
- Diagnostic approfondi des bassins de neutralisation,
- Réduction des charges par maîtrise des consommations d'eau et de matières,
- Lancer une étude d'épuration et de valorisation des effluents et
- Mettre en place un plan environnement entreprise.

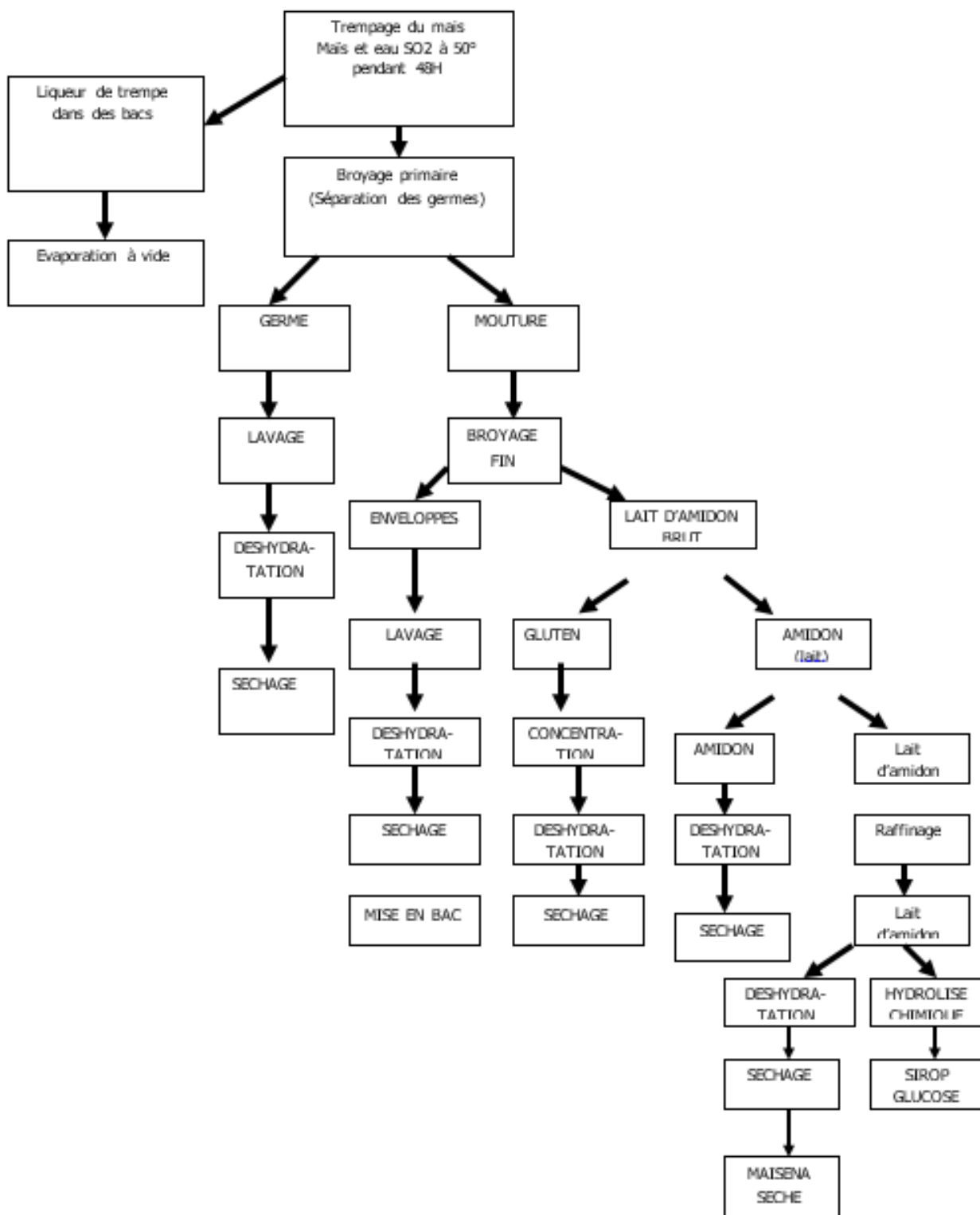


Figure 47 : Processus de fabrication de la Maïserie

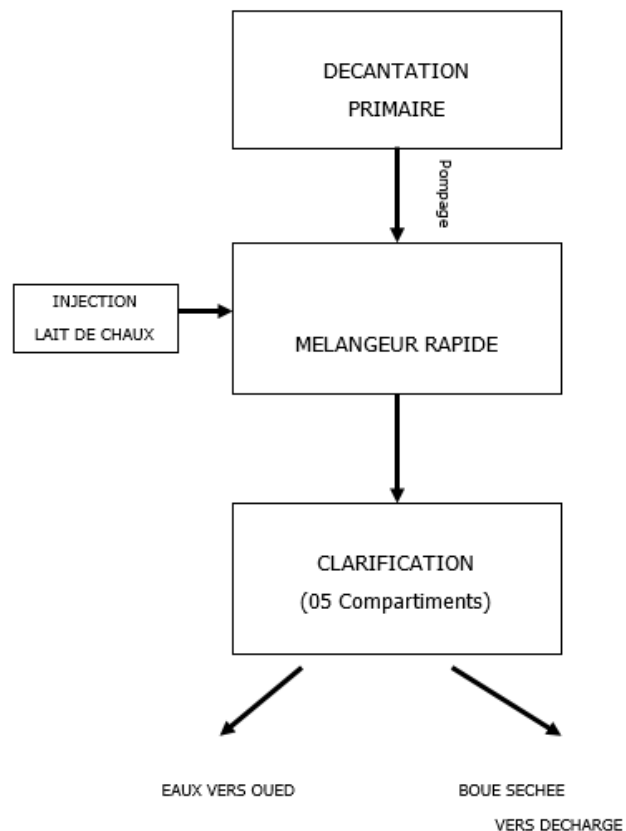


Figure 48 : Mode de traitement de la Maïserie

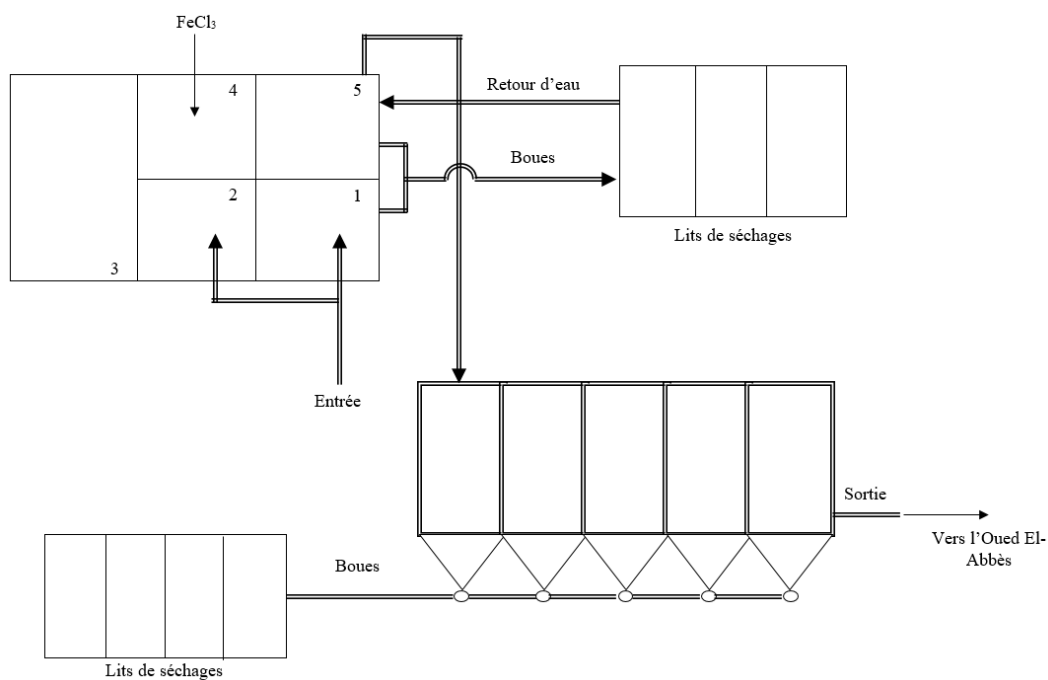


Figure 49 : Schéma de traitement de la Maïserie

III.2.3.3. AUDIT A L'ENOF

C'est l'entreprise nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles, actuellement le débit rejeté d'eaux usées est estimé à 600 m³/j, alors qu'il était de 2000 m³/j. Ceci est dû au recyclage pour la reproduction.

Ces eaux sont très acides et chargées en métaux lourds. Les essais de réduction de la charge polluante par l'unité ont permis de donner de bons résultats.

Le présent audit nous a permis de présenter l'unité, son activité, sa production, les matières qu'elle utilise, le mode de traitement des effluents rejetés et les remèdes qu'elle doit apporter pour réduire la pollution émise par ses rejets.

Nous présentons l'unité par la fiche technique suivante :

- Activité : Traitement des terres décolorantes
- Production :
 - Terre décolorante : 4000 T/an
 - Carbonate de calcium : 12000 T/an
 - Bentonite : 8000 T/an
- Matière première : Argile, calcaire et bentonite
- Consommation en eau : 400 m³/j
- Source de pollution : Traitement de l'argile
- Débit des effluents : 350 m³/j
- Qualité des effluents bruts : tableaux 34, 35, 36 et 37
- Procédé d'épuration : Physico-chimique
- Capacité : 600 m³/j
- Milieu récepteur : Oued Ourdeffou

Pour améliorer la qualité de ses rejets l'ENOF a réalisé une station de traitement physico-chimique et l'acquisition d'équipements de transports des boues.

Les Résultats montrent une réduction importante des MES, de 200 g/l à 1 g/l.

Tableau 34 : Résultats des analyses du 30/10/00 : rejet final

Paramètre	30/10/00
pH	7,2
DCO mg/l	2000
DBO₅ mg/l	1041
MES 105 C°	6340
Orthophosphate mg/l	47
Phosphore total mg/l	82,50
Cu mg/l	0,054
Cr mg/l	0,126
Fe mg/l	3,470
Mn mg/l	2,40
Pb mg/l	0,41
Zn mg/l	0,36

Tableau 35 : Résultats d'analyses des rejets de l'usine

Paramètre	Rejets finaux				
	19/04/00	19/8/00	31/10/00	27/01/01	14/01/01
pH	7,9	7,3	7,15	7,85	7,4
Pb	0,20	0,22	Traces	0,08	0,01
Fe	1,71	0,035	0,25	Traces	0,01
Mn	0,67	0,24	0,37	0,020	0,01

Tableau 36 : Résultats d'analyses des lixiviations du dépôt de boues

Paramètre	Lixiviations				
	19/04/00	19/8/00	31/10/00	27/01/01	14/01/01
pH	7,9	7,3	7,15	7,85	7,4
Pb	0,20	0,22	Traces	0,08	0,01
Fe	1,71	0,035	0,25	Traces	0,01
Mn	0,67	0,24	0,37	0,020	0,01

Tableau 37 : Caractéristiques du rejet brut

Paramètre	Valeur
Température	50°C
pH	1,2
Matières en suspension	6 g/l
Al	567 mg/l
Fe	153 mg/l
SO₄	7200 mg/l

Les métaux lourds ont des concentrations acceptables. Par contre les concentrations en Aluminium, polluant prédominant dans les rejets de l'unité, n'ont pas été éliminées.

Les charges en DBO₅ et DCO sont très élevées. Ces valeurs nous semblent excessives puisque les rejets bruts avant traitement sont très acides son pH est de l'ordre de 1.2 à 1.5 et ne permet donc aucune activité bactérienne.

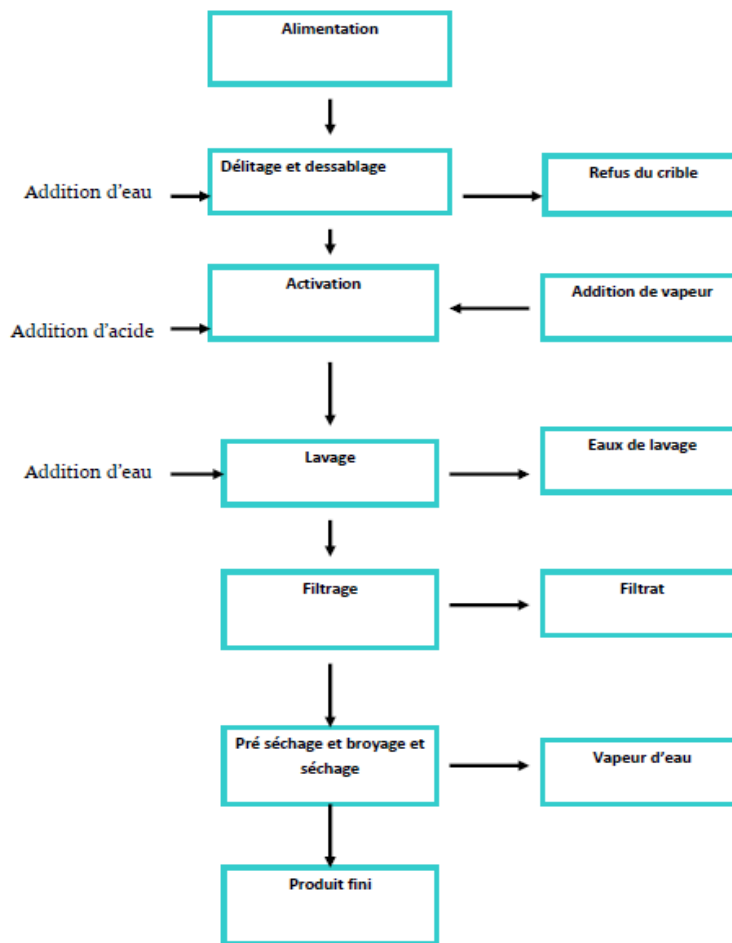


Figure 50 : Bilan du circuit des terres décolorantes de l'ENOF

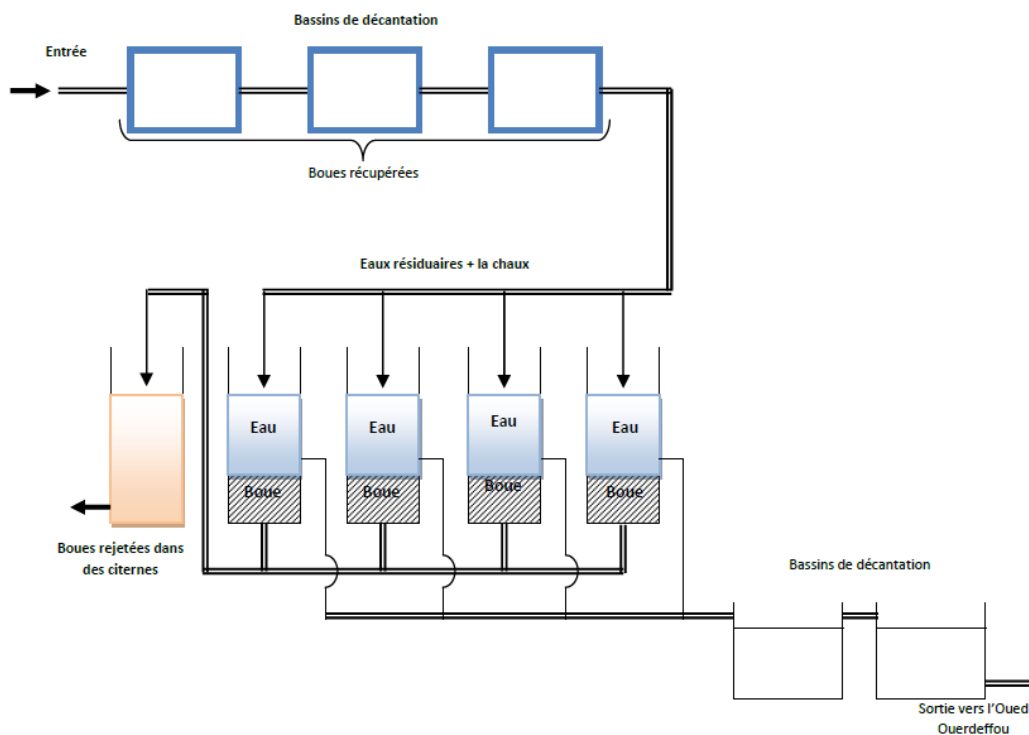


Figure 51 : Schéma de la chaîne de traitement des eaux de l'ENOF

Les remèdes que nous suggérons pour l'unité de l'ENOF nous les résumons dans les points suivants :

- Installation de filtre pour la réduction des émissions atmosphériques de poussière à l'atelier carbonate de calcium,
- Améliorer la gestion de la décharge des boues issues de la station de traitement déposées actuellement en carrière d'argile,
- Acquisition d'équipements d'auto surveillance,
- Mise en place d'un plan environnement entreprise.

III.2.3.4. AUDIT A CERTAF (Ex-ECVO)

Le complexe, mis en production en 1982, fabrique des vaisselles de table. Il occupe une superficie de 10 ha et rejette 130 m³/j d'eaux chargées fortement en minéraux avec des teneurs élevées. 60% de ces eaux sont récupérées après un traitement de floculation et les 40% sont rejetées vers l'Oued Abbès.

Le présent audit nous a permis de présenter l'unité, son activité, sa production, les matières qu'elle utilise, le mode de traitement des effluents rejetés et les remèdes qu'elle doit apporter pour réduire la pollution émise par ses rejets.

Nous présentons l'unité par la fiche technique suivante :

- Production : Faïence, porcelaine
- Faïence : 500 T/an
- Porcelaine : 2000 T/an
- Production réelle : 30% de la capacité
- Matière première : Kaolin, calcite, sable, zinc, feldspath,
- Consommation en eau : 200 m³/j
- Source de pollution : Préparation de la pâte, Emaillage,
- Débit des effluents : 120 m³/j
- Procédé d'épuration : Coagulation – décantation – filtration
- Qualité de rejets : Tableaux 38
- Milieu récepteur : Oued Abbès
- Autocontrôle : NON

Deux actions entreprises par l'ECVO pour l'amélioration de la qualité de ses rejets, présentées par la réhabilitation de la station de traitement des effluents, ainsi que la récupération et recyclage de 60% des volumes traités, d'une part, et la réutilisation de la pâte récupérée pour la production de produits réfractaires, d'autre part.

Les résultats observés montrent une réduction importante des MES avec une économie de 72 m³/j d'eau.

Le plomb reste le polluant majeur à surveiller. Selon les résultats ci-dessus les concentrations en plomb sont au-dessus des normes.

Par contre, des analyses réalisées par le laboratoire de l'entreprise « Alzinc » sur les rejets de l'entreprise le 10/07/00 et le 24/06/00 ont déterminé la présence de plomb sous forme de trace. Les concentrations en charge organiques sont acceptables.

Tableau 38 : Qualité des rejets de l'unité après traitement

Paramètres	Date de prélèvement		
	30/10/00	21/11/00	17/12/00
pH	7	7,4	7,6
T°C	19	13	15
Oxygène dissout mg/l	6,3	7	8,9
DCO mg/l	170	90	30
DBO ₅ mg/l	55	22	11
MES 105 C°		384	1916
Phosphore total mg/l	0,45	2,23	1,59
Cu mg/l	0,044	0,019	0,010
Cr mg/l	0,897	0,047	0,0134
Fe mg/l	0,706	1,360	0,943
Mn mg/l	0,333	0,432	0,540
Pb mg/l	5,62	2,42	10,250
Zn mg/l	0,033	0,186	0,080

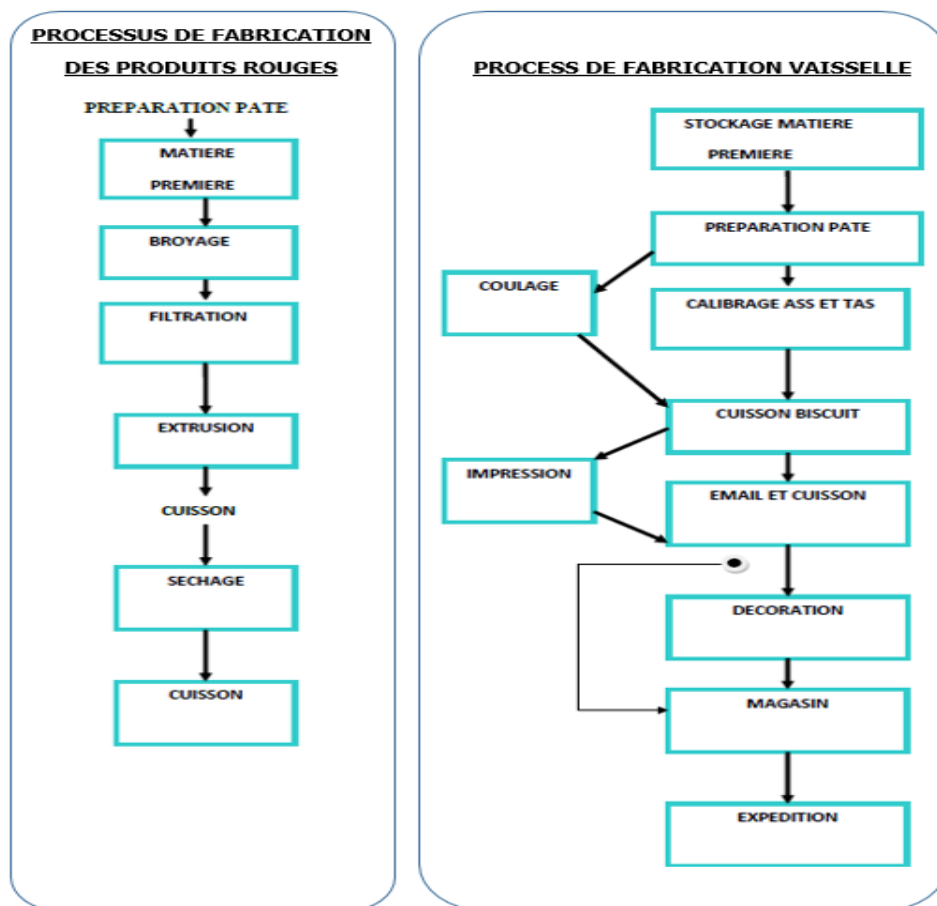


Figure 52 : Processus de fabrication

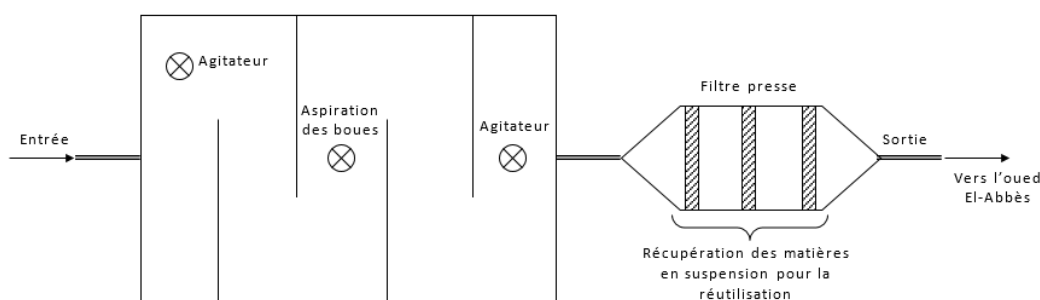


Figure 53 : Schéma d'épuration de l'unité

En plus des améliorations déjà entreprises par l'ECVO, nous suggérons d'autres actions principalement :

- Un diagnostic précis des installations de traitement pour en améliorer la performance.
- D'étudier la possibilité de récupérer l'email à base de plomb pour éviter son rejet dans le réseau d'assainissement.

III.2.4. SOURCES DE POLLUTION AGRICOLE

Bien qu'il existe des sources ponctuelles de pollution, telles que les bâtiments et les structures d'entreposage des fumiers, la forme prépondérante de pollution en milieu agricole est diffuse. Ce type de pollution provient de l'ensemble du territoire et non d'un point unique identifiable.

Les différents polluants d'origine agricole ne peuvent donc pas être recueillis et traités ultérieurement dans une station d'épuration. Ils atteignent les cours d'eau par le ruissellement de surface ou par l'écoulement souterrain.

L'intensification des cultures et le recours à certaines pratiques culturales, combinés à une utilisation excessive d'engrais et de pesticides, ont engendré une dégradation des sols et augmenté les phénomènes d'érosion et de transport vers les cours d'eau de divers contaminants.

Les activités agricoles dans le bassin versant du Barrage de Boughrara sont essentiellement implantées dans le périmètre irrigué de Maghnia et, plus particulièrement, dans la plaine d'Angad au Maroc.

Les sources de pollution majeures découlant de ces activités sont :

- L'épandage d'engrais,
- Le traitement des sols et des végétaux,
- L'élevage, en particulier l'élevage avicole.

Des sources diffuses une pollution périodique et ponctuelle, dont l'origine est l'entretien des machines agricoles (Vidange) et le stockage des carburants et des lubrifiants.

A cela s'ajoute une source de pollution accidentelle pouvant causer des dommages sérieux à la santé et à l'environnement : Le stockage des produits phytosanitaires périmés.

III.2.4.1. LES ENGRAIS

L'utilisation massive et abusive des engrais engendre un apport massif d'azote dans les eaux superficielles et souterraines.

La teneur en nitrate contribue à l'eutrophisation du barrage et des plans d'eau. Les concentrations maximales admissibles dans les eaux de consommation sont de l'ordre de 50 mg/l.

En l'absence de données sur les quantités d'engrais utilisées, nous avons fait une estimation théorique en fonction des données sur les cultures pratiquées dans la région de Maghnia. La quantité totale d'engrais, toutes catégories confondues, est de l'ordre de 3700 T/an.

III.2.4.2. L'ELEVAGE

L'élevage avicole, en particulier, constitue une source majeure de pollution des eaux. Les fientes de volailles éliminées sans précaution peuvent, par ruissellement et/ou infiltration polluer les eaux souterraines et superficielles.

Les quantités de fientes produites dans la région de Maghnia sont estimées à environ 20.000 T/an.

III.2.4.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES ET PESTICIDES

Les données concernant les produits utilisés ne sont pas disponibles. La présence des pesticides dans les eaux résulte du re-largage par les sols et du ruissellement dont l'importance dépend de la nature du terrain, du couvert végétal et des conditions pluviométriques.

Certains pesticides sont particulièrement résistants et s'accumulent dans la chaîne alimentaire et beaucoup sont toxiques et d'autres sont cancérigènes.

III.3. POLLUTION DU COTE MAROCAIN

Cette pollution est engendrée par les eaux usées urbaines et industrielles provenant de la ville marocaine d'Oujda, déversées directement sur l'Oued Bounaïm, principal affluent de l'Oued Mouillah, sans aucun traitement préalable.

Du côté Marocain nous avons rencontré un manque d'informations précises, sur la quantité et la qualité de la pollution domestique, industrielle et agricole.

A ce fait, nous avons procédé à une estimation des rejets domestiques en fonction de la population actuelle d'Oujda, son mode de vie et développement, d'une part.

D'autre part, pour les rejets industriels nous avons mené une recherche sur les différentes unités marocaines exerçant à l'intérieur du bassin versant, en donnant le nombre et le type de leur fabrication.

Quant-à la pollution agricole, notamment, celle du périmètre d'Angad, nous estimons qu'elle est semblable à celle des périmètres de Zrigua et maghnia du côté Algérien.

III.3.1. REJETS DOMESTIQUES

La population d'Oujda est de l'ordre 400000 habitants (en 2000) avec un taux d'accroissement moyen de 2,1% (selon le taux moyen national marocain).

Cette population est actuellement (2019) de l'ordre de 593.700 habitants et elle sera en 2030 de l'ordre de 750.000 habitants.

Cette population est dotée journallement par un débit moyen de consommation de 120 L/j/hab., les rejets domestiques de la ville sont de l'ordre de 57000 m³/j. Ces rejets se font, sans aucun traitement préalable, directement dans l'Oued Bounaïm principal affluent de l'Oued Mouillah.

D'après ces résultats, nous observons que les valeurs moyennes annuelles de la DBO₅ et la DCO pendant la période de 1996 sont inférieure aux normes, mais pour l'année 1999 les valeurs de la DBO₅ et la DCO sont plus élevées et dépassent largement les normes préconisées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S). Ces taux correspondent à une forte charge de matières organiques suite au programme de développement de la ville d'Oujda financé par l'union européenne, qui s'est coïncidé avec la mise en eau du Barrage Hammam Boughrara (FAO).

III.3.2. REJETS INDUSTRIELS

Les régions de Oujda et d'Angad principales composantes du bassin versant de l'Oued Mouillah, comportent plusieurs unités industrielles et ateliers de fabrications divers. Les rejets de ces industries, le plus souvent sans aucun traitement préalable, se font directement sur le milieu récepteur de l'Oued Mouillah.

Vu le manque de données et la difficulté d'en avoir une estimation et une idée sur la qualité et la quantité des rejets industriels d'Oujda et d'Angad, nous avons mené une recherche statistique sur les différentes entreprises de la partie orientale du Maroc. Nous avons résumé les résultats de notre recherche dans le tableau suivant par provinces :

Tableau 39 : Entreprises de la région orientale du Maroc par province

Province	Nombre d'entreprises
Berkane	45
Jrada	7
Nador	134
Oujda – Angad	122
Taourirt	12

http://www.mcinet.gov.ma/www/owa/repind_stat.niveau1

D'après le tableau, avec 122 entreprises de la province d'Oujda – Angad est la région orientale d'activité industrielle la plus importante après la province de Nador. D'autre part, ces entreprises sont différentes les unes des autres par leurs types de production et leurs importances, elles ont, certainement, des rejets variables entre importants et polluants à faible et non polluant.

Pour en connaître plus sur les entreprises de la région, nous avons mené une recherche sur les types d'unité, leur nombre et la quantité de leur production.

Par ailleurs, cette recherche permettra, par le biais du type de la production et sa quantité, de nous donner une estimation évaluative de la qualité et la quantité des rejets industriels du côté Marocain.

Les résultats de la recherche sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 40 : Statistiques des entreprises de la région d'Oujda – Angad

Types d'entreprises	Nombre d'entreprises
Produits de l'industrie alimentaire	25
Produits de la chimie et parachimie	17
Produits issus des minéraux	17
Autres industries alimentaires	16
Ouvrages en métaux	14
Papiers et carton, imprimerie	10
Machine et matériel d'équipement	8
Matériel électronique et électrotechnique	4
Articles en caoutchouc et plastique	4
Bois ou vannerie	4
Habillement	1
Produits textiles	1
Boissons et tabacs	1

http://www.mcinet.gov.ma/www/owa/repind_stat.niveau1

III.3.3. CONTROLE DE LA POLLUTION MAROCAINE

La qualité des eaux à l'amont de l'Oued Mouillah est périodiquement contrôlée par L'ANRH, au niveau de trois points de prise d'échantillon de part et d'autre et au niveau du lac de la digue réalisé juste à la frontière Algéro-marocaine au lieu-dit Mouillah Amont.

Les campagnes d'analyse de la DBO₅ et la DCO faites entre 1996 et 1999 par l'ANRH ont donné les résultats suivants :

Tableau 41 : Résultats d'analyse de la DBO5 et la DCO

	1996	1999
DBO₅ en mg/l	29,41	72,66
DCO en mg/l	83,33	181,66

**Figure 54 : Site de contrôle de la pollution marocaine par l'ANRH**

III.4. IMPACT DE LA POLLUTION

III.4.1. INTRODUCTION

Les rejets de plusieurs origines (domestiques, industrielles, agricoles et frontalières) entraînent d'innombrables agents polluants diffusés dans le milieu récepteur du bassin versant de l'Oued Mouillah depuis l'amont.

Ces derniers, génèrent de graves conséquences sur les milieux écologiques du bassin versant et sur l'homme et sa santé.

Ainsi, dans ce chapitre, nous allons présenter, brièvement, les conséquences de ces rejets sur le milieu du bassin versant et ses différentes composantes.

III.4.2. IMPACT SUR LE BASSIN VERSANT DE L'OUED MOUILLAH

III.4.2.1. IMPACT DE LA POLLUTION SUR L'ETRE HUMAIN

Les nuisances les plus importantes sont engendrées par la présence des bactéries et les germes, dont certaines peuvent être pathogènes et provoquent des maladies à transmission hydrique, telles que le choléra, la fièvre typhoïde, la dysenterie bacillaire l'hépatite virale, la méningite, la parasitologie B et C.

D'autre part, certains métaux lourds émis, tel que le plomb (Pb), s'accumulent dans les tissus et peuvent par bio-accumulation et bio-concentration causer des maladies dangereuses. Quant-aux nitrites et nitrates peuvent, par exemple, être à l'origine de concert chez l'adulte.

III.4.2.2. IMPACT DE LA POLLUTION SUR LE MILIEU RECEPTEUR

L'éventuelle pollution risque de contaminer les eaux superficielles et les eaux souterraines, qui se rapporte par infiltration aux nappes libres d'alluvions des Oueds dans les dépressions inter montagneuses ou de plaine.

La pollution des cours d'eau peut avoir plusieurs origines dont les principales causes sont les rejets en provenance de la ville de Maghnia et celle d'Oujda.

- Le cours d'eau de l'Oued Mouillah : celui-ci draine les pollutions urbaines et industrielles de l'importante ville d'Oujda et d'autres localités marocaines secondaires.
- Le cours d'eau de l'Oued Abbés : il draine les eaux industrielles polluées de trois importantes unités de la ville de Maghnia. Se sont le complexe des corps grés ENCG, la maïserie Tafna et le complexe de céramique aisselle ECVO. L'Oued Abbés déverse dans l'Oued Ouerdefou à quelques km en aval la ville de Maghnia.
- Le cours d'eau de l'Oued Ouerdefou : ce Oued draine les eaux usées urbaines de la ville de Maghnia et les eaux de certaines activités industrielles dont principalement l'usine de production de bentonites et de la terre décolorante (ENOF). L'Oued Ouerdefou est l'un des principaux affluents de l'Oued Mouillah.

En ce qui concerne les eaux souterraines, notre zone d'étude comprend essentiellement la plaine de ZRIGA extension de la plaine de Maghnia, elle-même est le prolongement oriental de la plaine marocaine d'angad.

L'intérêt de la connaissance de ces plaines, notamment les nappes du côté Algérien, s'impose pour prévoir les risques de contamination des nappes par l'infiltration des eaux polluées.

- La plaine de Maghnia : elle se compose de cinq nappes de types alluviaux et plusieurs forages (9 forages) dont la plus part renferment des formations alluvionnaires graviers grossiers, graviers fins, calcaires, grès...etc. Ainsi, ces nappes sont sujettes au contact avec les eaux usées déversées dans les milieux.
- La plaine de Zrigua : elle fait partie du domaine Tlemcénien, elle constitue un édifice régulier comportant essentiellement des terrains Mésozoïques. Le remplissage alluvial de la plaine de ZRIGA est constitué essentiellement par les sols rouges. Les uns dérivant vraisemblablement d'une péodogénèse du quaternaire récent, les autres peuvent être associés à des argiles de décalcification à partir des formations calcaires des massifs bordiers. Par conséquent, certain nombre de forage existant dans cette plaine sont exposée à la contamination par les rejets environnants.

Ainsi, la sollicitation des nappes de Maghnia et de ZRIGA, en général, est causée par une pollution qui se voit potentiellement aggravée par :

- La facilité d'infiltration directe des eaux usées à travers la fissuration ouverte des roches largement affleurantes des principaux aquifères régionaux (calcaires et dolomites).
- L'interdépendance des nappes.
- La relation hydraulique d'échanges entre les nappes et les oueds récepteurs.
- La proximité du sol des surfaces piézométrique.

D'autre part, les décharges actuelles des déchets solides urbains, comme celle qui se situe en a mont de Hammam Chigueur, ne répondent pas aux normes techniques appropriées, et par conséquent, elles attirent les insectes les rougeurs, les animaux qui peuvent renfermer des germes pathogènes et des parasites.

Ces déchets génèrent des nuisances comme les odeurs, la pollution du milieu et les risques de pollution des cours d'eau et nappes souterraines, par lessivage et entraînement dû aux ruissellements.

Par ailleurs, les sols et les végétations sont largement contaminés par la pollution, ces derniers vont se dégrader d'avantage sous l'effet des différentes substances chimiques et biologiques polluantes.

III.4.2.3. IMPACT DE LA POLLUTION SUR LE BARRAGE HAMMAM BOUGHERARA

Le barrage Hammam Bougherara, le plus important de la wilaya de Tlemcen, est situé sur le point de confluence entre l'Oued Tafna et l'Oued Mouillah à environs d'un kilomètre en amont de la localité de Hammam Bougherara et à 10 km de la Daira de Maghnia.

Il est destiné à satisfaire les besoins en eau, essentiellement, du couloir Ouest de la Wilaya de Tlemcen (50 Hm³) et en irrigation de la moyenne Tafna (9 Hm³).

Les différentes caractéristiques du barrage Hammam Bougherara sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 42 : Caractéristiques du Barrage Hammam Boughrara

<u>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</u>	<u>CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES</u>
Coordonnées : X = 102.92, Y = 185.20, Z = 251.00.	Capacité totale : 177 Hm ³ .
Type : Digue en terre hétérogène.	Volume régularisé : 59 Hm ³ .
Hauteur maximale : 75 m.	Volume mort : 23,30 Hm ³ .
Longueur de la crête : 1055 m.	Superficie du lac : 894 ha.
Largeur de la crête : 10,00 m.	Superficie du B.V. : 2000 km ² .
<u>EVACUATEUR DE CRUES LATERAL¹ ET FUSIBLE²</u>	Précipitations moyenne : 350 mm.
Débit maximal évacué¹ : 2900 m ³ /s.	Débit de crues : 5880 m ³ /s.
Longueur¹ : 547.70 m.	Apport solide moyen : 501,10 T/an.
Débit évacué² : 2220 m ³ /s.	<u>CARACTERISTIQUES DIVERS</u>
Longueur² : 250 m, Largeur : 25 m. Hauteur² : 3,50 m.	Excavation : 2 100 000 m ³ .
<u>TOUR DE PRISE</u>	Remblais : 4 500 000 m ³ .
Type : galerie avec une tour.	Béton : 171000 m ³ .
Débit de la prise : 5,80 m ³ /s.	Forage et injection : 258000 ml.
Débit de la vidange de fond : 600 m ³ /s.	
Longueur de la galerie : 220 m.	
Hauteur de la tour de prise : 66,70 m.	

 Source : A.N.B.T

Par contre, le site du barrage Hammam Boughrara présente un siège de la pollution charriée 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, et ne peut être utilisé pour les fins sur lesquels il a été conçu, et risque, même, d'être condamné si aucune action de lutte contre sa pollution n'est entrepris dans les brefs délais.

III.5. ANALYSE ET DESCRIPTION DES POLLUANTS

III.5.1. INTRODUCTION

L'étude d'un cycle annuel, des eaux de l'Oued Mouillah et du barrage Hammam Boughrara, a nécessité des prélèvements mensuels de janvier 2009 à décembre 2019, effectués par les techniciens de l'ANRH.

Ces prélèvements permettent d'avoir les échantillons d'eau qui servent aux analyses physico chimique sur un litre, mis en bouteille et ramené au laboratoire de l'ANRH-Oran.

La prise des échantillons est effectuée de l'amont de l'Oued Mouillah jusqu'au barrage Hammam Boughrara, répartie d'une façon représentative de la qualité des eaux du bassin versant.

Au niveau du barrage, les prélèvements sont été effectués à des différents endroits de la cuvette permettant l'analyse physico-chimique et biologique.

III.5.2. PRESENTATION DES POINTS DE PRELEVEMENT

Compte tenu des différentes activités identifiées dans la zone d'étude (eaux usées domestiques, industrielles et agricoles), six (06) stations ont été choisies pour l'échantillonnage, réparties le long de l'Oued Mouillah, de la frontière algéro-marocaine en amont jusqu'au barrage de Hammam Boughrara en aval de manière à couvrir toute la partie amont du barrage de Hammam Boughrara.

Ainsi, le choix de ces stations a été effectué pour une appréciation du phénomène de la pollution le long du cours d'eau, au niveau des endroits caractéristiques précis ; à la frontière Algéro-marocaine, à Hammam Chigueur où se trouve les rejets de la station thermale, à Oued El-Abbès qui traverse le centre de la ville de Maghia, au point de confluence Oued El-Abbes et Oued Mouillah, au lieu-dit Legfaf juste à l'aval des principales industries polluantes, à la confluence entre Oued Tafna et Oued Mouillah et la dernière station est mobile elle se localise au niveau de la cuvette du Barrage Hammam Boughrara (photos en annexe).

Autrement dit, les stations sont choisies de manière accessible et reflètent les caractéristiques réelles des eaux de surface du bassin de l'Oued Mouillah dans la zone d'étude. Ces six stations sont situées en aval de l'amont vers l'aval comme suit :

- La première station est située au lieu-dit Mouillah en amont de l'Oued Mouillah, juste à la frontière algéro-marocaine ; il se trouve à 20 km de la ville marocaine d'Oujda.
- La deuxième station est celle de Chigueur, située en aval de la station balnéaire de Chigueur, sur le même cours d'eau de Mouillah, elle est à 16 km de la première station, juste en amont de la ville de Maghnia.
- La troisième station est située sur l'Oued Abbes, l'un des principaux affluents de l'Oued Mouillah qui traverse la commune de Maghnia et qui reçoit plusieurs rejets de type urbain et industriels.
- La quatrième station, celle de Legfaf, est située au point de confluence entre Oued Abbes et Oued Mouillah, après la ville de Maghnia, elle est à 8 km en aval de la station d'Oued Abbes et à 7 km en aval de la station Chigueur, elle est également située juste à l'aval des rejets des principales industries de Maghnia.
- La cinquième station de Tafna est située au point de confluence entre Oued Mouillah et Oued Tafna, juste à l'entrée du bassin du barrage de Hammam Boughrara. Il se trouve à 5 km en aval de la station de Legfaf.
- La sixième station se situe au niveau du plan d'eau du barrage de Hammam Boughrara elle est mobile, où des prélèvements sont effectués à partir d'une baraque flottante à des différentes profondeurs d'eau. elle se trouve aux environs de 2 km en aval de la station de Tafna.

Les différents points de prélèvement sont indiqués sur la carte du bassin versant de barrage Hammam Boughrara (figure 55), les photos des positions des prélèvements sont présentées en annexe.



Figure 55 : Points de prélèvement au niveau du bassin versant

Au niveau du barrage le choix de la 6^{ème} station est établi en fonction des critères permettant, d’une part de suivre au mieux les conditions les oueds affluents déversant dans le barrage et de couvrir l’ensemble de la cuvette du barrage d’autre part, qui sont :

- La végétation : versant couvert d’arbres ou versant dénudé
- La profondeur variable.
- La morphométrie de la cuvette du barrage (tableau 43).

Tableau 43 : Localisation des stations à la cuvette du Barrage H. Bouhrara

Stations	Latitude	Longitude	Caractéristiques
T1	34°50'N	1°38'W	Située en amont du barrage, permet d’analyser la qualité de l’eau venant du Oued Tafna. Peu profonde (4-8 mètres).
T2	34°52'N	1°39'W	Station au centre du barrage, dans le côté d’oued Tafna. Profonde (9-10 mètres).
PT	34°52'N	1°38'W	Près de la tour de prise. Profondeur moyenne (31-35 mètres).
M3	34°52'N	1°39'W	Station au centre du barrage, dans le côté d’oued Mouillah. Profonde (7-11mètres).
M2	34°53'N	1°40'W	Située en amant du barrage à proximité de la rive droite. Peu profonde (4-6 mètres).
M1	34°50'N	1°38'W	Située en amont du barrage, permet d’analyser la qualité de l’eau venant du Oued Mouillah. Peu profonde (2-4 mètres).

III.5.3. ECHANTILLONNAGE

Aux stations, des échantillons d'eau mensuels sont prélevés de janvier 2009 à décembre 2019. Dans chaque échantillon, la conductivité électrique, le pH et l'Oxygène Dissous (O_2) sont mesurés in situ. La prise de ces échantillons d'eau et leur analyse au laboratoire l'ANRH suivent un protocole normalisé bien définie (Rodier J. & al. 1996) : ils sont prélevés dans des bouteilles à renversement en polyéthylène type « Niskin » d'un litre, rincés à l'eau prélevée, étiquetées (date – station – niveau) et remplies à ras sans laisser d'air entre le bouchon et l'eau, puis conservés à 4°C pendant le transport où l'analyse est réalisée en 24 heures.

Au laboratoire : la filtration pour les MES doit être effectuée le jour même et les bouteilles sont mises dans un réfrigérateur en vue des analyses physico- chimiques, qui doivent être achevées dans les 48 heures qui suivent la sortie.

Les éléments par des méthodes de dosage colorimétrique par spectrophotomètre (tel que : Nitrate (NO_3^-), Nitrite (NO_2^-), Ammonium (NH_4^+), Azote (N) et le (P_{total}) le Phosphore Total). D'autres ont été mesurée à l'aide de compteurs de mesures (DBO_5 et DCO). Les matières solides en suspension (MES) ont été filtrés à travers des filtres en fibre de verre GF/C, puis séchés à 105°C et pesés. La fraction organique est déterminée après chauffage à 550 °C.

Pour la détermination des paramètres indicateurs des métaux lourds, généralement l'acide sulfurique est utilisé pour une meilleure conservation à un pH acide.

Pour l'étude biologique, les prélèvements de l'eau filtrée aux filets planctoniques in situ sont mis dans des piluliers étiquetés selon : date-station-niveau, fixés au formol à 5% de façon à obtenir une concentration du contenant de 0.5% .Ces piluliers sont mis dans un lieu frais et sec. Ils serviront à la numération du phytoplancton par la méthode d'Utermöhl (1958) et son identification en utilisant les clefs de détermination.

Il est précisé qu'en chaque point de prélèvement à travers le bassin versant de l'Oued Mouillah, nous avons près de Trente-deux (32) éléments analysés appartenant aux différents types de pollution (tableau 44).

Tableau 44 : Type de pollution et paramètres physico-chimiques

Types de pollution	Paramètres déterminants
Altération organique	O_2 , NH_4 , DBO_5 , TOC, DCO
Eutrophisation effective potentielle	Chlorophylle a, pH, O_2 , PO_4
Altération par les métaux	Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn
Altération par composés inorganiques	F^- , CN^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_3
Altération par composés organiques toxiques	Phénols, Hydrocarbures
Détergeant	Détergents anioniques
Salinités	SO_4^{2-} , Cl^- , Conductivité

Dans ce qui suit on résume les moyens et les méthodes de mesure in-situ et au laboratoire de la plupart des paramètres abiotiques et biotiques des échantillons.

III.5.4. LES PARAMETRES MESURES IN SITU

III.5.4.1. LE POTENTIEL HYDROGENE (pH)

Le potentiel hydrogène est mesuré par un appareillage composé d'un boîtier d'acquisition et d'une sonde. La sonde est constituée d'une électrode de température, d'une électrode de mesure et d'une électrode de référence ou d'un dispositif d'électrodes groupées. Les sondes combinées sont de plus en plus fréquentes et très conseillées pour les mesures in-situ. Il existe différents types de sondes adaptées à des solutions de forces ioniques différentes et plus particulièrement pour des solutions faiblement tamponnées (conductivité électrique < 50 $\mu\text{S/cm}$).

La différence de potentiel est mesurée et amplifiée par l'acquisiteur qui la traduit en termes de pH en utilisant les paramètres d'étalonnage.

Les appareils récents apportent une correction automatique lors de l'étalonnage ou de l'ajustage dans une solution de référence connue en ramenant la valeur mesurée à une température standard de 20 ou 25 °C. Cette correction automatique est théorique et dépend de la solution étalon utilisée ; pour se prémunir de l'approximation éventuelle de cette correction, il suffit de placer la solution étalon à la température de référence.

III.5.4.2. L'OXYGENE DISSOUS (O₂)

Ce paramètre est mesuré à l'aide de l'appareil multi-paramètre type (W.I.W. 340 i) qui exprime la concentration en mg/l. La teneur en oxygène de l'air est relativement importante. On mesure les teneurs en oxygène dissous afin de reconnaître rapidement la qualité de l'eau, liée à une bonne oxygénation du milieu. Elle augmente avec le brassage de l'eau, par la production d'oxygène lors de la photosynthèse des plantes aquatiques et du phytoplancton. La solubilité de l'oxygène est fonction de la température, la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité de l'eau (Rodier, 1996). Une eau moins salée et plus froide dissous relativement plus d'oxygène. L'oxygène peut jouer le rôle de facteur limitant, lorsqu'il est en faible quantité (Dajoz, 2000). Il est exprimé en mg/l.

III.5.4.3. LA CONDUCTIVITE

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. Elle est exprimée en $\mu\text{S/cm}$ (norme: ISO N° 7888).

III.5.4.4. TRANSPARENCE

On mesure l'absorption de la lumière dans la colonne d'eau avec le disque de Secchi. C'est un disque de 25 cm de diamètre coloré alternativement de quartiers blancs et noirs. Ce disque, lesté et pendu à un fil, est immergé dans l'eau.

Par convention, on appelle transparence la profondeur à laquelle le disque ne devient plus visible lorsqu'on l'immerge dans l'eau. Cette mesure correspond à la profondeur à laquelle l'éclairement résiduel est de 16 à 20% de celui de la surface (LEVEQUE, 1996).

III.5.5. ANALYSE ABIOTIQUE AU LABORATOIRE**III.5.5.1. MATIERES EN SUSPENSION (MES)**

Les MES, comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0,5 μ m (Pourriot et Meyebek, 1995). La détermination de la quantité de MES a été faite par la méthode de filtration (Rodier, 1996).

III.5.5.2. PARAMETRES CHIMIQUES

Le tableau suivant récapitule les différentes méthodes d'analyses des cations et anions de l'eau prélevée (tableau 45).

Tableau 45 : Les méthodes de dosage des cations et anions de l'eau

Eléments (mg/l)	Principe de la méthode	Référence
Les chlorures	Titration des chlorures par le nitrate d'argent	T 90. 014
Les sulfates	Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum.	Méthode Allemande
Le calcium	La méthode de titrage molaire à l'EDTA : virage au violet	ISO N° 6058
Le magnésium	la méthode de titrage molaire à l'EDTA : virage au bleu	ISO N° 6058
Les carbonates	Titration à l'acide chlorhydrique	Rodier, 1996
Le Sodium	Dosage au photomètre à flamme	Rodier, 1996
Le Potassium	Dosage au photomètre à flamme	Rodier, 1996

Le tableau 46, récapitule les différentes méthodes d'analyses des sels nutritifs de l'eau prélevée.

Tableau 46 : Les méthodes de dosage des sels nutritifs

Eléments dosés (mg/l)	Principe de la méthode	Référence
Nitrates (NO ₃)	Spectrophotométrie : le salicylate de sodium, donne le paranitrosnylate de sodium coloration jaune ($\lambda=415$ nm)	ISO N° 6058
Nitrites (NO ₂)	Spectrophotométrie la coloration rose indique la présence des NO ₂ ⁻ ($\lambda = 543$ nm)	Rodier, 84
Azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	Spectrophotométrie coloration verdâtre indique la présence de : NH ₄ ⁺ ($\lambda= 690$ nm)	ISO N°7150
Phosphates (PO ₄)	Spectrophotométrie Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu ($\lambda = 825$ nm).	ISO N° 6878

III.5.6. ANALYSE DES FACTEURS BIOTIQUES AU LABORATOIRE

Au niveau du lac du barrage Hammam Bougnhrara, l'écosystème aquatique ne se définit pas exclusivement par les critères abiotiques étudiés précédemment, il comprend également l'ensemble de tous les organismes producteurs, consommateurs et décomposeurs, qui composent la biocénose.

III.5.6.1. DOSAGE DE LA CHLOROPHYLLE «a»

En l'absence d'un capteur de chlorophylle in situ, un sous échantillon, issu du prélèvement pour analyser des pigments chlorophylliens, un litre d'eau stocké dans des flacons propres, à usage unique, est en général employé et suffisant quel que soit le niveau de trophique du plan d'eau (CEMAGREF, 2007).

Les échantillons sont filtrés à l'aide d'une pompe à vide après homogénéisation de l'échantillon, sur un filtre en fibre de verre (type GF/ 45 pm de WATHMAN). Le filtre manipulé par des pinces est placé dans un tube à centrifugation de 15 ml puis stocké immédiatement à l'obscurité jusqu'à la congélation.

Ces filtres sont traités à l'acétone 90%, déchetés puis centrifugés 24 heures après pendant 15 mn. La lecture se fait au spectrophotomètre aux longueurs d'ondes 665 nm et 750 nm. Le calcul des concentrations de la chlorophylle active est fait à partir de l'équation de Lorenzen (CNEXO, 1983), c'est la méthode monochromatique.

III.5.6.2. ETUDE DU PHYTOPLANCTON

L'échantillon à analyser est agité pendant un temps pour homogénéiser son contenu, une partie seulement est mise à sédimenter dans une cuve de 10 ml durant quatre heures au moins. Souvent, c'est durant une nuit complète que les échantillons, sont mis à sédimenter, l'observation et le comptage se faisant le lendemain.

Le choix de la cuve est important ; les cuves de petit volume permettent par la faible densité du seston, un examen plus facile du nanoplancton et une meilleure estimation quantitative. Les cuves de plus grand volume sont nécessaires quand la densité cellulaire est plus faible.

Le lugol en solution acide est un fixateur, bien adapté aux diatomées, aux nanoflagellés nus et aux dinoflagellés (Utermöhl, 1958). Le temps de sédimentation du phytoplancton est défini en fonction du volume de l'échantillon (Tableau 47).

Tableau 47 : Temps de sédimentation en fonction du volume de l'échantillon

Volume mis à décanter	Hauteur colonne en (cm)	Temps requis en heures
10 ml	1	4
25ml	4	16
50ml	9	36

Pour la détermination des espèces nous avons utilisé des clés de détermination de phytoplancton d'eau douce suivantes : Bourrely (1972, 1981, 1985) ; UPSALA (1981) ; Canter-Lund et Lund, 1998).

La détermination de la densité quantitative en phytoplancton est importante pour décrire la structure d'un peuplement donné du phytoplancton.

Par contre, la dominance est une caractéristique d'une population, qui permet de connaître l'importance d'une espèce dans une communauté. Elle représente le rapport, du nombre d'individu (n_i) d'une espèce donnée, sur le nombre total d'individus (N) pour un échantillonnage considéré ($D = n_i / N \times 100$). Elle est exprimée en pourcentage.

Selon DESGAGNE (1999), nous avons considéré l'espèce qui représente moins de 1% du peuplement comme espèce rare.

La diversité spécifique peut se définir comme étant une mesure de la composition en espèce d'un écosystème, en termes de nombre d'espèces et de leur abondance relative.

La diversité spécifique est un paramètre quantitatif, elle traduit le rapport entre le nombre d'individu faisant partie d'un même écosystème, ou d'une même communauté. Elle est un facteur essentiel en écologie, il existe en effet une relation entre la diversité et la stabilité de l'écosystème. Elle renforce la stabilité du milieu.

Les résultats bruts des numérations ne permettent pas de comprendre la structure des communautés afin de suivre l'évolution de la population dans le temps et d'évaluer son niveau de maturité. Il est nécessaire de suivre les différents stades de successions écologiques le long d'un cycle annuel, de calculer des indices de diversité et de tracer des diagrammes de fréquences des espèces (Frontier, 1969,1976 ; Frontier et Etienn, 1990 ; Frontier et Picot- Viale, 1993).

Un écosystème tend à évoluer dans le sens d'une complexité croissante et sa structure et son degré d'organisation peuvent être apprécié par l'examen de sa composition spécifique. On distingue, en général trois stades caractérisés par des espèces différentes.

Il est rare d'observer, tous les stades d'une succession écologique. Le plus souvent la succession est incomplète: une nouvelle succession, apparaît alors que la précédente n'a pas eu le temps, d'atteindre son stade de maturité ou son stade final.

Les espèces représentées dans l'échantillon sont classées selon l'ordre décroissant de leurs effectifs. On porte, en abscisses: les numéros d'ordre des espèces et en ordonnées, l'abondance de ces espèces exprimée en fréquences absolues ou relatives. L'échelle est logarithmique. Les déformations progressives des courbes rangs-fréquences observées le long d'une succession écologique résultent d'une évolution de l'écosystème.

En début de succession, le diagramme présente un point d'inflexion entre une branche montante caractérisant un petit nombre d'espèces très abondantes, et une "queue" constituée par les espèces les plus rares ; il montre une allure concave dans sa partie gauche, il devient convexe, après l'inflexion, dans sa partie droite. L'indice de diversité correspondant est inférieur à 1.

A un stade ultérieur de la succession (stade 1) la partie convexe de la courbe se déplace vers la gauche car les espèces jusqu'ici peu abondantes ont tendance à rattraper celles qui s'étaient presque exclusivement développées dans le premier stade. La « chute » des espèces rares demeure ; l'indice de diversité augmente et devient supérieur à 1.

Au stade 2, la courbe devient entièrement convexe. Il semble que l'écosystème ait atteint son état d'équilibre. La diversité augmente.

La fin de la succession (stade 3) est caractérisée par un diagramme qui devient sensiblement rectiligne. Cependant la diversification n'aboutit jamais à une fréquence égale de toutes les espèces, qui se traduit sur la courbe par une droite horizontale. Le maximum théorique de l'indice de diversité n'est jamais atteint.

Au contraire, en fin de succession, la diversité diminue, certaines espèces se raréfient, d'autres ont tendance à monopoliser l'espace comme en début de succession : l'écosystème vieillit.

Les tracés donnent une image synthétique de la population et caractérisent son degré d'avancement au long d'une succession. Ils sont moins affectés par les erreurs dues aux faibles effectifs que ne l'est l'indice de diversité : l'allure générale de la courbe reste la même, seule la "queue" se trouve modifiée.

Par ailleurs, dans les cas de sur-dispersion, l'indice de diversité est très sensible aux concentrations mono-spécifiques d'organismes, alors que le diagramme n'est affecté que dans sa partie gauche, l'allure générale restant inchangée.

III.5.7. CRITIQUE ET REPRESENTATIVITE DES DONNEES

La fréquence des prises d'échantillons correspond à des dates et des heures irrégulières. Ainsi certains prélèvements sont espacés par un court laps de temps (quelques heures) et d'autres par un temps un peu plus important (de quelques jours à des mois), comme on enregistre que certains prélèvements sont pris dans la journée et d'autre durant la nuit.

Aucune méthode n'est indiquée sur la façon de la prise d'échantillonnage ni sur sa fréquence en période de crues ou d'étiage. En fait, rien n'est précisé si la prise s'effectue auprès des berges ou au milieu de l'Oued, ni à quelle profondeur.

En effet, vu l'inexistence d'aucun aménagement particulier au niveau des stations d'échantillonnage, il est impératif que la prise se fait aléatoirement sans le suivi d'un mode précis indiquant l'endroit et la hauteur de prélèvement.

Ceci étant précisé, nous remarquons que les données des polluants analysés correspondent souvent à des valeurs discontinues et très variables.

Il faut noter, le manque de certains éléments dans les séries, sans mentionner la cause. Ainsi, nous supposons l'inexistence de ces éléments durant les dates de prélèvement ou qu'ils n'étaient pas analysés pour des raisons inconnues.

Néanmoins, les paramètres analysés peuvent être considérés comme représentatives sur la base de l'ampleur et la fréquence des prélèvements et les valeurs des données elles-mêmes.

Toutefois, une analyse statistique et de Data-Manning des paramètres mesurés en fonction du temps et de l'espace est primordiale. Sur la base de cette analyse des différentes données d'analyses (présentées en annexe), on va se servir pour l'étude de la pollution et de sa propagation dans le milieu du bassin versant du Barrage Hammam Boughrara.

III.6. DATA MANING DES PARAMETRES MESURES

III.6.1. INTRODUCTION

Le Data-mining est la pratique consistant à rechercher automatiquement de grandes quantités de données afin de découvrir des tendances et des modèles qui vont au-delà de la simple analyse. Dont les Principales tâches sont : La description, l'estimation, la prévision, la classification, le clustering et l'association des données.

L'exploration des données est réalisée à l'aide des outils d'analyse visuelle (dans notre cas : l'analyse en composantes principales) via des logiciels statistiques plus avancés, tels que « Origin ». Un outil puissant et gratuit que nous avons utilisé dans notre analyse.

III.6.2. STATISTIQUE PAR ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

L'analyse en composante principale des corrélations (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive, a pour but de dégager, une vue d'ensemble des variables originales, caractérisant un groupe d'objet, une série d'axes, dont l'orientation permet d'exprimer, en un minimum de dimension, un maximum de l'information.

L'ACP s'applique à des tableaux à deux dimensions croisant des individus et des variables quantitatives. Selon un usage bien établi, les lignes des tableaux représentent les variables. Les termes d'individus et de variables recouvrent les notions différentes (Husson, F. 2015).

Dans notre cas, les individus sont des dates de prélèvements et les variables sont des paramètres physico-chimiques. Le logiciel STATISTICA 6.0 a été utilisé pour cette analyse afin d'explorer la structure de nos données, elle s'avère plus adaptées aux données quantitatives dont nous disposons.

Du point de vue mathématique, différents types d'analyses factorielles sont possibles. L'ACP en est une et nous l'utiliserons pour visualiser plus aisément l'influence des paramètres physico- chimiques entre eux et sur la pollution des eaux du barrage. Avec les observations des N variables, on construit la matrice (NxN) des coefficients de corrélations linéaires entre les couples de variables (Ahoussi, K. E., 2019).

L'analyse en composantes principales se propose de trouver les vecteurs propres de cette matrice ainsi que leurs valeurs propres (une matrice NxN a N valeurs et vecteurs propres). Les vecteurs propres sont les « facteurs » ou « composantes principales » de l'ACP. La valeur propre, relative à chaque vecteur propre, représente la variance de l'ensemble des observations expliquée par ce vecteur (Ahoussi, K. E., 2019).

Dans l'ACP, les valeurs propres sont classées par ordre décroissant. Le premier vecteur propre, relatif à la valeur propre la plus importante, est celui qui exprime le plus fort pourcentage de la variance totale du nuage de points. Le second, indépendant du premier (donc perpendiculaire dans l'espace à N dimensions) et relatif à la deuxième valeur propre la plus importante, exprime la plus grande partie de la variance résiduelle, et ainsi de suite (Ahoussi, K. E., 2019).

III.6.3. L'ACP AUX SERIES DES ELEMENTS PHYSICO- CHIMIQUES

Nous avons appliqué l'analyse en composantes principales aux séries d'analyses physico-chimiques, des séries de mesures mensuelles qui s'étendent sur un intervalle de temps de 11 ans.

Dans notre analyse nous avons retenu 17 paramètres : Température (T), Potentiel Hydrogène (pH), Conductivité, Matières En Suspension (MES), Azote ammoniacal (NH₄⁺), Nitrates (NO₃⁻), Orthophosphates (PO₄⁻), Phosphore total (P_t), Oxygène dissous (O₂), Calcium (Ca²⁺), Chlorures (Cl⁻), Sodium (Na⁺), Magnésium (Mg²⁺), Potassium (K⁺), Sulfates (SO₄²⁻), Bicarbonates (HCO₃⁺) et chlorophylle a (Chl).

L'ACP a été faite sur des données centrées et réduites par rapport à leur moyenne et écart-type. L'utilisation de données normalisées par rapport à la moyenne et à l'écart-type permet de s'affranchir des unités de mesure qui sont hétérogènes dans notre cas.

Nous avons analysé la structure du nuage sur les différents plans factoriels. Seule l'analyse du plan factoriel formé par les trois premières composantes principales a permis de détecter une structure du nuage explicatif, qui résume respectivement 29,77% ; 22,81% et 12,09 % de l'information. Ainsi, pour cette analyse, les projections se feront sur ces trois axes qui portent 64,67% de l'information contenue dans les 17 variables (Tableau 48, figure 56).

Ceci semble signaler l'existence prépondérante d'une relation entre les différents paramètres physico-chimiques et biotiques.

Tableau 48 : Valeurs propres, inertie et inertie cumulée des 3 premiers composantes de l'ACP

Composantes	Valeurs propres	Inertie (%)	Inertie Cumulée(%)
F1	5.056	29.74	29.7
F2	3.878	22.81	52.6
F3	2.056	12.09	64.7

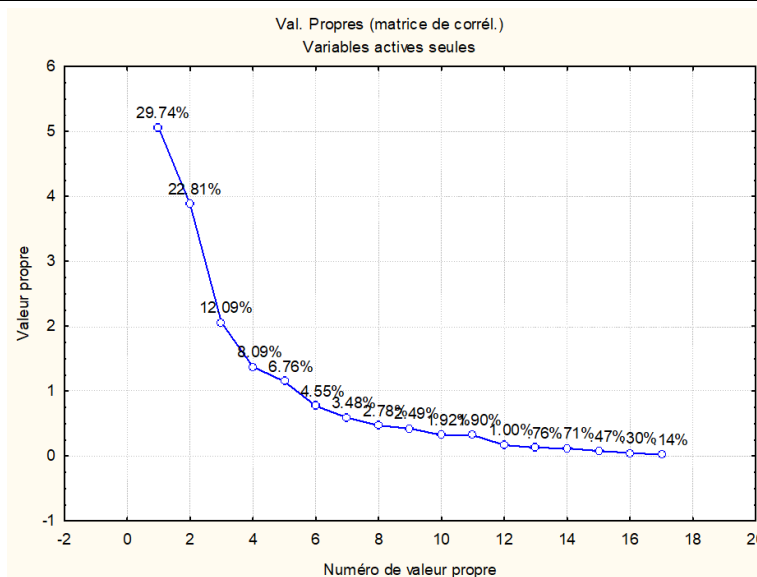


Figure 56 : Graphe des valeurs propres

L'examen des données relatives à la matrice de corrélation entre les variables nous a permis de révéler l'existence d'une forte corrélation significativement élevée entre ces groupes (T, pH, O₂); (CON, SO₄²⁻, K⁺, Mg²⁺, Cl²⁻, Na²⁺); Matières En Suspension et Orthophosphates (PO₄⁻; P_t, NO₃⁻², NH₄⁺, MES, Chl).

Tableau 49 : Matrice de corrélations

	T	pH	O2	MES	Cond	NH4	NO3	PO4	Ptot	Ca	Cl	Na	Mg	K	SO4	HCO3	Chl
T	1.00																
pH	0.62	1.00															
O2	0.22	0.08	1.00														
MES	-0.38	-0.15	-0.08	1.00													
Cond	0.25	0.37	-0.17	-0.04	1.00												
NH4	-0.77	-0.38	-0.25	0.46	0.21	1.00											
NO3	0.03	-0.11	0.38	0.07	-0.51	-0.17	1.00										
PO4	-0.23	-0.07	-0.35	0.45	-0.02	0.27	-0.28	1.00									
Ptot	-0.14	0.11	-0.31	0.49	-0.05	0.21	-0.16	0.82	1.00								
Ca	-0.09	-0.15	-0.50	0.17	-0.06	0.11	-0.18	0.30	0.29	1.00							
Cl	0.07	0.28	-0.23	0.09	0.78	0.25	-0.68	0.20	0.18	0.09	1.00						
Na	0.17	0.22	-0.14	-0.18	0.83	0.18	-0.74	0.02	-0.06	-0.02	0.86	1.00					
Mg	-0.18	0.14	0.07	0.08	0.39	0.28	-0.34	0.02	-0.02	-0.17	0.47	0.35	1.00				
K	0.31	0.28	0.04	-0.27	0.62	-0.05	-0.69	0.06	-0.01	-0.17	0.65	0.83	0.32	1.00			
SO4	0.40	0.34	-0.29	-0.19	0.78	0.00	-0.31	-0.10	-0.11	0.04	0.52	0.60	0.23	0.40	1.00		
HCO3	-0.43	-0.19	-0.08	0.09	0.28	0.43	-0.60	0.18	0.04	0.10	0.35	0.46	0.49	0.36	-0.04	1.00	
Chl	-0.47	-0.34	-0.24	0.46	-0.29	0.30	-0.03	0.52	0.41	0.30	-0.13	-0.26	0.19	0.20	0.31	0.01	1.00

Les cercles de corrélation entre les trois premières composantes principales (F1, F2 et F3) et les paramètres physico-chimiques montrent que :

- L'axe 1 (pourcentage d'inertie 29,74%) décrit essentiellement les paramètres suivants: la conductivité (r= -0.89), Calcium (r=-0.56), Chlorures (r=-0.88), Sodium (r=-0.95), Magnésium (r=-0.51), Potassium (r=-0.82), Sulfates (r=-0.69), Bicarbonates (r=-0.47), et sont tous corrélées négativement avec l'axe F1 . nous considérons la composante principale 1 comme un gradient de minéralisation allant de la gauche vers la droite de l'axe, cette minéralisation lié à l'intensité de la pollution apportée par des déversements urbains et industriels d'eaux usées (figure 57).
- L'axe 2 (pourcentage d'inertie 22,68%) décrit les paramètres suivants : Phosphore total (r=0.63), Orthophosphates (r=0.72), Azote ammoniacal (r=0.72), Nitrates (r=0.61), Matières En Suspension (r=0.65), chlorophylle a(r=0.68), Température (r=-0.74), Potentiel Hydrogène (r=-0.44), Oxygène dissous (r=-0.48), Nous observons une corrélation positive des sels nutritifs (P, PO₄³⁻, NO₃⁻, NH₄⁺), des MES et de la chlorophylle a avec l'axe F2, ces variables décrivent l'enrichissement en matière organique et en sels nutritifs lié à l'importante charge polluante, cette composante principale 2 peut être considérée comme un gradient d'eutrophisation (figure 57). Ces variables (la température, l'O₂ et pH) sont corrélées négativement avec l'axe factoriel F2, ceci pourrait être expliqué par le fait que lors de la photosynthèse, effectuée par le phytoplancton et qui demande de l'énergie (température). Le CO₂⁻ est assimilé par le phytoplancton. il y'a déplacement de l'équilibre calco-carbonique et une diminution du pH.
- L'axe 3 (pourcentage d'inertie 12,09%), La composante principale 3 est représentative du Phosphore, Orthophosphates, calcium et pH, ces paramètres sont moins net, on rappelle que cet axe n'explique que 12% de la variabilité (figure 58).

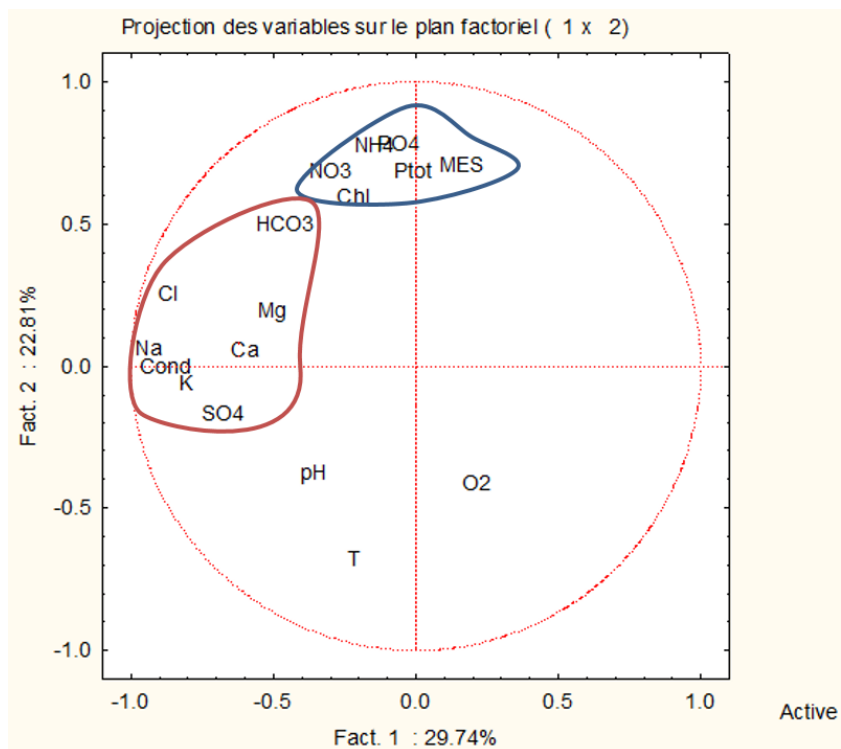


Figure 57 : ACP des variables physico-chimiques (fact. 1 et 2) Inertie : 52,55 %

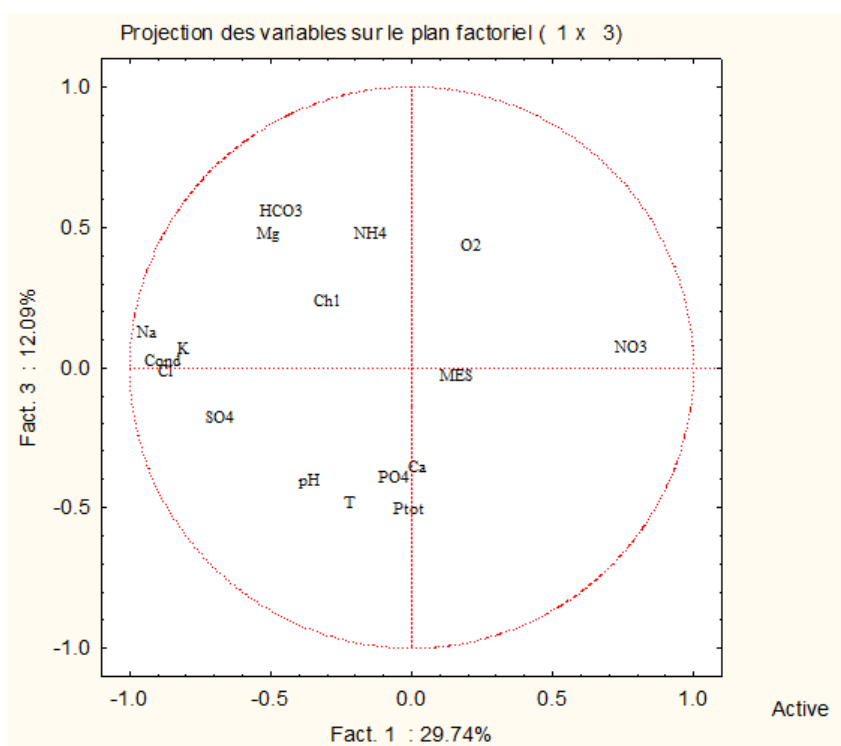


Figure 58 : ACP des variables physico-chimiques (fact. 1 et 3) Inertie : 50,15 %

Différents éléments, par la corrélation de la régression multiple entre les différents paramètres.

III.6.4. ANALYSE STRUCTURALE DES ELEMENTS

Le problème de pollution du bassin versant de Mouillah et du barrage Hammam Boughrara est un problème essentiellement dû aux rejets minéraux domestiques, d'industries et de l'agriculture. Les prélèvements que nous disposons montrent que ces déchets sont formés par des cations et des anions. Ils montrent qu'il y a plusieurs éléments responsables plus ou moins de la pollution.

L'étude de l'association de tous ces éléments entre elles a été faite par l'ACP point de vue mathématique. Par contre, pour tout traitement numérique de ces données nous avons appuyé l'ACP par une étude structurale chimique de ces différents paramètres.

Nous avons pour cela, étudié un échantillon de tous les cations analysé (année 2019) un par un et voir comment réagissent entre chaque ligand, par une méthode spectrophotométrique.

Ce traitement a conduit à la détermination quantitative du nombre minimum d'espèces absorbantes à prendre en compte dans la solution sans, toutefois, fournir de renseignements sur la stœchiométrie des complexes.

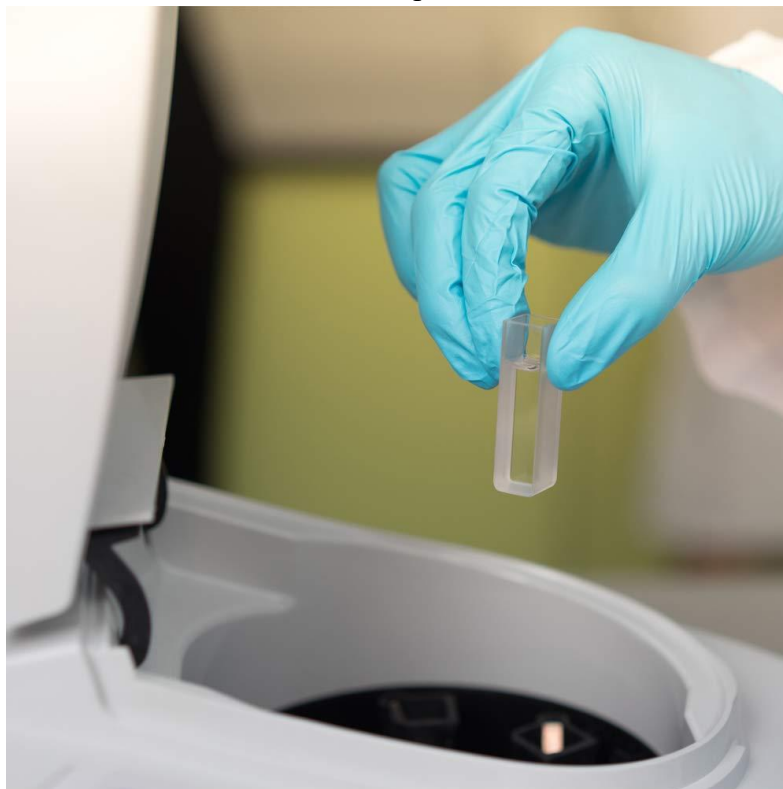


Figure 59 : Analyse spectrophotométrique d'échantillons (année 2019)

Le traitement numérique de données spectrophotométriques constitue un domaine de recherche de choix pour le physicochimiste.

De nombreux auteurs ont tenté d'utiliser des différentes méthodes de calcul allant de la méthode la plus simple du rapport moléculaire à celle qui fait intervenir des méthodes de tabulation numérique dont l'équipe de SILLEN fut l'un des promoteurs.

III.7. ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA POLLUTION

III.7.1. PRECISION SUR L'APPROCHE CHOISIE

L'analyse structurale des polluants a permis d'appuyer l'ACP pour définir les ensembles de groupes des paramètres polluants.

Ainsi, pour l'étude de la simulation Spatio-temporelle, nous avons opté pour douze (12) éléments, en l'occurrence :

- Le débit : responsable du transport.
- Température de l'eau et pH : responsables des réactions chimiques.
- DBO₅ et DCO : responsables des développements biotiques.
- MES : paramètre abiotique important, indicateur de l'érosion qui peut être associé à la matière organique.
- Matière phosphatées (P_T) et azotées (NO₃⁻ et NH₄⁺) : responsable de l'eutrophisation du milieu.
- Les sels présentés par le sodium (Na⁺): responsable de la salinité et la dureté.
- Les bicarbonates (HCO₃⁻) et les sulfates présentés par l'oxyde de soufre (SO₄⁻²) : indicateur de l'acidité du milieu.

Nous avons par contre exclu les paramètres suivants :

- Famille des Métaux de Transition : leur présentation n'est pas significative, il s'agit du : Chrome (Cr), Manganèse (Mn), Fer (Fe), Nickel (Ni), Cuivre (Cu), Zinc (Zn) le Cadmium (Cd).
- Le Potassium (K⁺) et le Chlore (Cl₂) : du même groupe du Sodium (Na⁺).
- Famille du Manganèse (Mg⁺²) et du Calcium (Ca⁺²) : par leur faible représentation par rapport aux paramètres polluants.
- Famille des composés en Aluminium (Al) et en Plomb (Pb) : en état de trace.

III.7.2. DESCRIPTION DE L'ANALYSE SPATIOTEMPORELLE

L'analyse spatiotemporelle vise à formaliser, sur la base de données incomplètes et imprécises et de connaissances plus ou moins approfondies sur les processus, les caractéristiques spatiales et les dynamiques spatio-temporelles de systèmes.

Sur cette base peuvent être construits des représentations et des modèles de ces systèmes, utilisables à des fins de connaissance et de gestion.

La perception de la dimension spatiale des systèmes et la prise en compte de l'existence, en leur sein, de plusieurs niveaux d'organisation partiellement imbriqués sont des enjeux importants pour comprendre leur fonctionnement, s'agissant des interactions au sein du flux liquide.

L'analyse et la modélisation spatiales sont ainsi guidées non seulement par l'espace lui-même mais aussi par les questions traitées, pour lesquelles certaines structures et processus peuvent se révéler plus pertinents que d'autres, dans notre cas la dégradation du milieu vis-à-vis de paramètres biotiques et abiotiques dépassant les valeurs admissibles.

L'espace est ainsi à la fois « support » et « révélateur » de processus aussi bien biophysiques (diffusions, écoulements, processus écologiques...), techniques (pratiques appliqués) que humains et sociaux (stratégies d'acteurs, actions collectives, échanges...).

L'analyse spatiale vise à caractériser les propriétés des objets (le réseau hydrographique) ou des champs de variables (paramètres analysés). Chaque objet ou champ peut être décrit par sa position, son emprise, sa morphologie, sa topologie, sa structure et sa variabilité interne.

L'analyse spatiale vise également à révéler l'organisation spatiale d'une famille d'objets (les individus dans un peuplement) ou les limites et interactions entre familles différentes.

Les recherches dans le domaine de l'analyse spatiale portent sur un spectre très large de méthodes adaptées à différentes problématiques et différents types de systèmes : les méthodes d'échantillonnage (métrologie in situ, enquêtes...), les méthodes de description des systèmes (géographie, sciences cognitives...), les méthodes de reconstitution de champs spatiaux et/ou temporels (géostatistiques, sur-échantillonnage), l'analyse des structures spatiales (morphométrie), les méthodes de construction, de spatialisation et de cartographie d'indicateurs environnementaux, la construction de métriques et d'indicateurs spatiaux ; tel qu'il est notre cas.

La modélisation spatio-temporelle est donc très importante, car elle contribue à la modélisation de systèmes complexes. Les travaux présentés ci-dessus illustrent l'analyse spatiale et temporelle à partir des données d'analyse des paramètres polluants mise en objet ci-dessus, l'assimilation du comportement des données étudiées par rapport au milieu, connaissance des processus et enfin appui à la décision dans un processus de gestion.

III.8. CONCLUSION

Dans la présente étude, contenant une base de données couvrant notamment la période de janvier 2008 à décembre 2010, nous nous sommes concentrés spécifiquement sur les mécanismes de l'eutrophisation ainsi que sur les variations spatio-temporelles des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du réservoir.

Le diagnostic de l'état actuel du barrage de Hammam Boughrara révèle des concentrations élevées de certains éléments tels que P, PO_4^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{2-} , ce qui caractérise des eaux fortement minéralisées avec des conductivités comprises entre 1100 et 1800 $\mu\text{s}/\text{cm}$, donc polluées et séléniteuses. Ces eaux, riches en éléments nutritifs, comme le phosphore et avec un pH légèrement alcalin (compris entre 7,1 et 9,1) favorisent la prolifération d'organismes, tels que les Chlorophycées, les Cyanophycées et les Diatomophycées, qui représentent ensemble 93,57% de la population algale. Cette prolifération entraîne une diminution de la transparence et de l'oxygène dissous qui sont également des signes d'eutrophisation.

Cette étude permettra d'adopter une meilleure approche méthodologique visant à réduire le nombre de stations et d'augmenter la fréquence d'échantillonnage, en vue d'une compréhension approfondie du fonctionnement limnologique du barrage pour garantir sa protection.

Malgré les apports de phosphore très élevés pendant les années considérées, les symptômes d'eutrophisation dans la retenue (teneur en chlorophylle a.) sont loin d'atteindre les niveaux extrêmes attendus d'après les diagrammes charges-réponses de Vollenweider. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que, dès son arrivée à la retenue, l'ortho-phosphate est rapidement rendu inaccessible aux algues du fait d'une floculation efficace au moyen de fines particules d'argile ainsi que d'une formation d'hydroxyapatite suivie d'une précipitation.

Par conséquent, on peut conclure qu'il serait nécessaire de développer et d'approfondir nos connaissances sur la limnologie des lacs et réservoirs en climat tempéré, notamment dans les régions arides et semi-arides, afin de pouvoir incorporer les processus de ces lacs dans un modèle général décrivant la relation charge-réponse, analogue à celui de Vollenweider.

CHPAITRE IV

ANALYSES, RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. INTRODUCTION

Ce chapitre met en exergue le comportement des paramètres polluants (choisi au chapitre précédent) à travers le bassin versant de l'Oued Mouillah, ainsi que leurs impacts sur le milieu naturel.

En premier lieu nous avons procédé à la simulation des variations spatiotemporelles, permettant de synthétiser l'évolution de la pollution dans le flux en fonction du temps d'études et de l'espace concerné. Cette partie a été appuyée par l'approche neuronale permettant le comblement des lacunes et la prédiction de l'évolution des paramètres polluant point de vu spatiotemporelle.

Toutefois, l'analyse spatiotemporelle doit être appuyée, en second lieu, par le diagnostic de l'altération des différents paramètres permettant le classement de l'état du milieu vis-à-vis de la pollution.

Par ailleurs, l'approche analytique de la dynamique des polluants, par l'étude de leurs diffusivités le long du flux, pendant les différentes périodes d'analyse, est considérée comme étant une simulation mathématique de l'action des paramètres dans le cours d'eau l'eau ; qui constitue en troisième lieu, un outil d'appui à la décision sur l'état du milieu.

IV.2. ETUDE DE LA VARIATION SPATIOTEMPORELLE

IV.2.1. PRESENTATION DE LA MATRICE DES DONNEES

L'analyse spatiotemporelle est basée sur la matrice d'une banque des une banque de données sur les rejets, groupant onze (11) éléments (dont le choix a été détaillé au chapitre précédent), analysés mensuellement sur onze ans (11 ans) à partir de cinq (05) points de prélèvement répartis sur le cours d'eau principale du bassin versant de l'Oued Mouillah, d'une façon descendante ; de la frontière Algéro-marocaine en amont, jusqu'au barrage Hammam Boughrara en aval (figure 55).

Ainsi, la matrice des données est composée de plusieurs paramètres, en l'occurrence :

- Les périodes de prélèvement et d'analyse : effectué mensuellement à partir de Janvier 2009 à Décembre 2019.
- Le parcours descendant des points de prélèvement sur le même cours d'eau, choisi d'une façon stratégique permettant de prendre en considération tous les inputs potentiels de la pollution (figure 60) :

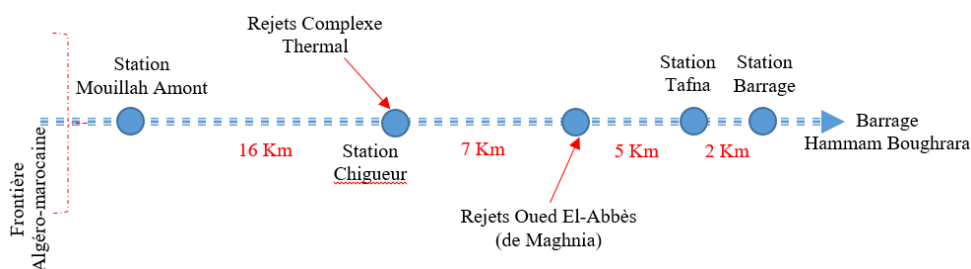


Figure 60 : Points de prélèvement

- Les concentrations des éléments analysés et considérés selon l'étude statistique comme étant les paramètres les plus polluants (T° , pH, MES, Na^{+2} , SO_4^{-2} , HCO_3^{-} , DCO, DBO_5 , NO_3^{-} , NH_4^{-} , P_T).

IV.2.2. APPROCHE NEURONALE DE COMPLEMENT DES DONNEES

La matrice des données étudiées est composée de 5.528 valeurs de concentration, soit 2.092 valeurs manquantes sur une matrice regroupant une banque de 7.620 valeurs.

Ces lacunes, peuvent porter préjudice sur le résultat de l'analyse spatiotemporelle, elles sont dues à plusieurs raisons :

- Fortes intempéries ce qui rend le prélèvement impossible.
- Le cours d'eau est à sec.
- Autres problèmes liés à la logistique.

Comme perspective de comblement des données nous avons utilisé l'approche dite « approche des réseaux de neurones ».

Cette approche réalise facilement un certain nombre d'applications telles que la généralisation des éléments. Ces applications sont pourtant, malgré tous les efforts déployés en algorithmique et en intelligence artificielle, à la limite des possibilités actuelles. C'est à partir de l'hypothèse que le comportement intelligent émerge de la structure et du comportement des éléments de base du cerveau que les réseaux de neurones artificiels se sont développés. Les réseaux de neurones artificiels sont des modèles qui peuvent être décrits par leurs composants, leurs variables descriptives et les interactions des composants.

Dans le cas de ce modèle mathématique, un sous-ensemble des variables descriptives est constitué par les variables d'entrée, variables dont la valeur est déterminée extérieurement au modèle tel que notre cas.

Les connexions entre les neurones qui composent le réseau décrivent la topologie du modèle qui peut être quelconque, et irrégulière telle qu'elle est présentée dans notre matrice. Dans le cas étudié il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche (groupe d'élément) et les connexions ne se font qu'avec les neurones des couches avalées (figure 61).

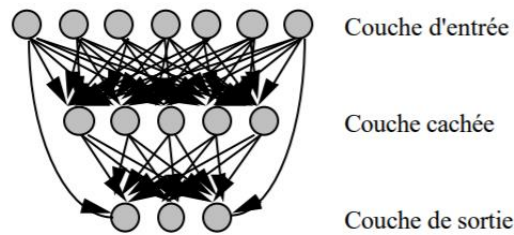


Figure 61 : Définition des couches d'un réseau multicouche (Valentin, N. O. È. L)

Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurone d'entrée, neurone de sortie.

Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie. Les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelés couches cachées.

Pour faciliter la représentation, nous avons déplié dans l'espace les évolutions temporelles du réseau à connexion complète en trois cycles (figure 62). D'un instant au suivant, chaque neurone recalcule indépendamment et en parallèle son état, chacun des neurones est connecté à tous les autres, ce qui implique pour chacun d'entre eux de recevoir 2.092 connexions et d'envoyer sa sortie sur ses 2.092 voisins. La principale différence entre les évolutions temporelles d'un réseau à connexion complète et le calcul de la sortie dans un réseau multicouche est que pour le premier les poids des connexions entre deux évolutions temporelles sont identiques, alors que pour le second, d'une couche à l'autre les poids des connexions sont différents (Philippe, R. 2019).

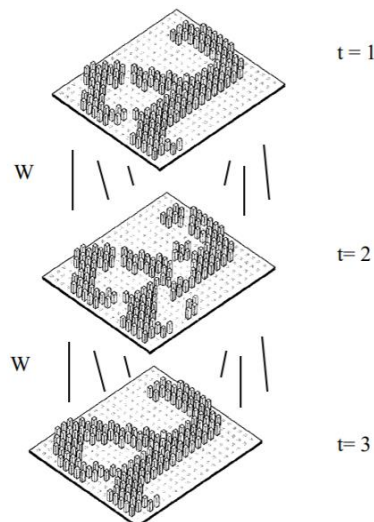


Figure 62 : Evolution du vecteur d'activation d'un réseau à connexion complète sur une période de trois cycles (Valentin, N. O. È. L)

La matrice des poids W est complète ($2092 \times 2092 = 4.376.464$ poids). Entre deux "couches", c'est la même matrice de poids.

Ainsi, pour une série de données variables et aléatoires, le problème est ramené à l'obtention d'une estimation de la valeur désirée pour chaque neurone de la couche cachée. La rétropropagation (Y. le Cun, 1985). Le principe utilisé par la rétropropagation de gradient est la minimisation d'une fonction dépendante de l'erreur. Le gradient est une estimation locale de la pente de la surface.

La minimisation du gradient permet de parcourir cette surface orthogonalement aux courbes de niveau d'un pas fixé. Les problèmes rencontrés durant l'apprentissage résultent des zones très plates et des minima locaux.

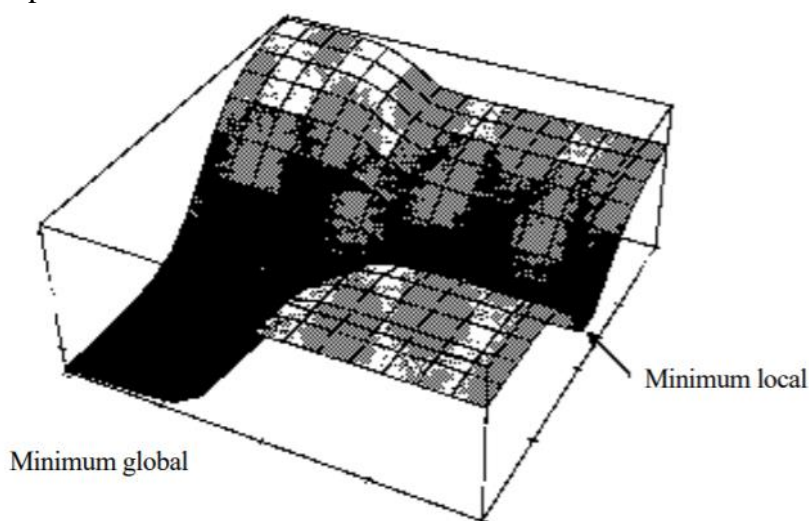


Figure 63 : Recherche de la zone de concentration dans l'espace de configuration des poids du réseau (Valentin, N. O. È. L)

L'organigramme de comblement des données est présenté par la figure 64, le programme est basé sur choix de la structure de réseau (modèle, nombre de neurones, comportement de la fonction de transfert) et l'algorithme d'apprentissage (nombre d'itération d'apprentissage, pas de modification des poids, constitution des bases). Puis, la phase d'apprentissage sur la base d'exemples est exécutée.

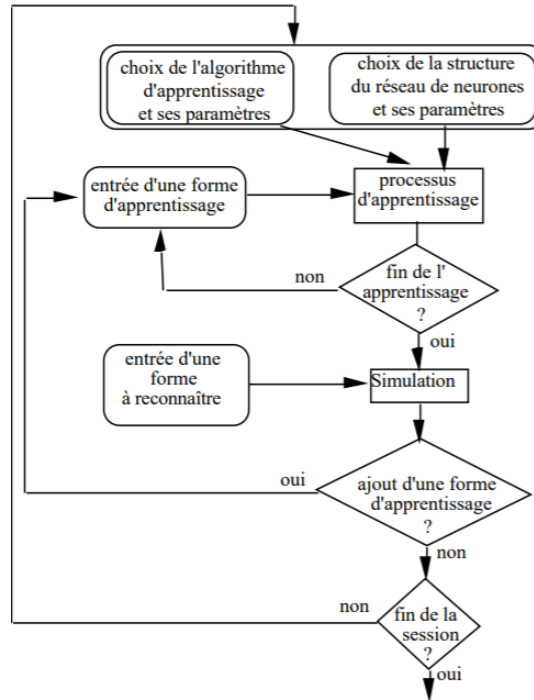


Figure 64 : Organigramme de l'apprentissage de comblement des données

IV.2.3. PRESENTATION DE L'ANALYSE SPATIOTEMPORELLE DES PARAMETRES

En utilisant le langage Python (version 3.10), nous avons au départ procédé des lacunes des données (voir annexe), sur la base de l'organigramme de la figure 64.

Une partie du programme est présenté comme suit :

Tableau 50 : Partie du programme sur Python

```

drive.mount('/content/gdrive', force_remount=False)
DataSet_path = 'gdrive/My Drive/Lotfi_benadda/serie.xlsx'
import pandas as pd
df = pd.read_excel(DataSet_path)
Distance = df.iloc[1:6,2]
Distance = Distance.to_numpy()
Mois = df.columns.values
Mois = Mois[3:]
Mois_i = df.iloc[0,3:]
Mois_i = Mois_i.values
%matplotlib inline
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
X, Y = np.meshgrid(Mois_i, Distance)
#Lecture des données T
T = df.iloc[1:6,3:]
T = T.to_numpy()
T = np.array(T).astype(float)
means_T = np.nanmean(T, axis=1)

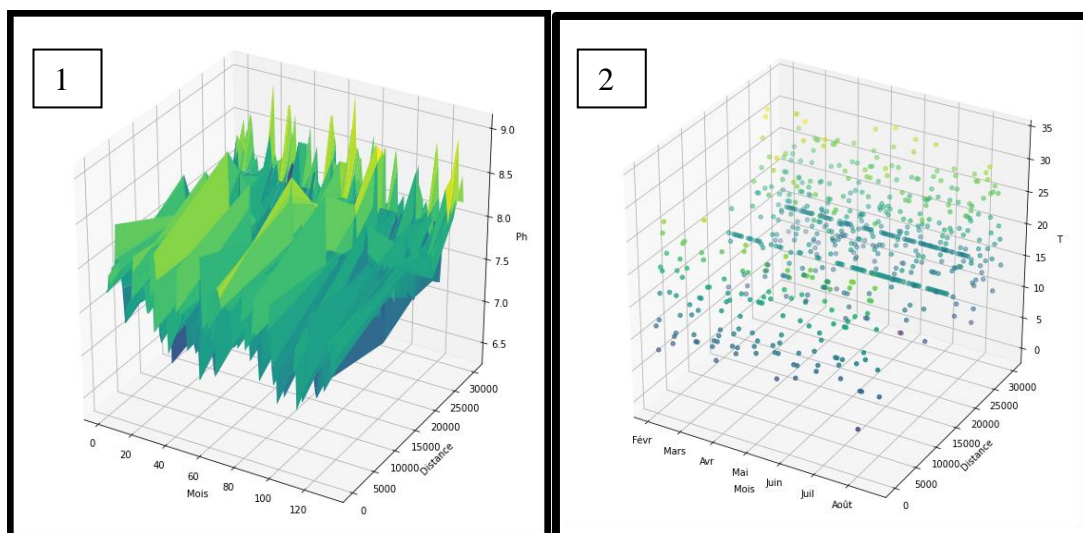
```

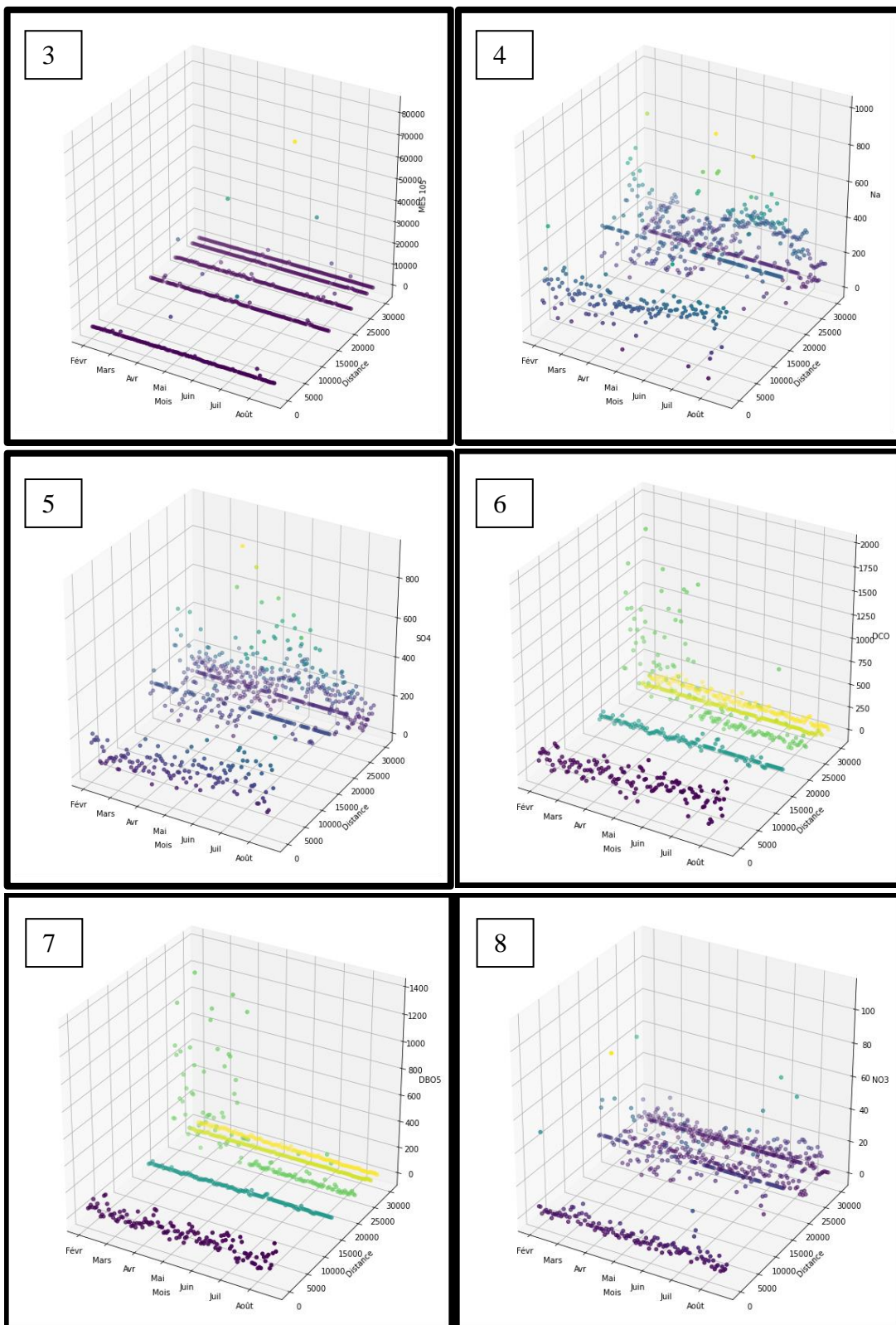
```

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(T[i,:], nan=means_T[i], copy=False)
fig_T = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_T = plt.axes(projection='3d')
ax_T.scatter3D(X, Y, T, c=T, cmap='viridis')
ax_T.set_xlabel('Mois')
ax_T.set_ylabel('Distance')
ax_T.set_xticklabels(Mois)
ax_T.set_zlabel('T')
#Lecture des données Ph
Ph = df.iloc[7:12,3:]
Ph = Ph.to_numpy()
Ph = np.array(Ph).astype(float)
means_Ph = np.nanmean(Ph, axis=1)
for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(Ph[i,:], nan=means_Ph[i], copy=False)
fig_Ph = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_Ph = plt.axes(projection='3d')
ax_Ph.scatter3D(X, Y, Ph, c=Ph, cmap='viridis')
ax_Ph.set_xlabel('Mois')
ax_Ph.set_xticklabels(Mois)
ax_Ph.set_ylabel('Distance') ...etc.

```

L'ensemble du programme est présenté au complet en annexe, ce programme nous permet également de présenter la variation en espace et dans le temps des différents paramètres.





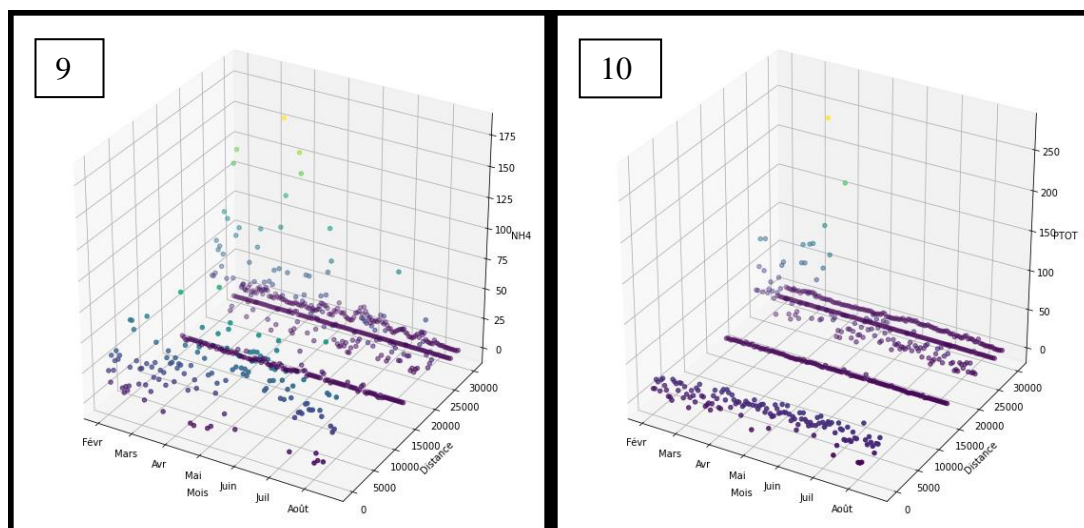


Figure 65 : Variation spatiotemporelle des paramètres analysés : (1) : pH, (2) : T, (3) : MES, (4) :Na, (5) :SO₄, (6) : HCO₃, (7) : DCO, (8) : DBO₅, (9) : NO₃, (10) : NH₄[±]

L'évolution temporelle montre que tous les éléments analysés présente des irrégularités dans l'espace et dans le temps, dont la comparaison avec les normes des rejets admissibles préconisées, on remarque souvent un clair dépassement. Une interprétation détaillée permettra de situer notre bassin versant dans sa classe par rapport à l'environnement.

IV.2.4. INTERPRETATION DE L'ANALYSE SPATIOTEMPORELLE

Les courbes de la variation dans l'espace et dans le temps, donnent plusieurs indications sur l'évolution des paramètres polluants ; ci-dessous nous allons procéder à l'interprétation analytique de ces courbes.

Pour la courbe (1) du pH, celui-ci est situé en majorité le long du cours d'eau de l'Oued Mouillah dans la plage des normes (6.5 – 8.5), sauf au niveau du lac du barrage Hammam Bouhrara, où en remarque souvent un dépassement au-delà de 8.5, ceci peut être expliqué par le fait du métabolisme des paramètres biotiques déterminés au chapitre, précédent. Les eaux du bassin versant sont prépondérances basiques.

La courbe (2), indique que les températures sont contenues dans la plage des normes (autours de 20°C), sauf en période hivernale où la température est en baisse. Par contre on remarque une température des eaux importante vers la station de Chigueur, ceci est dû aux eaux thermales évacuées à partir de la station balnéaire de Hammam Chigueur ; cet état permet de favoriser les réactions biotiques permettant d'augmenter la flore bactérienne est les éléments eutrophisant le milieu.

La charge en MES connaît selon la courbe (3), des dépassements en période hivernale avec des valeurs importantes au niveau du Barrage Hammam Bouhrara, dû certainement au remélange lors des crues des matières décantées dans les eaux de la cuvette. Les valeurs surélevées des MES par apport aux normes va avoir un impact sur le dépassement des paramètres polluants, en particuliers ceux ayant relation avec les paramètres nutritifs.

La répartition du Sodium (Na^{+2}) dans la courbe (4) montre que le nuage des points au niveau des stations situées à l'amont du barrage boughrara (Mouillah Amont, Chigueur et Legfaf) dépasse la norme préconisée, indiquant une forte minéralisation et un taux de salinité élevé au niveau du cours d'eau principale du bassin versant de l'Oued Mouillah.

Pour les sulfures de la courbe (5), on remarque que leurs concentrations dépassent la norme admissible à la station de Chigueur juste à l'aval de la station thermique où les eaux de baignade sont riches en souffres, et à la station de Legfaf qui accueille les rejets acides des industries de la ville de Maghnia acheminé par l'Oued El-Abbes. Ceci-dit, l'ensemble des eaux du cours d'eau de Mouillah ne sont pas acides, ce qui est confirmé par la courbe (1) du pH.

En ce qui concerne la pollution biologique présentée par les courbes (6) et (7) représentant respectivement la DCO et la DBO_5 , on remarque qu'elles présentent la même allure, elles dépassent de loin la norme admissible aux stations de Mouillah Amont et Legfaf, toutes les deux situées respectivement à l'aval des villes d'Oujda et de Maghnia, ce qui indique la forte pollution des rejets biologiques de ces deux villes. Aux autres endroits de l'Oued Mouillah la pollution biologique est faiblement réduite suite à la dilution et probablement au pouvoir auto-épuratoire du cours d'eau.

Les courbes (8) et (9) représentant la pollution azotée, on remarque que les Nitrates sont toujours inférieures à la norme des rejets dans l'ensemble de l'espace et pendant toutes les périodes. Par contre l'ammonium est point de vue spatiotemporelle largement supérieur à la norme admissible, ceci est expliqué par la dénitrification le long du bassin versant due soit par l'activité humaine (utilisation massif des engrais agricoles) et également fort probablement aux réactions biotiques fortement existante dans la masse liquide.

Enfin, les concentrations du phosphore total, présentées par la courbe (10), dépassent de loin la norme admissible fixée par la Norme Algérienne et celle de l'OMS, dans l'ensemble du cours d'eau de Oued Mouillah et au niveau de la cuvette ; ce qui indique eutrophie du milieu.

Ainsi, selon la variation spatiotemporelle, l'état générale de la pollution peut être résumé par :

- Le milieu liquide est basique (faiblement acide par endroits) avec présence d'une pollution irrégulière de divers types.
- La forte pollution est surtout indiquée en toutes périodes à la frontière Algéro-marocaine (station de Mouillah Amont) et juste à l'aval de la ville de Maghnia (Station de Legfaf) ; indiquant que le milieu est surtout pollué par les rejets des activités des deux villes d'Oujda et Maghnia.
- Les réactions azotées sont très présentes par la forte dénitrification due probablement aux pratiques agricoles (lessivage des terres agricoles riches en engrais) d'une part, et aux activités biotiques très actives dans le mélange du flux liquide et au niveau de la cuvette.
- En plus, l'eutrophie du milieu est complètement répartie sur l'ensemble du réseau hydrographique, confirmant la forte activité des matières organiques.

- Point de vue paramètres abiotiques, la pollution est faible, elle est ponctuelle est variable dans le temps.
- L'analyse spatiale à des différentes périodes montre une possible auto-élimination naturelle et une dégradation progressive des différents paramètres polluants par les cours d'eau.

D'autre part, l'analyse spatiotemporelle en vue des variabilités des paramètres polluants, ne permet pas de prendre une décision sur le type de classe du milieu ; s'il est extrêmement pollué, moins pollué, passablement pollué ou propre.

Ainsi, une étude détaillée des altérations des paramètres par rapport aux normes des rejets est primordiale.

IV.3. ETUDE DE L'ALTERATION

IV.3.1. DESCRIPTION DE L'ALTERATION

Il s'agit d'étudier chaque paramètre polluant à part, par le calcul du pourcentage de dépassement de sa concentration analysée par rapport à la norme du rejet :

$$\%Dépassement = \frac{1}{c_x} - 1 \quad (58)$$

Au-delà du 20% du dépassement le milieu est considéré comme pollué, à extrêmement pollué, alors que moins de 20% du dépassement il s'agit d'un environnement passablement pollué, à un écosystème d'une classe de meilleure qualité (figure 76).

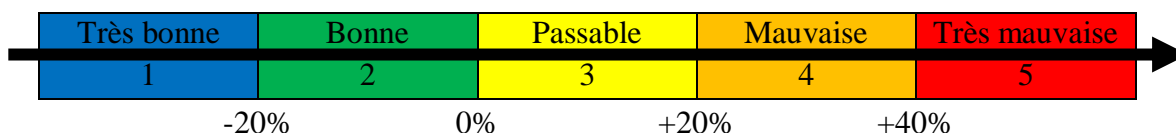


Figure 66 : Classes de qualité de l'altération

IV.3.2. ALTERATION DES PARAMETRES

Nous avons dans cette partie calculée l'altération de chaque paramètre étudié par rapport à sa norme ordonnée, pour chaque station et pendant l'ensemble des périodes d'étude.

IV.3.2.1. ALTERATION DU pH

L'altération du pH est présentée comme suit :

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	<i>pH</i>										
<i>Mouillah Am</i>											
<i>Chigueur</i>											
<i>Legfaf</i>											
<i>Tafna</i>											
<i>Barrage</i>											

Il est clair que la qualité du bassin versant vis-à-vis du pH est passable, du fait que le milieu est alcalin et dépasse du peu la norme préconisé de 8.5.

Pour une meilleure visualisation, la répartition du pH sur le bassin versant a été effectuée en utilisant le SIG par l’ArcGis.

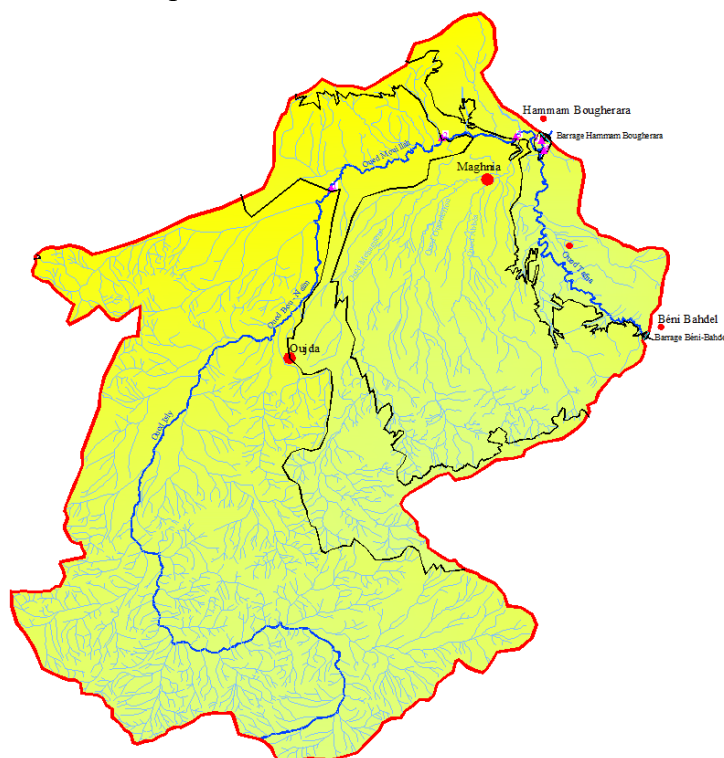


Figure 67 : Altération du pH

La présentation de la valeur minimale du pH dans la série étudiée confirme bien le résultat de l’altération que le milieu est passable.

IV.3.2.2. ALTERATION DU Na⁺

L’altération du Na⁺ est présentée comme suit :

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	<i>Na⁺</i>										
<i>Mouillah Am</i>	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
<i>Chigueur</i>	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Legfaf</i>	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
<i>Tafna</i>	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
<i>Barrage</i>	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

La figure 78, montre l’évolution de cette variation au niveau du bassin versant de l’Oued Mouillah

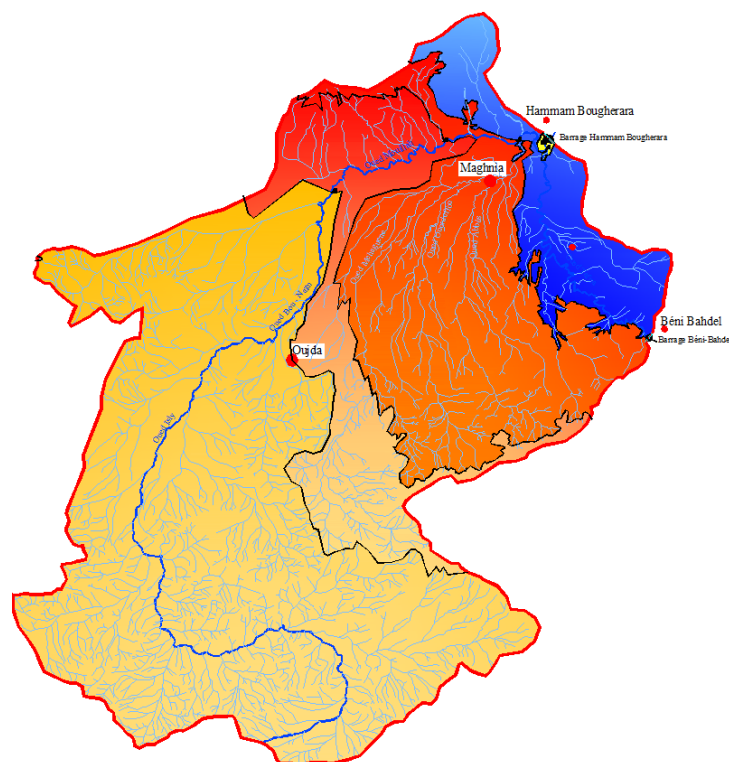


Figure 68 : Altération du Na^{+2}

Il est clair que la salinité des eaux est importante à l'amont de la ville de Maghnia, la qualité de l'eau en matière de minéralisation est médiocre.

IV.3.2.3. ALTERATION DU SO_4^{-2}

L'altération du SO_4^{-2} est présentée comme suit :

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	SO_4^{-2}										
<i>Mouillah Am</i>	Blue	Blue	Blue	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Yellow
<i>Chigueur</i>	Yellow	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Green	Green	Yellow
<i>Legfaf</i>	Orange	Orange	Orange	Orange	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Orange
<i>Tafna</i>	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Blue	Blue	Blue	Blue
<i>Barrage</i>	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Green	Orange	Green	Green	Green	Blue

La variation du SO_4^{-2} au niveau du bassin versant de l'Oued Mouillah est résumée par la figure 79 :

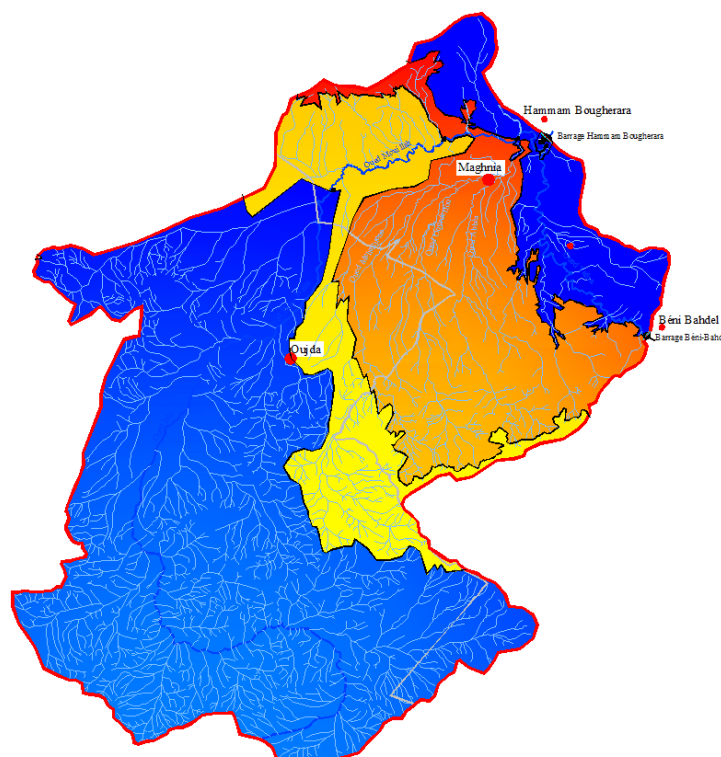
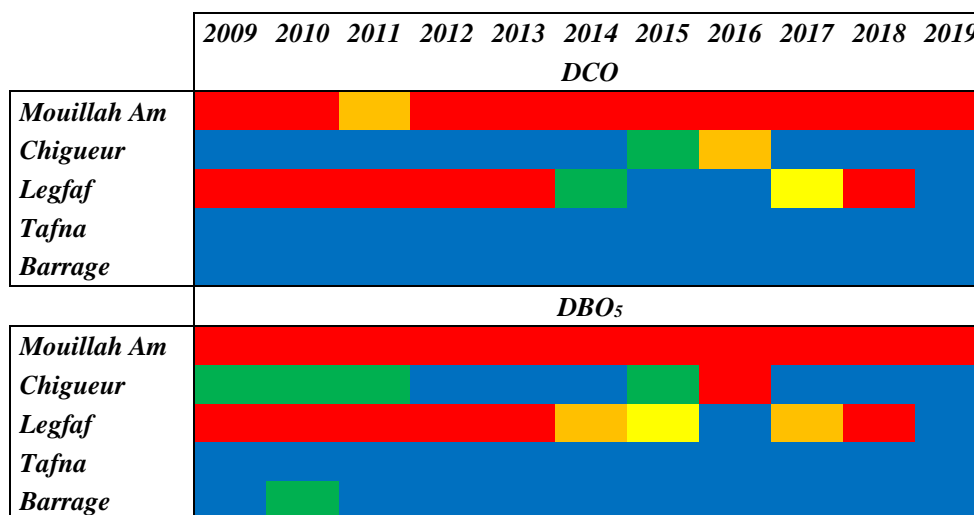


Figure 69 : Altération du SO_4^{-2}

La partie du bassin versant entre la frontière et la ville de Maghnia présente clairement une qualité médiocre des eaux du bassin versant, par rapport aux autres parties ; c'est dans cette zone où l'acidité est extrême en vue des activités industrielles de la ville sis aux juxtaposés des affluents du l'Oued Mouillah (Oued Ourdefou, Oued Mahaguen et Oued El-Abbès).

IV.3.2.4. ALTERATION DES POLLUANT LIES AU DEVELOPPEMENT BACTERIEN

Il s'agit de la DCO et la DBO₅, dont les altérations sont présentées par les présentations suivantes :



La première analyse des présentations indique que le bassin versant est soit qu'il présente une pollution microbienne extrêmement importante dans une de ses partie, ou il est cette pollution est insignifiante dans sa majeure partie. L'analyse par le sig présenté par les deux figures ci-dessous donne plus de détails.

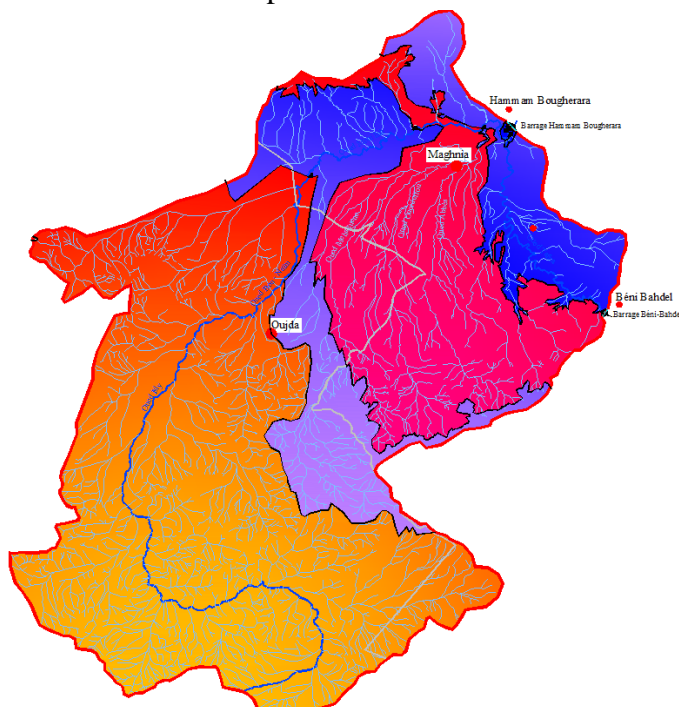


Figure 70 : Altération de la DCO

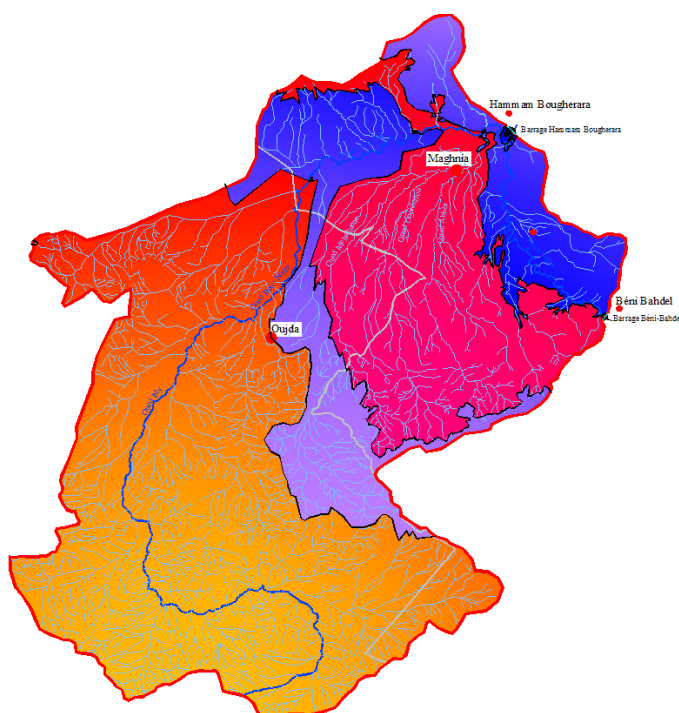
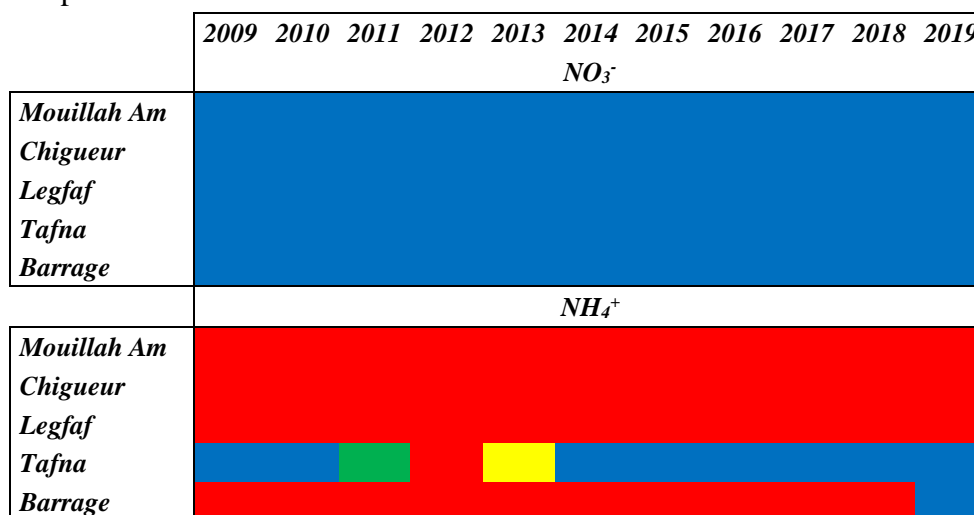


Figure 71 : Altération de la DBO₅

La répartition de la pollution organique à travers le bassin versant indique bien la forte charge polluante arrivée de la ville frontalière d'Oujda ainsi qu'autour la ville de Maghnia ; ces deux villes fortement urbanisées sont ainsi sujette de pollueur potentiel en matières organiques du bassin versant de l'Oued Mouillah.

IV.3.2.5. ALTERATION DES MATIERES AZOTEES

Eléments nutritifs de la flore biotique, l'étude de leurs altérations est primordiale, elles sont présentées comme suit :



On remarque que le bassin versant, en toutes périodes est complètement exempt d'une pollution due au nitrate, par contre, il est pratiquement entièrement extrêmement riche en ammonium ; ceci ne peut être expliqué que par la rétrogradation de l'azote minéral suite au processus microbien de respiration anaérobie qui utilise les nitrates comme accepteurs d'électrons. Les figures suivantes établies par l'ArcGIS, illustrent ce passage de l'azote oxydé en azote minéralisé.

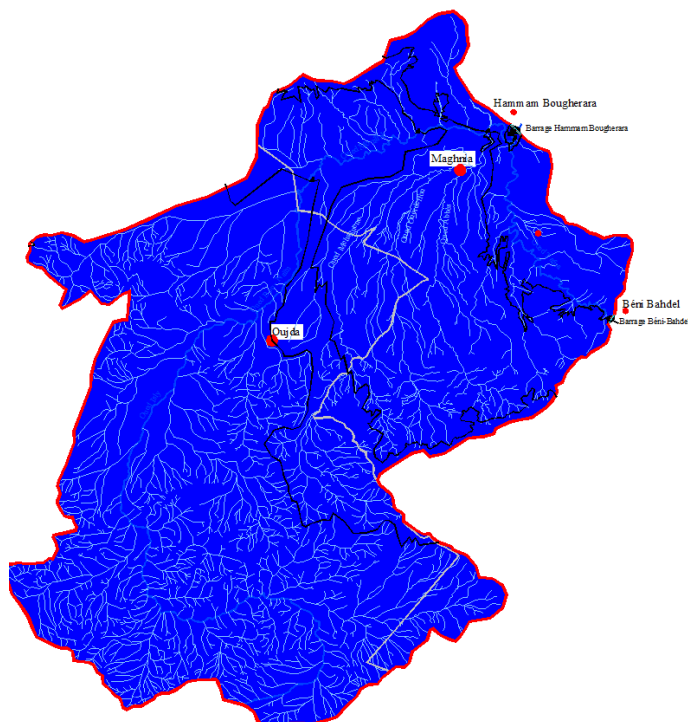


Figure 72 : Altération du NO_3^-

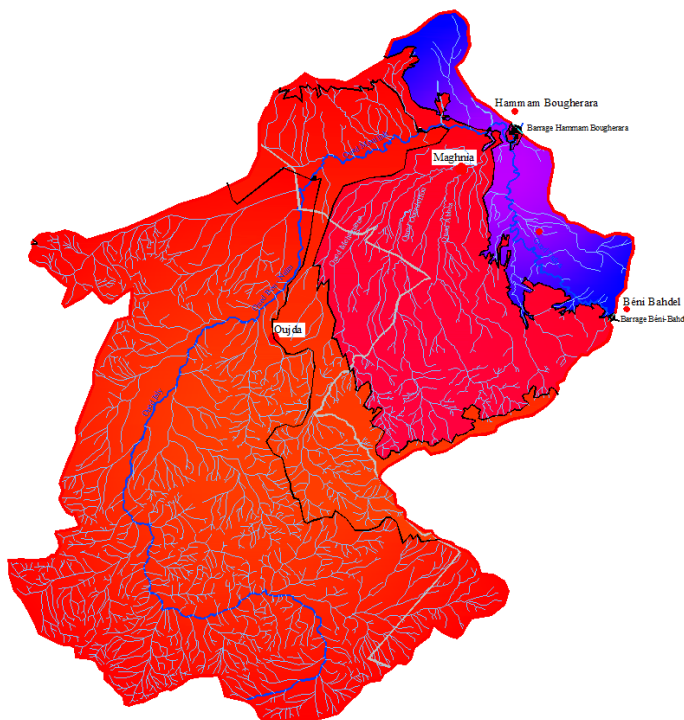


Figure 73 : Altération du NH_4^+

Selon les deux figures, on conclut l'existence de fortes réactions microbiennes et un mélange riche en activité biotique.

IV.3.2.6. ALTERATION DU PHOSPHORE

Acteur principal de l'eutrophisation du milieu, sa propagation à travers le bassin versant le long de la série d'études est comme suit :

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	<i>P_T</i>										
<i>Mouillah Am</i>											
<i>Chigueur</i>											
<i>Legfaf</i>											
<i>Tafna</i>											
<i>Barrage</i>											

Après avoir traduit ces valeurs d'altération par l'ArcGis, nous avons obtenu la figure suivante :

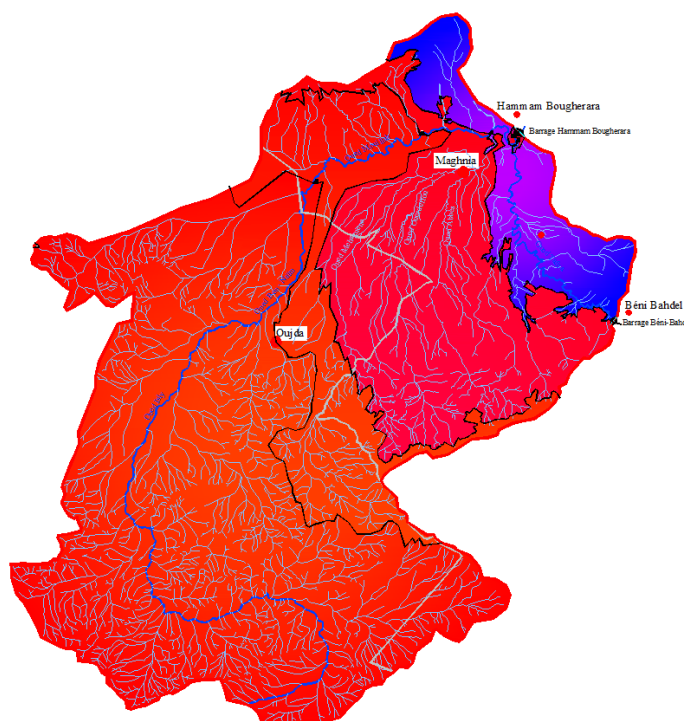


Figure 74 : Altération du P_T

A l'exception de la zone de l'Oued Tafna connue par sa faible activité, l'ensemble du milieu est largement caractérisé par l'eutrophie ; celle-ci est beaucoup plus aggravé dans la cuvette du Barrage Hammam Boughrara.

Ceci indique la riche activité du métabolisme biotique surtout au niveau du barrage qui fonctionne comme étant une lagune naturelle.

Ainsi, la pollution organique est fortement présente dans le milieu du bassin versant de l'Oued Mouillah.

IV.3.3. ETAT GENRALE DE LA POLLUTION

Suite à l'étude d'altération, l'état général de la pollution point de vue temporelle le bassin versant de l'Oued Mouillah dans son ensemble il est fluctuant entre une situation de très bonne qualité ou une autre de très mauvaise qualité (figure 75).

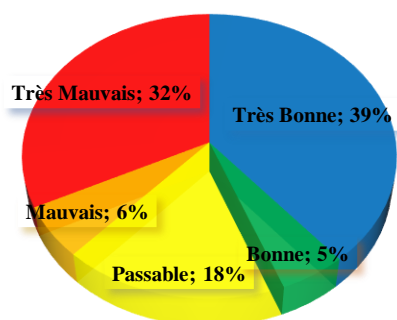


Figure 75 : Etat temporel de la pollution du bassin versant de l'Oued Mouillah

Une compréhension de cet état temporel est basée sur la pollution ponctuelle au niveau des stations, que nous avons résumé par la figure suivante.

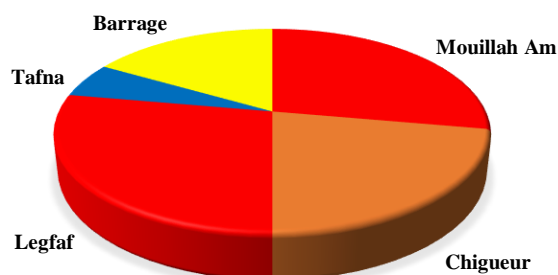


Figure 76 : Etat ponctuel de la pollution du bassin versant de l'Oued Mouillah

La pollution est extrême au niveau des deux stations localisée à l'aval des deux villes d'Oujda et de Maghnia importantes par leurs urbanisations et différentes activités (industrielles et agricoles), en l'occurrence, Stations de Mouillah Amont et de Lagfaf.

Toutefois, l'altération au fil du temps induit à un changement de l'état de pollution, en fait, en remarquant les différentes altérations ; il est clair que les polluants organiques sont les plus importants dans le bassin versant, par contre ceux abiotiques sont faiblement importants à négligeables. Sachant que ces paramètres abiotiques n'ont pas de fortes conséquences par rapports aux autres éléments d'interaction biotiques, l'état de la pollution est donc cerné par les conséquences causées par concentrations organiques.

Par contre, le classement d'un milieu est choisi par rapport à l'étude de l'altération des éléments polluant en choisissant la classe immédiate à sa plus mauvaise classe.

Ainsi, si l'état général du cadre polluant de notre bassin versant de l'Oued Mouillah étudié est très mauvais ; celui-ci est donc considéré dans la « Mauvaise Classe ».

IV.4. ETUDE DU POUVOIR AUTO-EPURATOIR

IV.4.1. INTRODUCTION

L'analyse spatiotemporelle et celle de l'altération ont indiqué que le bassin versant de l'Oued Mouillah connaît une pollution de type organique extrême, concentrée principalement en amont et au milieu du cours d'eau de l'Oued Mouillah (Stations de Mouillah Amont et de Legfaf). On a remarqué également que l'état général de la pollution est irrégulier il peut basculer d'une médiocre qualité de l'eau à une autre meilleure.

D'où, la problématique sur une « Autoépuration » du cours d'eau, le long du flux liquide.

Pour confirmer l'existence de ce pouvoir purificateur, il est indispensable d'effectuer l'étude de la diffusivité des éléments source de cette état de pollution organique.

Nous avons ainsi dans cette partie, étudié la diffusivité des principaux agents de la pollution biotique, en l'occurrence, la DBO₅ et le Phosphore Total (P_T).

IV.4.2. PARAMETRES DE BASE DE L'ETUDE DE LA DIFFUSION

La propagation de la DBO₅ et du P_T est un problème basé sur le transport avec convection-diffusion (Chapitre I). Pour une telle situation, nous utilisons dans cette partie les équations mathématiques permettant de simuler la distribution de la concentration, C(x, t), pour des durées allant d'une demi-heure jusqu'au temps de concentration (en heures), en supposant différentes valeurs pour la distance, x, qui va du point d'échantillonnage jusqu'à l'entrée du réservoir du barrage.

Les caractéristiques de forme des sections du cours d'eau, sont débit, ainsi que la concentration et la masse de l'élément en question sont indispensable pour mener cette étude de modélisation mathématique.

Vu la complexité du problème, il était indispensable d'apporter quelques simplifications sur les caractéristiques morphologiques des Oueds, ainsi que les conditions d'écoulements et de répartitions de la concentration.

Néanmoins, les hypothèses fixées n'influent guère sur la diffusion de la pollution dans le bassin versant, ces hypothèses se résument par les points suivants :

- La section transversale au niveau des stations de prélèvement a une forme rectangulaire, de largeur B, où de hauteur du plan d'eau est h.
- L'écoulement dans les cours d'eau est considéré comme unidimensionnel.
- La vitesse moyenne correspond au débit d'écoulement enregistré.
- Les concentrations des paramètres analysés au niveau des prises sont considérées comme une source continue et constante.
- Les concentrations sont supposées réparties sur l'ensemble de la section transversale.

En choisissant les périodes où la concentration est extrême, les différentes caractéristiques sont résumées pour chaque station, dans le Tableau suivant :

Tableau 51 : Caractéristique de base pour l'étude de la diffusion

	Mouillah		Chigueur		Lagfaf		Tafna		Barrage	
	DBO ₅	P _T	DBO ₅	P _T	DBO ₅	P _T	DBO ₅	P _T	DBO ₅	P _T
C (mg.L⁻¹)	90	31.5	93	18	3700	77.5	776	102	776	102
U (m.s⁻¹)	0.09	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Q (m³.s⁻¹)	0.11	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
H (m)	0.15	0.15	0.10	0.1	0.28	0.28	0.28	0.28	0.17	0.17
B (m)	8.00	8.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00
S (m²)	1.2	0.2	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Kr (J⁻¹)	0.35	0.43	0.35	0.08	0.39	0.004	0.39	0.004	0.39	0.02
M₀ (Kg)	9.90	3.46	0.93	0.18	37.00	0.77	7.76	1.02	7.76	1.02
M₁ (Kg.m⁻²)	8.28	2.90	1.12	0.22	44.40	0.93	9.31	1.22	9.31	1.22

IV.4.3. MODELISATION DE PROPAGATION DE LA DBO₅ ET DU P_T

Il s'agit de la modélisation mathématique du comportement de ces deux éléments biotiques (source de pollution organique et de l'eutrophisation) qui se manifeste dans un mélange d'une part, par convection-diffusion et convection-dispersion en régime turbulent, et d'autre part, par le transport avec réaction.

Le premier modèle est appliqué en régime d'écoulement hydrodynamique, autrement dit, le long du cours d'eau de l'Oued Mouillah.

Alors que le second modèle est appliqué en régime hydrostatique, favorable à la diffusion avec réaction chimique, c'est-à-dire, au niveau de la cuvette du Barrage Hammam Boughrara.

IV.4.3.1. MODELE CONVECTION-DIFFUSION ET CONVECTION-DISPERSION UTILISE

L'Oued Mouillah est considéré comme une entité physique dans lequel se produit, dans son flux hydrodynamique, le transport de type turbulent avec convection-diffusion et convection dispersion de la matière instantanément rejetée, et dont la concentration est mesurée à des différentes stations implantée suivant l'écoulement le long du cours d'eau.

La modélisation de ce genre de transport de la DBO₅ et du P_T, repose sur la résolution de l'équation différentielle 32. Pour cela nous avons amélioré le programme dit « DISPTUR » permettant cette modélisation.

Le programme DISPTUR a été écrit pour résoudre les problèmes avec injections multiples, dans l'espace ou dans le temps.

L'organigramme du programme DISPTUR est présenté par la figure 87 :

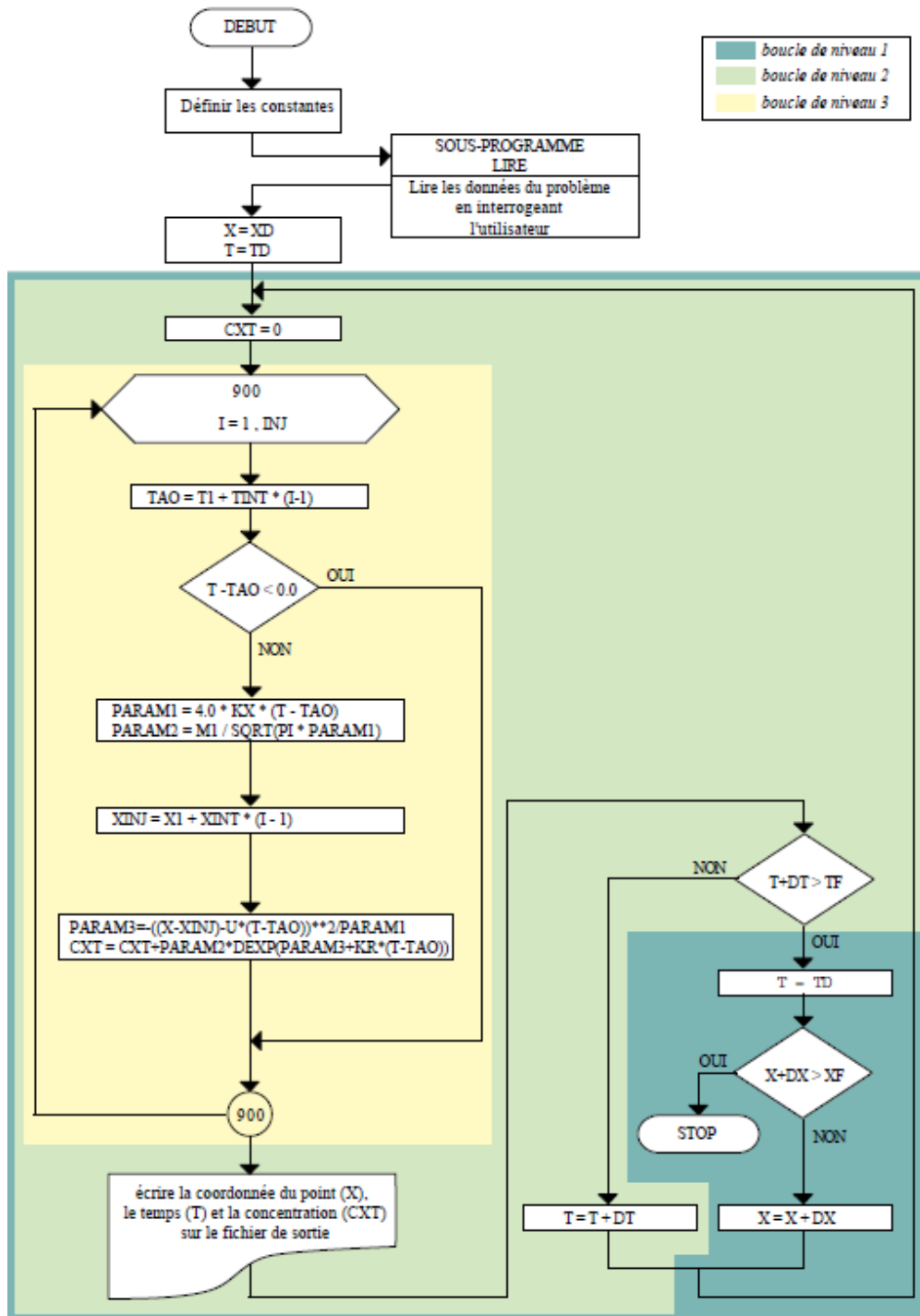


Figure 77 : Organigramme du programme DISPTUR

Le programme DISPTUR est composé d'un programme principal et de deux sous-programmes :

- Le programme principal DISPTUR contrôle le déroulement de l'ensemble. Il appelle le sous-programme LIRE pour lire les données :

La boucle de calcul est une implémentation directe du principe de superposition dans sa forme la plus générale. Il comporte plusieurs boucles imbriquées. La boucle du premier niveau choisit la valeur de X et l'incrément de ΔX .

La boucle du deuxième niveau choisit la valeur de T et l'incrément de ΔT . Une fois les valeurs de X et T sont choisies, le programme initialise la valeur de la concentration en prenant $C(X, T) = 0$.

La boucle du troisième niveau calcule l'influence de chacune de NINJ mini-injections (le cas d'une injection unique est assimilé à $NINJ = 1$) et l'ajoute à $C(X, T)$.

Quand la troisième boucle se termine, le programme écrit les différentes valeurs courantes de X, T et $C(X, T)$ sur le fichier de sortie. Le calcul se poursuit en variant les valeurs de X et de T selon les données fournies par l'utilisateur.

Dans la troisième boucle, le programme teste si la mini-injection courante, I, au point XINJ au temps TAO peut influencer la concentration au point (X, T) :

→ $T < TAO$ (où $T - TAO < 0$) revient à dire qu'au temps T la mini-injection n'est pas encore introduite dans le milieu aqueux. Elle ne peut donc influencer la concentration au temps T. Le programme ne tient pas compte de cette mini-injection.

→ $T > TAO$ ($T - TAO > 0$) revient à dire que la mini-injection est déjà introduite dans le milieu aqueux et elle influence la concentration au temps T. Le programme calcule le champ de concentration créé par cette mini-injection et il l'ajoute à $C(X, T)$.

- Le sous-programme LIRE, comme son nom l'indique, lit les données du problème en questionnant l'utilisateur, celui-ci choisit d'abord le type d'injection. Il doit ensuite introduire les caractéristiques principales suscitées (Largeur du canal B [m], Profondeur d'eau h [m], Vitesse moyenne de l'écoulement U [m/s] et la Viscosité cinématique de l'eau ν [m²/s]).

Le programme vérifie alors que l'écoulement est fluvial ($Fr = U/\sqrt{gh} < 1$) et turbulent ($Re = 4 U R_h / \nu > 2000$). Si l'une de ces deux conditions n'est pas satisfaite, un message d'erreur est affiché sur l'écran et l'utilisateur est renvoyé au début du programme. Si l'écoulement fluvial est turbulent, l'équation 32 est valide. Le programme continue avec l'introduction de données supplémentaires.

Le coefficient de dispersion longitudinale, K_x , est calculé en admettant la relation : $K_x \cong K_x' \cong C (hu^*)$, C'est l'utilisateur qui fournit la valeur du coefficient C.

Le programme demande ensuite la valeur du coefficient de réaction, K_r . Le taux de diminution peut être estimé comme suit : $0.05 < K_r [\text{jours}^{-1}] < 0.30$ (2.0).

L'introduction des données sur la substance injectée dépend du type de l'injection (tableau suivant) :

Tableau 52 : Caractéristique de base pour l'étude de la diffusion

Une seule injection :	Plusieurs mini-injections dans le temps :	Plusieurs mini-injections dans l'espace :
- Masse injectée, M0 [kg]	- Masse injectée à chaque mini-injection, delM0 [kg] ,	- Masse injectée à chaque mini-injection, delM0 [kg] ,
- Temps de l'injection, T1 [s].	- Nombre de mini-injections, NINJ ,	- Nombre de mini-injections, NINJ
- Coordonnée de l'injection, X1 [m] ,	- Intervalle de temps entre les mini-injections, TINT [s] ,	- Distance entre les mini-injections, XINT [s] ,
	- Temps de la première mini-injection, T1 [s] .	- Coordonnée de la première mini-injection, X1 [s] .

- L'utilisateur peut calculer de la répartition de la concentration dans un espace, (x, t).
- La dernière information à introduire est le nom du fichier de sortie.

IV.4.3.2. MODELISATION DE LA DBO A TRAVERS OUED MOUILLAH

Le dialogue interactif avec le programme DISPTUR pour calculer l'évolution de la concentration de la DBO₅ aux différentes stations est présenté en annexe.

Les résultats de l'évolution de la DBO₅ aux stations de Mouillah Amont, Chigueur, Legfaf, Tafna et Barrage Hammam Boughrara sont représentés respectivement par les courbes de la Figure 78 (a), (b), (c), (d) et (e).

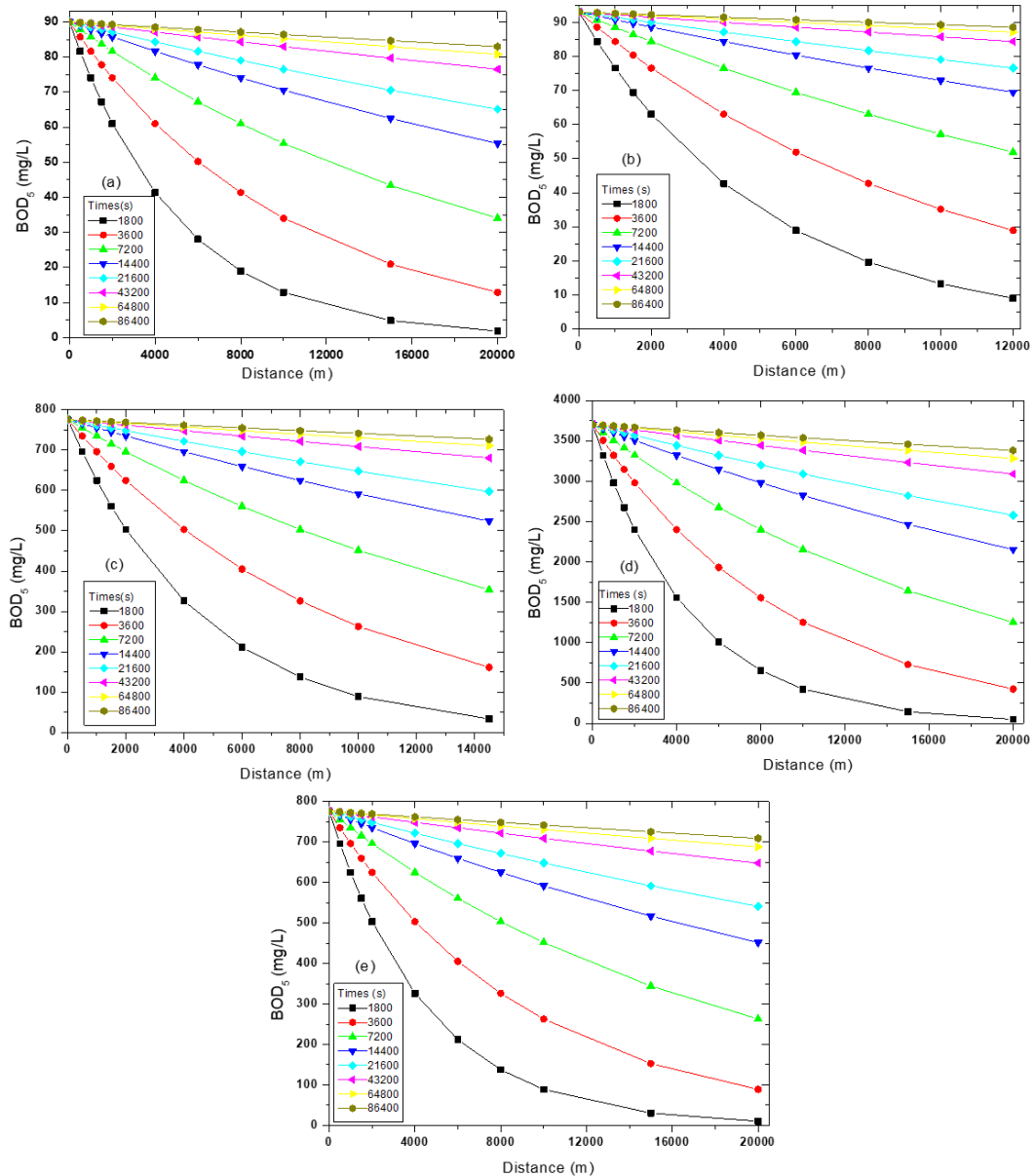


Figure 78 : Variation de la DBO₅ entre les stations : Mouillah Amont (a), Chigueur (b), Lagfaf (c), Tafna (d) et Cuvette (e)

A l'output de DISPTUR, présente des courbes qui montrent que pour une même distance, l'auto-dégradation de la DBO₅ est insignifiante pour un faible temps.

La dégradation est asymptotiquement vers la valeur nulle avec un temps important et distance parcourue importante.

Ainsi, le pouvoir épuratoire du cours d'eau de l'Oued Mouillah existe, mais il dépend du facteur du temps de concentration de l'écoulement et de la longueur de la distance parcourue par la substance (DBO₅).

Autrement dit, pour la station de Mouillah Amont vers la cuvette ; une auto-dégradation de la DBO₅ est possible hors périodes des crues. Par contre, à la station de Legfaf le pouvoir épuratoire du cours d'eau devient plus faible en raison du rapprochement de la station à la cuvette.

D'autant plus, à chaque station, un cumule dans la concentration de la DBO₅, à cause de l'introduction constante des rejets, ce qui rend complexe l'autoépuration du cours d'eau, elle ne peut donc se concrétiser que dans des cas exceptionnels.

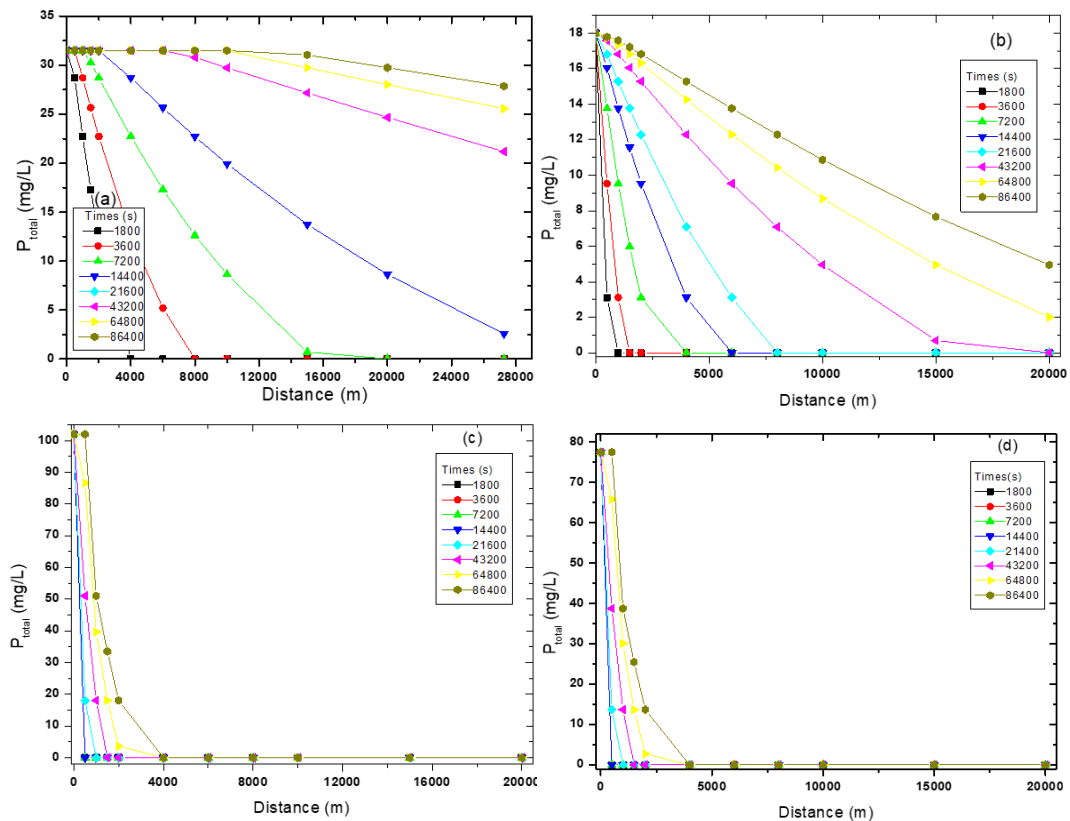
Raison pour laquelle, l'analyse spatiotemporelle et celle de l'altération a indiqué la médiocrité de la qualité en eau par rapport à la pollution en DBO₅ en toutes périodes et à tous les niveaux.

Le tableau regroupant les résultats de calcul de ΔC à chaque station x et en chaque temps t , et indiqué en annexe.

IV.4.3.3. MODELISATION DU P_T A TRAVERS OUED MOUILLAH

L'introduction des différentes données suscitées concernant le P_T au programme DISPTUR, est présenté en annexe.

Les résultats de l'évolution du P_T aux stations étudiées sont représentés respectivement par les courbes de la Figure 89 (a), (b), (c), (d) et (e).



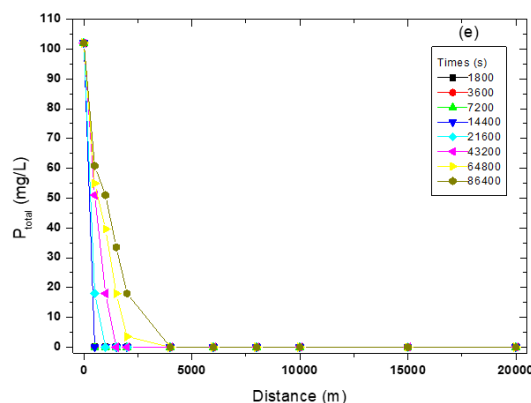


Figure 79 : Variation du P_T entre les stations : Mouillah Amont (a), Chigeur (b), Lagfaf (c), Tafna (d) et Cuvette (e)

Les courbes présentées à l'output de DISPTUR, présente des courbes indiquant une auto-dégradation exponentielle du P_T même pour des courtes durées et faible distances parcourues. A l'exception des deux stations successives de Mouillah Amont et Chigeur, où l'auto-élimination n'est pas concrétisée.

Le pouvoir non épuratoire des stations de l'amont est un signe que les conditions permettant aux bactéries la dégradation de l'azote ne sont pas encore réunies, probablement à cause de certains paramètres abiotiques surélevés, ce qui augmente la phase de latence de la flore bactérienne, rendant la dégradation très faible avec une eutrophie du milieu.

Pour le cas choisi, les conditions biotiques sont favorables à la d'euphorisation, qui peut être expliqué, par l'augmentation des réactions chimique dans une masse liquide plus diluée par le rapprochement ou inclusion à l'intérieur du lac du barrage (faible conditions hydrodynamique).

Raison pour laquelle, l'analyse spatiotemporelle et celle de l'altération a indiqué la parfois une fluctuation de la qualité en eau par rapport aux éléments azotées au niveau de certaines stations et pendant des périodes définies. Toutefois, le pouvoir d'autoépuration du P_T reste très possible à concrétiser.

IV.4.3.4. MODELE DISPERSION LONGITUDINALE DANS LA CUVETTE

La cuvette du barrage Hammam Boughrara est considérée comme une entité physique dans lequel se produit, dans son flux hydrostatique, une dispersion longitudinale à tendance permettra soit d'une réduction en concentration des éléments analysés, ou d'autre part, d'augmentation ou de constance dans leurs concentrations le long de la dispersion longitudinale, indiquant l'existence des interactions dans le mélange liquide.

La modélisation de la dispersion de la DBO_5 et du P_T , repose sur la résolution de l'équation exponentielle 30. Raison pour cela nous avons participé à l'amélioration du programme dit « DIFDIS » permettant cette modélisation.

L'organigramme du programme DIFDIS est présenté par la figure 80 :

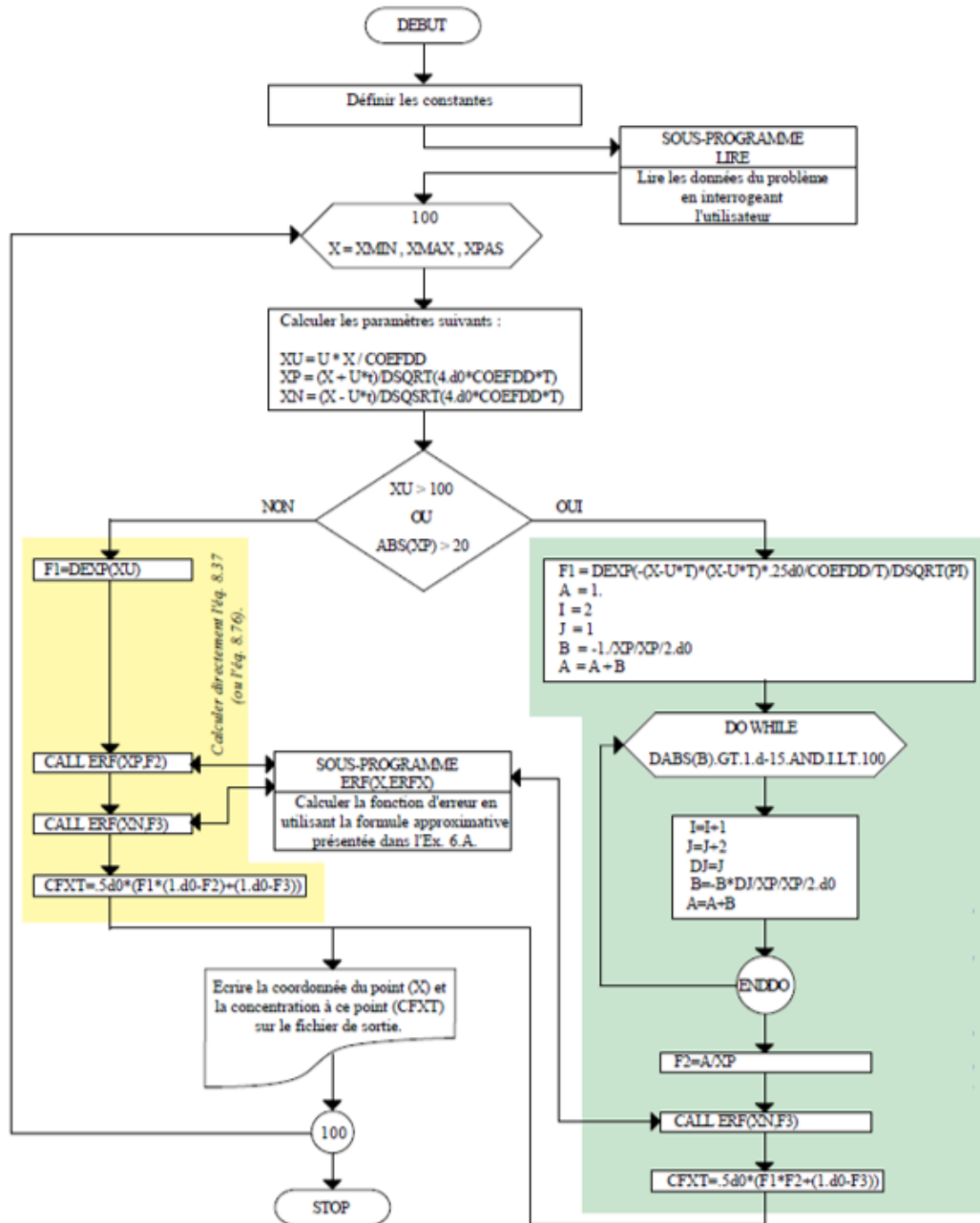


Figure 80 : Organigramme du programme DIFDIS

Le programme est composé d'un programme principal et de deux sous-programmes :

- Le programme principal DIFDIS contrôle le déroulement de l'ensemble. Il s'agit de calculer le profil de la concentration adimensionnelle résultant d'une source continue placée à l'origine, $x = 0$, le long d'un tronçon à un moment donné. Le programme principal DIFDIS appelle deux sous-programmes pour effectuer des tâches bien précises: LIRE et ERF. Les résultats sont écrits dans le fichier de sortie.

- Le sous-programme LIRE, lit les données du problème que l'utilisateur doit fournir au programme : (coefficient de dispersion longitudinale, vitesse moyenne de l'écoulement, U (m/s), temps pour lequel le profil doit être calculé, limites du tronçon et le pas d'espace, enfin, nom du fichier de sortie).
- Le sous-programme ERF calcule la fonction d'erreur en utilisant la formule approximative donnée au chapitre I.

IV.4.3.5. MODELISATION DE LA DBO₅ ET DU P_T AU NIVEAU DE LA CUVETTE DU BARRAGE HAMMAM BOUGHRARA

Le dialogue avec le programme, pour calculer le profil longitudinal adimensionnel de la concentration au temps t et entre la surface et le fond de la cuvette x , avec des intervalles fixes (tableaux en annexe).

Le programme a permis de calculer les concentrations en chaque intervalle, et dessiner la présentation graphique de la diffusion de la DBO₅ et du Phosphore total (figure 81, a et b).

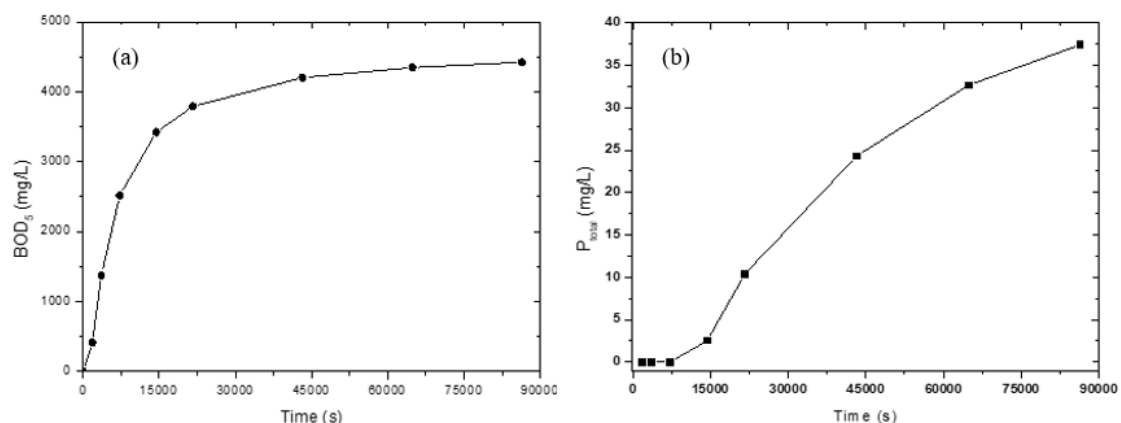


Figure 81 : Organigramme du programme DIFDIS

Les deux courbes indiquent une dispersion croissante, désignant le mélange comme étant médiocre point de vu pollution due aux micro-organismes. Confirmant ainsi les résultats de l'analyse spatiotemporelle et de l'altération.

Pour la DBO₅, l'allure de sa courbe représentative (a) est parabolique qui connaît le déclin aux alentours de 4 Heures et dont le maximum est atteint vers un temps de 6 Heures, ensuite on remarque une phase stationnaire de la courbe ; indiquant une saturation en matière de la DBO₅.

Par contre, la courbe du P_T, au départ elle est constante, indiquant une phase de latence de la flore bactérienne, jusqu'au environ 4 Heures (au même moment du déclin de la courbe de la DBO₅) où en remarque une allure presque exponentielle de la diffusion du P_T, indiquant une saturation continue du mélange au bout de 24 Heures.

Ceci est expliqué par le fait que le mélange dans la cuvette du barrage connaît une eutrophie généralisée, lorsque le processus de développement du métabolisme bactérien arrive à sa saturation.

IV.5. SYNTHÈSE

La pollution du courant liquide dépend de plusieurs facteurs, en l'occurrence, l'hydrodynamique du cours d'eau, sa forme, sa géologie et les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des polluants.

Dans le cas du bassin versant de l'Oued Mouillah, nous avons cerné l'étude du transport des polluants rejetés, à l'analyse spatio-temporelle, l'altération des substances analysées, de la diffusion et le comportement du mélange au niveau du lac du Barrage Hammam Boughrara.

Ainsi, nous avons constitué une banque de données sur les rejets, groupant onze (11) éléments, analysés à partir de cinq (05) points de prélèvement dans le bassin versant de l'Oued Mouillah et une à la cuvette du barrage Hammam Bougherara.

L'évolution spatiotemporelle appuyée par l'étude des altérations des substances montre que tous les éléments analysés à l'amont du Barrage Hammam Bougherara, dépassent les normes de rejets de très loin, montrant clairement l'existence d'une pollution nuisible, essentiellement composée d'éléments biotiques à base d'azote et de phosphore. L'importance de cette pollution est surtout enregistrée à Mouillah Amont à la frontière Algéro-Marocaine d'une part, et d'autre part, à Legfaf à l'aval de la ville de Maghnia. Identifiant, ainsi, la source de cette pollution, à savoir, les rejets urbains et industriels de la ville Marocaine de Oujda et ceux de la zone industrielle de la ville de Maghnia.

Pour mieux comprendre le comportement de la pollution due aux paramètres biotiques, nous avons appliqué un modèle mathématique permettant d'analyser la diffusion du Phosphore et celle de la DBO₅, celle-ci dépendent essentiellement des conditions d'écoulement (débit, vitesse, frottement), caractéristiques du cours d'eau (forme morphologique, section transversale, longueur), paramètres rejetés (diffusivité, coefficient de réaction, masse) et temps de séjours (durée de transport).

Nous avons remarqué que la propagation du P_{Total}, pour un même débit, est importante dans les courtes distances avec des faibles durées de transport, par contre, avec l'augmentation de la distance et la durée la concentration de cet élément tend vers la valeur initialement rejetée. Quant-à la dégradation de la DBO₅, pour une même masse d'eau écoulée, elle est importante pour des courtes durées de transport et des faibles distances, avec l'augmentation de la distance parcourue, la concentration tend vers la valeur nulle, soit la dégradation totale de l'élément. Par ailleurs, lors d'importantes durées de transport et de distances la dégradation est faible et s'approche de la concentration initiale.

Ainsi, la diffusion et l'épuration des éléments de pollution à travers les cours d'eau du bassin versant de l'Oued Mouillah, dépend des paramètres hydrodynamiques d'écoulement (périodes de crues, normales ou d'étiages), de la forme des Oueds, du temps de séjours et des caractéristiques des éléments rejetés.

L'analyse spatiale à des différentes périodes montre que l'auto-élimination naturelle des différents paramètres polluants est complexe, elle ne peut être favorisée que pendant un temps et un trajet conséquent.

Au niveau du barrage l'étude, le mélange est pratiquement montre une eutrophisation généralisée du réservoir.

En conclusion, la qualité des eaux du bassin versant de l'Oued Mouillah est classée médiocres.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail mené sur le bassin d'Oued Mouillah, avait pour objet de cerner la dynamique des polluants le plan d'eau. Le transport des polluants dans un courant liquide dépend de plusieurs facteurs, principalement, l'hydrodynamique du cours d'eau, sa forme et les caractéristiques des polluants.

La présente étude est basée sur des données d'éléments couvrant notamment la période de janvier 2009 à décembre 2019, prélevés à partir de six stations réparties de l'amont vers l'aval jusqu'au barrage Hammam Boughrara, et analysés au laboratoire de l'ANRH-Orna.

En premier, nous avons procédé à simplifier l'étude par la constitution de groupes d'éléments engendrant la pollution, en utilisant la statistique présentée par l'ACP. Celle-ci a été appuyée par une analyse structurale des différentes substances ce qui a permis de limiter les groupes de paramètres ayant une même tendance.

Nous avons ainsi réduit notre étude par le choix d'éléments ayant de la similitude et peuvent être nuisibles sur le milieu ; en l'occurrence, la DBO₅, la DCO, les MES, le pH, la Température, les Bicarbonates (HCO₃⁻), le Phosphore total (P_{Total}), le Sodium (Na²⁺), l'Oxyde de Soufre (SO₄²⁻), les Nitrates (NO₃⁻) et l'Ammonium (NH₄⁺).

Nous nous sommes concentrés spécifiquement sur les variations spatio-temporelles, de l'altération et la modélisation mathématique de la diffusion des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du bassin versant et du réservoir.

Il s'est révélé par l'étude que tous le bassin versant de l'Oued Mouillah appartient à une classe de qualité de type mauvaise par l'existence d'une pollution nuisible, essentiellement composée d'éléments organiques et d'éléments à base d'azote et de phosphore auxquels s'ajoutent les matières en suspension.

L'importance de cette pollution est surtout enregistrée à Mouillah Amont à l'aval de la ville de Maghnia. Identifiant, ainsi, la source de cette pollution, à savoir, les rejets urbains et industriels de la ville Marocaine de Oujda et ceux de la zone industrielle de la ville de Maghnia.

Toutefois, les rejets en provenance des unités industrielles de Maghnia (charriés par Oued El Abbès et Oued Ourdeffou) risquent de polluer le plus le barrage Hammam Boughrara, en raison de leurs importances d'un côté, et d'être proches au site en question d'un autre côté.

Ainsi, au niveau de la cuvette du barrage Hammam Boughrara, les eaux sont riches en éléments nutritifs, comme le phosphore et avec un pH légèrement alcalin (compris entre 7,1 et 9,1) favorisent la prolifération d'organismes qui entraîne une eutrophisation.

D'autre part, l'analyse spatiale à des différentes périodes montre bien la possibilité d'une auto-élimination naturelle et une dégradation progressive des différents paramètres polluants par les cours d'eau. Signalons que ce pouvoir auto-épuration n'est favorisé que si les conditions d'écoulement et les paramètres morphologiques du canal d'écoulement (Oued) sont importants.

Au barrage de Hammam Boughrara, la variation spatiale des éléments analysés est relativement marquée par une tendance à la hausse pendant la saison sèche, dont les principaux débits du cours d'eau Mouillah (ressource principale du barrage) sont les eaux usées rejetées. Pendant cette période, la qualité des eaux est dans la classe de qualité mauvaise.

De plus, cette contamination tend à diminuer au niveau du barrage, en période humide après dilution ; en effet, durant cette saison des pluies, le barrage fonctionne comme une lagune de type facultatif, permettant une épuration aérobie de surface et anaérobie en profondeur, sans négliger le risque de remise en suspension de la pollution accumulée au fond du barrage, qui reste très probable, notamment lors de variations rapides de la masse d'eau, rendant ainsi la qualité de l'eau stockée médiocre et mauvaise pour tout usage direct.

Point de vue biotique, les concentrations excessives de nutriments facteurs limitant de l'état trophique classent les eaux de notre barrage dans un état hypertrophique.

En conclusion, les résultats des travaux effectués sur les eaux de l'oued Mouillah sont de mauvaise qualité ; il est donc nécessaire de mettre en place un système rigoureux de surveillance de la qualité de l'eau, avec des dispositifs de traitement et de décontamination de l'eau pour préserver les ressources en eau qui deviennent obligatoires face à la dégradation de ces écosystèmes aquatiques.

De plus, ces travaux pourraient permettre de fixer des objectifs précis permettant une meilleure gestion de la qualité de l'eau en termes de réponse trophique dans le cadre du développement durable et de l'aide à la décision.

ANNEXES**Annexe 01 : Morphométrie**

Classes d'altitude(m)	Altitude moyenne partielle (km)	Aire partielle (km ²)	Produit (km ³)
1450 - 1400	1.425	1.79	2.55
1400 - 1350	1.375	1.46	2.01
1350 - 1300	1.325	17.46	23.13
1300 - 1250	1.275	21.02	26.80
1250 - 1200	1.225	34.69	42.50
1200 - 1150	1.175	24.70	29.02
1150 - 1100	1.125	21.72	24.44
1100 - 1050	1.075	179.15	192.59
1050 - 1000	1.025	181.00	185.53
1000 - 950	0.975	76.25	74.34
950 - 900	0.925	77.31	71.51
900 - 850	0.875	78.50	68.69
850 - 800	0.825	101.35	83.61
800 - 750	0.775	81.85	63.43
750 - 700	0.725	135.23	98.04
700 - 650	0.675	124.66	84.15
650 - 600	0.625	137.85	86.16
600 - 550	0.575	139.57	80.25
550 - 500	0.525	146.71	77.02
500 - 450	0.475	153.22	72.78
450 - 400	0.425	189.23	80.42
400 - 300	0.35	56.49	19.77
300 - 250	0.275	18.79	5.17
Somme	-	2000	1493.91
Altitude moyenne = 1493.91/2000 = 0.747 km (747 m)			

Altitude (m)	Surfaces partielles (km ²)	Surfaces cumulées(km ²)	% des surfaces partielles	% des surfaces cumulées	% des altitudes	% des altitudes cumulées
1450 - 1400	1.79	1.79	0.090	0.090	4.17	95.83
1400 - 1350	1.46	3.25	0.073	0.163	4.17	91.67
1350 - 1300	17.46	20.71	0.873	1.036	4.17	87.50
1300 - 1250	21.02	41.73	1.051	2.087	4.17	83.33
1250 - 1200	34.69	76.42	1.735	3.821	4.17	79.17
1200 - 1150	24.70	101.12	1.235	5.056	4.17	75.00
1150 - 1100	21.72	122.84	1.086	6.142	4.17	70.83
1100 - 1050	179.15	301.99	8.958	15.100	4.17	66.67
1050 - 1000	181.00	482.99	9.050	24.150	4.17	62.50
1000 - 950	76.25	559.24	3.813	27.962	4.17	58.33
950 - 900	77.31	636.55	3.866	31.828	4.17	54.17
900 - 850	78.50	715.05	3.925	35.753	4.17	50.00
850 - 800	101.35	816.40	5.068	40.820	4.17	45.83
800 - 750	81.85	898.25	4.093	44.913	4.17	41.67
750 - 700	135.23	1033.48	6.762	51.674	4.17	37.50
700 - 650	124.66	1158.14	6.233	57.907	4.17	33.33
650 - 600	137.85	1295.99	6.893	64.800	4.17	29.17
600 - 550	139.57	1435.56	6.979	71.778	4.17	25.00
550 - 500	146.71	1582.27	7.336	79.114	4.17	20.83
500 - 450	153.22	1735.49	7.661	86.775	4.17	16.67
450 - 400	189.23	1924.72	9.462	96.236	4.17	12.50
400 - 300	56.49	1981.21	2.825	99.061	8.33	4.17
300 - 250	18.79	2000.00	0.940	100.000	4.17	0.00

Annexe 02: Précipitations mensuelle stations du bassin versant de l'oued Mouillah (1980-2019)

STATION MAGHNIA											
SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
1,0	1,0	1,0	1,0	49,5	68,1	149,3	45,8	2,5	24,3	0,0	0,0
15,5	0,0	29,9	127,4	2,7	126,8	122,9	78,8	0,0	4,1	20,3	0,0
12,9	30,3	12,9	0,0	7,6	61,7	41,5	188,4	30,5	7,6	0,0	2,5
4,4	1,4	43,3	0,6	31,0	62,4	10,3	108,3	52,9	5,6	3,0	27,0
9,5	39,9	9,3	59,8	74,6	28,4	32,3	25,2	49,8	3,6	4,3	0,0
0,0	23,5	78,9	2,4	34,6	6,6	23,8	66,1	29,5	0,0	0,0	0,0
0,0	38,4	14,5	12,0	16,7	94,5	21,7	14,2	10,3	2,0	3,9	2,0
17,6	129,5	48,7	24,0	8,2	69,0	88,8	34,4	14,6	0,0	0,0	0,0
24,3	24,8	30,0	143,2	19,1	49,1	28,6	42,1	0,0	59,7	1,5	2,4
2,0	0,0	0,0	17,9	16,3	21,9	8,5	48,3	37,3	0,0	2,2	10,3
0,8	17,6	42,5	22,4	0,0	7,7	23,5	6,7	19,7	0,0	4,0	0,0
3,0	0,0	13,8	40,1	19,0	24,4	19,5	12,6	106,4	1,7	0,0	0,0
9,4	2,6	30,0	13,7	29,3	12,2	29,0	18,6	61,4	0,0	0,0	0,0
3,0	1,1	37,5	28,2	64,7	41,7	34,3	31,9	0,4	5,6	0,0	4,5
1,6	49,0	167,9	24,3	29,6	63,0	8,1	3,7	13,5	0,1	7,3	1,4
15,3	16,1	23,1	31,3	6,5	24,6	2,8	16,7	35,5	5,1	2,3	0,0
6,8	9,5	47,5	7,1	25,5	27,9	93,7	15,0	16,6	4,8	1,3	2,6
7,9	7,7	22,2	27,0	59,2	0,0	28,6	71,4	27,4	4,2	4,0	4,0
39,5	11,1	34,8	47,5	17,3	64,1	104,6	7,3	7,5	1,2	0,0	1,1
44,6	21,4	10,0	19,0	5,4	7,9	71,5	89,0	66,8	37,8	15,2	0,0
0,0	11,0	16,8	23,8	4,9	56,4	23,5	66,8	40,6	0,1	0,0	1,3
24,0	13,7	58,1	7,4	52,9	58,6	5,1	18,5	24,5	0,4	1,3	1,1
13,4	18,6	19,7	9,2	7,6	63,3	100,7	10,2	1,9	3,4	0,0	0,0
8,2	16,4	1,3	34,4	53,9	80,6	34,5	28,2	37,2	10,5	-1,0	-1,0
26,2	8,5	0,7	28,4	42,8	1,0	3,9	55,0	13,4	0,0	1,1	27,0
60,6	17,3	34,5	53,4	29,5	42,0	21,8	16,0	40,6	1,1	0,8	0,4
6,8	2,6	41,3	12,1	60,9	33,3	62,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,4	36,1	25,4	272,7	32,0	78,8	42,8	25,0	8,1	29,9	0,0	3,7
13,8	2,0	0,0	27,3	14,6	48,8	8,4	47,9	34,2	11,1	0,0	5,5
6,2	43,4	68,2	36,1	0,0	15,5	21,5	11,8	7,8	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	13,2	59,1	26,7	68,2	40,3	19,4	72,5	3,4	0,7	0,0
12,4	2,1	77,4	28,2	38,3	8,8	52,8	22,7	53,9	0,0	0,0	0,0
23,8	1,9	76,1	58,3	108,9	62,5	86,7	32,0	5,8	0,0	0,0	8,2
11,6	23,4	99,5	39,1	61,8	159,3	2,5	5,2	14,1	0,0	17,0	1,4
26,5	39,5	60,7	49,7	30,3	37,1	3,5	24,2	17,7	6,4	0,0	0,0
3,0	14,3	41,3	9,5	13,1	29,6	185,8	18,0	15,9	9,2	6,0	9,1
0,2	0,0	34,2	47,4	25,2	57,8	19,6	50,1	20,8	37,1	8,1	0,0
3,0	119,2	35,0	51,5	67,9	2,6	45,9	38,6	5,9	0,5	0,0	0,0
0,0	14,6	13,5	30,5	37,4	3,6	60,6	76,0	104,8	13,8	0,0	0,2
1,0	3,6	87,1	20,6	39,4	31,2	42,3	21,4	39,5	16,7	0,0	0,9

STATION BENI BAHDEL

SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
12,2	31,9	76,6	163,5	27,5	34,0	162,5	59,3	161,6	4,9	4,7	18,2
2,5	0,0	56,0	97,5	60,2	107,9	39,2	50,6	24,6	49,1	8,3	0,0
6,0	148,0	31,7	103,2	74,7	0,5	72,3	59,6	11,8	0,0	0,0	0,0
0,0	12,5	9,3	33,6	108,5	6,0	93,1	90,7	172,9	3,0	16,6	0,0
20,7	0,0	144,8	62,9	81,7	83,3	110,5	22,2	66,9	6,8	0,0	0,0
21,2	58,3	23,7	38,6	68,0	153,4	240,4	56,9	0,0	1,1	0,0	0,0
14,3	0,0	20,3	178,1	2,7	214,3	209,7	65,9	0,0	9,8	14,0	0,0
19,8	36,2	34,2	0,0	11,8	137,3	125,8	223,3	44,1	2,2	1,1	34,0
1,0	5,1	71,9	7,8	53,4	70,7	27,0	91,1	36,5	3,5	6,2	13,5
13,9	44,1	18,8	85,0	108,2	35,2	20,2	19,7	77,7	9,0	6,2	0,0
0,0	21,9	112,2	33,8	114,1	17,8	46,6	57,5	29,6	2,4	0,0	0,0
0,0	42,1	40,8	7,2	31,1	123,6	24,5	19,2	9,0	0,0	2,9	0,7
17,2	95,6	65,8	50,8	3,5	98,4	123,0	32,7	29,2	0,0	0,0	0,0
2,4	36,1	25,4	272,7	32,0	78,8	42,8	25,0	8,1	29,9	0,0	3,7
13,8	2,0	0,0	27,3	14,6	48,8	8,4	47,9	34,2	11,1	0,0	5,5
6,2	43,4	68,2	36,1	0,0	15,5	21,5	11,8	7,8	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	13,2	59,1	26,7	68,2	40,3	19,4	72,5	3,4	0,7	0,0
12,4	2,1	77,4	28,2	38,3	8,8	52,8	22,7	53,9	0,0	0,0	0,0
23,8	1,9	76,1	58,3	108,9	62,5	86,7	32,0	5,8	0,0	0,0	8,2
11,6	23,4	99,5	39,1	61,8	159,3	2,5	5,2	14,1	0,0	17,0	1,4
26,5	39,5	60,7	49,7	30,3	37,1	3,5	24,2	17,7	6,4	0,0	0,0
3,0	14,3	41,3	9,5	13,1	29,6	185,8	18,0	15,9	9,2	6,0	9,1
4,2	3,9	32,9	31,1	144,8	1,2	25,5	62,2	32,0	9,2	3,7	1,0
30,1	13,9	42,3	106,0	26,9	108,3	171,5	4,2	8,4	3,4	0,0	0,7
10,0	48,5	24,9	15,9	15,5	11,5	153,9	76,9	134,2	14,1	15,6	6,4
3,3	10,2	39,4	30,3	1,4	54,3	16,4	75,0	107,1	4,0	0,0	3,5
21,3	5,1	56,0	25,0	91,6	67,6	9,1	23,5	22,8	0,8	17,5	1,5
34,4	28,0	39,6	14,4	14,0	44,3	235,2	41,5	11,9	5,0	0,0	3,2
19,8	19,5	8,0	49,1	107,4	93,9	70,7	61,6	34,9	96,0	0,0	0,0
27,0	19,8	4,6	45,6	108,3	1,0	6,2	74,9	15,9	1,6	0,4	36,2
61,3	12,4	77,3	97,4	42,5	50,7	39,4	21,1	69,2	0,0	0,0	3,0
15,3	1,6	34,7	15,6	125,2	58,4	83,3	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0
4,2	3,9	32,9	31,1	144,8	1,2	25,5	62,2	32,0	9,2	3,7	1,0
30,1	13,9	42,3	106,0	26,9	108,3	171,5	4,2	8,4	3,4	0,0	0,7
10,0	48,5	24,9	15,9	15,5	11,5	153,9	76,9	134,2	14,1	15,6	6,4
3,3	10,2	39,4	30,3	1,4	54,3	16,4	75,0	107,1	4,0	0,0	3,5
17,1	28,4	32,0	28,4	44,9	78,2	120,4	46,3	0,2	24,0	0,0	0,0
18,4	0,0	21,6	139,6	0,0	151,1	130,2	63,4	0,8	4,9	14,8	0,0
13,5	20,9	3,1	0,0	4,0	109,5	52,4	183,1	31,1	0,0	0,0	0,0
2,1	0,8	51,4	0,5	40,0	65,8	12,0	96,4	37,8	0,2	0,0	25,5
21,3	55,9	7,3	54,6	70,3	20,8	29,2	13,6	34,9	0,0	0,0	0,0
0,8	25,5	67,6	4,4	36,5	5,5	33,2	56,5	20,2	0,0	0,0	0,0
2,2	38,5	15,2	11,2	17,6	85,6	19,7	12,9	7,3	6,5	5,6	0,0
2,0	139,0	26,0	31,0	9,5	57,1	82,1	31,2	10,4	0,0	0,0	0,0
4,2	19,6	30,1	135,6	24,3	61,3	24,5	49,0	0,0	65,0	0,0	2,0
0,0	0,0	0,0	16,0	4,0	23,1	9,7	45,0	32,5	0,0	0,0	12,0

STATION BENI OUASSINE											
SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
1,2	24,4	58,4	76,8	15,3	26,5	61,8	14,7	124,6	0,0	1,2	3,7
0,2	0,0	34,2	47,4	25,2	57,8	19,6	50,1	20,8	37,1	8,1	0,0
3,0	119,2	35,0	51,5	67,9	2,6	45,9	38,6	5,9	0,5	0,0	0,0
0,0	14,6	13,5	30,5	37,4	3,6	60,6	76,0	104,8	13,8	0,0	0,2
1,0	3,6	87,1	20,6	39,4	31,2	42,3	21,4	39,5	16,7	0,0	0,9
17,1	28,4	32,0	28,4	44,9	78,2	120,4	46,3	0,2	24,0	0,0	0,0
18,4	0,0	21,6	139,6	0,0	151,1	130,2	63,4	0,8	4,9	14,8	0,0
13,5	20,9	3,1	0,0	4,0	109,5	52,4	183,1	31,1	0,0	0,0	0,0
2,1	0,8	51,4	0,5	40,0	65,8	12,0	96,4	37,8	0,2	0,0	25,5
21,3	55,9	7,3	54,6	70,3	20,8	29,2	13,6	34,9	0,0	0,0	0,0
0,8	25,5	67,6	4,4	36,5	5,5	33,2	56,5	20,2	0,0	0,0	0,0
2,2	38,5	15,2	11,2	17,6	85,6	19,7	12,9	7,3	6,5	5,6	0,0
2,0	139,0	26,0	31,0	9,5	57,1	82,1	31,2	10,4	0,0	0,0	0,0
4,2	19,6	30,1	135,6	24,3	61,3	24,5	49,0	0,0	65,0	0,0	2,0
0,0	0,0	0,0	16,0	4,0	23,1	9,7	45,0	32,5	0,0	0,0	12,0
0,0	17,9	40,2	13,4	0,0	6,9	20,1	4,5	18,4	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	13,5	45,3	17,8	21,5	16,5	8,5	77,6	0,0	0,0	0,0
10,2	1,0	33,2	26,1	34,4	14,4	26,3	18,5	42,6	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	38,0	23,0	69,7	52,1	29,1	29,8	0,0	0,0	0,0	0,0
2,0	34,8	131,9	24,9	33,4	47,3	7,3	0,0	10,6	0,0	3,4	0,0
11,8	25,0	16,3	21,2	4,7	21,8	0,0	18,4	34,7	0,0	0,0	0,0
0,4	9,0	41,0	6,0	31,4	23,9	99,0	25,3	12,5	4,3	0,0	6,0
23,7	6,2	23,4	23,7	61,0	0,0	39,6	48,5	14,9	4,1	3,8	2,1
26,0	6,5	32,1	46,7	13,5	62,7	93,6	7,0	10,0	0,0	0,0	0,0
13,7	23,6	11,2	15,9	3,5	13,9	104,2	69,6	61,9	39,9	5,5	0,0
0,0	9,5	28,9	21,0	3,0	45,7	24,5	59,8	41,2	0,0	0,1	1,5
10,7	11,7	46,8	9,2	50,8	59,5	4,0	13,7	25,0	0,0	3,2	2,8
10,2	15,7	12,2	9,4	8,1	51,5	94,2	9,4	0,8	2,2	0,1	1,6
4,8	16,5	0,4	37,1	52,7	36,4	23,8	10,7	8,7	8,2	-1,0	-1,0
18,0	14,7	0,0	20,6	26,0	0,0	2,2	37,2	9,7	0,0	1,2	9,4
57,7	25,7	20,0	38,8	12,5	12,5	20,1	12,8	16,3	0,0	0,2	0,4
1,5	1,2	32,0	12,2	35,8	31,0	35,5	0,0	0,0	0,8	0,2	0,0
1,0	3,6	87,1	20,6	39,4	31,2	42,3	21,4	39,5	16,7	0,0	0,9
17,1	28,4	32,0	28,4	44,9	78,2	120,4	46,3	0,2	24,0	0,0	0,0
18,4	0,0	21,6	139,6	0,0	151,1	130,2	63,4	0,8	4,9	14,8	0,0
13,5	20,9	3,1	0,0	4,0	109,5	52,4	183,1	31,1	0,0	0,0	0,0
2,1	0,8	51,4	0,5	40,0	65,8	12,0	96,4	37,8	0,2	0,0	25,5
21,3	55,9	7,3	54,6	70,3	20,8	29,2	13,6	34,9	0,0	0,0	0,0
0,8	25,5	67,6	4,4	36,5	5,5	33,2	56,5	20,2	0,0	0,0	0,0
2,2	38,5	15,2	11,2	17,6	85,6	19,7	12,9	7,3	6,5	5,6	0,0
2,0	139,0	26,0	31,0	9,5	57,1	82,1	31,2	10,4	0,0	0,0	0,0
4,2	19,6	30,1	135,6	24,3	61,3	24,5	49,0	0,0	65,0	0,0	2,0
0,0	0,0	0,0	16,0	4,0	23,1	9,7	45,0	32,5	0,0	0,0	12,0
0,0	17,9	40,2	13,4	0,0	6,9	20,1	4,5	18,4	0,0	0,0	0,0
0,8	25,5	67,6	4,4	36,5	5,5	33,2	56,5	20,2	0,0	0,0	0,0

STATION SIDI MEDJAHED											
SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
13,5	11,8	21,2	14,8	13,7	74,8	159,9	14,9	0,0	0,0	0,0	1,5
7,0	0,0	16,0	19,8	53,9	1,5	13,0	38,4	15,2	3,8	4,5	0,0
38,6	7,6	29,3	39,2	9,8	63,8	123,2	3,4	14,7	0,0	0,0	0,0
11,2	41,7	10,6	20,8	13,0	8,0	97,8	41,3	31,2	24,5	0,0	0,0
0,0	8,8	18,4	13,2	2,1	66,1	22,0	50,5	53,6	1,5	0,0	0,5
11,5	10,9	53,4	11,3	58,2	54,7	9,2	17,0	28,2	0,0	2,3	4,4
13,5	11,8	21,2	14,8	13,7	74,8	159,9	14,9	0,0	0,0	0,0	1,5
2,6	36,8	16,3	196,6	31,1	43,0	29,6	33,8	4,1	71,4	0,0	0,0
4,7	1,7	46,5	0,3	31,7	80,9	19,4	100,8	79,0	2,3	6,9	16,1
13,2	50,5	3,4	50,6	73,1	31,1	27,8	25,6	35,4	5,3	8,3	3,5
0,0	6,0	52,1	14,3	35,0	2,3	25,1	52,4	13,9	0,0	0,0	0,0
0,0	34,0	17,7	7,7	22,5	122,9	2,9	6,3	11,6	3,1	0,0	2,1
17,2	75,1	31,0	48,0	0,0	70,0	70,7	23,3	10,8	0,0	0,0	0,0
2,6	36,8	16,3	196,6	31,1	43,0	29,6	33,8	4,1	71,4	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	21,8	18,6	42,3	13,3	75,1	48,1	0,0	1,1	5,6
2,0	36,4	40,3	21,6	0,0	12,9	9,6	2,3	7,9	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	15,6	68,1	28,0	27,1	25,4	6,5	75,5	1,0	0,0	0,0
5,3	0,0	43,0	16,1	32,8	9,5	15,1	9,8	34,0	0,0	0,0	0,0
19,7	0,0	45,2	21,1	78,9	41,2	32,6	11,3	2,1	1,1	0,0	0,8
3,5	29,7	136,8	27,1	20,4	64,5	8,6	2,6	10,4	0,0	4,3	2,1
6,7	55,1	21,8	36,5	12,5	34,0	4,2	24,8	33,4	9,0	0,0	0,0
2,2	9,7	18,0	5,2	22,1	22,2	61,3	11,8	21,0	3,8	0,0	0,0
7,0	0,0	16,0	19,8	53,9	1,5	13,0	38,4	15,2	3,8	4,5	0,0
38,6	7,6	29,3	39,2	9,8	63,8	123,2	3,4	14,7	0,0	0,0	0,0
11,2	41,7	10,6	20,8	13,0	8,0	97,8	41,3	31,2	24,5	0,0	0,0
0,0	8,8	18,4	13,2	2,1	66,1	22,0	50,5	53,6	1,5	0,0	0,5
11,5	10,9	53,4	11,3	58,2	54,7	9,2	17,0	28,2	0,0	2,3	4,4
13,5	11,8	21,2	14,8	13,7	74,8	159,9	14,9	0,0	0,0	0,0	1,5
15,9	23,0	6,8	37,1	68,3	62,4	78,0	41,1	34,6	74,6	-1,0	-1,0
28,7	9,8	0,0	39,3	56,4	0,0	16,0	81,6	13,6	1,1	0,0	13,7
69,5	20,0	28,0	52,3	23,6	28,7	13,7	21,2	41,9	0,0	0,0	1,9
9,6	1,2	34,6	11,2	83,6	54,0	82,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
0,0	0,0	0,0	21,8	18,6	42,3	13,3	75,1	48,1	0,0	1,1	5,6
2,0	36,4	40,3	21,6	0,0	12,9	9,6	2,3	7,9	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	15,6	68,1	28,0	27,1	25,4	6,5	75,5	1,0	0,0	0,0
5,3	0,0	43,0	16,1	32,8	9,5	15,1	9,8	34,0	0,0	0,0	0,0
19,7	0,0	45,2	21,1	78,9	41,2	32,6	11,3	2,1	1,1	0,0	0,8
3,5	29,7	136,8	27,1	20,4	64,5	8,6	2,6	10,4	0,0	4,3	2,1
6,7	55,1	21,8	36,5	12,5	34,0	4,2	24,8	33,4	9,0	0,0	0,0
2,2	9,7	18,0	5,2	22,1	22,2	61,3	11,8	21,0	3,8	0,0	0,0

STATION HAMMAM BOUGHRARA

OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AUTT	SEP
1,0	5,1	71,9	7,8	53,4	70,7	27,0	91,1	36,5	3,5	6,2	13,5
13,9	44,1	18,8	85,0	108,2	35,2	20,2	19,7	77,7	9,0	6,2	0,0
0,0	21,9	112,2	33,8	114,1	17,8	46,6	57,5	29,6	2,4	0,0	0,0
0,0	42,1	40,8	7,2	31,1	123,6	24,5	19,2	9,0	0,0	2,9	0,7
17,2	95,6	65,8	50,8	3,5	98,4	123,0	32,7	29,2	0,0	0,0	0,0
2,4	36,1	25,4	272,7	32,0	78,8	42,8	25,0	8,1	29,9	0,0	3,7
13,8	2,0	0,0	27,3	14,6	48,8	8,4	47,9	34,2	11,1	0,0	5,5
6,2	43,4	68,2	36,1	0,0	15,5	21,5	11,8	7,8	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	13,2	59,1	26,7	68,2	40,3	19,4	72,5	3,4	0,7	0,0
12,4	2,1	77,4	28,2	38,3	8,8	52,8	22,7	53,9	0,0	0,0	0,0
23,8	1,9	76,1	58,3	108,9	62,5	86,7	32,0	5,8	0,0	0,0	8,2
11,6	23,4	99,5	39,1	61,8	159,3	2,5	5,2	14,1	0,0	17,0	1,4
26,5	39,5	60,7	49,7	30,3	37,1	3,5	24,2	17,7	6,4	0,0	0,0
3,0	14,3	41,3	9,5	13,1	29,6	185,8	18,0	15,9	9,2	6,0	9,1
4,2	3,9	32,9	31,1	144,8	1,2	25,5	62,2	32,0	9,2	3,7	1,0
30,1	13,9	42,3	106,0	26,9	108,3	171,5	4,2	8,4	3,4	0,0	0,7
10,0	48,5	24,9	15,9	15,5	11,5	153,9	76,9	134,2	14,1	15,6	6,4
3,3	10,2	39,4	30,3	1,4	54,3	16,4	75,0	107,1	4,0	0,0	3,5
21,3	5,1	56,0	25,0	91,6	67,6	9,1	23,5	22,8	0,8	17,5	1,5
34,4	28,0	39,6	14,4	14,0	44,3	235,2	41,5	11,9	5,0	0,0	3,2
19,8	19,5	8,0	49,1	107,4	93,9	70,7	61,6	34,9	96,0	0,0	0,0
27,0	19,8	4,6	45,6	108,3	1,0	6,2	74,9	15,9	1,6	0,4	36,2
61,3	12,4	77,3	97,4	42,5	50,7	39,4	21,1	69,2	0,0	0,0	3,0
15,3	1,6	34,7	15,6	125,2	58,4	83,3	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0
4,2	3,9	32,9	31,1	144,8	1,2	25,5	62,2	32,0	9,2	3,7	1,0
30,1	13,9	42,3	106,0	26,9	108,3	171,5	4,2	8,4	3,4	0,0	0,7
10,0	48,5	24,9	15,9	15,5	11,5	153,9	76,9	134,2	14,1	15,6	6,4
3,3	10,2	39,4	30,3	1,4	54,3	16,4	75,0	107,1	4,0	0,0	3,5
17,1	28,4	32,0	28,4	44,9	78,2	120,4	46,3	0,2	24,0	0,0	0,0
18,4	0,0	21,6	139,6	0,0	151,1	130,2	63,4	0,8	4,9	14,8	0,0
13,5	20,9	3,1	0,0	4,0	109,5	52,4	183,1	31,1	0,0	0,0	0,0
2,1	0,8	51,4	0,5	40,0	65,8	12,0	96,4	37,8	0,2	0,0	25,5
21,3	55,9	7,3	54,6	70,3	20,8	29,2	13,6	34,9	0,0	0,0	0,0
0,8	25,5	67,6	4,4	36,5	5,5	33,2	56,5	20,2	0,0	0,0	0,0
2,2	38,5	15,2	11,2	17,6	85,6	19,7	12,9	7,3	6,5	5,6	0,0

Annexe 03 : Paramètres physico-chimiques de l'état biotique (2017-2019)

T		PH		O2		MES		Cond		NH4		NO3		PO4		Ptot		Transparence
Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	Epili	Hypoli	-
12.5	13.5	8.1	7.9	3	2.1	14	11	1550	1550	2.9	3.14	1.8	1.9	0.81	1.03	2.09		2
13	13	7.6	7.7	3	2.4	16	9	1580	1580	1.41	2.14	1.5	1.8	1.21	1.31	1.30		1
14.5	13.8	7.1	7.3	15.4	8	65	50	1050	1050	2.28	3.6	8.2	7.9	2.39	1.91	2.72		0.2
17.8	11	7.4	7.5	8.8	5.2	13	13	977	977	1.6	2.9	9	7.9	0.35	2.04	0.88		1.5
21	14.2	8.2	7.9	9.2	3.1	12	18	1300	1300	0.66	1.91	8.3	8.3	0.7	1.61	1.11		1.6
24	17.1	8.4	7.8	8.6	1.2	8	14	1400	1400	0.33	1.75	6.7	8.3	0.9	1.55	1.13		1.3
27	17	8.7	7.9	9.2	0.9	14	14	1610	1610	0.18	1.88	7	7.6	0.8	1.34	1.18		1.8
31	15.1	8.7	7.7	7.6	0.5	22	48	1630	1630	0.03	1.64	6.1	7.1	0.8	1.22	1.14		2.1
24	16	9.1	7.6	8.2	0.32	14	12	1720	1720	0.26	1.8	6	5	1.29	1.43	3.41		3
25	17	8.5	7.7	9	0.3	20	6	1530	1530	1.09	3.45	4.1	3	1.18	1.4	2.69		3.1
14.5	17	8.5	7.8	3.1	1.2	19	8	1560	1560	2.43	3.6	2	1.7	3.06	2.88	3.38		1.7
16	16	8.4	7.8	1.5	2.1	20	9	1620	1620	2.62	3.6	1.2	1.7	2.99	2.61	3.85		0.8
13	12	8.4	7.6	4	3.2	103	10	1710	1710	3.15	4.33	1.8	1.7	2.87	2.17	3.40		0.2
13	14.4	8.1	7.7	6.6	3	80	51	1910	1910	4.26	4.08	3.9	3	1.57	2.36	3.74		0.4
10.9	11.2	7.9	7.7	7.2	2.1	27	24	1890	1890	2.75	2.8	3	2.1	0.72	2.5	0.83		2.5
13	12.2	7.9	7.8	7.3	1.5	20	21	2080	2080	3.74	2.7	3.1	0.8	1.3	2.13	1.58		2
16	13.1	8	7.9	7.3	0.4	21	19	2200	2200	3.63	2.9	2	0.5	1.32	2.03	1.76		1.9
21	13	8.1	7.9	6.6	0.2	19	19	2290	2290	2.85	2.77	2	0.3	1.2	1.97	1.58		2.1
22	15.4	8.1	7.9	5.6	0.05	16	21	2390	2390	1.89	1.9	1.2	0.09	0.95	1.46	1.41		2.3
27	16	8.7	7.8	9	0.08	16	21	2410	2410	0.47	1.86	1.1	0.09	1.05	1.32	1.26		2.2
31	14	8.8	7.7	6	0.1	15	10	2750	2750	1.74	1.6	1.3	1.3	1.5	1.77	2.05		1.9
23	14.1	8.2	7.6	5.7	0.3	25	6	2350	2350	1.52	1.5	2.1	1.4	1.7	1.64	1.88		1.5
24	14.2	8.1	7.7	3.2	0.2	15	8	1980	1980	1.82	1.98	2.9	1.1	1.39	1.7	1.93		1.5
16	15	7.5	7.6	5.7	0.32	17	9	1560	1560	1.73	2.3	2	1	2	1.88	2.16		1
15	16.5	7.7	7.7	1.4	0.6	25	12	1640	1640	2.34	3.83	1	1	2.62	2.3	2.89		0.4
11	12	8.1	7.8	7.5	0.9	15	15	1630	1630	3.81	2.7	2.5	1.5	0.72	1.77	0.85		2.6
13	12.5	8.2	7.8	18	6.2	16	24	1660	1660	1.98	2.6	2.5	1.4	0.7	1.07	0.97		2.2
20	15	7.8	7.8	10.3	6	9	19	1770	1770	1.65	2.6	4.6	1.7	1.05	1.11	1.15		2.1
17	15.5	8	7.8	10.5	5.4	8	30	1730	1730	2.24	2.9	3.3	0.9	1.75	2.03	1.84		2
21.5	16	8	7.9	9.7	6	9	28	1750	1750	1.51	2.88	1.5	0.5	1.16	1.56	1.42		2.8
28	17	8.8	8.1	9.2	3.1	12	30	1830	1830	0.74	2.5	1.3	0.1	1.37	1.46	1.63		2.1
28	17	8.6	8	9.7	1.1	11	14	1740	1740	0.85	2.48	1.2	0.09	0.19	1.9	0.25		2.6
31	14	8.6	8.1	12.5	0.6	14	11	1720	1720	0.1	1.51	1.2	0.23	1.94	2.21	3.31		2.1
27	15	8.4	8.2	11.6	0.9	10	6	1520	1520	0.01	0.8	1.1	0.4	1.15	1.51	1.69		3
23	16	7.8	7.8	4.1	1.6	12	6	1450	1450	0.53	1.12	1	0.31	1.77	1.86	2.43		3.1
17	17	7.6	7.8	1.9	1.5	21	5	1500	1500	0.84	1.3	1	0.34	1.08	1.54	1.72		4

**Annexe 04 : Paramètres physico-chimiques analysé aux différentes stations
(2009-2019)**

St. Barrage H. Boughrara

	Janv.	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
pH		7,9	8,5	8,1	8,4	8,1	8,6	8,5	8,2	8,0	8,1	7,9
Cond.		1200,0	1170,0	1160,0	1390,0	1700,0	1870,0	1800,0	1900,0	1700,0	1830,0	1020,0
MES 105		36,0	10,0	8,0	24,0	66,0	50,0	50,0	44,0	3,0	46,0	22,0
DCO		50,0	30,0	40,0	30,0	80,0	20,0	60,0	80,0	20,0	90,0	50,0
DBO ₅		17,0	12,0	11,0	10,0	23,0	7,0	29,0	22,0	2,0	24,0	14,0
NO ₃		6,0	2,0	6,0	4,0	9,0	11,0	7,0	5,0	2,0	5,0	7,0
NO ₂		0,0	0,1	0,3	14,0	1,7	1,6	7,0	2,0	0,0	0,1	0,2
NH ₄		4,80	0,01	0,00	3,20	6,00	0,06	1,50	0,45	0,07	4,70	5,90
N Kjeldahl		5,60	0,14	0,07	4,90	7,00	0,35	4,20	2,80	2,92	4,90	7,00
P Tot.		2,03	2,10	1,50	0,70	4,00	1,83	1,75	3,00	0,14	3,00	4,00
pH	7,7	7,8	8,0	7,8	8,0	7,8	8,4	8,6	9,0	8,2	8,1	7,9
Cond.	1800,0	1940,0	2110,0	2170,0	2160,0	2300,0	2260,0	1780,0	2180,0	1990,0	1290,0	1190,0
MES 105	0,0	58,0	9,0	20,0	8,0	3,0	4,0	126,0	30,0	52,0	18,0	8,0
DCO	70,0	100,0	40,0	40,0	30,0	100,0	80,0	110,0	80,0	150,0	100,0	70,0
DBO ₅	19,0	29,0	11,0	12,0	10,0	27,0	23,0	31,0	21,0	36,0	24,0	19,0
NO ₃	10,0	9,0	2,0	6,0	21,0	14,0	7,0	4,0	4,0	1,0	2,0	12,0
NO ₂	0,16	0,20	0,30	0,60	3,40	4,50	0,80	0,03	0,02	0,08	0,20	0,20
NH ₄	3,15	0,91	5,30	7,50	5,20	0,43	0,87	0,56	0,22	4,30	2,30	1,55
N Kjeldahl	3,5	2,1	12,6	10,5	5,6	4,9	1,1	2,1	1,8	8,4		
P Tot.	4,50	4,00	5,40	5,00	5,25	6,00	2,36	1,10	3,25	3,25	1,25	1,92
pH	7,8	7,8	8,0	8,2	8,5	8,8	8,8	8,5	8,2	8,7	8,2	8,0
Cond.	1590,0	1350,0	1560,0	1660,0	1670,0	1730,0	1810,0	1930,0	1860,0	1530,0	983,0	1190,0
MES 105	3,0	8,0	8,0	8,0	24,0	62,0	80,0	46,0	5,0	79,0	5,0	3,0
DCO	170,0	48,0	58,0	67,0	130,0	48,0	80,0	50,0	90,0	80,0	50,0	40,0
DBO ₅	23,8	12,6	12,1	17,9	31,6	10,9	18,3	11,4	19,9	16,4	10,4	9,0
NO ₃	6,0	12,0	6,0	6,0	6,0	10,0	6,0	4,0	2,0	5,0	4,0	7,0
NO ₂	0,15	0,16	1,00	0,18	0,15	0,06	0,01	0,01	0,02	0,50	0,14	0,08
NH ₄	2,66	1,20	1,36	1,24	0,05	0,15	0,05	0,08	0,06	1,60	1,50	0,50
N Kjeldahl												
P Tot.	1,52	1,88	1,75	2,50	2,13	1,00	0,50	0,95	0,88	1,90	0,78	0,75
pH	7,8	7,1	8,0	7,5	8,4	7,0	8,6		8,1	7,9	8,4	7,9
Cond.	1170,0	1230,0	1440,0	1330,0	1100,0	1450,0	1480,0		1720,0	1530,0	1470,0	1460,0
MES 105	5,0	55,0	39,0	29,0	5,0	200,0	31,0		76,0	36,0	72,0	9,0
DCO	50,0	19,0	60,0	70,0	160,0	110,0	70,0		70,0	70,0	110,0	110,0
DBO ₅	10,5	4,3	15,0	17,3	38,9	25,2	20,4		17,1	18,7	25,1	27,1
NO ₃	10,0	5,0	5,0	6,0	1,0	3,0	3,0		3,0	4,0	3,0	5,0
NO ₂	0,06	0,19	0,14	4,00	0,60	0,50	0,20		0,04	7,00	3,00	1,90
NH ₄	0,70	0,20	1,50	3,20	0,75	0,08	0,06		0,88	0,00	0,03	1,48
N Kjeldahl												
P Tot.	1,08	1,43	1,30	1,78	1,43	1,25	0,95		1,56	1,95	1,65	2,19
pH	7,6	7,9	7,6	7,7	7,5	8,2	8,8	8,8	8,6	8,5	7,7	7,9
Cond.	1540,0	1460,0	1540,0	1620,0	1560,0	1660,0	1530,0	1800,0	1780,0	1680,0	1530,0	1610,0
MES 105	118,0	820,0	4,0	14,0	8,0	36,0	52,0	68,0	13,0	24,0	8,0	56,0
DCO	50,0	40,0	40,0	50,0	20,0	90,0	70,0	40,0	20,0	40,0	80,0	50,0
DBO ₅	14,1	9,6	8,9	14,6			14,5	2,0	6,3	8,4	16,4	10,8
NO ₃	3,0	2,0	6,0	5,0	6,0	8,0	6,0	3,0	2,0	2,0	3,0	4,0
NO ₂	0,18	0,30	0,24	2,10	0,87	3,04	0,90	0,17	0,02	0,30	0,13	0,50
NH ₄	1,79	7,60	7,43	6,38	6,41	4,77	0,00	0,62	0,00	4,40	3,80	6,90
P Tot.	2,96	2,09	2,79	2,68	3,16	2,80	1,97	1,14	1,47	2,52	2,04	3,25
pH	8,2	7,7	7,2	7,5	8,3	8,5	8,7	8,7	9,1	8,5	8,5	8,4
Cond.	1550,0	1580,0	1050,0	977,0	1300,0	1400,0	1610,0	1630,0	1720,0	1530,0	1560,0	1620,0
MES 105	84,0	77,0	51,0	175,0	39,0	87,0	12,0	20,0	67,0	771,0	19,0	19,0
DCO	80,0	30,0	150,0	20,0	50,0	110,0	50,0	19,0	60,0	160,0	20,0	40,0
DBO ₅	16,7	5,4	31,8	3,7	9,7	20,0	11,4	5,2	13,4	35,8	4,2	9,9
NO ₃	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	11,0	8,0	6,0	6,0	4,0	2,0	3,0
NO ₂	0,39	0,80	0,50	2,20	0,50	3,60	2,00	1,30	0,40	0,05	0,19	0,11
NH ₄	12,20	4,40	4,00	5,00	2,05	1,03	0,56	0,10	0,80	3,40	7,60	8,20
N Kjeldahl												
P Tot.	5,70	5,19	1,58	2,38	2,06	1,88	2,06	2,00	3,41	2,69	3,38	3,85
pH	8,4	8,1	8,0	8,0	7,9	8,1	8,1	8,7	7,8	8,2	8,1	7,5
Cond.	1710,0	1910,0	1890,0	2080,0	2200,0	2290,0	2390,0	2410,0	2750,0	2350,0	1980,0	1560,0
MES 105	10,0	14,0	18,0	22,0	6,0	10,0	10,0	22,0	38,0	18,0	10,0	15,0
DCO	60,0	30,0	30,0	67,0	30,0	40,0	50,0	100,0	60,0	60,0	30,0	60,0
DBO ₅	13,7	8,8	5,8	12,7	8,0	9,8	10,6	20,8	15,0	13,5	6,5	12,4
NO ₃	3,0	9,0	3,0	5,0	7,0	8,0	8,0	10,0	15,0	5,0	6,0	3,0
NO ₂	0,08	0,30	0,45	0,55	1,60	3,60	3,60	1,40	2,00	1,40	0,60	0,60
NH ₄	9,85	13,30	8,60	14,80	11,35	8,90	5,90	2,62	5,45	4,75	5,70	5,40
P Tot.	5,77	3,74	3,12	6,44	7,09	5,53	6,91	6,00	7,50	5,21	4,71	4,32

pH	7,8	8,5	8,6	7,8	7,8	8,0	7,8	7,6	8,6	8,4	7,8	8,0
Cond.	1640,0	1630,0	1660,0	1770,0	1730,0	1750,0	1830,0	1740,0	1720,0	1520,0	1450,0	1500,0
MES 105	7,0	47,0	51,0	19,0	10,0	42,0	10,0	14,0	61,0	73,0	14,0	14,0
DCO	40,0	80,0	40,0	38,0	90,0	100,0	48,0	40,0	50,0	30,0	40,0	29,0
DBO5	8,2	18,0	8,5	8,0	18,3	24,4	10,9		9,6	6,4	8,2	5,8
NO3	5,0	6,0	7,0	2,0	10,0	7,0	7,0	6,0	3,0	5,0	4,0	7,0
NO2	0,23	1,00	0,70	1,33	2,70	2,94	3,57	1,40	0,98	1,99	1,51	0,21
NH4	7,30	11,90	6,20	5,15	7,00	4,71	2,31	2,66	0,31	0,04	1,67	2,64
N Kjeldahl			7,35	6,44		5,04	4,55	3,50	0,42	0,14	1,75	2,80
P Tot.	5,10	4,38	5,13	6,63	5,79	5,11	5,19	4,23	5,02	3,16	3,81	3,32
pH	7,6	8,1	7,5	7,6	7,8	7,5	7,6	8,3	8,4	8,5	7,9	7,8
Cond.	1560,0	1670,0	1800,0	1680,0	1700,0	1590,0	1440,0	1470,0	1490,0	1360,0	1545,0	1360,0
MES 105	6,0	14,0	10,0	6,0	6,0	6,0	6,0	58,0	18,0	10,0	7,0	15,0
DCO	60,0	50,0	70,0	60,0	60,0	48,0	40,0	90,0	30,0	40,0	40,0	30,0
DBO5	12,2	14,2	12,7	12,2	10,3	11,9	12,4	17,2	7,0	5,0	5,3	3,8
NO3	8,0	10,0	5,0	4,0	14,0	13,0	14,0	7,0	7,0	2,0	5,0	2,0
NO2	0,25	0,25	0,18	0,45	1,20	2,00	2,00	0,70	0,70	2,00	5,00	2,00
NH4	3,84	4,63	5,26	5,92	3,12	2,56	0,45	0,35	0,14	1,15	3,00	4,58
N Kjeldahl	5,25	12,25			3,50	3,15	0,70	1,05	0,35	0,14	1,15	3,00
P Tot.	4,27	4,08	5,79	5,43	3,49	3,33	4,23	0,88	3,42	3,21	3,04	1,78
pH	8,1	7,4	8,1	8,0	7,3	8,1	7,6	8,8	8,6	8,2	7,9	7,2
Cond.	1470,0	1516,0	1520,0	1540,0	1600,0	1850,0	1696,0	1602,0	1667,0	1587,0	1226,0	1130,0
MES 105	14,0	6,0	10,0	10,0	10,0	6,0	6,0	94,0	54,0	82,0	10,0	18,0
DCO	20,0	50,0	30,0	30,0	39,0	89,0	31,0	59,0	80,0	108,0	120,0	49,0
DBO5	5,0	7,4	7,2	7,2	5,9	13,0	5,7	6,6	11,7	13,6	15,1	7,4
NO3	6,0	6,0	16,0	7,0	18,0	18,0	17,0	10,0	4,0	7,0	3,0	3,0
NO2	0,18	0,18	0,20	1,30	3,80	2,40	1,60	0,30	0,36	0,11	0,50	0,04
NH4	2,20	6,65	5,20	7,40	1,90	0,76	0,10	0,03	0,04	3,60	1,84	1,50
N Kjeldahl	2,80	8,05	6,30	12,60	2,10	1,40	0,35	0,70	0,07		2,10	2,10
P Tot.	3,13	5,84	7,02	3,20	4,57	4,67	4,03	2,04	2,77	6,85	2,11	1,97
pH	7,700	7,900	8,000	8,100	8,300	8,500	8,800	8,900	8,300	8,400	8,500	8,200
Cond.	954,000	975,000	1120,000	1070,000	964,000	1340,000	914,000	929,000	927,000	989,000	983,000	922,000
MES 105												
DCO	30,000	30,000	20,000	60,000	39,000	30,000	70,000	50,000	50,000	58,000	58,000	30,000
DBO5	4,300	5,000	3,000	9,200	4,700	4,600	11,600	12,700	9,600	13,500	8,800	6,700
NO3	4,000	10,000	10,000	16,000	11,000	13,000	11,000	1,000	2,000	2,000	2,000	2,000
NO2	0,190	0,250	0,140	0,020	0,090	0,260	0,380	0,130	0,010	0,040	0,130	0,040
NH4	0,700	0,540	1,050	0,140	0,280	0,290	0,010	0,180	0,060	0,070	0,020	0,760
N Kjeldahl	0,700	0,540	1,050	0,140	0,280	0,290	0,010	0,180	0,060	0,070	0,020	0,760
P Tot.	1,840	0,600	1,460	1,180	1,020	2,130	0,460	0,220	0,160	0,200	0,530	1,160

St. Legfaf

	Janv.	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
pH			7,400	6,800	7,800	7,700	7,700	8,300	7,600	8,000	7,200	7,400
Cond.			4120,000	3570,000	4110,000	3820,000	3560,000	3010,000	4300,000	2690,000	2860,000	2360,000
MES 105			226,000	270,000	404,000	308,000	412,000	228,000	402,000	288,000	246,000	34,000
DCO			1210,000	1040,000	1530,000	820,000	1060,000	600,000	950,000	690,000	840,000	250,000
DBO5			776,000	708,000	1103,000	378,000	743,000	361,000	571,000	264,000	471,000	116,000
NO3			1,000	9,000	6,000	10,000	5,000	6,000	6,000	2,000	70,000	21,000
NO2			0,030	0,080	0,100	0,040	0,080	0,020	0,050	0,100	0,060	0,130
NH4			36,000	64,000	56,500	60,000	43,200	54,000	90,000	34,000	85,000	7,200
N Kjeldahl			56,000	109,200	71,400	85,400	67,200	71,400	107,100	47,500	180,600	14,700
P Tot.			63,500	100,000		60,000	102,000	32,000	37,000	47,600	36,000	27,500
pH	7,400	7,100	7,500	7,300	7,700	7,900	8,200		7,900	7,100	7,600	7,500
Cond.	2650,000	3570,000	2980,000	2800,000	3300,000	5700,000	3400,000		3110,000	2100,000	2030,000	2250,000
MES 105	636,000	520,000	224,000	744,000	256,000	608,000	10,000		32,000	236,000	120,000	248,000
DCO	470,000	1070,000	770,000	730,000	950,000	1940,000	280,000		140,000	430,000	530,000	860,000
DBO5	170,000	793,000	448,000	439,000	666,000	1359,000	135,000		37,000	232,000	318,000	637,000
NO3	3,000	4,000	5,000	5,000	6,000	6,000	5,000		9,000	1,000	4,000	7,000
NO2	0,050	0,040	0,060	0,400	0,130	0,080	0,010		3,800	0,200	0,400	0,030
NH4	11,400	36,000	132,000	72,800	144,000	80,000	30,000		29,600	6,000	19,200	53,200
N Kjeldahl	22,400	61,600	219,800	74,900	329,000	105,000			34,300	9,100		
P Tot.	6,750	36,000	56,500	42,500	73,500	78,500	31,000		12,000	6,000	27,400	46,470
pH	7,500	7,300	7,300	7,600	7,500	7,900	7,600		7,600	6,800	7,700	7,300
Cond.	2580,000	2370,000	2830,000	2350,000	2860,000	3010,000	3430,000		2590,000	2540,000	2160,000	1790,000
MES 105	249,000	69,000	203,000	312,000	64,000	748,000	572,000		215,000	239,000	75,000	4123,000
DCO	500,000	624,000	520,000	480,000	1330,000	1565,000	840,000		520,000	1160,000	170,000	270,000
DBO5	250,000	299,000	312,000	317,000	1040,000	1127,000	303,000		240,000	836,000	113,000	87,400
NO3	7,000	12,000	5,000	4,000	7,000	7,000	9,000		3,000	5,000	6,000	5,000
NO2	0,030	0,060	0,140	0,130	0,040	0,040	0,060		0,050	0,520	0,050	0,190
NH4	26,000	13,600	38,000	20,800	68,000	32,500	84,000		40,000	34,000	9,000	42,000
N Kjeldahl												
P Tot.	13,250	18,500	10,000	30,500	84,000	108,000	85,000		46,500	111,000	15,000	113,000

pH	7,000	6,800	6,300	7,000	7,500	7,400	7,600		7,000	7,200	6,300	6,600
Cond.	2600,000	2100,000	2920,000	926,000	2010,000	2520,000	2540,000		2650,000	2300,000	2600,000	2640,000
MES 105	263,000	251,000	287,000	125,000	95,000	1080,000	479,000		704,000	92,000	324,000	193,000
DCO	560,000	547,000	1060,000	200,000	450,000	1170,000	1060,000		1410,000	830,000	1390,000	670,000
DBO ₅	359,000	329,000	721,000	120,500	144,500	820,000	806,400		1269,300	531,700	640,300	469,800
NO ₃	5,000	5,000	5,000	7,000	2,000	4,000	3,000		3,000	8,000	5,000	6,000
NO ₂	1,500	1,500	0,200	0,400	0,040	0,120	3,000		0,300	0,070	1,000	0,080
NH ₄	0,600	40,000	52,500	6,600	20,000	55,000	90,000		179,000	117,000	53,600	20,500
P Tot.	48,500	67,500		16,250	18,250	85,000	140,000		274,200	104,280	28,260	21,420
pH	7,600	7,200	6,900	6,500	7,000	7,200	7,200		7,600	7,700	7,600	7,600
Cond.	1550,000	548,000	2520,000	3720,000	971,000	3040,000	3050,000		2370,000	2150,000	710,000	2140,000
MES 105	288,000	942,000	356,000	270,000	1224,000	516,000	308,000		10,000	80,000	2757,000	924,000
DCO	280,000	50,000	150,000	660,000	260,000		1500,000		80,000	50,000	80,000	110,000
DBO ₅	146,600	11,200	51,200				1170,000		19,500	13,800	21,200	24,200
NO ₃	4,000	9,000	5,000	15,000	2,000	5,000	5,000		3,000	6,000	8,000	5,000
NO ₂	0,240	0,220	0,230	0,200	0,130	0,130				0,800	0,470	0,070
NH ₄	5,120	3,340	7,580	35,080	14,330	154,600	138,200		38,900	56,000	7,300	55,910
P Tot.	24,670	0,670	9,360	0,520	8,920		200,000		15,290	15,250	4,490	13,930
pH	8,000	7,000	7,000	7,000	8,100	8,100	8,000	8,000	8,000	8,100	8,100	7,900
Cond.	1810,000	2460,000	2790,000	2360,000	2210,000	2990,000	2300,000	2360,000	2020,000	2020,000	1830,000	2080,000
MES 105	184,000	161,000	71,000	60,000	67,000	31,000	143,000	76,000	231,000	271,000	91,000	111,000
DCO	140,000	140,000	150,000	150,000	100,000	60,000	70,000	100,000	70,000	110,000	110,000	230,000
DBO ₅	41,700	56,600	28,400	36,500	18,700	16,200	15,600	24,400	14,400	31,400	29,200	78,500
NO ₃	6,000	2,000	4,000	5,000	6,000	8,000	5,000	5,000	5,000	2,000	4,000	2,000
NO ₂	0,450	0,040	0,300	0,400	0,350	1,200	0,120	0,080	0,500	0,130	0,210	0,100
NH ₄	24,800	27,600	2,200	12,600	22,000	33,200	42,000	29,000	16,800	44,000	63,500	100,000
P Tot.	25,010	1,230	10,950	11,820	22,440	9,840	30,600	35,780	21,600	34,020	24,000	43,150
pH	8,100	7,700	7,500	7,700	7,700	7,800	7,800	8,200	7,500	7,900	8,000	7,600
Cond.	2170,000	2630,000	2760,000	3200,000	3310,000	3270,000	2790,000	2890,000	3240,000	2600,000	2570,000	2030,000
MES 105	102,000	174,000	914,000	134,000	10,000	42,000	42,000	18,000	14,000	26,000	70,000	51,000
DCO	200,000	11,000	70,000	77,000	110,000	50,000	190,000	80,000	70,000	90,000	50,000	80,000
DBO ₅	84,500	29,000	14,400	17,400	20,000	11,200	46,200	16,800	16,000	21,900	12,500	18,000
NO ₃	3,000	28,000	29,000	11,000	6,000	4,000	4,000	3,000	7,000	6,000	6,000	3,000
NO ₂	0,060	11,500	1,900	1,200	2,100	1,200	6,500	0,500	1,100	0,800	0,500	0,600
NH ₄	73,500	19,800	8,200	21,800	5,400	3,580	4,500	8,750	5,350	8,550	0,890	0,900
P Tot.	16,560	38,720	28,400	9,710	12,110	38,740	23,650	38,270	16,580	28,970	4,570	18,410
Cond.	2120,000	2350,000	2600,000	2180,000	2930,000	2830,000	2640,000		2690,000	2880,000	2920,000	2400,000
MES 105	39,000	51,000	15,000	127,000	82,000	82,000	26,000		17,000	21,000	26,000	202,000
DCO	90,000	120,000	110,000	77,000	100,000	210,000	48,000		70,000	80,000	40,000	50,000
DBO ₅	20,000	29,200	24,700	17,200	20,300	42,400	8,900		13,200	21,800	8,600	10,400
NO ₃	9,000	10,000	6,000	1,000	5,000	4,000	5,000		2,000	7,000	5,000	9,000
NO ₂	0,900	0,710	0,350	0,460	1,000	1,090	0,720		1,000	0,890	0,920	0,480
NH ₄	5,400	12,300	19,400	8,040	12,650	14,900	33,180		31,260	30,000	14,000	35,780
P Tot.	13,000	12,630	14,980	8,790	12,250	11,910	10,390		14,410	21,190	10,940	36,380
pH	7,400	8,000	7,500	7,200	7,600	7,300	7,300	7,400	7,500	7,200	7,600	7,500
Cond.	2870,000	2930,000	2980,000	2590,000	3500,000	2770,000	2420,000	2360,000	2800,000	325,000	2470,000	2730,000
MES 105	22,000	34,000	18,000	906,000	34,000	30,000	38,000	106,000	58,000	38218,000	31,000	941,000
DCO	70,000	380,000	100,000	370,000	90,000	77,000	80,000	80,000	108,000	100,000	61,000	100,000
DBO ₅	14,200	91,400	20,100	81,600	18,700	28,000	14,800	21,000	15,800	12,200	7,700	22,200
NO ₃	20,000	18,000	10,000	8,000	46,000	7,000	6,000	7,000	15,000	7,000	10,000	14,000
NO ₂	1,890	1,800	1,100	2,300	4,000	2,400	0,500	1,400	0,350	0,900	0,550	0,900
NH ₄	29,000	12,400	26,250	18,440	2,900	19,600	6,600	40,000	28,400	3,000	5,900	19,500
N Kjeldahl	39,200	18,550			4,550	21,350	7,350	42,700	40,600		6,300	21,000
P Tot.	18,870	16,320	13,390	18,100	6,600	18,480	22,820	25,020	7,920	0,810	5,070	8,100
pH	7,900	7,200	7,800	8,000	7,300	7,800		8,100	7,300	7,900	7,700	7,300
Cond.	2330,000	2480,000	2570,000	3260,000	2810,000	2410,000		2520,000	2370,000	2550,000	2200,000	329,000
MES 105	58,000	46,000	142,000	1758,000	22,000	18,000		26,000	238,000	30,000	70,000	4982,000
DCO	49,000	80,000	269,000	836,000	98,000	99,000		88,000	70,000	265,000	150,000	20,000
DBO ₅	8,400	19,600	70,500	268,100	12,200	22,300		11,300	13,000	53,700	39,700	6,500
NO ₃	30,000	14,000	25,000	4,000	69,000	9,000		5,000	3,000	10,000	9,000	6,000
NO ₂	1,400	1,600	0,070	0,200	3,400	1,200		2,600	0,700	0,650	0,800	0,120
NH ₄	12,000	18,800	16,200	80,000	6,500	6,600		13,000	21,200	12,500	12,900	0,900
N Kjeldahl	16,800	23,100	23,800	82,600	8,050	7,000		17,850	23,800	14,700	16,100	1,400
P Tot.	15,960	23,140	10,230	26,200	6,920	16,160		20,590	30,750	9,200	11,150	1,220
pH	7,300	7,700	7,800	7,900	7,600	7,700	7,700	7,700	7,700	7,900	7,600	7,700
Cond.	961,000	998,000	2240,000	3030,000	2160,000	2030,000	1866,000	2230,000	1885,000	2260,000	2280,000	1930,000
MES 105	526,000	54,000	86,000	114,000	18,000	46,000	54,000	30,000	50,000	42,000	86,000	82,000
DCO	60,000	20,000	99,000	80,000	147,000	70,000	80,000	110,000	130,000	194,000	90,000	80,000
DBO ₅	18,500	3,600	16,400	10,400	30,200	20,400	11,000	11,700	29,200	43,400	24,000	18,300
NO ₃	3,000	17,000	8,000	60,000	4,000	5,000	9,000	1,000	3,000	1,000	4,000	2,000
NO ₂	1,200	0,500	0,800	0,150	0,380	0,080	9,500	0,150	0,110	0,140	0,200	0,080
NH ₄	3,350	0,260	3,340	4,520	25,000	36,000	28,500	46,800	18,000	7,500	11,600	15,100
N Kjeldahl	5,250	1,050	4,130	5,600		40,600	30,800	62,300	21,700	8,750	14,350	18,550
P Tot.	3,350	1,780	13,450	11,950	7,850	13,400	16,080	4,890	16,960	5,000	6,250	4,920

St. Mouillah

	Janv.	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
pH	7,700	7,700	7,900	7,800	8,000	7,800	8,100	8,500	8,200	8,000	7,800	7,400
Cond.	1700,000	1650,000	2390,000	2780,000	2660,000	2690,000	3160,000	3020,000	2480,000	1470,000	1680,000	914,000
MES 105	24,000	78,000	72,000	38,000	158,000	216,000	108,000	204,000	24,000	550,000	146,000	126,000
DCO	130,000	220,000	220,000	270,000	250,000	240,000	170,000	240,000	170,000	60,000	130,000	80,000
DBO ₅	58,000	68,000	90,000	76,000	141,000	78,000	86,000	116,000	62,000	24,000	42,000	31,000
NO ₃	6,000	6,000	2,000	52,000	4,000	5,000	4,000	4,000	5,000	1,000	4,000	4,000
NO ₂	0,050	0,350	0,030	0,090	0,150	0,050	0,030	0,120	2,000	0,030	0,000	0,800
NH ₄	24,400	15,200	38,000	26,000	34,400	43,000	36,400	40,000	13,400	10,000	15,400	12,600
N Kjeldahl	25,200	39,200	68,600	52,500	42,700	49,000	49,000	51,100	47,600	10,000	21,000	13,300
P Tot.	14,500	15,000	27,500	25,000	14,000	29,000	31,500	23,000	18,000	10,500	10,250	6,750
pH	7,600	7,500	7,700	7,700	8,000	8,200	8,200	8,000	8,000	7,700	7,900	7,800
Cond.	2710,000	2440,000	2630,000	2990,000	3040,000	3220,000	2580,000	2370,000	2180,000	1200,000	1970,000	2030,000
MES 105	200,000	164,000	376,000	1060,000	80,000	28,000	48,000	116,000	48,000	1840,000	6,000	72,000
DCO	370,000	350,000	340,000	200,000	180,000	250,000	150,000	200,000	100,000	110,000	160,000	240,000
DBO ₅	193,000	204,000	137,000	97,000	58,000	66,000	46,000	80,000	32,000	27,000	48,000	106,000
NO ₃	4,000	5,000	4,000	6,000	4,000	5,000	9,000	6,000	5,000	2,000	5,000	10,000
NO ₂	0,100	1,200	0,010	0,160	0,020	0,300	0,160	0,040	0,040	0,350	0,030	0,030
NH ₄	16,800	32,800	72,000	72,000	65,000	39,800	21,000	34,000	34,800	9,000	22,000	40,000
N Kjeldahl	51,800	67,200	142,100	129,500	143,500	118,300	26,600	49,000	47,600	11,900		
P Tot.	34,250	32,000	30,000	22,000	32,500	32,500	14,500	29,500	20,500	4,000	17,900	27,300
pH	7,600	7,600	7,800	8,300	7,400	8,300	8,000	7,400	7,300	8,100	7,700	7,700
Cond.	2840,000	2480,000	2440,000	2580,000	2460,000	2790,000	2510,000	2670,000	1760,000	2600,000	1550,000	2550,000
MES 105	0,000	15,000	127,000	84,000	64,000	100,000	268,000	90,000	175,000	35,000	59,000	71,000
DCO	200,000	250,000	230,000	134,000	240,000	192,000	220,000	80,000	100,000	180,000	70,000	190,000
DBO ₅	72,400	70,400	125,000	40,700	101,000	50,400	53,000	24,400	30,500	50,800	24,000	58,000
NO ₃	12,000	12,000	7,000	7,000	4,000	9,000	3,000	10,000	16,000	6,000	10,000	4,000
NO ₂	0,250	0,040	0,150	0,030	0,170	0,030	0,070		14,000	0,060	1,500	0,150
NH ₄	79,000	17,800	38,500	30,400	43,000	60,000	30,000	38,000	4,200	37,000	27,000	50,000
N Kjeldahl												
P Tot.	21,500	14,000	32,500	30,000	38,500	24,500	23,800	12,500	15,000	18,000	9,750	18,500
pH	7,200	7,800	7,100	7,400	7,800	7,700	8,200		7,700	7,600	7,900	7,300
Cond.	2680,000	2400,000	2370,000	1449,000	2300,000	2500,000	2900,000		2500,000	2580,000	2270,000	2890,000
MES 105	55,000	131,000	107,000	277,000	71,000	292,000	51,000		80,000	24,000	72,000	221,000
DCO	290,000	202,000	190,000	120,000	320,000	280,000	310,000		200,000	260,000	230,000	400,000
DBO ₅	152,000	65,300	61,400	41,300	83,700	113,000	93,800		80,300	99,500	96,900	160,700
NO ₃	9,000	4,000	4,000	6,000	2,000	4,000	4,000		4,000	4,000	3,000	1,000
NO ₂	1,500	1,000	0,200	7,000	1,700	0,400	1,000		0,160	0,060	0,050	0,240
NH ₄	56,000	46,000	47,500	32,000	52,000	44,000	48,000		106,400	41,200	64,800	28,500
P Tot.	29,250	37,000	27,000	16,250	15,500	37,500	41,250		42,410	39,300	21,200	37,680
pH	7,400	7,500	7,600	7,400	7,300	7,600	7,000	8,400	7,600	7,500	7,700	7,600
Cond.	3000,000	2800,000	2700,000	2140,000	1570,000	2580,000	2500,000	2230,000	2450,000	2050,000	318,000	2010,000
MES 105	64,000	508,000	236,000	208,000	372,000	508,000	196,000	72,000	88,000	300,000	16078,000	232,000
DCO	260,000	350,000	290,000	190,000	210,000	150,000	180,000	140,000	190,000	200,000	60,000	320,000
DBO ₅	209,100	203,800	116,200				50,700	59,200	57,300	72,800	13,600	141,600
NO ₃	5,000	3,000	5,000	10,000	6,000	4,000	110,000	3,000	3,000	2,000	11,000	5,000
NO ₂	0,160	0,110		0,110	0,110	0,170		0,150		0,340	0,480	0,070
NH ₄	1,660	49,560	0,520	38,740	32,160	62,100	66,750	71,200	83,250	58,800	1,830	46,100
P Tot.	32,250	27,880	31,200	31,220	15,220	27,260	30,000	35,170	33,240	32,520	1,050	32,980

pH	8,000	7,500	7,200	7,100	8,100	8,100	8,000	7,900	7,900	8,100	7,900	7,900
Cond.	1900,000	2050,000	2290,000	1770,000	2340,000	2490,000	2340,000	2270,000	1260,000	2210,000	1980,000	2110,000
MES 105	260,000	247,000	384,000	371,000	151,000	203,000	123,000	448,000	683,000	123,000	383,000	195,000
DCO	290,000	290,000	20,000	200,000	370,000	190,000	170,000	210,000	100,000	150,000	20,000	290,000
DBO ₅	122,500	122,400	90,400	40,500	96,900	55,000	78,400	88,600	22,400	61,800	72,800	110,500
NO ₃	7,000	4,000	3,000	5,000	5,000	5,000	7,000	7,000	3,000	2,000	4,000	3,000
NO ₂			0,110	0,600	0,120	0,150	0,120	0,090	0,190	0,100	0,000	0,200
NH ₄	4,400	48,400	71,200	33,000	41,600	82,000	119,000	70,800	18,200	46,000	72,500	88,000
N Kjeldahl												
P Tot.	40,160	33,080	29,900	34,700	37,140	37,900		33,890	9,520	28,950	25,920	27,440
pH	7,900	7,500	7,500	7,700	7,500	7,800	7,800	8,200	7,500	7,900	7,700	7,400
Cond.	2260,000	2310,000	2480,000	2520,000	2570,000	2410,000	2430,000	2340,000	2460,000	2410,000	2160,000	1930,000
MES 105	534,000	334,000	310,000	1202,000	378,000	350,000	390,000	302,000	190,000	82,000	50,000	143,000
DCO	400,000	390,000	370,000	278,000	290,000	210,000	500,000	220,000	180,000	190,000	210,000	230,000
DBO ₅	176,500	133,000	163,200	128,400	116,200	63,200	130,600	88,800	58,200	68,700	63,500	87,800
NO ₃	2,000	10,000	4,000	4,000	7,000	4,000	1,000	4,000	6,000	7,000	9,000	2,000
NO ₂	0,100	0,220	0,240						0,040			
NH ₄	93,500	56,400	8,000	59,500	69,800	69,000	60,000	55,500	60,000	55,000	58,500	74,800
N Kjeldahl												
P Tot.	42,000	37,920	32,600	34,160	45,140	36,000	36,350	45,580	35,670	28,190	34,080	31,690
pH	7,700	8,100	7,700	7,600	7,200	7,800	7,400		7,700	7,800	8,100	7,400
Cond.	1830,000	1890,000	2040,000	2270,000	2050,000	1970,000	2250,000		2130,000	2140,000	2500,000	2350,000
MES 105	327,000	75,000	347,000	139,000	242,000	386,000	114,000		37,000	97,000	138,000	262,000
DCO	340,000	270,000	350,000	288,000	360,000	410,000	278,000		240,000	250,000	340,000	290,000
DBO ₅	115,800	70,600	98,500	98,200	165,900	99,400	57,900		48,600	66,000	163,500	128,000
NO ₃	9,000	5,000	6,000	1,000	5,000	6,000	6,000		3,000	2,000	8,000	9,000
NO ₂					0,040	0,190	0,100				0,320	0,150
NH ₄	68,000	76,000	69,000	76,360	90,330	74,100	70,920		49,450	73,290	56,500	67,120
N Kjeldahl				77,310	109,900	86,800	72,800		75,600	78,400	91,000	74,200
P Tot.	18,500	26,000	41,570	34,370	42,870	35,230	32,930		33,650	30,840	18,610	31,680
pH	7,200	7,900	7,000	7,100	7,400	7,300	7,100	7,400	7,400	7,300	7,300	7,400
Cond.	2150,000	2290,000	2280,000	2500,000	2400,000	2190,000	1950,000	2020,000	1960,000	409,000	2140,000	2170,000
MES 105	250,000	226,000	222,000	178,000	138,000	206,000	702,000	138,000	198,000	34470,000	219,000	171,000
DCO	350,000	370,000	340,000	360,000	270,000	269,000	290,000	200,000	167,000	30,000	333,000	330,000
DBO ₅	175,200	140,800	197,300	182,000	87,100	107,900	157,000	76,200	26,800	4,400	34,000	198,200
NO ₃	7,000	4,000	6,000	4,000	5,000	6,000	8,000	7,000	8,000	6,000	6,000	1,000
NO ₂	0,230	0,160			0,190	0,130	0,170		0,160	0,150	0,160	0,160
NH ₄	57,600	66,880	82,420	90,530	45,000	60,000	45,000	68,000	54,000	3,600	48,000	58,000
N Kjeldahl	147,000	74,200	128,800		50,400	67,200	49,700	78,400	61,600	4,900	53,200	70,000
P Tot.	42,380	35,930	45,440	38,450	33,100	37,010	41,120	38,960	41,400	1,230	30,180	14,920
pH	7,700	7,000	7,800	7,900	7,100	7,800	7,300	8,100	7,500	7,900	7,500	7,300
Cond.	2120,000	2210,000	2140,000	2150,000	2450,000	2500,000	2580,000	2200,000	2170,000	2220,000	2240,000	254,000
MES 105	162,000	170,000	202,000	174,000	130,000	218,000	238,000	162,000	226,000	90,000	138,000	4386,000
DCO	304,000	249,000	289,000	269,000	274,000	386,000	347,000	176,000	190,000	235,000	260,000	20,000
DBO ₅	164,800	30,300	87,300	86,700	60,700	77,700	97,900	32,400	30,800	28,800	83,900	4,900
NO ₃	32,000	17,000	21,000	4,000	11,000	9,000	6,000	5,000	3,000	5,000	10,000	5,000
NO ₂	0,200	2,500	0,170	0,180	0,200	0,170	0,140	0,140	0,060	0,200	0,160	0,060
NH ₄	33,000	70,500	38,000	38,800	38,000	65,600	46,500	47,500	43,000	43,000	43,600	0,800
N Kjeldahl	46,200	72,100	42,700	47,600	44,100	74,200	47,600	51,100	58,800	74,900	56,000	2,100
P Tot.	43,800	37,160	36,480	25,100	24,700	42,000	26,500	25,470	37,900	31,200	31,000	1,960

pH	7,20	7,50	7,70	7,70	7,30	7,70	7,80	7,90	7,50	7,90	7,70	7,60
Cond.	931,00	1380,00	2400,00	2140,00	2100,00	2250,00	2360,00	2210,00	1580,00	2630,00	2480,00	2300,00
MES 105	218,00	1642,00	210,00	130,00	174,00	262,00	142,00	86,00	142,00	146,00	266,00	274,00
DCO	70,00	50,00	386,00	270,00	314,00	380,00	310,00	220,00	150,00	330,00	520,00	450,00
DBO ₅	16,10	12,80	124,10	103,40	76,20	114,80	130,60	31,50	60,60	152,50	229,40	171,70
NO ₃	8,00	2,00	6,00	1,00	3,00	4,00	10,00	1,00	4,00	2,00	3,00	6,00
NO ₂	0,80	0,70	0,55	0,25	0,15	0,40	0,20	0,25	0,26	0,34	0,36	0,30
NH ₄	9,28	3,70	45,00	40,50	4,00	100,50	60,50	59,60	35,00	30,40	33,50	59,50
N Kjeldahl	10,15	9,80	54,60	58,10		114,10	62,30	68,60	42,00	38,50	37,10	68,60
P Tot.	2,00	3,61	53,25	33,00	27,80	38,40	32,17	28,00	20,10	32,70	32,70	41,40

St. Chigueur

	Janv.	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
pH	8,00		8,30	8,40							7,50	7,90
Cond.	1320,00		1380,00	2660,00							2500,00	1150,00
MES 105	158,00		110,00	58,00							2056,00	3158,00
DCO	30,00		70,00	130,00							120,00	30,00
DBO ₅	12,00		23,00	42,00							32,00	12,00
NO ₃	19,00		37,00	42,00							17,00	16,00
NO ₂	0,20		0,60	0,50							0,30	0,60
NH ₄	2,90		0,00	0,18							0,50	2,05
N Kjeldahl	4,20		2,80	1,40							0,70	2,10
P Tot.	0,85		1,08	0,43							0,88	0,75
pH	8,3				8,5	8,1				7,7	7,7	8,5
Cond.	2320				2300	3000				670	1390	1320
MES 105	38				22	272				22340	1358	312
DCO	70				50	150				70	70	50
DBO ₅	20				15	40				16	16	13
NO ₃	45				23	6				6	14	9
NO ₂	0,3				3,6	0,07				0,7	1,6	0,4
NH ₄	0				1,25	0				0,27	2,2	0,8
N Kjeldahl	0,07				2,8	0,07				0,35		
P Tot.	3,5				3,5	0,45				0,38	1,74	1,53
pH	8,00	8,10	8,20		7,80	8,80		7,60			7,80	8,20
Cond.	2100,00	1860,00	2240,00		1950,00	3140,00		3120,00			1610,00	2570,00
MES 105	257,00	225,00	56,00		296,00	108,00		94,00			187,00	56,00
DCO	80,00	48,00	100,00		90,00	144,00		110,00			60,00	90,00
DBO ₅	8,40	12,90	26,40		22,00	35,10		29,00			12,70	22,60
NO ₃	42,00	37,00	35,00		11,00	10,00		2,00			31,00	12,00
NO ₂	0,70	0,38	0,70		0,30	0,03		0,05			4,00	2,00
NH ₄	1,05	0,03	0,06		0,10	0,70		0,40			5,40	0,41
P Tot.	1,35	2,90	0,68		2,50	2,13		2,20			2,05	2,25
pH	8,60	7,10	7,40	7,60	8,40	8,20	8,50	7,70			8,10	7,50
Cond.	1450,00	1500,00	1960,00	1690,00	1920,00	1930,00	2180,00	2680,00			2340,00	2600,00
MES 105	193,00	223,00	147,00	9213,00	276,00	256,00	55,00	117,00			212,00	81,00
DCO	40,00	38,00	50,00	60,00	60,00	80,00	90,00	90,00			130,00	90,00
DBO ₅	11,70	8,40	10,60	14,90	13,50	18,60	24,20	20,70			29,50	20,50
NO ₃	15,00	7,00	8,00	16,00	6,00	8,00	5,00	10,00			15,00	32,00
NO ₂	0,30	0,18	0,20	0,10	0,00	0,16	0,20	3,00			0,80	3,20
NH ₄	0,37	0,00	0,13	6,00	0,05	0,04	0,08	0,00			1,60	1,61
P Tot.	1,30	1,30	1,25	0,55	1,00	1,00	0,58	1,00			0,60	3,17

pH	7,7	7,8	8,2	7,7	7,6	8,3	7,9	8,4	7,8	8,2
Cond.	1660	1610	1800	2400	2130	2000	2110	1940	1040	1860
MES 105	280	328	1108	260	224		352	138	47827	205
DCO	58	50	30	60	50	70	60	110	50	86
DBO ₅	6,9	13,8	8,2				14,7	25	10,4	17,9
NO ₃	24	25	16	42	4	19	5	18	11	17
NO ₂	1,63	1,5	1,92	2,75	0,78	0,3	0,29	1,6	0,37	1,62
NH ₄	0,02	3,61	4,29	1,37	0,1	0,1	0	0,05	0,49	3,7
P Tot.	1,41	0,78	1,91	2,19	2,28	2,15	2,53	1,16	0,58	1,25
pH	8,10	8,00	7,50	7,80	8,40	8,50	8,70			8,10
Cond.	2080,00	268,00	1950,00	1560,00	1600,00	1690,00	1870,00			3830,00
MES 105	868,00	131,00	203,00	651,00	811,00	595,00	291,00			79,00
DCO	70,00	110,00	80,00	80,00	60,00	50,00	30,00			130,00
DBO ₅	17,50	24,80	16,80	14,90	12,20	9,20	6,40			31,50
NO ₃	30,00	37,00	42,00	30,00	28,00	25,00	9,00			13,00
NO ₂	1,79	1,20	1,50	1,40	0,60	0,14	0,09			0,14
NH ₄	2,90	0,07	1,10	0,09	0,15	1,12	0,39			19,40
P Tot.	4,14	1,80	1,42	2,10	1,61	2,19	2,08			5,73
pH	8,20	8,00	7,80	7,80						
Cond.	3870,00	2770,00	1800,00	4900,00						
MES 105	66,00	186,00	2240,00	162,00						
DCO	130,00	60,00	20,00	210,00						
DBO ₅	29,10	11,20	3,80	46,50						
NO ₃	33,00	28,00	13,00	32,00						
NO ₂	0,90	1,60	1,10	0,85						
NH ₄	8,10	3,70	4,25	0,07						
P Tot.	3,13	2,30	3,30	0,62						
pH	7,80	8,60	7,80			8,00				
MES 105	23,00	115,00	91,00			242,00				
DCO	140,00	190,00	200,00			130,00				
DBO ₅	31,50	46,00	52,50			26,40				
NO ₃	12,00	17,00	23,00			23,00				
NO ₂	0,81	1,41	0,70			1,09				
NH ₄	7,40	6,40	1,17			0,23				
P Tot.	7,90	2,70	1,86			3,02				
pH				7,80				7,70		8,10
MES 105				274,00				81218,00		55,00
DCO				30,00				50,00		20,00
DBO ₅				8,00				11,20		6,20
NO ₃				9,00				14,00		49,00
NO ₂				2,39				1,00		0,90
NH ₄				5,18				0,00		5,15
P Tot.				3,40				1,39		1,20
pH	8,40	8,30	7,60			7,60	7,40	8,00		7,10
Cond.	2960,00	3670,00	5270,00			2100,00	1677,00	1580,00		1130,00
MES 105	26,00	138,00	70,00			1994,00	1062,00	186,00		450,00
DCO	10,00	80,00	119,00			140,00	49,00	40,00		39,00
DBO ₅	2,00	14,90	38,70			14,50	11,50	7,90		9,10
NO ₃	20,00	18,00	35,00			5,00	11,00	0,18		12,00
NO ₂	1,60	1,80	2,00			2,80	0,80	0,95		0,18
NH ₄	6,80	1,25	0,51			0,94	0,03	2,40		0,80
N Kjeldahl	11,2	2,80	1,05			1,05	0,07	3,15		1,05

P Tot.	0,76	0,45	1,52				1,38	3,06	0,70	1,15
pH	7,700	7,600	7,600	7,700	8,200	8,300		8,000	8,400	8,000
Cond.	1090,000	797,000	2020,000	2440,000	1495,000	1695,000		3050,000	7420,000	1420,000

St. Tafna

	Janv.	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
pH		8,0000	8,1000	8,4000	8,0000							
Cond.		1370,0000	1470,0000	1370,0000	1590,0000							
MES 105		62,0000	14,0000	6,0000	80,0000							
DCO		50,0000	30,0000	10,0000	10,0000							
DBO ₅		15,0000	13,0000	4,0000	4,0000							
NO ₃		20,0000	12,0000	4,0000	10,0000							
NO ₂		0,0500	0,0400	0,0600	0,0500							
NH ₄		0,0400	0,2500	0,0100	0,1300							
N Kjeldahl		0,3500	1,4000	0,0700	0,7000							
P Tot.		0,4500	0,1500	0,1500	0,1000							
pH	7,800	7,700									8,100	8,500
Cond.	1890,000	1970,000									817,000	1270,000
MES 105	0,000	20,000									160,000	10,000
DCO	70,000	50,000									70,000	30,000
DBO ₅	18,000	21,000									20,000	7,000
NO ₃	17,000	11,000									7,000	12,000
NO ₂	0,030	0,060									0,200	0,040
NH ₄	0,200	0,050									0,060	0,110
P Tot.	0,250	0,180									0,550	0,030
pH	8,200	8,100		8,200							8,200	8,300
Cond.	1270,000	1050,000		1360,000							1150,000	1360,000
MES 105	73,000	28,000		10,000							55,000	39,000
DCO	50,000	60,000		10,000							20,000	30,000
DBO ₅	11,400	18,400		2,700							5,900	7,000
NO ₃	16,000	7,000		2,000							14,000	7,000
NO ₂	0,150	0,040		0,040							1,000	0,600
NH ₄	0,120	0,050		0,030							0,420	1,500
P Tot.	0,300	0,630		0,250							0,630	0,830
pH	6,800	8,600	7,300	7,600	8,500						8,100	7,600
MES 105	91,000	47,000	63,000	301,000	83,000						116,000	149,000
DCO	40,000	19,000	50,000	30,000	40,000						80,000	30,000
DBO ₅	11,600	4,600	15,600	6,500	9,300						18,500	8,600
NO ₃	9,000	5,000	6,000	5,000	3,000						5,000	9,000
NO ₂	1,500	0,090	0,400	0,010	1,400						0,140	0,340
NH ₄	0,010	0,050	2,250	2,400	0,020						0,140	0,300
P Tot.	0,250	0,700	1,350	0,680	0,380						0,420	1,360
pH	7,700	8,200	8,200	7,700	7,900						7,700	8,200
Cond.	540,000	793,000	1220,000	823,000	1000,000						299,000	1170,000
MES 105	400,000	138,000	64,000	396,000	112,000						7390,000	120,000
DCO	10,000	20,000	60,000	20,000	40,000						60,000	20,000
DBO ₅	1,300	5,600	13,400								12,400	4,000
NO ₃	5,000	5,000	7,000	12,000	4,000						10,000	8,000
NO ₂	0,270	0,210	0,160	0,350	0,180						0,370	0,300
NH ₄	0,190	0,370	1,650	0,690	0,250						0,380	0,030
P Tot.	0,470	0,550	0,700	0,410	0,390						0,800	0,550

pH	8,400	7,800	7,25	7,500	8,400			
Cond.	1110,000	1060,000	1060,000	1040,000	1110,000			
MES 105	196,000	189,000	79,000	211,000	60,000			
DCO	50,000	40,000	70,000	30,000	20,000			
DBO ₅	10,700	11,000	15,600	6,500	3,900			
NO ₃	9,000	4,000	7,000	6,000	5,000			
NO ₂	0,210	0,080	0,300	0,300	0,060			
NH ₄	0,000	0,350	0,060	0,100	0,120			
P Tot.	0,690	0,470	0,850	0,620	0,680			
pH		8,300	8,100	7,800				
Cond.		1370,000	1240,000	1480,000				
MES 105		14,000	38,000	32,000				
DCO		20,000	30,000	29,000				
DBO ₅		8,000	5,200	6,300				
NO ₃		12,000	4,000	5,000				
NO ₂		0,110	0,100	0,040				
NH ₄		0,050	0,080	0,110				
P Tot.		0,380	0,240	0,510				
pH		8,700	8,500	7,600				
Cond.		998,000	1250,000	1500,000				
MES 105		15,000	43,000	43,000				
DCO		10,400	12,500	4,500				
DBO ₅		6,200	3,800	5,500				
NO ₃		4,000	8,000	2,000				
NO ₂		0,100	0,120	0,200				
NH ₄		0,220	0,280	0,200				
N Kjeldahl			2,100	3,270				
P Tot.		0,350	0,360	0,250				
pH				7,500			7,200	
Cond.				1140,000			276,000	
MES 105				38,000			9590,000	
DCO				60,000			50,000	
DBO ₅				13,400			6,200	
NO ₃				19,000			14,000	
NO ₂				0,310			0,440	
NH ₄				0,060			0,550	
P Tot.				0,360			1,270	
pH	8,500	7,600				8,100	8,000	7,300
Cond.	1112,000	1260,000				860,000	848,000	412,000
MES 105	62,000	22,000				422,000	74,000	6058,000
DCO	10,000	30,000				30,000	20,000	20,000
DBO ₅	2,400	3,400				6,500	2,300	2,900
NO ₃	4,000	10,000				3,000	4,000	5,000
NO ₂	0,200	0,460				0,380	0,200	0,040
NH ₄	0,150	0,250				0,110	0,090	0,850
N Kjeldahl	0,700	0,750				0,700	0,350	1,400
P Tot.	1,010	0,710				0,280	0,510	1,780

pH	7,700	7,900	8,100	8,000	7,900	8,400	8,200	8,000	8,200	8,100	8,100	8,300
Cond.	662,000	546,000	671,000	747,000	880,000	925,000	925,000	1130,000	952,000	922,000	952,000	946,000
MES 105	418,000	354,000	58,000	18,000	14,000	14,000	6,000	18,000	22,000	58,000	34,000	30,000
DCO	20,000	20,000	10,000	20,000	29,000	20,000	30,000	20,000	70,000	78,000	50,000	40,000
DBO ₅	3,900	3,200	3,000	3,600	3,700	3,600	8,200	4,700	11,800	16,200	10,76	10,300
NO ₃	12,000	19,000	13,000	19,000	10,000	7,000	8,000	1,000	4,000	4,000	5,000	6,000
NO ₂	0,200	0,180	0,120	0,190	0,170	0,060	0,080	0,070	0,080	0,040	0,020	0,240
NH ₄	0,270	0,010	0,030	0,020	0,440	0,030	0,040	0,070	0,080	0,040	0,020	0,240
N Kjeldahl	0,700	0,070	0,700	0,070		0,350	0,350	0,350	0,350	0,070	0,070	0,700
P Tot.	0,110	0,300	0,290	0,540	0,530	0,720	0,080	0,420	0,450	0,270	0,300	0,500

Annexe 05 : Classes de qualité des paramètres analysés

Composant	Classe	Appréciation
pH<5	1	Acidité forte, cours d'eau à substrat acide
5<pH<6	2	Acidité moyenne, cours d'eau à substrat acide
6<pH<7	3	Acidité faible, cours deau à substrat acide
7<pH<7,5	4	Neutralité approchée, eaux piscicoles région calcaires
7,5 <pH<8	5	Faible alcalinité
8<pH<9	6	Alcalinité moyenne, eau closes
pH >9	7	Alcalinité forte, eaux peu piscicoles ou valeurs passagères

Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Classe	minéralisation	localisation
C<30	1	Extrêmement faible	
30<C<50	2	Très faible	Cours d'eau à substrat acide
50 <C<100	3	Faible	
100< C<200	4	Modérée	
200<C<300	5	Assez forte	Région calcaire
300<C<400	6	Forte	Région calcaire
400<C<500	7	Très forte	
C > 500	8	Très forte à excessive	Eaux séléniteuses, eaux

Composant(mg/ l)	Classe	Appréciation
MES<10	1	Très bonne situation
10<MES<25	2	Situation normale
25<MES<50	3	Bonne situation
50<MES<75	4	Bonne situation
75<MES<150	5	Situation moyenne
150<MES<300	6	Situation médiocre, eaux polluées
300<MES<500	7	Rare à l'état naturel. cour d'eau particulière et très polluée. Situation anormale. productivité piscicole très faible
MES>500		

Composant	Classe	Appréciation
Cl ⁻ <2	1	Eaux exempte de pollution dans l'ordre du degré croissant de minéralisation
2<Cl ⁻ <5	2	
5<Cl ⁻ <10	3	
10<Cl ⁻ <20	4	Région calcaire
20<Cl ⁻ <50	5	Cours d'eau particulière, teneurs locales et eaux plus ou moins polluées
50<Cl ⁻ <100	6	

Composant {NH ₄ ⁻ } (mg/l)	Classe	Appréciation
0 < {NH ₄ ⁻ } < qq. 1/100	1	Situation normale à douteuse
{NH ₄ ⁻ } qq. 1/10	2	Pollution insidieuse sensible
{NH ₄ ⁻ } > 1	3	Pollution critique

Composant T:HCO ₃ (mg/l)	Classe	Appréciation
T < 25	1	Région à substrat acide, alcalinité excessivement faible, eaux très peu productives
25 < T < 50	2	Substrat acide, alcalinité très faible, eaux douces peu productives
50 < T < 100	3	Alcalinité faible, bordures des massifs cristallins
100 < T < 150	4	Alcalinité moyenne, eaux très productives, régions calcaires
150 < T < 250	5	
250 < T < 350	6	Forte alcalinité, eaux polluées
T > 350	7	Très forte alcalinité, eaux polluées

Nitrates NO ₃ ⁻ (mg/l)	Classe	Appréciation
{NO ₃ ⁻ } < 1	1	Eaux très peu productives, lacs oligotrophes
1 < {NO ₃ ⁻ } < 3	2	Eaux peu productives
3 < {NO ₃ ⁻ } < 5	3	Productivité moyenne
5 < {NO ₃ ⁻ } < 10	4	Forte productivité
10 < {NO ₃ ⁻ } < 15	5	Cours d'eau polluées
{NO ₃ ⁻ } > 15	6	Eaux nettement polluées ou très eutrophes

Nitrites {NO ₂ ⁻ } mg/l	classe	Appréciation
{NO ₂ ⁻ } < 1/100	1	Eaux pures ou auto-épuration active
{NO ₂ ⁻ } < 1/10	2	Pollution insidieuse, perturbation du cycle de
qq {NO ₂ ⁻ } < 1/10	3	Pollution sensible
{NO ₂ ⁻ } > 1	4	Etat de pollution critique

Composant {PO ₄ ^{'''} } (mg/l)	Classe	Appréciation
{PO ₄ ^{'''} } < 10	1	Eaux très peu productives, lacs oligotrophes
10 < {PO ₄ ^{'''} } < 20	2	Eaux peu productives
20 < {PO ₄ ^{'''} } < 40	3	Productivité moyenne
40 < {PO ₄ ^{'''} } < 60	4	Forte productivité
60 < {PO ₄ ^{'''} } < 120	5	Cours d'eau polluées
{PO ₄ ^{'''} } > 250	6	Eaux nettement polluées ou très eutrophes

Composant {SO₄--} (mg/l)	Classe	Appréciation
{SO ₄ } < 10	1	Situation normale
10 < {SO ₄ --} < 20	2	
20 < {SO ₄ --} < 40	3	
40 < {SO ₄ --} < 60	4	Situation particulière: eaux polluées ou séléniteuses
60 < {SO ₄ --} < 120	5	
120 < {SO ₄ --} < 250	6	Limite de potabilité, eaux très séléniteuses ou fortement polluées
{SO ₄ --} > 250	7	

Composant	Classe	Appréciation
{Oxy} < 1	1	Eaux pures.
1 < {Oxy} < 2	2	Eaux normales.
2 < {Oxy} < 3	3	Eaux chargées en matières organique.
3 < {Oxy} < 6	4	Situation douteuse.
{Oxy} > 6	5	Etat de pollution.

Annexe 06: Photos des stations :

Stations de Oued EL Abbas



Stations de Mouillah





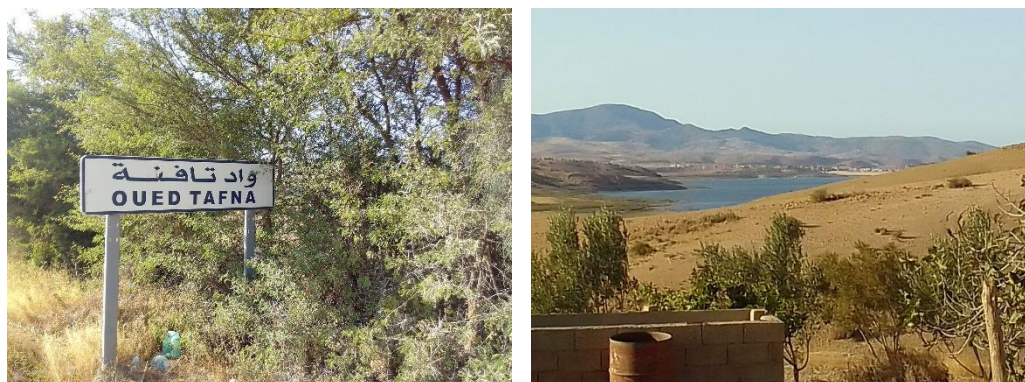
Stations de Legfaf



Satation de Chigueur



Station Tafna



Station Barrage Hammam Boughrara



Unités industrielles de Maghnia

CERTAF



ENOF



MAÏSERIE



ECVO



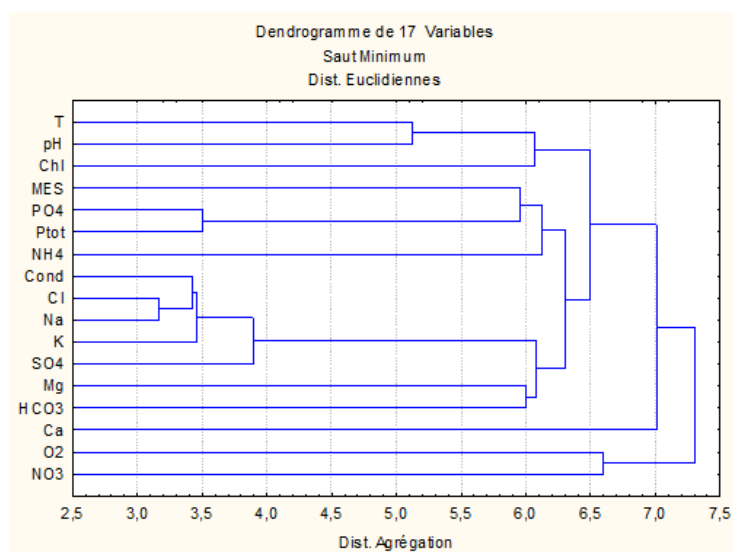
Annexe 07 : Statistiques de l'analyse en composante principale*Analyse descriptives de l'ACP :*

	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
T	36	20.0	10.90	31.0	6.23
pH	36	8.2	7.10	9.1	0.44
O2	36	7.4	1.40	18.0	3.70
MES	36	21.5	8.00	103.0	19.85
Cond	36	1749.6	977.00	2750.0	370.71
NH4	36	1.7	0.01	4.3	1.18
NO3	36	3.1	1.00	9.0	2.36
PO4	36	1.4	0.19	3.1	0.71
Ptot	36	1.9	0.25	3.9	0.93
Ca	36	77.8	43.00	115.0	15.68
Cl	36	363.6	213.00	487.0	64.28
Na	36	257.7	127.00	416.0	57.44
Mg	36	62.7	35.00	109.0	16.03
K	36	18.4	10.00	32.0	4.27
SO4	36	198.9	47.00	364.0	60.24
HCO3	36	358.5	210.00	487.0	85.84
Chl	36	17.7	1.20	36.6	7.31

Matrice de corrélation

	T	pH	O2	MES	Cond	NH4	NO3	PO4	Ptot	Ca	Cl	Na	Mg	K	SO4	HCO3	Chl
T	1.00																
pH	0.62	1.00															
O2	0.22	0.08	1.00														
MES	0.38	-0.15	0.08	1.00													
Cond	0.25	0.37	0.17	-0.04	1.00												
NH4	0.77	-0.38	0.25	0.46	0.21	1.00											
NO3	0.03	-0.11	0.38	0.07	-0.51	0.17	1.00										
PO4	0.23	-0.07	0.35	0.45	-0.02	0.27	0.28	1.00									
Ptot	0.14	0.11	0.31	0.49	-0.05	0.21	0.16	0.82	1.00								
Ca	0.09	-0.15	0.50	0.17	-0.06	0.11	0.18	0.30	0.29	1.00							
Cl	0.07	0.28	0.23	0.09	0.78	0.25	0.68	0.20	0.18	0.09	1.00						
Na	0.17	0.22	0.14	-0.18	0.83	0.18	0.74	0.02	0.06	0.02	0.86	1.00					
Mg	0.18	0.14	0.07	0.08	0.39	0.28	0.34	0.02	0.02	0.17	0.47	0.35	1.00				
K	0.31	0.28	0.04	-0.27	0.62	0.05	0.69	0.06	0.01	0.17	0.65	0.83	0.32	1.00			
SO4	0.40	0.34	0.29	-0.19	0.78	0.00	0.31	0.10	0.11	0.04	0.52	0.60	0.23	0.40	1.00		
HCO3	0.43	-0.19	0.08	0.09	0.28	0.43	0.60	0.18	0.04	0.10	0.35	0.46	0.49	0.36	0.04	1.00	
Chl	0.47	-0.34	0.24	0.46	-0.29	0.30	0.03	0.52	0.41	0.30	0.13	0.26	0.19	0.20	0.31	0.01	1.00

Classification hiérarchique :



Valeurs propres (Analyse en composante principale) :

Composantes	Valeurs propres	Inertie (%)	Inertie Cumulée(%)
F1	5.056	29.74	29.7
F2	3.878	22.81	52.6
F3	2.056	12.09	64.7

Cordonnées des variables physico-chimiques et biologiques de l'eau du barrage :

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3
T	-0.22	-0.74	-0.54
pH	-0.37	-0.44	-0.46
O2	0.21	-0.48	0.38
MES	0.15	0.65	-0.08
Cond	-0.89	-0.06	-0.03
NH4	-0.15	0.72	0.42
NO3	0.38	0.61	0.02
PO4	-0.07	0.72	-0.45
Ptot	-0.02	0.63	-0.56
Ca	-0.56	0.14	-0.41
Cl	-0.88	0.19	-0.07
Na	-0.95	0.00	0.07
Mg	-0.51	0.13	0.42
K	-0.82	-0.12	0.02
SO4	-0.69	-0.22	-0.24
HCO3	-0.47	0.44	0.50
Chl	-0.31	0.68	0.18

Annexe 08 : Fonction ERFC

Complementary Error Function Table													
x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)
0	1.000000	0.5	0.479500	1	0.157299	1.5	0.033895	2	0.004678	2.5	0.000407	3	0.00002209
0.01	0.988717	0.51	0.470756	1.01	0.153190	1.51	0.032723	2.01	0.004475	2.51	0.000386	3.01	0.00002074
0.02	0.977435	0.52	0.462101	1.02	0.149162	1.52	0.031587	2.02	0.004281	2.52	0.000365	3.02	0.00001947
0.03	0.966159	0.53	0.453536	1.03	0.145216	1.53	0.030484	2.03	0.004094	2.53	0.000346	3.03	0.00001827
0.04	0.954889	0.54	0.445061	1.04	0.141350	1.54	0.029414	2.04	0.003914	2.54	0.000328	3.04	0.00001714
0.05	0.943628	0.55	0.436677	1.05	0.137564	1.55	0.028377	2.05	0.003742	2.55	0.000311	3.05	0.00001608
0.06	0.932378	0.56	0.428384	1.06	0.133856	1.56	0.027372	2.06	0.003577	2.56	0.000294	3.06	0.00001508
0.07	0.921142	0.57	0.420184	1.07	0.130227	1.57	0.026397	2.07	0.003418	2.57	0.000278	3.07	0.00001414
0.08	0.909922	0.58	0.412077	1.08	0.126674	1.58	0.025453	2.08	0.003266	2.58	0.000264	3.08	0.00001326
0.09	0.898719	0.59	0.404064	1.09	0.123197	1.59	0.024538	2.09	0.003120	2.59	0.000249	3.09	0.00001243
0.1	0.887537	0.6	0.396144	1.1	0.119795	1.6	0.023652	2.1	0.002979	2.6	0.000236	3.1	0.00001165
0.11	0.876377	0.61	0.388319	1.11	0.116467	1.61	0.022793	2.11	0.002845	2.61	0.000223	3.11	0.00001092
0.12	0.865242	0.62	0.380589	1.12	0.113212	1.62	0.021962	2.12	0.002716	2.62	0.000211	3.12	0.00001023
0.13	0.854133	0.63	0.372954	1.13	0.110029	1.63	0.021157	2.13	0.002593	2.63	0.000200	3.13	0.00000958
0.14	0.843053	0.64	0.365414	1.14	0.106918	1.64	0.020378	2.14	0.002475	2.64	0.000189	3.14	0.00000897
0.15	0.832004	0.65	0.357971	1.15	0.103876	1.65	0.019624	2.15	0.002361	2.65	0.000178	3.15	0.00000840
0.16	0.820988	0.66	0.350623	1.16	0.100904	1.66	0.018895	2.16	0.002253	2.66	0.000169	3.16	0.00000786
0.17	0.810008	0.67	0.343372	1.17	0.098000	1.67	0.018190	2.17	0.002149	2.67	0.000159	3.17	0.00000736
0.18	0.799064	0.68	0.336218	1.18	0.095163	1.68	0.017507	2.18	0.002049	2.68	0.000151	3.18	0.00000689
0.19	0.788160	0.69	0.329160	1.19	0.092392	1.69	0.016847	2.19	0.001954	2.69	0.000142	3.19	0.00000644
0.2	0.777297	0.7	0.322199	1.2	0.089686	1.7	0.016210	2.2	0.001863	2.7	0.000134	3.2	0.00000603
0.21	0.766478	0.71	0.315335	1.21	0.087045	1.71	0.015593	2.21	0.001776	2.71	0.000127	3.21	0.00000564
0.22	0.755704	0.72	0.308567	1.22	0.084466	1.72	0.014997	2.22	0.001692	2.72	0.000120	3.22	0.00000527
0.23	0.744977	0.73	0.301896	1.23	0.081950	1.73	0.014422	2.23	0.001612	2.73	0.000113	3.23	0.00000493
0.24	0.734300	0.74	0.295322	1.24	0.079495	1.74	0.013865	2.24	0.001536	2.74	0.000107	3.24	0.00000460
0.25	0.723674	0.75	0.288845	1.25	0.077100	1.75	0.013328	2.25	0.001463	2.75	0.000101	3.25	0.00000430
0.26	0.713100	0.76	0.282463	1.26	0.074764	1.76	0.012810	2.26	0.001393	2.76	0.000095	3.26	0.00000402
0.27	0.702582	0.77	0.276179	1.27	0.072486	1.77	0.012309	2.27	0.001326	2.77	0.000090	3.27	0.00000376
0.28	0.692120	0.78	0.269990	1.28	0.070266	1.78	0.011826	2.28	0.001262	2.78	0.000084	3.28	0.00000351
0.29	0.681717	0.79	0.263897	1.29	0.068101	1.79	0.011359	2.29	0.001201	2.79	0.000080	3.29	0.00000328
0.3	0.671373	0.8	0.257899	1.3	0.065992	1.8	0.010909	2.3	0.001143	2.8	0.000075	3.3	0.00000306
0.31	0.661092	0.81	0.251997	1.31	0.063937	1.81	0.010475	2.31	0.001088	2.81	0.000071	3.31	0.00000285
0.32	0.650874	0.82	0.246189	1.32	0.061935	1.82	0.010057	2.32	0.001034	2.82	0.000067	3.32	0.00000266
0.33	0.640721	0.83	0.240476	1.33	0.059985	1.83	0.009653	2.33	0.000984	2.83	0.000063	3.33	0.00000249
0.34	0.630635	0.84	0.234857	1.34	0.058086	1.84	0.009264	2.34	0.000935	2.84	0.000059	3.34	0.00000232
0.35	0.620618	0.85	0.229332	1.35	0.056238	1.85	0.008889	2.35	0.000889	2.85	0.000056	3.35	0.00000216
0.36	0.610670	0.86	0.223900	1.36	0.054439	1.86	0.008528	2.36	0.000845	2.86	0.000052	3.36	0.00000202
0.37	0.600794	0.87	0.218560	1.37	0.052688	1.87	0.008179	2.37	0.000803	2.87	0.000049	3.37	0.00000188
0.38	0.590991	0.88	0.213313	1.38	0.050984	1.88	0.007844	2.38	0.000763	2.88	0.000046	3.38	0.00000175
0.39	0.581261	0.89	0.208157	1.39	0.049327	1.89	0.007521	2.39	0.000725	2.89	0.000044	3.39	0.00000163
0.4	0.571608	0.9	0.203092	1.4	0.047715	1.9	0.007210	2.4	0.000689	2.9	0.000041	3.4	0.00000152
0.41	0.562031	0.91	0.198117	1.41	0.046148	1.91	0.006910	2.41	0.000654	2.91	0.000039	3.41	0.00000142
0.42	0.552532	0.92	0.193232	1.42	0.044624	1.92	0.006622	2.42	0.000621	2.92	0.000036	3.42	0.00000132
0.43	0.543113	0.93	0.188437	1.43	0.043143	1.93	0.006344	2.43	0.000589	2.93	0.000034	3.43	0.00000123
0.44	0.533775	0.94	0.183729	1.44	0.041703	1.94	0.006077	2.44	0.000559	2.94	0.000032	3.44	0.00000115
0.45	0.524518	0.95	0.179109	1.45	0.040305	1.95	0.005821	2.45	0.000531	2.95	0.000030	3.45	0.00000107
0.46	0.515345	0.96	0.174576	1.46	0.038946	1.96	0.005574	2.46	0.000503	2.96	0.000028	3.46	0.00000099
0.47	0.506255	0.97	0.170130	1.47	0.037627	1.97	0.005336	2.47	0.000477	2.97	0.000027	3.47	0.00000092
0.48	0.497250	0.98	0.165769	1.48	0.036346	1.98	0.005108	2.48	0.000453	2.98	0.000025	3.48	0.00000086
0.49	0.488332	0.99	0.161492	1.49	0.035102	1.99	0.004889	2.49	0.000429	2.99	0.000024	3.49	0.00000080

Annexe 09 :

Bouteille de prélèvement "NISKIN" de 1 litre - valise multi paramètres de terrain -
disque de Secchi



Annexe 10 : Tables de qualité

Valeurs des paramètres généraux et complémentaires utilisés pour évaluer la qualité des eaux

Code	Paramètres généraux		1A	1B	2	3	HC
	Paramètres	unite	Excellent e	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution excessive
	Conductivité	µS/cm	≤ 400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000	>3000
	Chlorures	mg/l	≤ 100	100 à 200	200 à 400	400 à 1000	>1000
	Température	°C	≤ 20	20 à 22	22 à 25	25 à 30	>30
	pH		6.5 à 8.5	-	6 à 6.5 ou 8.5 à 9	5.5 à 6 ou 9 à 9.5	< 5.5 ou > 9.5
MES	Matières En Suspension	mg/l	≤ 30	-	-	30 à 70	> 70
OX	Oxygène dissous(O2)	mg/l	7	5 à 7	3 à 5	≤ 3	-
Matières Organiques (oxydables)	Taux Saturation O2	%	90	70 à 90	50 à 70	≤ 50	-
	DBO5	mg/l	≤ 3	3 à 5	5 à 10	10 à 25	> 25
	DCO	mg/l	≤ 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80	> 80
A	NH4	mg/l	≤ 0.1	0.1 à 0.5	0.5 à 2	2 à 8	8
Ammoniac	NK	mg/l	≤ 1	1 à 2	2 à 3	> 3	-
N	NO3	mg/l	≤ 5	5 à 25	25 à 50	50 à 100	> 100
Nitrates							
P-	PO4 (phosphates)	mg/l	≤ 0.2	0.2 à 0.5	0.5 à 1	1 à 5	5
Matières phosphorées	Phosphore total	mg/l	≤ 0.1	0.1 à 0.25	0.25 à 0.50	0.5 à 2.5	> 2.5

Limite de qualité des eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Savary.2003).

Les eaux doivent respecter des valeurs inférieures ou égales aux limites suivantes ou être comprises dans les intervalles suivants sauf pour le taux de saturation en oxygène dissous.

Groupe de paramètres	Paramètres	A1		A2		A3	
		G	I	G	I	G	I
Paramètres physico-chimique liés à la structure naturelle des eaux	Conductivité	1000		1000		1000	
	Température	22	25	22	25	22	25
	pH	6.5-8.5		5.5-9		5.5-9	
	Chlorure	200		200		200	
	Sulfates	150	250	150	250	150	250
	MES	25					
	Taux de saturation en oxygène dissous (%)	> 70		> 50		> 30	>20
Paramètres concernant les substances indésirables	Nitrates	25	50		50		50
	Ammoniaque	0.05		1	1.5	2	4
	Phosphores	0.4		0.7		0.7	

Groupe A1 : à un traitement physique et à un désinfection.

Groupe A2 : à un traitement normal physique, chimique et à un désinfection.

Groupe A3 : à un traitement physique et chimique poussé , à des opération d'affinage et désinfection.

Grilles de qualité 'B. Genin et al, 2003) :

	1A	1B	2	3	HC
O ₂ dissous (mg/l)	> 7	5 - 7	3 - 5	< 3	
Taux de saturation	> 90%	70 - 90%	50 - 70%	<50%	
NH ₄ ⁺ (mg/l)	< 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 2	2 - 8	>

La transcription de la qualité d'une eau était faite à partir d'une grille de qualité proposant une répartition en cinq classes, affectées d'un code de couleur . Cette échelle globale à été très utilisée.

La définition de ces classes est la suivante :

- 1A : qualité excellente, absence de pollution, couleur bleu.
- 1B : qualité bonne, pollution modérée, couleur verte.
- 1 : qualité moyenne, pollution nette, couleur jaune.
- 2 : qualité médiocre, pollution importante, couleur orange.
- HC : hors classes, ou 4 qualité mauvaise, pollution excessive, couleur rouge.

Classe proposée pour la conductivité : (Savary, 2003)

Conductivité	Minéralisation	Qualité de l'eau
C < 100	Très faible	Excellente
100 <C< 200	Faible	Excellente
200 <C< 400	Peu accentuée	Excellents
400 <C< 600	Moyenne	Bonne
600 <C< 1000	Importante	Utilisable
C > 1000	Excessive	Utilisable

Méthode de filtration (Rodier, 1996)

Elément	Matériels utilisés	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>M.E.S</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Dispositif de filtration sous vide (1à 2 bars). - papiers Wattman 47 diamètre. 	<ul style="list-style-type: none"> - laver le disque de filtration à l'eau distillée, le sécher puis le peser à 0,1mg après passage au dessiccateur. - le mettre en place sur le dispositif puis verser l'échantillon sur le filtre. - rincer le filtre avec l'eau distillée, laisser essorer et sécher à 105°C. - laisser refroidir et peser à 0,1mg près. 	<p>La teneur de l'eau en M.E.S est exprimée en mg/l</p> $MES = (M1 - M0) \times 1000 / V$ <p>M1 : masse du filtre après filtration M0 : masse du filtre avant filtration V : volume de l'eau filtré</p>

Méthode de dosage : volumétrique (CNEXO, 1983)

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>chlorure</i>	<ul style="list-style-type: none"> - acide nitrique - solution de nitrate d'argent 0,1N - solution de thiocyanate d'ammonium 0,1 N - solution d'alun ferrique ammoniacal saturée 	<ul style="list-style-type: none"> - prendre L'eau à analyser, le filtrer puis verser une quantité de nitrate d'argent. - ajouter alun ferrique - titrer l'excès de nitrate d'argent par le thiocyanate jusqu'à le virage rouge brique. 	<p>La teneur en chlorures exprimée e mg/l</p> $(V-v) \times 10 \times 3,55$ <p>V : volume d' Ag NO₃ v: volume de Thiocyanate</p>

Méthode de dosage : titration

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>carbonate</i>	<ul style="list-style-type: none"> - solution de méthyle orange - solution d'acide chlorhydrique 0,1 N 	<ul style="list-style-type: none"> - ajouter dans l'eau à analyser 2 gouttes de méthyle orange puis on procède au titrage de la solution par l'acide chlorhydrique. 	<p>La teneur en carbonates exprimée en mg/l</p> $V \times 0,015$ <p>V : volume d'acide chlorhydrique utilisé</p>

le Calcium

Méthode de dosage : gravimétrique

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>calcium</i>	<ul style="list-style-type: none"> - solution saturée d'oxalate d'ammonium - solution saturée de chlorure d'ammonium - solution d'héliantine à 01% - acide chlorhydrique - acide acétique pur - ammoniaque pure 	<ul style="list-style-type: none"> - introduire dans l'eau à analyser solution saturée de chlorure d'ammonium et 1 goutte de solution d'héliantine - ajouter en suite HCL jusqu'au virage rouge puis de l'ammoniaque jusqu'au virage jaune - rendre alors la solution nettement acide par l'acide acétique, puis verser l'oxalate d'ammonium et laisser reposer pendant 24h - filtrer sur filtre sans cendre, sécher à l'étuve 110°C puis minéraliser. 	<p>La teneur en calcium exprimée en mg/l</p> $M \times 5 \times 0,701$ <p>M : masse du précipité calciné</p>

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>nitrites</i>	<ul style="list-style-type: none"> - solution sulfanilamide R1 - solution de N-naphtyl-ethylenediamine R2 - étalon primaire de nitrite - étalon secondaire de nitrite 	<ul style="list-style-type: none"> - Prendre l'eau à analyser, ajouter le R1, mélanger et laisser reposer 2à8mn. - ajouter le R2, mélanger et attendre 10mn - mesurer l'absorbance en cuve de 10cm de trajet optique à la longueur d'onde de 543nm 	<p>La teneur en nitrate exprimée en mg/l</p> $Y = 5,5568 x + 0,0025$ <p>Y : l'absorbance x : nitrite mg/l</p>

Méthode de dosage : gravimétrique

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>magnésium</i>	<ul style="list-style-type: none"> - acide chlorhydrique - solution de phosphate d'ammonium 25% - ammoniaque pure - solution d'ammoniaque diluée au 1/2 	<ul style="list-style-type: none"> - évaporer le filtrat acétique provenant de la précipitation du calcium jusqu'à 150ml - ajouter acide chlorhydrique, puis le phosphate d'ammonium -neutraliser la solution avec l'ammoniaque pure, agiter et laisser reposer 12h -filtrer sur le papier sans cendre, laver le précipité par l'ammoniaque diluée au 1/2, sécher, calciner et peser 	<p>La teneur en magnésium exprimée en mg/l</p> $M \times 1,086$ <p>M : masse du précipité calciné</p>

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>nitrates</i>	<ul style="list-style-type: none"> - réactif 1 (R1) - réactif 2 (R2) -solution étalon de nitrate - solution concentrée de chlorure d'ammonium - solution diluée de chlorure d'ammonium - solution de sulfate de cuivre 	<ul style="list-style-type: none"> - ajouter le chlorure d'ammonium aux échantillons, les faire passer dans la colonne réductrice et on récupère 50ml de chaque solution, puis ajouter R1 et R2 - mesurer l'absorbance à la longueur d'onde 	<p>La teneur en nitrate exprimée en mg/l</p> $Y = 0,9565 x + 0,0001$ <p>Y : absorbance x : nitrate mg/l</p>
	- colonne réductrice.	543nm.	

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>sulfate</i>	<ul style="list-style-type: none"> - acide acétique - chlorure de baryum 2N - eau distillée 	<ul style="list-style-type: none"> - mélanger l'eau à analyser aux réactifs, chauffer à 62°C - laisser reposer 4 h à l'obscurité, puis filtrer, ensuite calciner et peser. 	<p>La teneur en sulfate exprimée en mg/l</p> $P \times 4,12$ <p>P : poids du précipité calciné</p>

Elément	Réactifs	Mode opératoire	Expression des résultats
<i>Azote ammoniacal</i>	<ul style="list-style-type: none"> - solution de phénol-nitroprussiate de sodium - solution d'alcaline d'hypochlorite - étalon primaire sulfate d'ammonium 10 µmol/l - étalon secondaire de sulfate d'ammonium 0,5 µmol/l 	<ul style="list-style-type: none"> - prendre l'eau à analyser, ajouter le R1 et agiter pour bien homogénéiser - ajouter sans attendre le R2, boucher et agiter et placer à l'abri de la lumière 6 à 8 h - mesurer l'absorbance à 630 nm par rapport à l'eau distillée en cuve de 10 cm de trajet optique. 	<p>La teneur en azote ammoniacal exprimée en mg/l</p> $Y = 1,0312 x + 0,003$ <p>Y : l'absorbance x : azote mg/l</p>

Annexe 11 : Programme Python variation des paramètres

```

from google.colab import drive

drive.mount('/content/gdrive', force_remount=False)
DataSet_path = 'gdrive/My Drive/Lotfi_benadda/serie.xlsx'

import pandas as pd

df = pd.read_excel(DataSet_path)

Distance = df.iloc[1:6,2]
Distance = Distance.to_numpy()

Mois = df.columns.values
Mois = Mois[3:]
Mois_i = df.iloc[0,3:]
Mois_i = Mois_i.values
print(Mois_i)
[1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0
16.0
 17.0 18.0 19.0 20.0 21.0 22.0 23.0 24.0 25.0 26.0 27.0 28.0 29.0
30.0
 31.0 32.0 33.0 34.0 35.0 36.0 37.0 38.0 39.0 40.0 41.0 42.0 43.0
44.0
 45.0 46.0 47.0 48.0 49.0 50.0 51.0 52.0 53.0 54.0 55.0 56.0 57.0
58.0
 59.0 60.0 61.0 62.0 63.0 64.0 65.0 66.0 67.0 68.0 69.0 70.0 71.0
72.0
 73.0 74.0 75.0 76.0 77.0 78.0 79.0 80.0 81.0 82.0 83.0 84.0 85.0
86.0
 87.0 88.0 89.0 90.0 91.0 92.0 93.0 94.0 95.0 96.0 97.0 98.0 99.0
100.0
 101.0 102.0 103.0 104.0 105.0 106.0 107.0 108.0 109.0 110.0 111.0
112.0
 113.0 114.0 115.0 116.0 117.0 118.0 119.0 120.0 121.0 122.0 123.0
124.0
 125.0 126.0 127.0 128.0 129.0 130.0 131.0 132.0]
%matplotlib inline
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

X, Y = np.meshgrid(Mois_i, Distance)

#Lecture des données T
T = df.iloc[1:6,3:]
T = T.to_numpy()
T = np.array(T).astype(float)
means_T = np.nanmean(T, axis=1)
for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(T[i,:], nan=means_T[i], copy=False)

fig_T = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_T = plt.axes(projection='3d')
ax_T.scatter3D(X, Y, T, c=T, cmap='viridis')

ax_T.set_xlabel('Mois')

```

```
ax_T.set_ylabel('Distance')
ax_T.set_xticklabels(Mois)
ax_T.set_zlabel('T')

#Lecture des données Ph
Ph = df.iloc[7:12,3:]
Ph = Ph.to_numpy()
Ph = np.array(Ph).astype(float)
means_Ph = np.nanmean(Ph, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(Ph[i,:], nan=means_Ph[i], copy=False)

fig_Ph = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_Ph = plt.axes(projection='3d')
ax_Ph.scatter3D(X, Y, Ph, c=Ph, cmap='viridis')

ax_Ph.set_xlabel('Mois')
ax_Ph.set_xticklabels(Mois)
ax_Ph.set_ylabel('Distance')
ax_Ph.set_zlabel('Ph')

#Lecture des données MES 105
MES_105 = df.iloc[13:18,3:]
MES_105 = MES_105.to_numpy()
MES_105 = np.array(MES_105).astype(float)

means_MES_105 = np.nanmean(MES_105, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(MES_105[i,:], nan=means_Ph[i], copy=False)

fig_MES_105 = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_MES_105 = plt.axes(projection='3d')
ax_MES_105.scatter3D(X, Y, MES_105, c=MES_105, cmap='viridis')

ax_MES_105.set_xlabel('Mois')
ax_MES_105.set_xticklabels(Mois)
ax_MES_105.set_ylabel('Distance')
ax_MES_105.set_zlabel('MES 105')

#Lecture des données Na
Na = df.iloc[19:24,3:]
Na = Na.to_numpy()
Na = np.array(Na).astype(float)

means_Na = np.nanmean(Na, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(Na[i,:], nan=means_Na[i], copy=False)

fig_Na = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_Na = plt.axes(projection='3d')
ax_Na.scatter3D(X, Y, Na, c=Na, cmap='viridis')

ax_Na.set_xlabel('Mois')
ax_Na.set_xticklabels(Mois)
```

```
ax_Na.set_ylabel('Distance')
ax_Na.set_zlabel('Na')
#Lecture des données SO4
SO4 = df.iloc[25:30,3:]
SO4 = SO4.to_numpy()
SO4 = np.array(SO4).astype(float)

means_SO4 = np.nanmean(SO4, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(SO4[i,:], nan=means_SO4[i], copy=False)

fig_SO4 = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_SO4 = plt.axes(projection='3d')
ax_SO4.scatter3D(X, Y, SO4, c=SO4, cmap='viridis')

ax_SO4.set_xlabel('Mois')
ax_SO4.set_xticklabels(Mois)
ax_SO4.set_ylabel('Distance')
ax_SO4.set_zlabel('SO4')

#Lecture des données HCO3
HCO3 = df.iloc[31:36,3:]
HCO3 = HCO3.to_numpy()
HCO3 = np.array(HCO3).astype(float)
means_HCO3 = np.nanmean(HCO3, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(HCO3[i,:], nan=means_HCO3[i], copy=False)

fig_HCO3 = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_HCO3 = plt.axes(projection='3d')
ax_HCO3.scatter3D(X, Y, HCO3, c=HCO3, cmap='viridis')

ax_HCO3.set_xlabel('Mois')
ax_HCO3.set_xticklabels(Mois)
ax_HCO3.set_ylabel('Distance')
ax_HCO3.set_zlabel('HCO3')

#Lecture des données DCO
DCO = df.iloc[37:42,3:]
DCO = DCO.to_numpy()
DCO = np.array(DCO).astype(float)
means_DCO = np.nanmean(DCO, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(DCO[i,:], nan=means_DCO[i], copy=False)

fig_DCO = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_DCO = plt.axes(projection='3d')
ax_DCO.scatter3D(X, Y, DCO, c=DCO, cmap='viridis')

ax_DCO.set_xlabel('Mois')
ax_DCO.set_xticklabels(Mois)
ax_DCO.set_ylabel('Distance')
ax_DCO.set_zlabel('DCO')
```

```
#Lecture des données DBO5
DBO5 = df.iloc[43:48,3:]
DBO5 = DBO5.to_numpy()
DBO5 = np.array(DBO5).astype(float)
means_DBO5 = np.nanmean(DBO5, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(DBO5[i,:], nan=means_DBO5[i], copy=False)

fig_DBO5 = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_DBO5 = plt.axes(projection='3d')
ax_DBO5.scatter3D(X, Y, DBO5, c=DBO5, cmap='viridis')

ax_DBO5.set_xlabel('Mois')
ax_DBO5.set_xticklabels(Mois)
ax_DBO5.set_ylabel('Distance')
ax_DBO5.set_zlabel('DBO5')

#Lecture des données NO3
NO3 = df.iloc[49:54,3:]
NO3 = NO3.to_numpy()
NO3 = np.array(NO3).astype(float)
means_NO3 = np.nanmean(NO3, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(NO3[i,:], nan=means_NO3[i], copy=False)

fig_NO3 = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_NO3 = plt.axes(projection='3d')
ax_NO3.scatter3D(X, Y, NO3, c=NO3, cmap='viridis')

ax_NO3.set_xlabel('Mois')
ax_NO3.set_xticklabels(Mois)
ax_NO3.set_ylabel('Distance')
ax_NO3.set_zlabel('NO3')

#Lecture des données NH4
NH4 = df.iloc[55:60,3:]
NH4 = NH4.to_numpy()
NH4 = np.array(NH4).astype(float)
means_NH4 = np.nanmean(NH4, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(NH4[i,:], nan=means_NH4[i], copy=False)

fig_NH4 = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_NH4 = plt.axes(projection='3d')
ax_NH4.scatter3D(X, Y, NH4, c=NH4, cmap='viridis')

ax_NH4.set_xlabel('Mois')
ax_NH4.set_xticklabels(Mois)
ax_NH4.set_ylabel('Distance')
ax_NH4.set_zlabel('NH4')

#Lecture des données PTOT
PTOT = df.iloc[61:66,3:]
PTOT = PTOT.to_numpy()
```

```
PTOT = np.array(PTOT).astype(float)
means_PTOT = np.nanmean(PTOT, axis=1)

for i in range(0, 5):
    np.nan_to_num(PTOT[i,:], nan=means_PTOT[i], copy=False)

fig_PTOT = plt.figure(figsize = (10,10))
ax_PTOT = plt.axes(projection='3d')
ax_PTOT.scatter3D(X, Y, PTOT, c=PTOT, cmap='viridis')

ax_PTOT.set_xlabel('Mois')
ax_PTOT.set_xticklabels(Mois)
ax_PTOT.set_ylabel('Distance')
ax_PTOT.set_zlabel('PTOT')
```


REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABRAMOWITZ M., STEGUN I.A. (eds.) 1964. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. National Bureau of Standards Applied Mathematics Series. No 55. US Government Printing Office pp. 1046.
- ADAOURI I., HAMIL S., ARAB S., BOUCHELOUCHE D., CHAFFAI A., NASROUCHE I., ARAB A. 2019. Multivariate statistical techniques to evaluate spatial variations in water quality case study: West-Central Algeria. In: Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration. Cham. Springer p. 1571–1577.
- ADJIM H., DJEDID A. 2018. Drought and water mobilization in semi-arid zone: The example of Hammam Boughrara dam (NW of Algeria). *Journal of Water and Land Development*. No. 37 p. 3–10. DOI 10.2478/jwld-2018-0019.
- ADO G., DESAYES H. & MAMA D. (2000) Etude statistique du rôle du phosphore et de l'azote NTK dans le mécanisme de l'eutrophisation des lacs de la ville de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire. *J. Soc. Ouest – Afr. Chim.* 010 155 – 171.
- AHOUSSE, K. E., SILUE, F., & DONGO, K. (2019). Etude des caractéristiques physiques et chimiques des eaux de surface de la zone forestière de côte d'ivoire: cas de la rivière lobo à daloa. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25(4), 1375-1388.
- ALBERGEL J., BOUFAROUA M., ET PEPIN Y. 1998. Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires en climat semi-aride tunisien. *Bull. ORSTOM*, 18 : 67-75.
- AMBROSE R.B., WOOL T.A. & MARTIN J.L. (1988) WASP4 A hydrodynamic and water quality model: Model theory, user's manual, and programmer's guide, USEPA, Athens, GA EPA/600/3-87-039.
- ANBT, (2019). Agence Nationale des Barrages et des Transferts : Barrage Hammam Boughrara : Caractéristiques climatiques et hydrauliques annuelles.
- ANRH, (2008). Agence Nationale des Ressources Hydriques : Manuel des bilans annuels par bassin versant de Nord de l'Algérie, cadre de l'Oranie 2008.
- BELARBI F., BOULCHELKIA H., REMINI B. 2020. Estimation of suspended sediment rate by double correlation method in Mouillah basin, NW of Algeria. *Journal of Water and Land Development*. No. 46 p. 29–37. DOI 10.24425/jwld.2020. 134195.
- BENADDA, L. (2004). Etude Du Comportement De La Pollution Hydrique A Travers Le Bassin Versant De L'oued Mouillah (Wilaya De Tlemcen, Algerie (Magister, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid).
- BENEST, M. (1985). Évolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé: stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire (fascicule 1). *Travaux et Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 95(1), 3-367.

- BENKHADRA, H., 1997. Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés- Déterminisme et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans (France).
- BENSAOULA F., ADJIM M. 2008. La mobilisation des ressources en eau: contexte climatique et contraintes socio-économiques (cas de la wilaya de Tlemcen) [The mobilization of water resources: climatic context and socio-economic constraints (case of the wilaya of Tlemcen)]. *LARHYSS Journal*. No. 7 p. 79–92.
- BENYAHIA, M., BOUZIDI, M. A., MOUEDDENE, K., HALLOUCHE, B., ATTAOUI, I., MELIANI, H., & DERNOUNI, F. (2014). Understanding Of Sidi Bel Abbes Plain Flooding By Mekerra River (West Of Algeria). *Revue LJEE*.
- BENZAQUEN, M., Hamel, C., & Medioni, R. (1965). *Étude stratigraphique préliminaire des formations du bassin de Guercif. Rapport interne. Direction des Mines et de la Géologie, service de la carte géologique, bureau d'études des bassins sédimentaires* (No. 30853, p. 74). internal report.
- BLUMBERG A.F. & MELLOR G.L. (1987) A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. Three-dimensional coastal ocean models, Vol. 4, N. Heap, Ed., American Geophysical Union, , 208 pp.
- BOUANANI A., BABA-HAMED K., FANDI W. 2013. Production et transport des sédiments en suspension dans l'Wadi Sikkak (Tafna–nord-ouest Algérie) [Production and transport of suspended sediments in Wadi Sikkak (Tafna–north-west Algeria)]. *Revue des sciences de l'eau/ Revue des sciences*. Vol. 26(2) p. 119–132.
- BOUROUBA M., 1997. Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des oueds semi-arides de l'Algérie orientale. *Bull. ORSTOM*, 17, 345-360.
- BOUROUBA M., 1998. Phénomène de transport solide dans les Hauts Plateaux Orientaux. Cas de l'Oued Logmane et oued Leham dans le bassin de la Hodna. *Revue des Sciences et Technologie*, 9, 5-11.
- BOWEN J. D. & HIERONYMUS J. W. (2003) A CE-QUAL-W2 Model of Neuse Estuary for Total Maximum Daily Load Development. *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*. 129, 283-294.
- BROWN, L. C., BARNWELL, T. O. (1987) The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: user's manual. Athens GA: EPA/600/3-87/007. United States Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory.
- CADILHAC, L. (2003). Le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines" SEQ-Eaux souterraines". *La Houille Blanche*, (2), 125-128.
- CANU D.M., SOLIDORO C. & UMGIESSER G. (2003) Modelling the responses of the Lagoon of Venice ecosystem to variations in physical forcings *Ecological Modelling*, Volume 170, Issues 2-3, 15 December 2003, 265-289.

- CATTANEO, A., SULTAN, N., JACINTO, R. S., SAVOYE, B., DAN, G., NOUGUÈS, A., ... & Déverchère, J. (2008, September). Multi-parametric analysis of submarine slides on the Algerian continental slope (Western Mediterranean). In Congresso GeoSed 25-26 Settembre 2008 (Vol. 25, p. 27).
- CERCO C.F. & COLE T. (1995) User's guide to the CE-QUAL-ICM three dimensional eutrophication model, release 1.0. Technical report EL-95, US Army Corps of Engineers.
- CHADWICK M. J. & OBEID M. (1966) A comparative study of the growth of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* in water culture. *Journal of Ecology*, 54, 563-575.
- CHAPMAN R.S., JOHNSON B.H. & VEMULAKONA, R.S. (1996) User's guide for the sigma stretched version of CH3D-WES. Technical Report HL-96-21. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- CHAU K.W. & JIANG Y.W. (2001) 3D numerical model for Pear River estuary. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 127, 72-82.
- CHEBBANI R., DJILLI K., ROOSE E., 1999. Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. *Bull. ORSTOM, Rés. Eros.*, 19, 85-95.
- CHIBBANI R., DJILLI K., ROOSE E., 1997. Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. *Bull. ORSTOM, Rés. Eros.*, 19, 85-95.
- CHIBOUB FELLAH, A., 1991. Propriétés thermodynamiques et spectroscopiques des chlorocomplexes de cobalt (ii) et de nickel (ii) dans quelques solvants aprotiques (Doctoral dissertation, Université Louis Pasteur (Strasbourg)(1971-2008)).
- CÓZAR A., BERGAMINO N., MAZZUOLI S., AZZA N., BRACCHINI L. & DATTILO A.M. (2007) Relationships between wetland ecotones and inshore water quality in the Ugandan coast of Lake Victoria, *Wetlands Ecol Manage* 15 (6) pp. 499-507.
- CUBILLO F., RODRIGUEZ B. & BARNWELL T.O. (1992) A system for control of river water quality for the community of Madrid using QUAL2E. *Wat. Sci. Tech* 26, 1867-1873.
- DAILY J.W., HARLEMAN D.R. 1966. *Fluid dynamics*. Boston. Addison-Wesley Publishing Company pp. 454.
- DELARUE, C., & BROUSSE, R. (1974). Miocene volcanism by subduction in morocco in eastern part of arc of gibraltar. *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'academie des sciences serie d*, 279(12), 971-974.
- DEMMAK A., 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Th. Docteur-Ingénieur Univ. Paris, France.
- Department of Water Resources Wilaya of Tlemcen (DRE), Annual department report, 2000.
- DI TORO D.M., FITZPATRICK J.J. & THOMANN R.V. (1983) Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) and Model Verification Program (MVP) Documentation. Hydroscience, Inc. Westwood, NY. USEPA Contract No. 68-01-872.

- DJELITA, B., & BENADDA, L. (2021). Spatio-Temporal Assessment of the Water Quality of the Hammam Boughrara Dam (North-West Algeria). *Journal of Ecological Engineering*, 22(11), 92-103.
- DJELITA B., BOUZID-LAGHA S., NEHAR K.C. 2016. Spatial and temporal patterns of the water quality in the Hammam Boughrara reservoir in Algeria. In: *Energy, transportation and global warming*. Cham. Springer p. 635–653.
- EDMONDSON W.T. (1970) Phosphorus, nitrogen and algae in Lake Washington after diversion of sewage. *Science* 169:690-691.
- FAIR G.M., GEYER J.C., OKUN D. 1968. *Water and waste-water engineering*. Vol. 2. Water purification and waste-water treatment and disposal. New York. John Wiley & Sons. Inc. pp. 668.
- FEUCHTMAYR H., MORAN R. HATTON K., CONNOR L., HEYES T. MOSS B. HARVAY I., & ATKINSON D. (2009) Global warming and eutrophication: effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms. *Journal of Applied Ecology*, 46, 713–723.
- GHENIM, A., 2001. Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna : cas d'oued Isser, oued mouilah et de la Haute tafna. Em. Magister, Univ. Tlemcen.
- GHORBAL A., CLAUDE J., 1977. Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie : estimation des transports solides. *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters*. (Proc.Paris Symp., july 1977), I.A.H.S. Bull., n° 122, 219-232.
- GRAF W.H., ALTINAKAR M.S. 2000. *Hydraulique fluviale: écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple* [River hydraulics: flow and transport phenomena in channels with simple geometry. Vol. 16. PPUR presses polytechniques. ISBN 978-2-88074-812-8 pp. 627.
- HADJ AMOR R., QUARANTA G., GUEDDARI F., MILLION D. & CLAUER N. (2008) The life cycle impact assessment applied to a coastal lagoon: the case of the Slimane lagoon (Tunisia) by the study of seasonal variations of aquatic eutrophication potential. *Environmental Geology* 54, 1103 – 1110.
- HAMED K.B., BOUANANI A. 2016. Characterisation of an area catchment by the statistical analysis of morphometric parameters: Case of the Tafna basin (north-western Algeria). *Geo-Eco-Trop*. Vol. 40(4) p. 277–286.
- HAMRICK J.M. (1992) A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: theoretical and computational aspects. The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, Special Report 317, 63 pp.
- HAOUATI E., GUECHAOUÏ M., ARAB A. 2018. Effet de l'eutrophisation sur les milieux aquatiques: Barrage de Hammam Boughrara, Tlemcen [Effect of eutrophication on aquatic environments: Hammam Boughrara dam, Tlemcen]. In: USTHB-FBS 4th International Congress of the Populations & Animal Communities "Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems" "CIPCA4" TAGHIT. 19–21.11.2013 Bechar – Algeria p. 223–231.

- HEUSCH B., ET MILLES-LACROIX A., 1971. Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin. Application au Maghreb. Mines et Géologie Rabat, 33, 21-39.
- HOCINAT A., ALI-KHODJA H. 2018. Biodégradation de quelques composés organiques volatils et certains pesticides par des actinomycètes provenant d'un sol agricole et de boues activées [Biodegradation of some volatile organic compounds and some pesticides by actinomycetes from agricultural soil and activated sludge]. PhD Thesis. Université Constantine p. 41–42.
- HUMBEL, X., & HENNEBERT, P. (2008). Systeme d'évaluation de l'état des eaux: les acteurs ont encore besoin d'un outil d'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau à l'ère DCE.... Techniques Sciences Methodes-Genie Urbain Genie Rural, (2), 109-111.
- HUSSON, F. (2015). Analyse en composantes principales (ACP). *Laboratoire de mathématiques appliquées-Agrocampus Rennes*.
- JAKUBIAK M., BOJARSKI B. 2021. Impact of point source pollutants on the distribution of selected water parameters in the Vistula River in Puławy, Poland. *Journal of Water and Land Development*. No. 51 p. 50–55. DOI 10.24425/jwld.2021.139014.
- JORADP 2012. Journal officiel de la république Algérienne démocratique et populaire. Décrets Ministériels, N° 15 [Official Journal of the people's democratic republic of Algeria. Ministerial Decrees, No. 15].
- KHAOUA, N. (2005, December). L'eau comme révélateur de la crise multiforme en Algérie aspects économiques et impacts sociaux. In *Communication, Colloque International: "Water Poverty", IRD* (Vol. 12, p. 16).
- LAHLOU A., 1990. Modèles de prédiction de la sédimentation des retenues de barrages des pays du grand Maghreb. Atelier int. UNESCO-AISH-ENIT sur l'application des modèles mathématiques à l'évaluation des modifications de la qualité des eaux. Tunis, 312-324.
- LARMIE S.A.J.M., & VANOUPLINES P. (1989) Application of QUAL2E and QUAL2e-UNCAS models the Densu River in Ghana. *Adv. Poll. Control* 5, 133-146.
- LITTLE K.W. & WILLIAMS R.E. (1992) Least-squares calibration of QUAL2E. *Wat. Environ. Res.* 64(2), 179-185.
- MATEJKA G., FEUILLADE G., HEULOT I., LEMEHAUTE P. & MAZET M. (1992) Les échanges de phosphore à l'interface eau-sédiments. *Etudes et mémoires. Tribune de l'eau*, 556, 19-25.
- MEGNOUNIF A., BOUANANI A., TERFOUS A. ET BABA HAMED K., 1999. Distributions statistiques de la pluviométrie et mise en évidence de l'influence du relief (cas des monts de Tlemcen, Nord ouest algérien). *Rev. Sci & Tech* n°12. pp. 77 - 80. 6 fig.

- MEGNOUNIF A., GHENIM A. 2013. Influence des fluctuations hydro-pluviométriques sur la production des sédiments: Cas du bassin de la Haute Tafna [Influence of rainfall and runoff fluctuations on sediment yield: Case of the Upper Tafna watershed]. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Sciences*. Vol. 26(1) p. 53–62. DOI 10.7202/1014919ar.
- MELLOR G. L. & YAMADA T. (1982) Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, 851-875.
- MERZOUKI T. 1992. Diagnostic de l'envasement des grands barrages marocains. *Rev. Marocaine du génie civil*, 38 : 46-50.
- MILLIMAN J.D., MEADE R.H. 1983. World Wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.*,91 : 1-21.
- MERHABI F., AMINE H., HALWANI J. 2019. Evaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha [Assessment of the surface water quality of the Kadicha river]. *Journal Scientifique Libanais*. Vol. 20(1) p. 10–34. DOI 10.22453/LSJ-020.1.010-034.
- MOSS B. (2007) The art and science of lake restoration; *Hydrobiologia* 58, 15 – 2.
- MOSS B., BACKER T., STEPHEN D., WILLIAMS A., BALAYLA D., BEKLIOGLU M. & CARVALHO L. (2005) Consequences of reduced nutrient loading on a lake system in a lowland catchment: Deviations from the norm? *Freshwater biology*, 50, 1687 – 1705.
- MOUKHCHANE M., BOUHLASSA S., ET BOUADDI K. 1998. Quantification de l'érosion des sols du bassin versant El Hachef, par le biais du césium-137, (région de Tanger – Maroc). *Bull.*
- MOZAS, M., & GHOSN, A. (2013). État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. *Institut de prospective économique du monde méditerranéen*, 25.
- NADIA A., WISSAL Z. 2020. Traitement et analyses des eaux du barrage de Hammam Debagh [Water treatment and analysis of the Hammam Debagh dam]. MSc Thesis. Université Guelma pp. 42–68.
- NIKOLAIDIS N.P., KARAGEORGIS A.P., KAPSIMALIS V., DRAKOPOULOU P., SKOULIKIDIS N., BEHRENDT H. & LEVKOV Z. (2009) Management of nutrient emissions of Axios River catchment: Their effect in the coastal zone of Thermaikos Gulf, Greece. *Ecological Modelling*, Volume 220, Issue 3, 383-396
- OCDE (OECD) (1982) Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte, Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Paris, 164 pp.
- OEY L.Y., MELLOR G.L. & HIRES R.I. (1985) A three dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary: Part I. Description of the model and model simulations. *J. Phys Oceanogr* 15, 1676-1692.
- OGUTU –OHWAYO R., HECKY R.E., Cohen S.A. & Kauf L. (1997) Human Impacts on the African Great Lakes. *Environmental Biology of Fishes* 50, 117–137.
- OROSTOM, 18 : 106 – 118.
- PADET J.P. 1991. Fluides en écoulement: méthodes et modèles [Fluids: methods and models]. Paris. Masson pp. 190.

- PAQUIN M. 2018. L'étude de l'effet du nombre de municipalités riveraines dans la gestion locale des épisodes d'algues bleu-vert au Québec [The study of the effect of the number of riparian municipalities in the local management of blue-green algae episodes in Quebec]. Université du Québec à Montréal pp. 64.
- PARINET B., LHOTE A. & LEGUBE B. (2004) Principal Component Analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management – Application to A tropical lake system. *Ecological Modelling* 178, 295 – 311.
- PETIOT A. 2017. Procédés de dépollution écologique des eaux – synthèse de connaissances [Ecological water pollution control processes – summary of knowledge]. Paris. INRA pp. 72.
- PHILIPPE, R. (2019). Outils automatiques d'évaluation de la qualité des données pour le suivi en continu de la qualité des eaux usées (Doctoral dissertation, Université Laval).
- Ambrose R.B., Wool T.A. & Martin J.L. (1993) The water quality analysis simulation program, WASP5: model documentation Environmental Research Laboratory, Athens, GA, vol. a, pp. 1–281, vol. b, pp. 1–81.
- POURRIOT R. & MEYBECK M. (1995) Limnologie générale, Masson Edition, 956p.
- PROBST J.L., 1992. Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. *Sci. Géol. Bull.*, mémoire n° 94,161 p.
- PROBST, J.L., AMIOTTE SUCHET P., 1992. Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). *Hydrol. Sci. J.*, 37, 621- 637.
- PROBST, J.L., BAZERBACHI, A., 1989. Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. *Sci. Géol. Bull.*, 39, 1, 79-98.
- RAIS S., ABIDI M. 1989. Prévion du transport solide sur un bassin versant. Application à l'envasement d'une retenue. *La Houille blanche*, ¾ : 296-300.
- RAMADE F. (1981) *Eléments d'écologie : écologie appliquée*. 4ème édition, Paris, Ed. Mc Graw Hill, 578 p.
- REMINI, B. 1999. Envasement des barrages dans le Maghreb. *Bul. Int. de l'eau et de l'Env.*, 22 : 4-8.
- RIAD S., BOUANANI A., MANIA J., BOUCHAOU L., BENSALAH M., ET BABA HAMED K., 2004. Analyse fréquentielle des débits maximums instantanés de quelques bassins sud ouest méditerranéen cas des sous_ bassins de la Tafna en Algérie et de la Moulouya au Maroc. *Coll. Int. « Technologies nouvelles et amélioration de la gestion des risques majeurs »*. 15-17 mars 2004, (Kenitra, Maroc).
- RODIER J., BAZIN J. P., CHAMBON P. 1996. *L'analyse de l'eau [Water analysis]*. Paris. Dunod. ISBN 978-2-10-075412-0 pp. 1383.
- RODIER, J., LEGUBE, B., & MERLET, N. (2016). *L'analyse de l'eau*-10e éd. Dunod.
- ROOSE, E., CHIBBANI, R., BOUROUGAA, L., 1999.. Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Bull. ORSTOM, Rés. Eros.*, 19, 85-95.
- ROUISSAT, B. (2012). *Analyse systémique appliquée aux aménagements hydrauliques* (Doctoral dissertation, Doctoral dissertation, Université de Tlemcen).

- RUTHERFORD J.C. 1994. River mixing. Hoboken. Wiley. ISBN 0-471-94282-0 pp. 347.
- RYDING S.O. & RAST W. (1994) Contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs. Collection des Sciences de l'Environnement n°9. Masson éditeur. Paris. 294 p.
- SCHINDLER D.W. (1971) Régimes de luminosité, de température et d'oxygène d'une sélection de lacs de la Région des lacs expérimentaux (RLE), nord-ouest de l'Ontario. Centre de documentation Can. J. Fish. 28: 157-170.
- SHENG Y.P. & LICK W.J. (1979) The transport and resuspension of sediments in a shallow lake. *Journal of Geophysical Research* 84:C4, 1809-1830.
- SMITH V.H., TILMAN G.D. & NEKOLA J.C. (1999) Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environ. Poll.* 100: 179-196.
- SNOUSSI M. 1988. Nature, estimation et comparaison des flux de matières issus de bassins versant de l'Adour (France), du Sebou et de l'Oum Er Rbia (Maroc). Impact du climat sur les apports fluviaux à l'océan. Mem. Ins. Geol. Bassin d'Aquitaine, n°22, Bordeaux, France.
- SOGREAH, 1983. Erosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique. Rap. Proj. RAB/80/011/PNUD.
- TANI, H. A. K., BOUANANI, A., BABA-HAMED, K., & PROBST, J. L. (2020). The Dynamics of Suspended Particulate Matter in the Oued Nachef (Tafna Basin, Algeria): Typology of Flood Events and Contribution to Sediment Transport. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 8(5).
- TERFOUS A., MEGNOUNIF A., BOUANANI A. 2001. Etude du transport solide en suspension dans l'Wadi Mouilah (Nord Ouest Algérien) [Study of suspended solid transport in Wadi Mouilah (North West Algeria)]. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Sciences*. Vol. 14(2) p. 173–185. DOI 10.7202/705416ar.
- TERFOUS, A., MEGNOUNIF, A., BOUANANI A., 2003. Détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins versants des régions méditerranéennes. *IAHS pub. n° 278*, 366-372.
- THIERRY, E. (2019). Office International de l'Eau-Pressions exercées sur les espèces dulcicoles piscicoles.
- THORNTON J. A. & NDUKU W. K. (1982) Water chemistry and nutrient budgets. In Thornton, J. A., lake Mcllwaine, the eutrophication and recovery of a tropical African Man – Made lake. *Monogr. Biol.*, volume 49, p43-59.
- TIXERONT, J. 1960. Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. In *IAHS Publ.*, 53 : 26-42.
- TREMBLAY R., PIENITZ R., LEGENDRE P. 2014. Reconstructing phosphorus levels using models based on the modern diatom assemblages of 55 lakes in southern Quebec. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 71(6) p. 887–914. DOI 10.1139/cjfas-2013-0469.
- TYMEN R. (1997) Traitement curatifs de l'eutrophisation sur quelques retenues du bassin Loire Bretagne, Rapport de synthèse, Agence de l'eau Loire Bretagne, Université Louis Pasteur de Strasbourg (Institut de Géologie) 56 p.

- VALENTIN, N. O. Ë. L. Séries temporelles et réseaux de neurones récurrents.
- VAN RIJN, LC., 1984. suspended load sediment, journal of hydraulic engineering, vol 110, n°11, p.1613 – 1641.
- VITOUSEK P.M., GOSZ J.R., GRIER C.C., MELILLO J.M., REINERS W.A. & TODD R.L. (1979) Nitrate Losses from Disturbed Ecosystems, Science, 204, 469–474.
- YARI, A., DABRIN, A., & MASSON, M. (2020). Biais potentiel sur la granulométrie et les concentrations en contaminants dans les matières en suspension échantillonnées par piège à particules-Synthèse bibliographique (Doctoral dissertation, INRAE).
- ZEGAIT, R., KATEB, S., & SAGGAI, S. Préviation des crues torrentielles et risque d'inondation dans l'extrême-sud de l'Algérie (cas de la ville d'IN-GUEZZAM).
- ZEKRI N., TOUNKOB A. 2021. Cartographie de la vulnérabilité potentielle des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant de Tafna (Nord-Ouest Algérien) [Mapping of the potential vulnerability of soils to water erosion in the watershed of Tafna (North-West Algeria)]. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires. Vol. 9(4) p. 609–615.
- ZERROUKI, M. A. (2011). Culture d'entreprise & motivation des salariés: Cas de l'entreprise NAFTAL/District Commercialisation Tlemcen (Doctoral dissertation, Université Mohamed Ben Ahmed d'Oran 2).

Résumé

Ce travail décrit l'étude du comportement de la pollution hydrique le long du cours d'eau de l'Oued Mouillah et de ses principaux affluents et leurs impacts sur le barrage de Hammam Boughrara, situé au Nord-Ouest de l'Algérie, dans la Wilaya de Tlemcen. L'exploitation d'une base de données relative à des variables physico-chimiques, biotiques et hydrologiques, couvrant notamment la période de janvier 2009 à décembre 2019, a contribué à la compréhension de l'évolution de cet écosystème par rapport aux paramètres polluants. Suite à des analyses de corrélation et structurales qui ont permis le choix de onze éléments ayant relation directe avec la pollution, des études sur l'évolution spatio-temporelle de chaque variable, l'altération des éléments, ainsi que l'application des modèles mathématiques de la diffusion par convection-dispersion et convection-réaction ; on mit en exergue l'évolution de la propagation des polluants dans le flux et le mélange liquide. Les résultats obtenus permettront à une meilleure gestion de la qualité de l'eau en termes de lutte contre la propagation de la pollution, ils peuvent être utilisés pour appuyer les décisions dans le cadre du développement durable.

Mots clés : Oued Mouillah, Barrage Hammam Boughrara, pollution, corrélation, modélisation, diffusion.

Abstract

This work describes the study of the behavior of water pollution along the watercourse of Oued Mouillah and its main tributaries and their impacts on the Hammam Boughrara dam, located in the North-west of Algeria, in the Wilaya of Tlemcen. The use of a database relating to physicochemical, biotic and hydrological variables, covering the period from January 2009 to December 2019, has contributed to understanding the evolution of this ecosystem in relation to polluting parameters. Following correlation and structural analyzes which allowed the choice of eleven elements having a direct relationship with pollution, studies on the spatio-temporal evolution of each variable, the alteration of the elements, as well as the application of mathematical models diffusion by convection-dispersion and convection-reaction; highlighted the evolution of the propagation of pollutants in the flow and the liquid mixture. The results obtained will allow better management of water quality in terms of the fight against the spread of pollution. They can be used to support decisions in the context of sustainable development.

Keywords: Mouillah Wadi, Hammam Boughrara dam, pollution, correlation, modeling, diffusion.

ملخص

في مذكرة الدكتوراه هذه قمنا بدراسة سلوك ملوثات المياه على طول مجرى واد مويلح وروافده الرئيسية وتأثيراتها على سد حمام بوغرة الواقع بولاية تلمسان، شمال غرب الجزائر. ساهم استخدام قاعدة البيانات المتعلقة بالمتغيرات الفيزيائية والكيميائية والأحيائية والهيدرولوجية، والتي تغطي الفترة من يناير 2009 إلى ديسمبر 2019، في فهم تطور هذا النظام البيئي فيما يتعلق بالمعايير الملوثة. التحاليل الإحصائية و الهيكلية ساهمت في اختيار أحد عشر عنصراً لها علاقة مباشرة بالتلوث، ما سهل القيام بدراسات حول التطور الزمني والزماني لكل عنصر، تغيير العناصر، وكذا تطبيق النماذج الرياضية للانتشار عن طريق الحمل التشتتي و الحمل التفاعلي. مما ساهم في تبين طريقة انتشار الملوثات في الوادي والسد. النتائج التي تم الحصول عليها ستسمح بإدارة جودة المياه بشكل أفضل من حيث مكافحة انتشار التلوث، ويمكن استخدامها لدعم القرارات في سياق التنمية المستدامة .

الكلمات المفتاحية : وادي مويلح، سد حمام بوغرة، تلوث، تحاليل، نمذجة، انتشار.