

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF

FACULTE D'ARCHITECTURE ET DE GENIE CIVIL
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE
MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER

Spécialité : HYDRAULIQUE

Option : GESTION ET TRAITEMENT DES EAUX

Présenté par:

Melle ZENASNI Soumia

THEME:

***MODELISATION DE LA QUALITE DES EAUX D'OUED MOUILLAH JUSQU'AU
BARRAGE BOUGHRARA
-APPLICATION DU HEC-RAS-***

Soutenu le 2013, Devant le Jury composé de :

M. HADJEL Mohamed	Professeur	USTO-MB	Président
M. TIDJANI Abdellatif El-Bari	M.C.A.	USTO-MB	Rapporteur
M. ERRIH Mohamed	Professeur	USTO-MB	Co-Rapporteur
M. BOUDJEMLINE Djamel	M.C.A.	USTO-MB	Examineur
M. YEBDRI Djilali	M.C.A.	USTO-MB	Examineur

Dédicaces

C'est avec l'aide de tout puissant que j'arrive à terme de ce modeste travail que je dédie :

A ma très chère Mère et mon très cher Père

A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans mes études

A ceux qui ont veillé pour mon bien être

A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles de ma vie

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

Le jour est venu pour leur dire Merci...

A mon cher frère Oussama.

A ma grand-mère, mes oncles, mes tantes et mes cousines et à toute la famille ZENASNI grand et petit qu'il soit.

Mes derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

ZENASNI Soumia

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté que la conscience afin de rédiger ce modeste travail que je souhaite qu'il soit estimable et réussi.

Tous d'abord je tiens à remercier Monsieur TIDJANI A.E.B, mon directeur de mémoire, pour sa disponibilité, ses compétences et sa grande ouverture d'esprit. Il m'a offert une grande liberté de recherche tout en soulevant des questions clés pour la qualité scientifique du travail. Il ne m'est guère possible d'exprimer en quelques mots ce que je lui dois. Je garderais toujours un souvenir très vif de son dynamisme et ses grandes qualités humaines.

Je remercie Monsieur ERRIH.M, d'avoir accepté de codiriger ce mémoire et de m'avoir prêté aide et conseils qui m'ont été très précieux.

Je remercie Monsieur le professeur HADJEL.M, d'avoir accepté de présider le jury, je lui en suis très reconnaissante.

Mes vifs remerciements vont aux membres de jury, Monsieur BOUDJEMLINE.D et Monsieur YEBDRI.D, qu'ils trouvent à travers ces expressions mes sincères remerciements pour l'honneur qui m'ont fait en acceptant d'examiner ce travail.

Enfin, j'adresse mes meilleurs et chaleureux remerciements à toutes personnes qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, sans oublier bien sûr mes collègues de ma promotion de magister.

TABLE DE MATIERES

RESUME	6
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES	8
INTRODUCTION GENERALE	10
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	12
I.1 Présentation du bassin versant de la TAFNA	12
I.1.1 Situation Géographique	12
I.1.2 Découpage du bassin de la TAFNA	13
I.1.3 Hydrographie du bassin versant de la Tafna	14
I.1.4 Morphométrie du bassin versant de la Tafna	15
I.1.5 Climatologie du bassin versant de la TAFNA	20
I.1.6 Ouvrage de mobilisation des ressources en eau dans le bassin versant de la TAFNA	23
I.2 Présentation du sous bassin versant d'oued MOUILLAH	25
I.2.1 Situation du sous bassin Mouillah et ces principaux affluents	25
I.2.2 Géologie du sous bassin Mouillah	26
I.2.3 Climatologie au sous bassin Mouillah	27
I.2.4 Etude du relief	29
I.2.5 Sols et Végétation	30
CHAPITRE II : ENVIRONNEMENT DU BARRAGE HAMMAM BOUGHRARA	31
II.1 Situation géographique et caractéristiques du barrage	31
II.2 Vecteurs de pollution dans le bassin versant de HAMMAM BOUGHRARA	32
II.2.1 Pollution d'origine agricoles	32
II.2.2 Pollution d'origine domestiques	33
II.2.3 Pollution solide	34
II.2.4 Pollution d'origine industrielles	35
II.2.5 Impact de la pollution	44
II.3 Station d'épuration de MAGHNIA	46
CHAPITRE III : MODELISATION HYDRAULIQUE	49
III.1 Différents modèles hydrauliques des cours d'eau	49
III.2 Modélisation hydraulique d'oued Mouillah par le logiciel HEC-RAS	54
III.2.1 Présentation du logiciel	54
III.2.2 Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS	54
III.2.3 Application du modèle hydraulique HEC-RAS	61
III.2.3.1 Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS	62
III.2.3.2 Résultats de simulation hydraulique	65

CHAPITRE IV : MODELISATION DE LA QUALITE DES EAUX	69
IV.1 Généralités sur la qualité des eaux	70
IV.1.1 Phénomène d'autoépuration des cours d'eau	70
IV.1.1.1 Paramètres influençant la vitesse de biodégradabilité	71
IV.1.1.2 Expressions mathématiques de la biodégradation	72
IV.1.2 Principaux descripteurs de la qualité de l'eau	77
IV.1.2.1 Paramètres physiques	77
IV.1.2.2 Paramètres chimiques	79
IV.1.2.3 Paramètres bactériologiques	82
IV.1.2.4 Paramètres biologiques	83
IV.1.3 Seuils des différentes classes de pollution d'eau	83
IV.2 Application du modèle qualité du HEC-RAS	85
IV.2.1 Données de base pour la modélisation de la qualité des eaux	85
IV.2.1.1 Stations d'échantillonnage	85
IV.2.1.2 Constituants de la qualité d'eau	87
IV.2.1.3 Détermination des tronçons de la qualité d'eau	87
IV.2.1.4 Introduction des séries chronologiques des paramètres d'analyse	88
IV.2.1.5 Introduction des conditions initiales	89
IV.2.1.6 Introduction du coefficient de dispersion	89
IV.2.1.7 Introduction des données météorologiques	90
IV.2.2 Modélisation des Paramètres nutritifs	94
IV.2.2.1 Influence de la température sur les réactions	95
IV.2.2.2 Les Algues	95
IV.2.2.3 Les substances azotées	96
IV.2.2.4 Les produits phosphatés	99
IV.2.2.5 Demande biologique d'oxygène carbonée	100
IV.2.2.6 L'Oxygène dissous	100
IV-3 Discussion des résultats	102
IV.3.1 Modélisation de la matière en suspension	106
IV.3.2 Modélisation de la minéralisation	109
IV-3-3 Modélisation de la pollution organique	113
IV.3.4 Modélisation des nutriments	121
IV.3.4.1 Modélisation des paramètres azotés	121
IV.3.4.2 Modélisation des phosphates	124
CONCLUSION GENERALE	130
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	132

RESUME

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la pollution dans le cours d'eau de Mouillah depuis la frontière jusqu'au barrage Boughrara et de simuler l'évolution spatiotemporelle des paramètres de pollution.

Cette étude se base sur l'application du logiciel HEC-RAS qui nous a permis dans un premier temps de procéder à la simulation hydraulique du cours d'eau de Mouillah et d'établir les profils de la surface d'eau en régime permanent dans plusieurs sections de l'oued, et dans un second temps, une simulation de la qualité des eaux.

Cette modélisation qualitative a été effectuée pour les principaux descripteurs de la qualité des eaux de Mouillah, à savoir : DBO5, DCO, l'oxygène dissous, les produits phosphatés, les substances azotés, les métaux lourds, les ions majeurs. Les résultats de simulation sont confrontés aux analyses de l'ANRH observés sur une période de trois années de 2007 à 2009.

Mots Clés : Mouillah, Barrage Hammam Boughrara, qualité des eaux, modélisation, HEC-RAS.

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I- 1 : Caractéristiques de forme du bassin de la Tafna et de ses sous bassins</i>	16
<i>Tableau I- 2 : Paramètres du relief des sous bassins de la Tafna</i>	18
<i>Tableau I- 3 : Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM</i>	18
<i>Tableau I- 4 : Classification du relief selon Ds</i>	18
<i>Tableau I- 5 : Paramètres hydrographiques de quelques sous bassin de la Tafna</i>	20
<i>Tableau I- 6 : Station de mesures pluviométriques dans la TAFNA</i>	21
<i>Tableau I- 7 : Pluviométrie mensuelles et annuelles au sous bassin Mouillah</i>	27
<i>Tableau I- 8 : Températures de l'air au niveau des stations de Béni Bahdel et Maghnia</i>	28
<i>Tableau I- 9 : Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mouillah</i>	29
<i>Tableau I- 10 : Distribution du couvert végétal dans le bassin d'oued Mouillah</i>	30
<i>Tableau II- 1: Caractéristiques du barrage Hammam Boughrara</i>	31
<i>Tableau II- 2 : Types d'engrais utilisés dans la plaine de Maghnia</i>	32
<i>Tableau II- 3 : Pesticides utilisés dans la plaine de Maghnia</i>	33
<i>Tableau II- 4 : Résultats d'analyse de la DBO et de la DCO à la frontières Algéro-Marocaine</i>	33
<i>Tableau II- 5: Résultats d'analyse des rejets de l'ENOF</i>	37
<i>Tableau II- 6 : Résultats d'analyse des rejets de l'ENCG</i>	39
<i>Tableau II- 7 : Résultats d'analyse des rejets de la maïserie ERIAD</i>	41
<i>Tableau II- 8 : Résultats d'analyse des rejets de CERTAF</i>	43
<i>Tableau II- 9 : Tableau récapitulatif des actions à entreprendre aux unités industrielles de Maghnia</i>	44
<i>Tableau III- 1: Différents modèles hydrauliques des cours d'eau</i>	50
<i>Tableau III- 2 : Valeurs des coefficients d'expansion et de contraction utilisés par HEC-RAS</i>	58
<i>Tableau III- 3 : Débits moyens caractéristiques d'Oued Mouillah</i>	64
<i>Tableau III- 4: Tableau des résultats de simulation hydraulique par le modèle HEC-RAS</i>	67
<i>Tableau IV- 1: Quelques processus de dégradation et d'oxydation et les valeurs correspondantes de température et pH optimaux ainsi que les intervalles où la croissance bactérienne a été observée.</i>	72
<i>Tableau IV- 2: Variation de la température en fonction de saturation de l'eau en oxygène dissous</i>	77
<i>Tableau IV- 3: Classification des eaux d'après leur pH</i>	77
<i>Tableau IV- 4: Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)</i>	78
<i>Tableau IV- 5: Seuils de la pollution organique</i>	83
<i>Tableau IV- 6 : Seuils déterminant le degré d'eutrophisation</i>	83
<i>Tableau IV- 7: Seuils de la pollution par les métaux lourds</i>	84
<i>Tableau IV- 8: Seuils de la pollution par les composés inorganiques</i>	84
<i>Tableau IV- 9: Seuils déterminants la salinité de l'eau</i>	84
<i>Tableau IV- 10: Valeurs de l'opacité en fonction du degré de couverture du ciel</i>	91
<i>Tableau IV- 11: Description physique de la station climatique de Maghnia</i>	91
<i>Tableau IV- 12: Température d'air de la station climatique de Maghnia</i>	92
<i>Tableau IV- 13: Vitesse du vent de la station climatique de Maghnia</i>	93
<i>Tableau IV- 14: Paramètres ajustables d'Algues et les gammes suggérées</i>	96
<i>Tableau IV- 15: Valeurs et gammes suggérées pour les substances azotées</i>	98
<i>Tableau IV- 16: Valeurs et gammes suggérées pour les produits phosphatés</i>	99
<i>Tableau IV- 17: Valeurs et gammes suggérées pour la DBOC</i>	100
<i>Tableau IV- 18: Valeurs et gammes suggérées pour l'oxygène dissous</i>	101
<i>Tableau IV- 19: Tableau de résultats de simulation de l'oxygène dissous dans le temps pour un tronçon déterminé</i>	103
<i>Tableau IV- 20 : Tableau de résultats de propagation de l'oxygène dissous dans l'espace pour une date précise</i>	104
<i>Tableau IV- 21 : Pourcentage des ions majeurs pour chaque tronçon de l'Oued Mouillah</i>	111

LISTE DES FIGURES

<i>Figure I-1 : Bassins versants de l'Algérie</i>	12
<i>Figure I-2 : Découpage du bassin hydrographique Oranie-Chott Chergui</i>	13
<i>Figure I-3 : Sous bassin de la Tafna</i>	13
<i>Figure I-4 : Chevelu hydrographique du bassin de la TAFNA</i>	14
<i>Figure I-5 : Pluviométrie moyenne annuelle des principales stations</i>	21
<i>Figure I-6 : Répartition spatiale des stations climatiques</i>	22
<i>Figure I-7 : Grands ouvrages hydrauliques situés dans le bassin de la TAFNA</i>	23
<i>Figure I-8 : Situation du sous bassin versant de l'Oued Mouillah</i>	26
<i>Figure I-9 : Carte lithologique du sous bassin versant d'oued Mouillah</i>	27
<i>Figure I-10 : Pluviométrie mensuelles au sous bassin Mouillah</i>	28
<i>Figure I-11 : Courbe Hypsométrique et histogramme de fréquences altimétriques du Bassin Oued Mouillah</i>	29
<i>Figure I-12 : Carte de pente du sous bassin Mouillah</i>	29
<i>Figure I-13 : Carte d'occupation du sol du sous-bassin d'oued Mouillah</i>	30
<i>Figure II- 1 : Localisation des sources de pollution industrielles</i>	35
<i>Figure II- 2: Station de traitement de l'ENOF</i>	36
<i>Figure II- 3: Procédé de traitement la station de ENCG</i>	38
<i>Figure II- 4: Station de traitement (bassins de neutralisations-décantations) à ERIAD</i>	40
<i>Figure II- 5: Schéma du processus d'épuration à CERTAF</i>	42
<i>Figure II- 6 : Evolution des paramètres d'analyses à la sortie de la STEP</i>	48
<i>Figure III- 1: Différentes pertes de charge dans un écoulement en lits composés</i>	49
<i>Figure III- 2: Notations utilisées dans les équations de Saint Venant</i>	51
<i>Figure III- 3: Schématisation de la géométrie d'une rivière</i>	52
<i>Figure III- 4 : Représentation des limites dans l'équation d'énergie</i>	55
<i>Figure III- 5: Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS</i>	56
<i>Figure III- 6 : Exemple de calcul de l'énergie moyenne</i>	56
<i>Figure III- 7 : Détermination de la profondeur critique</i>	59
<i>Figure III- 8 : Contrôle du volume élémentaire pour la dérivation des équations de continuité et de la quantité de mouvement</i>	60
<i>Figure III- 9: Subdivision d'un cours d'eau</i>	61
<i>Figure III- 10: Plan topographique d'Oued Mouillah (Autocad)</i>	61
<i>Figure III- 11: Exemple sur l'introduction de la géométrie des sections dans le modèle HEC-RAS</i>	63
<i>Figure III- 12: Schéma de système de rivière</i>	63
<i>Figure III- 13: L'introduction du débit d'entrée et conditions aux limites dans le modèle HEC-RAS</i>	64
<i>Figure III- 14: Plan du profil de la surface d'eau</i>	65
<i>Figure III- 15: Plan en trois dimensions du modèle géométrique simulé</i>	65
<i>Figure III- 16: Exemple du niveau d'eau pour une section transversale</i>	66
<i>Figure IV- 1: Positionnement des points de prélèvement au niveau de la diguette</i>	85
<i>Figure IV- 2: Vue bief aval de la diguette sur oued Mouillah</i>	86
<i>Figure IV- 3: Détermination de la longueur des tronçons dans le modèle</i>	87
<i>Figure IV- 4: Exemple d'introduction de série chronologique pour la température d'eau</i>	88
<i>Figure IV- 5: Introduction des conditions initiales de la qualité de l'eau à la section amont</i>	89
<i>Figure IV- 6: Introduction du coefficient de dispersion</i>	89
<i>Figure IV- 7: Introduction des paramètres physiques de la station climatique de Maghnia</i>	91
<i>Figure IV- 8: Introduction de la température d'air de la station climatique de Maghnia</i>	92
<i>Figure IV- 9: Introduction de la vitesse du vent de la station climatique de Maghnia</i>	93
<i>Figure IV- 10: Schéma descriptif de la modélisation des paramètres nutritifs</i>	94
<i>Figure IV- 11 : Evolution de l'oxygène dissous dans le temps pour un tronçon déterminé</i>	102
<i>Figure IV- 12: Graphe de propagation de l'oxygène dissous dans l'espace pour une date précise</i>	104

Figure IV- 13 : Schéma du système de rivière de propagation d'oxygène dissous le long du cours d'eau pour une date précise	105
Figure IV- 14 : évolution de la matière en suspension dans le temps à Oued Ouerdeffou	106
Figure IV- 15 : évolution de la matière en suspension dans le temps à la frontière	106
Figure IV- 16: évolution de la matière en suspension dans le temps à la sortie de la STEP	107
Figure IV- 17: évolution de la matière en suspension dans le temps au barrage Boughrara	107
Figure IV- 18 : Graphes de propagation de la matière en suspension dans l'espace le 17/09/2007	108
Figure IV- 19 : Schéma du système de rivière de propagation la matière en suspension dans l'espace le 17/09/2007	108
Figure IV- 20: évolution de la minéralisation dans le temps à la frontière	109
Figure IV- 21 : évolution de la minéralisation dans le temps à oued Ouerdeffou	109
Figure IV- 22: évolution de la minéralisation dans le temps à la sortie de la STEP	110
Figure IV- 23: évolution de la minéralisation dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara	110
Figure IV- 24 : Graphes de propagation de la minéralisation dans l'espace le 26/02/2007	112
Figure IV- 25 : Schéma du système de rivière de propagation de la minéralisation dans l'espace le 26/02/2007	112
Figure IV- 26: évolution de l'oxygène dissous dans le temps à la frontière	113
Figure IV- 27: évolution de la DBO dans le temps à la frontière	113
Figure IV- 28: évolution de la DCO dans le temps à la frontière	113
Figure IV- 29: évolution de l'oxygène dissous dans le temps à oued Ouerdeffou	114
Figure IV- 30 : évolution de la DBO dans le temps à oued Ouerdeffou	114
Figure IV- 31 : évolution de la DCO dans le temps à oued Ouerdeffou	115
Figure IV- 32: évolution de l'oxygène dissous dans le temps à la sortie de la STEP	116
Figure IV- 33: évolution de la DBO dans le temps à la sortie de la STEP	116
Figure IV- 34 : évolution de la DCO dans le temps à la sortie de la STEP	116
Figure IV- 35: évolution de l'oxygène dissous dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara	117
Figure IV- 36: évolution de la DBO dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara	117
Figure IV- 37 : évolution de la DCO dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara	117
Figure IV- 38 : Graphes de propagation de l'oxygène dissous dans l'espace le 29/12/2008	118
Figure IV- 39 : Graphes de propagation de la DBO dans l'espace le 29/12/2008	118
Figure IV- 40 : Graphes de propagation de la DCO dans l'espace le 29/12/2008	119
Figure IV- 41 : Schéma de système de rivière de propagation de l'oxygène dissous le 29/12/2008	119
Figure IV- 42 : Schéma du système de rivière de propagation de la DBO le 29/12/2008	119
Figure IV- 43 : Schéma de système de rivière de propagation de la DCO le 29/12/2008	120
Figure IV- 44: évolution de l'ammonium NH ₄ dans le temps à la frontière	121
Figure IV- 45: évolution de l'ammonium NH ₄ dans le temps à oued Ouerdeffou	121
Figure IV- 46: évolution de l'ammonium NH ₄ dans le temps à la sortie de la STEP	121
Figure IV- 47: évolution de l'ammonium NH ₄ dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara	121
Figure IV- 48 : Graphes de propagation de l'ammonium NH ₄ dans l'espace le 26/01/2009	123
Figure IV- 49 : Schéma de système de rivière de propagation de l'ammonium NH ₄ le 26/01/2009	123
Figure IV- 50 : évolution du phosphore organique dans le temps à la frontière	124
Figure IV- 51 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à la frontière	124
Figure IV- 52 : évolution du phosphore organique dans le temps à oued Ouerdeffou	124
Figure IV- 53 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à oued Ouerdeffou	124
Figure IV- 54 : évolution du phosphore organique dans le temps à la sortie de la STEP	125
Figure IV- 55 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à la sortie de la STEP	125
Figure IV- 56 : évolution du phosphore organique dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara	125
Figure IV- 57 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara	125
Figure IV- 58 : Graphes de propagation du phosphore organique dans l'espace le 12/01/2009	127
Figure IV- 59 : Graphes de propagation du PO ₄ dans l'espace le 12/01/2009	128
Figure IV- 60 : Schéma de système de rivière de propagation du phosphore organique le 12/01/2009	128
Figure IV- 61: Schéma de système de rivière de propagation du PO ₄ le 12/01/2009	129

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément très précieux, c'est un aliment, un produit indispensable à l'hygiène, un facteur essentiel de l'écologie, une matière première agricole et industrielle, une ressource énergétique. C'est la ressource à la fois la plus importante et la plus compromise, car elle est aussi vecteur de pathologies (MTH).

En Algérie, la ressource en eau est exposée à deux grands problèmes :

- La sécheresse due aux précipitations très faibles est surtout irrégulières,
- La pollution qui est due à la mauvaise gestion des rejets urbains domestiques et industriels et aux activités agricoles.

La plupart de nos cours d'eau jouent actuellement un rôle de réceptacle et de transport des différents affluents, que ce soit urbains, industriels ou agricoles. Dans la perspective de remédier à cette situation, on espère apporter une contribution utile grâce à l'évaluation de la pollution du cours d'eau de Mouillah située dans le bassin versant de la Tafna.

La Tafna est un bassin versant frontalier qui constitue le plus important réservoir potentiel des ressources superficielles et souterraines du bassin hydrographique de l'Oranie-Chott-Chergui. Il est marqué par des points noirs à savoir un barrage frontalier (pollution du barrage Hammam Boughrara) contaminé par des eaux usées provenant du Maroc et de la zone industrielle de Maghnia.

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

L'objectif de ce travail est l'étude du transport des polluants avec réaction et pouvoir auto-épurateur du cours d'eau Mouillah jusqu'au barrage Hammam Boughrara. Une simulation hydraulique du cours d'eau Mouillah a été tout d'abord effectuée afin d'établir les profils de la surface d'eau en régime permanent dans plusieurs sections de l'oued, suivie d'une simulation de l'évolution spatiotemporelle de la qualité de ses eaux.

Cette modélisation qualitative a été effectuée pour les principaux polluants de la qualité des eaux de Mouillah (DBO5, DCO, oxygène dissous, les produits phosphatés, les substances azotés, les métaux lourds, les ions majeurs), et suivre leur évolution spatiotemporelle tout le long du cours d'eau afin d'estimer leur concentration au niveau de l'exutoire barrage Boughrara.

Pour réaliser ce travail, le mémoire présenté se structure en 03 parties. La première partie présente les principales caractéristiques du bassin versant de la TAFNA et le sous bassin de Mouillah. La seconde partie présente l'environnement du barrage Hammam Boughrara et les vecteurs de pollution qui affectent ce dernier. Enfin, la troisième partie qui constitue une partie centrale, étudie un ensemble de simulation hydraulique et qualitative du cours d'eau Mouillah avec leurs effets sur le barrage.

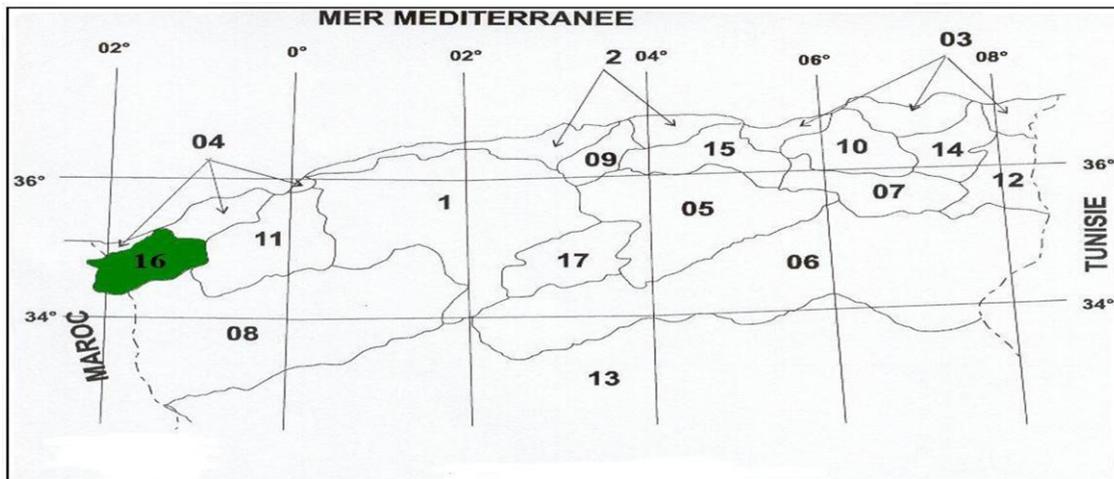
CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Présentation du bassin versant de la TAFNA

I.1.1 Situation Géographique

Le bassin de la Tafna est le bassin numéro 16 de l'ensemble des bassins d'Algérie, selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, ANRH.



1- Cheliff	2- Côtiers algérois	3- Côtiers Constantinois	4- Côtiers Oranais
5- Chott El- Hodna	6- Chott Melrhir	7- Hauts plateaux Constantinois	
8- Hauts plateaux oranais	9- Isser	10- Kebir Rhumel	11- Macta
12- Medjerdah	13- Sahara	14- Seybouse	15- Soummam
		16- Tafna	17- Zahrez

Figure I-1 : Bassins versants de l'Algérie [1]

Le bassin de la TAFNA se situe dans la partie Nord – Ouest de la région Oranie – Chott el Chergui, il est limité :

- Au Nord par le sous bassin Côtier Oranais Occidental
- Au Nord Est par le sous bassin Côtier Oranais Central
- A l'Est par le bassin de la Macta
- Au sud par le bassin de Chott - Chergui
- A l'ouest par le Maroc.

Deux Wilaya sont intégrées dans le bassin : Tlemcen et Ain Temouchent et une partie du bassin est incluse dans le territoire Marocain.

La superficie totale dans le territoire Algérien est de 5340 Km², en incluant la surface située dans le territoire Marocain de 1905 Km², le bassin est d'une surface totale de 7245 Km².

38 Communes sont intégrées dans le bassin de la Tafna dont trente-cinq de la wilaya de Tlemcen et trois de la wilaya d'Ain Temouchent.

Selon le recensement général de 1998 la population du bassin de la Tafna était estimée à 685 615 Habitants répartis à travers 38 communes.

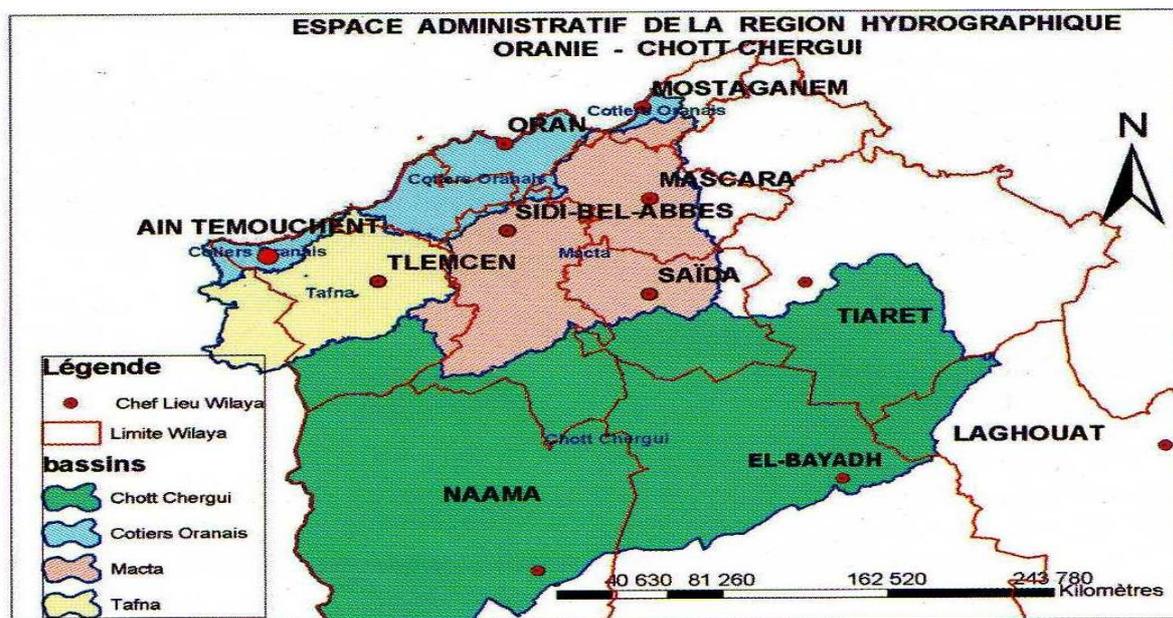


Figure I-2 : Découpage du bassin hydrographique Oranie-Chott Chergui [2]

1.1.2 Découpage du bassin de la TAFNA

Le bassin de la Tafna est subdivisé en huit sous bassins :

1. Sous-bassin d'Oued Mouillah ;
2. Sous-bassin d'Oued Boukiou ;
3. Sous-bassin d'Oued Ouerdeffou ;
4. Sous-bassin d'Ennechef ;
5. Sous-bassin d'Oued Sikkak ;
6. Sous-bassin d'Oued Isser (Remchi) ;
7. Sous-bassin d'Oued Lakhdar (Chouly) ;
8. Sous-bassin d'Oued Isser (Bensekrane).

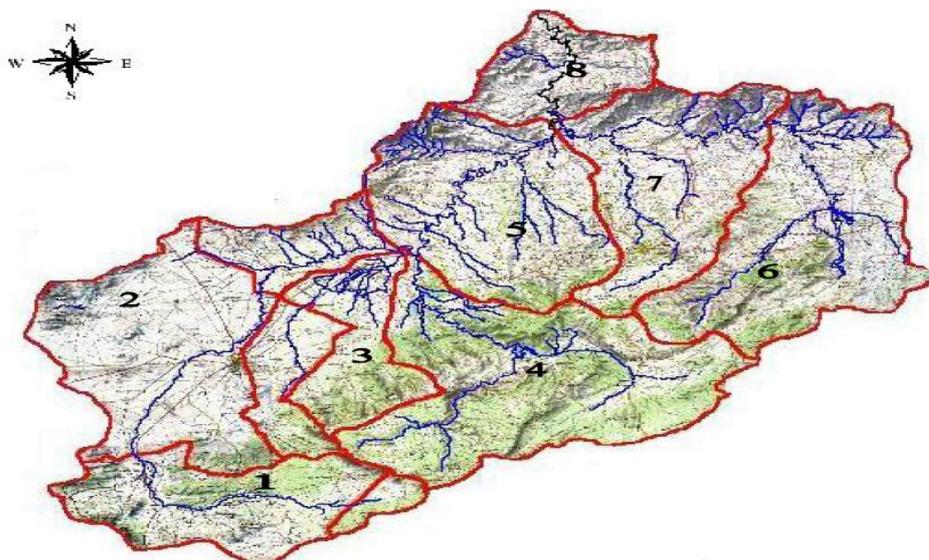


Figure I-3 : Sous bassin de la Tafna [1]

I.1.3 Hydrographie du bassin versant de la Tafna

Le relief et l'imperméabilité des terrains ont permis la naissance d'un réseau hydrographique important qui se jette dans la Tafna.

Le réseau hydrographique du bassin de la Tafna est constitué essentiellement du cours d'eau principal, prenant le nom de la Tafna (170 Km de long), et ses deux principaux affluents : oued Mouillah à l'Ouest et oued Isser à l'Est. L'oued Tafna prend sa source à partir des monts de Tlemcen formant ainsi la haute Tafna avec la confluence d'oued Khemis à Béni-bahdel. L'oued Mouillah se trouvant dans la partie ouest draine une grande partie du territoire marocain. Quant à l'oued Isser, prenant sa source dans les monts de Tlemcen également, draine la partie Est du bassin de la Tafna et prend confluence avec l'oued Sikkak.

Le bassin de la Tafna est caractérisé par un climat Semi-aride, il est constitué d'une multitude d'Oueds dont les débits en période d'étiage sont nuls.

La figure (I-4) montre ce réseau hydrographique formé par les principales artères.

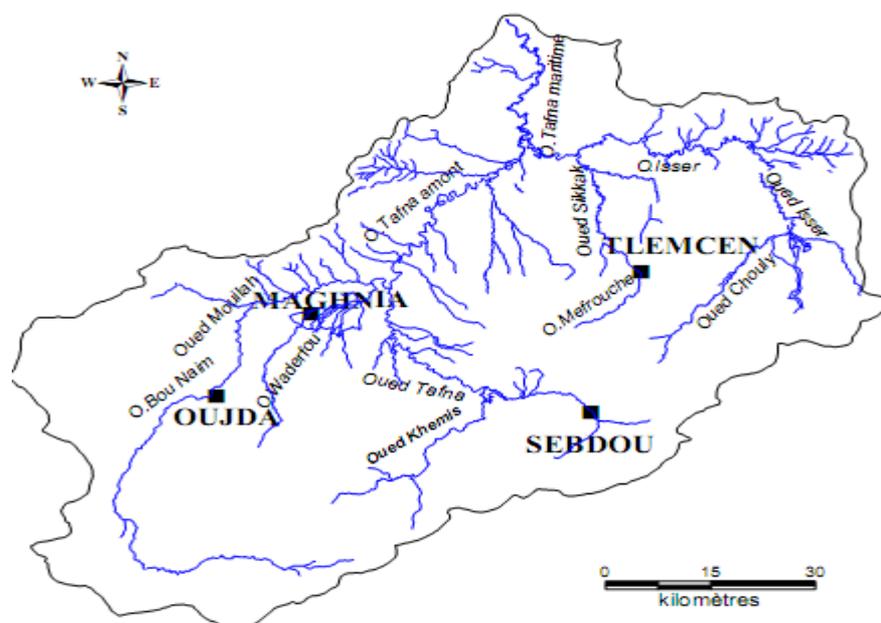


Figure I-4 : Chevelu hydrographique du bassin de la TAFNA [1]

L'écoulement dans les oueds du bassin versant de la Tafna est caractérisé par:

- Une forte dépendance aux précipitations;
- Une forte irrégularité inter-mensuelle et inter-annuelle;
- Des crues à très fort débit instantané à différentes périodes de retours; pouvant engendrer des inondations;
- Un débit d'étiage très faible à nul, s'étalant du mois de juin au mois de septembre.

1.1.4 Morphométrie du bassin versant de la Tafna

La réponse d'un bassin versant à des précipitations dépend d'un nombre important de paramètres. Parmi lesquels, certains sont difficilement quantifiables comme ceux se rapportant, à la couverture végétale, etc. Par contre, d'autres paramètres ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée. Ce sont les paramètres morphométriques (forme, altitude, pente du relief, etc.) qui influencent fortement la réponse hydrologique d'un bassin versant et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Il est donc intéressant de quantifier ces paramètres par des termes simples qui permettront la schématisation du bassin versant.

Dans ce qui suit, on expose sommairement les principaux paramètres d'ordre morphométrique, de relief et hydrographique qui permettent de caractériser le bassin versant de la Tafna. Rappelons que ce dernier s'étend sur la wilaya de Tlemcen en se prolongeant vers le royaume du Maroc sur lequel on distingue trois grandes zones à savoir :

- **Zone Est** : Elle correspond aux sous bassins versants (06) et (07). Ses principaux oueds sont Oued Chouly, Oued Isser et Oued Sikkak et son confluent Oued Mefrouche.
- **Zone Ouest ou haute Tafna** : Elle correspond aux sous bassins versants (01), (02), (03) et (04). Ses principaux oueds sont Oued Tafna, Oued Mouillah et Oued Khemis.
- **Zone Nord ou moyenne et basse Tafna** : Elle correspond aux sous bassins versants (05) et (08). Elle débute pratiquement au poste Tafna et s'étend jusqu'à son embouchure avec la mer. Les drains principaux de cette zone sont l'oued Tafna avec Oued Zitoun du coté sud et Oued Boukiou du coté nord.

1.1.4.1/ Paramètres de forme

❖ Superficie du bassin versant

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations, sa surface peut être déterminée par planimétrie sur des cartes d'échelles convenables ou en utilisant les techniques de digitalisation actuelles.

❖ Rectangle équivalent

Un autre paramètre permet de comparer les bassins versant entre eux, c'est le rectangle équivalent. C'est une transformation purement géométrique où la forme du bassin est rendue comme étant celle d'un rectangle ayant même périmètre et même superficie que le bassin versant. La largeur et la longueur de ce rectangle sont déterminées en utilisant les relations suivantes :

$$l_{RE} = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (1)$$

$$L_{RE} = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (2)$$

Où :

l_{RE} : largeur du rectangle équivalent ;

L_{RE} : longueur du rectangle équivalent ;

A : superficie du bassin versant ;

K_c : coefficient de compacité ou de Gravelius, déterminé par l'équation (3)

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Avec P : périmètre du bassin versant.

Bassins	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Kc	Rectangle équivalent	
				Longueur (Km)	Largeur (Km)
(01) Mouillah	2630	230	1.25	92.5	35.6
(02) Boukiou	114	58	1.52	27.2	5.2
(03) Ouerdeffou	640	130	1.43	58.6	13.7
(04) En Nachef	85	46.7	1.41	20.9	5.1
(05) Sikkak	460	116	1.51	54.1	10.6
(06) Isser (Remchi)	1925	180	1.14	59.3	40.7
(07) Chouly	170	60	1.28	24.7	8.6
(08) Isser (Bensekrane)	1221	150	1.2	56.9	26.8
Global	7245	410	1.34	192.9	47.1

Tableau I- 1 : Caractéristiques de forme du bassin de la Tafna et de ses sous bassins [1]

A partir du tableau ci-dessus on peut caractériser les sous bassins (01), (06), (07) et (08) comme assez compactes ($K_c < 1,3$) favorisant des temps de concentration plus court, le sous bassin le plus compacte est celui de Isser (Remchi). Comme on peut caractériser les autres sous bassin comme assez allongés ($K_c > 1,3$).

Les sous bassins de la Tafna présentent, dans l'ensemble une forme assez ramassée, favorisant à priori, le temps de concentration des eaux de ruissellement. Mais d'autres paramètres tels que le relief peuvent mieux faire apprécier les caractéristiques du ruissellement.

1.1.4.2/ Paramètres de relief

❖ **Courbe hypsométrique**

La plupart des phénomènes hydrologiques et climatologiques sont directement liés à l'altitude. La courbe hypsométrique est utilisée pour représenter la répartition des altitudes dans le bassin. La forme de cette courbe donne une certaine idée sur les pentes du bassin et leur variation en altitude, et permet d'apprécier le potentiel érosif du bassin versant.

❖ **Altitudes caractéristiques**

Certaines altitudes sont caractéristiques pour un bassin versant. Elles donnent des indications supplémentaires sur le potentiel érosif du bassin, et sont représentées par :

- L'altitude moyenne correspondante à la moyenne de la courbe hypsométrique ;
- L'altitude la plus fréquente définie par le maximum de la courbe des fréquences altimétriques ;
- L'altitude de fréquence $\frac{1}{2}$ défini par l'altitude correspondante au point d'abscisse $\frac{1}{2}$ de la courbe des fréquences altimétriques.

❖ Les indices des pentes

Le relief d'un bassin est caractérisé par des indices influençant le régime hydrologique, représentant par :

- L'indice de pente donné par :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_{RE}}} \sum_{i=1}^n \sqrt{B_i(a - a_{i-1})} \quad (4)$$

Où :

L_{RE} : représente la longueur du rectangle équivalent ;

B_i : la fraction en pour cent de la surface comprise entre les altitudes a_{i-1} et a_i .

- L'indice de pente global I_g caractérisant la pente d'un bassin et déterminé à partir la relation suivante :

$$I_g = \frac{H_{95\%} - H_{5\%}}{L_{RE}} \quad (5)$$

Où :

$H_{95\%}$ et $H_{5\%}$: représente l'altitude correspondant respectivement à 95% et à 5% de la surface totale du bassin.

- L'indice de pente moyen I_m utilisé dans les mêmes conditions que le précédent. Il est donné par :

$$I_m = \frac{D_{max}}{L} \quad (6)$$

Avec :

D_{max} : la différence entre les altitudes extrêmes du bassin versant ;

- La dénivelée spécifique D_s servant à la classification des bassins en fonction de leurs reliefs. Elle est donnée par :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A} \quad (7)$$

Où : A est la surface du bassin versant.

<i>sous bassin</i>	I_p	I_g	D_s	<i>Relief selon I_g</i>	<i>Relief selon D_s</i>
(01) <i>Mouillah</i>	1.16	0.012	615.4	Modéré	Très Fort
(02) <i>Boukiou</i>	1.65	0.020	213.35	Assez Fort	Assez Fort
(03) <i>Ouerdeffou</i>	0.50	0.011	278.28	Modéré	Fort
(04) <i>Ennechef</i>	0.44	0.016	147.51	Modéré	Assez Fort
(05) <i>Sikkak</i>	1.52	0.021	450.4	Assez Fort	Fort
(06) <i>Isser (remchi)</i>	0.15	0.013	570.37	Modéré	Très Fort
(07) <i>Chouly</i>	0.19	0.037	482.42	Assez Fort	Fort
(08) <i>Isser(Bensekrane)</i>	0.123	0.012	401.77	Modéré	Fort

Tableau I- 2 : Paramètres du relief des sous bassins de la Tafna [4]

Le relief du bassin versant de la Tafna est très varié, selon I_g par l'Orstom le relief du bassin est généralement modéré à cause vraisemblablement de l'influence de la surface.

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

Tableau I- 3 : Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM [4]

Les valeurs de D_s renseignent sur le caractère assez montagneux du bassin de la Tafna et sur la forte inclinaison du relief.

$D_s < 10$ m	Relief très faible
10 m $< D_s < 25$ m	Relief faible
25 m $< D_s < 50$ m	Relief assez faible
50 m $< D_s < 100$ m	Relief modéré
100 m $< D_s < 250$ m	Relief assez fort
250 m $< D_s < 500$ m	Relief fort
$D_s > 500$ m	Relief très fort

Tableau I- 4 : Classification du relief selon D_s [4]

I.1.4.3/ Paramètres hydrographiques❖ **Densité de drainage**

La densité de drainage (D_d), exprimée en km/km², est définie pour un bassin donné par la relation suivante:

$$D_d = \frac{\sum_1^n L_x}{A} \quad (8)$$

Avec :

L_x : Longueur de la rivière d'ordre x (km) ;

$\sum_1^n L_x$: Longueur totale du réseau hydrographique ;

A : Superficie du bassin versant.

❖ **Rapport de confluence**

C'est le rapport du nombre de talwegs d'ordre x et de celui des talwegs d'ordre immédiatement supérieur ($x+1$). Il est donné par la relation suivante :

$$R_C = \frac{N_x}{N_{x+1}} \quad (9)$$

❖ **Rapport de longueur**

C'est le rapport entre la longueur moyenne des talwegs d'ordre ($x+1$) par celle des talwegs d'ordre immédiatement inférieur (x). Ce rapport est donné par la relation suivante :

$$R_L = \frac{L_{x+1}}{L_x} \quad (10)$$

❖ **Coefficient de torrentialité**

C'est un coefficient qui tient compte à la fois du nombre de talwegs élémentaires d'ordre 1 et la densité de drainage. Il est donné par:

$$C_t = D_d \cdot F_1 \quad (11)$$

Où :

D_d : densité de drainage (km/km²) ;

F_1 : densité des talwegs élémentaires déterminée par :

$$F_1 = \frac{N_1}{A} \quad (12)$$

Où :

N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1 ;

A : superficie du bassin versant (km²).

❖ Temps de concentration

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, pour son calcul, on fait appel à la formule de Giandotti :

$$T_c = 4 (A + 1.5 L)^{1/2} / 0.8 (H_{moy} - H_{min})^{1/2}$$

Où,

T_c : temps de concentration (heures)

A : superficie du bassin (km²)

L : longueur du thalweg principal (km)

H_{moy} : altitude moyenne (m)

H_{min} : altitude minimale (m)

Le temps de concentration des eaux est non seulement en fonction de la surface mais dépend aussi de la lithologie, la pluviométrie et le relief. En effet, deux bassins ayant la même superficie ne se comportent pas forcément de la même façon.

<i>Bassins</i>	<i>Dd</i>	<i>Rc</i>	<i>RL</i>	<i>Coefficient de torrentialité Ct</i>	<i>Temps de concentration Tc</i>
<i>Oued Mouilah</i>	0,16	3,88	2,34	0,0032	20h 30 min
<i>Oued En Nchef</i>	2,51	3,37	1,82		
<i>Oued Sikkak</i>	1,51	3,76	2,63	1,9	9h 30 min
<i>Oued Chouly</i>	0,61	3,76	2,81	2,7	5h 15 min
<i>Oued Isser (Bensekrane)</i>	1,08	3,70	2,08	2,1	14h 30 min
<i>Oued Boukiou</i>	2,97	4,25	2,83	26,9	6h 00 min

Tableau I- 5 : Paramètres hydrographiques de quelques sous bassin de la Tafna [4]

Les valeurs élevées du coefficient de torrentialité correspondent respectivement aux chevelus hydrographiques issus d'un secteur montagneux et pluvieux (cas d'oued Boukiou). Par contre, les basses valeurs des autres bassins, sont liées soit à la faiblesse des précipitations, ou encore à la forte perméabilité des formations lithologiques.

1.1.5 Climatologie du bassin versant de la TAFNA

En Algérie, on distingue deux climats prépondérants :

- Un climat chaud et sec au sud (Sahara) recevant moins de 250 mm/an de pluie ;
- Un climat semi-aride dans le Nord recevant moins de 500 mm/an de pluie.

Le bassin de la TAFNA, par sa position, présente un climat semi-aride, un climat doux et humide. La pluviométrie moyenne annuelle est de 450 mm/an, présentant deux périodes dont l'une est humide fraîche s'étend du mois d'Octobre au moi de Mai avec des pluies assez irrégulières, l'autre saison sèche plus chaude s'étend du mois de juin à septembre avec une pluviométrie faible. [2]

➤ Station de mesures pluviométriques dans la TAFNA

Code Station	Nom Station	X(M)	Y(M)	Etat Station
160303	El Abed	97.2	140.2	Fonctionnelle
160401	Maghnia	90.6	174.6	Fonctionnelle
160403	B-Ouassine	90.8	180.7	Fonctionnelle
160406	Sebdou	131.2	158.5	Fonctionnelle
160407	Béni-Bahdel	115	164.6	Fonctionnelle
160502	S/Medjahed	102.8	173.1	Fonctionnelle
160516	H. Boughrara	103.7	185.8	Fonctionnelle
160517	Sabra	115.1	178.7	Fonctionnelle
160518	Hennaya	126.7	188.2	Fonctionnelle
160601	Oued Chouly	149.63	181.06	Fonctionnelle
160602	Dj.Chouachi	118.9	202.9	Fonctionnelle
160607	Ouled Mimoun	158.4	184.9	Fonctionnelle
160608	Sgourari	152.3	172.9	Fonctionnelle
160609	Sheriz	161.1	199.1	A l'arrêt
160610	S.Bounakhla	158.5	200.4	Fonctionnelle
160613	Izdihar Barrage	152.5	205.4	Fonctionnelle
160701	Barrage Meffrouche	135.75	179.7	Fonctionnelle
160702	Benskrane	143.4	205.3	Fonctionnelle
160705	Lala Setti	133.9	181.8	Fonctionnelle
160724	Tlemcen	132.2	182.7	Fonctionnelle
160802	Pierre Du Chat	122.4	213.2	Fonctionnelle

Tableau I- 6 : Station de mesures pluviométriques dans la TAFNA [2]

➤ Pluviométrie moyenne annuelle des principales stations (1972-2001)

La connaissance des précipitations annuelles demeure nécessaire pour la détermination du bilan moyen annuel de l'écoulement. Elles permettent également de cerner la variabilité des précipitations sur de longues périodes. C'est ainsi que la figure suivante nous montre la variabilité spatiale de la pluie annuelle dans les limites de tout le bassin de la Tafna. On remarque que la pluie diminue en s'éloignant du littoral à cause de l'appauvrissement de l'atmosphère en vapeur d'eau, lors du passage des courants aériens en franchissant les chaînes montagneuses.

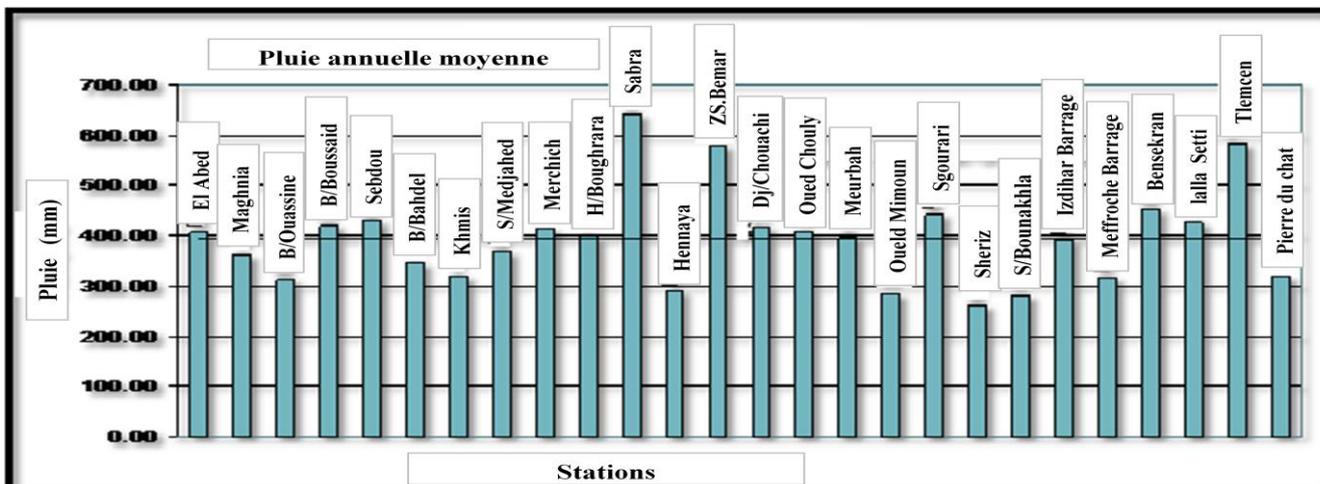


Figure I-5 : Pluviométrie moyenne annuelle des principales stations [3]

➤ *Température et évapotranspiration*

Le régime thermique est caractérisé par des températures moyennes annuelles variant entre :

7,1 °C et 28,5 °C pour la station de Béni Bahdel

0,6 °C et 25,1 °C pour la station de Meffrouche

8,7 °C et 29,1 °C pour la station de H. Boughrara

Pour la majeure partie du bassin l'évapotranspiration est de 1288 mm.

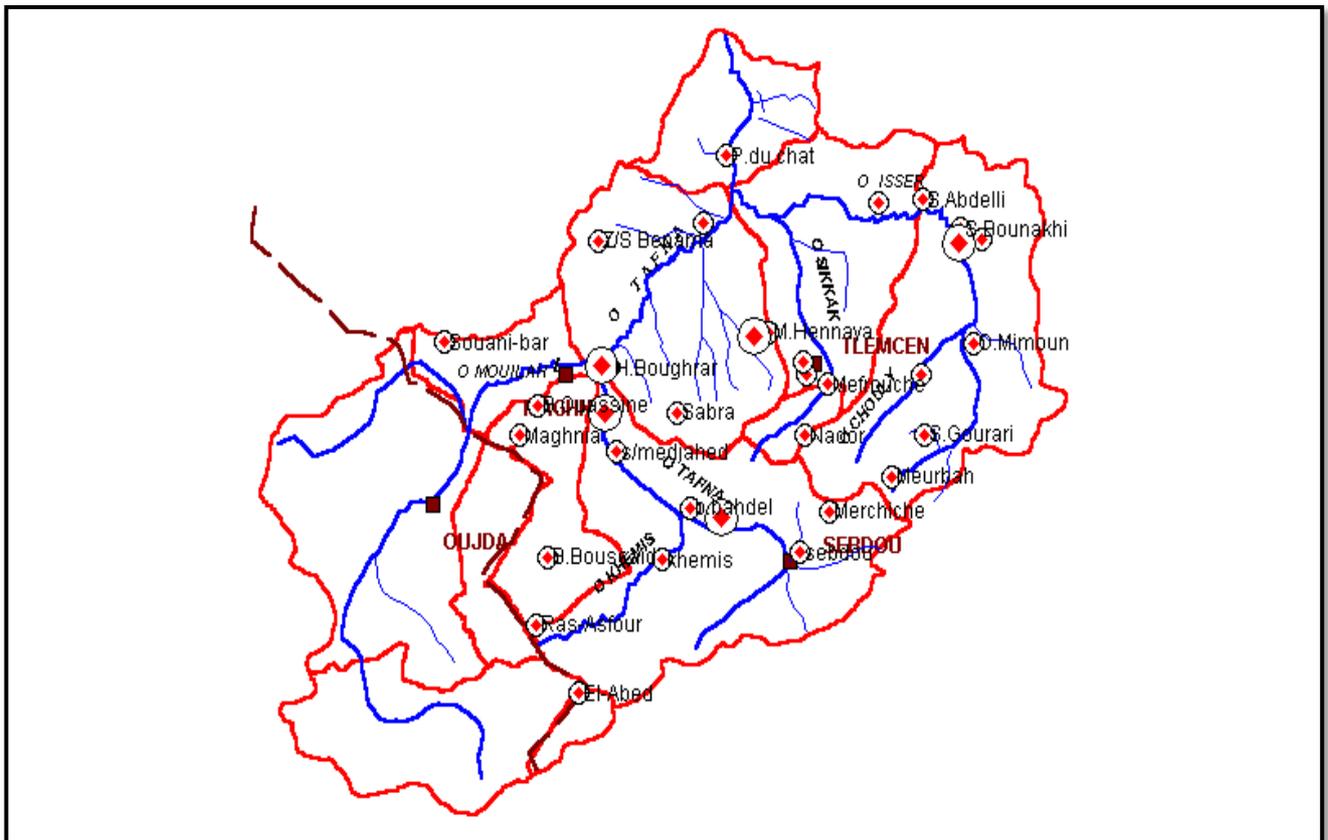


Figure I-6 : Répartition spatiale des stations climatiques [3]

I.1.6 Ouvrage de mobilisation des ressources en eau dans le bassin versant de la TAFNA

Dans le bassin de la Tafna, de nombreuses infrastructures de mobilisation ont été réalisées pour satisfaire les besoins en eau domestique, industrielle et agricole. Il s'agit de:

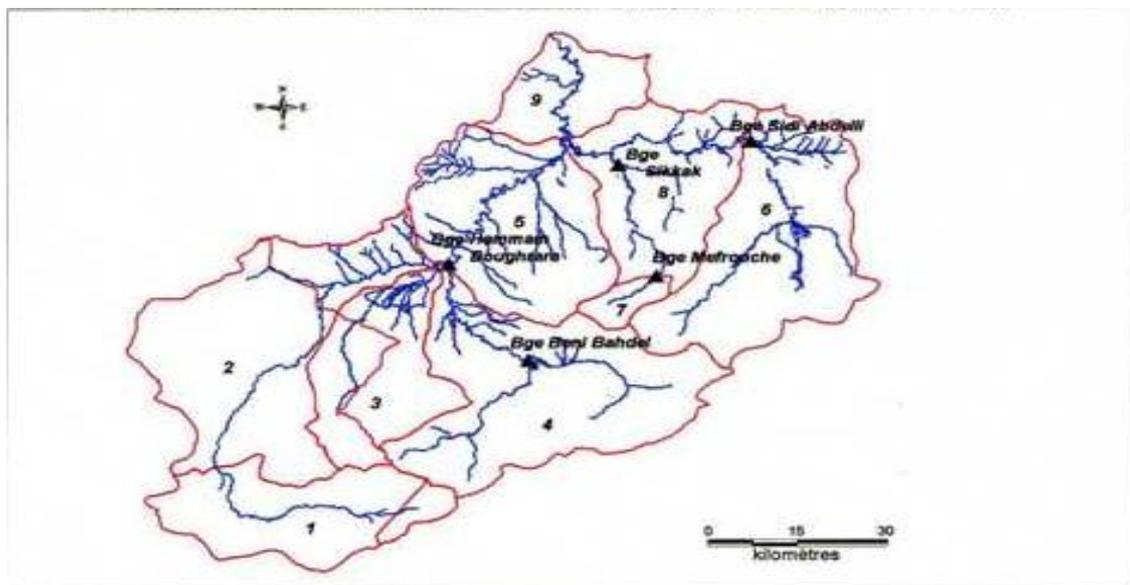


Figure I-7 : Grands ouvrages hydrauliques situés dans le bassin de la TAFNA [1]

➤ **Barrage Beni Bahdel**

Il est situé au confluent des oueds Tafna et Khémis à 28 Km au Sud-Ouest de Tlemcen, et contrôle un bassin versant de 1.016 Km². Conçu initialement pour assurer l'irrigation du périmètre de Maghnia (4250 Ha), il a été utilisé par la suite pour l'alimentation de la ville d'Oran et la production de l'énergie hydroélectrique. Pendant ces dernières années de sécheresse, les apports annuels ont fortement diminué et ils sont estimés à 74 Hm³/an.

➤ **Barrage d'El-Mefrouche**

Edifié sur l'oued El-Mefrouch (Sikkak supérieur), il est situé à environ 4 Km au Sud-Est de la ville de Tlemcen et contrôle un bassin versant de 90 Km². Le barrage d'El-Mefrouche, dont la capacité est de 15 Hm³, a été construit entre 1957 et 1963 pour assurer l'alimentation en eau de la ville de Tlemcen et l'irrigation d'un petit périmètre de Tlemcen. Les apports annuels sont estimés à 14 Hm³.

➤ **Barrage de Sidi Abdelli**

Situé sur l'oued Isser (affluent rive droite de la Tafna) à 20 km au Nord-Est de Tlemcen, il contrôle un bassin versant de 1137 Km² dont l'apport annuel est de 61 Hm³. Le barrage, dont la capacité est de 110 Hm³, a été mis en exploitation en 1988. Il est utilisé actuellement pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran, Sidi-Bel Abbes avec sa zone industrielle et ses agglomérations situées dans le couloir. Il est utilisé parfois pour soutenir les débits prélevés au niveau de la prise de la Tafna par des lâchés.

➤ **La Prise de la TAFNA**

Cet ouvrage de prise est réalisé sur l'oued Tafna. Il permet de transférer vers Oran, d'une part les débits non contrôlés par les barrages en amont, et d'autre part les lâchés du barrage de Sidi Abdelli. Une conduite d'adduction a été réalisée pour assurer le transfert entre le barrage de Hammam-Bouhrara vers la prise de Tafna et le cratère de Dzioua.

➤ **Barrage de Hammam Bouhrara**

Le barrage de Hammam Bouhrara est un ouvrage stratégique à caractère régional, il régularise les eaux de l'Oued Tafna entre Béni-Bahdel et le village de Bouhrara ainsi que les eaux d'Oued Mouillah, il contrôle un bassin versant de 2984 Hm³, avec une capacité de 177 Hm³. Il est destiné à rentabiliser la prise de Tafna en régularisant les débits transférés vers Oran, compenser les débits lâchés à partir du barrage Sidi-Abdelli et combler les déficits en eau potable et en eau d'irrigation constatés dans la région de Maghnia et Ghazaouet.

Le site du barrage de Hammam Bouhrara constitue l'exutoire principal de l'oued BouNaïm du Maroc qui se prolonge en Algérie sous le nom de l'oued Mouillah drainant une surface de part et d'autre de la frontière algéro-marocaine.

➤ **Barrage de Sikkak**

Situé sur l'oued Sikkak, à l'aval du barrage d'El-Mefrouch. Il contrôle un bassin versant de 326 km², avec une capacité de 30 Hm³. Il servira à l'irrigation des périmètres agricoles situés en aval et à l'alimentation du couloir Ain Youcef-Tlemcen.

➤ **Réserve de Souani**

C'est une retenue de 13 Hm³ à 24 Km de Maghnia, réalisée pour mobiliser les excédents du barrage Béni-Bahdel. Elle est destinée surtout à l'irrigation de l'extension du périmètre de Maghnia. Avec la sécheresse constatée ces dernières années, cette retenue reste inexploitée.

➤ **Petits barrages**

Destinés surtout à l'irrigation d'une centaine d'hectare, chacun et d'une capacité moyenne de l'ordre de 0.5 Hm³. Parmi les plus importants, on peut citer oued Guettara, oued El-Atchane, Chaabet el-alia, Sidi-Senouci et Magoura.

➤ **Retenues collinaires**

Un nombre de 77 retenues ont été réalisées ces dernières années destinées essentiellement à l'irrigation. Parmi ces retenues 39 sont actuellement fonctionnelles et mobilisent un volume d'environ 3 Hm³. Plus de 20 retenues sont totalement envasées stockant ainsi un volume de 2.1 Hm³. La superficie irriguée est alors limitée à 1400 ha. Huit retenues ont été endommagées par les crues.

1.2 Présentation du sous bassin versant d'oued MOUILLAH

1.2.1 Situation du sous bassin Mouillah et ces principaux affluents

Le sous bassin d'Oued Mouillah situé à l'ouest du bassin de la Tafna, s'étale sur une superficie de 2630 km² pour un périmètre de 230 km. Une bonne partie de cette surface se trouve dans le territoire Marocain. Son cours d'eau, avec une longueur de 124 km, prend naissance dans la région d'El Abed en Algérie à 1250 m d'altitude. Il pénètre au Maroc pour s'appeler tantôt Oued Sly tantôt Oued Bou Naim puis revient en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation d'Oued Mouillah. Il draine un bassin constitué de zones très hétérogènes formées de montagnes (les monts des Traras au nord-ouest et ceux de Tlemcen au sud), de plaines et de vallées.

Il reçoit sur ça rive droite Oued Ouerdeffou, dont les principaux affluents sont: Oueds abbes, Aouina et Lamhaguene, et les Oueds Bou Selit, Ben Saria et El Aouedj coté rive gauche. La confluence d'Oued Mouillah avec Oued Tafna est située en amont du barrage Hammam Boughrara, au niveau de Sidi Belkheir, à une altitude de 285m.

Oued Mouillah constitue une frontière naturelle entre la commune de Hammam Boughrara et Maghnia sur 21 Km de longueur de l'Ouest vers l'est, son débit moyen est de 400 l/s selon les saisons.

Les affluents d'Oued Mouillah sont :

- ***Oued Isly et Oued El Heim*** : drainant la région sud d'Oujda et plus particulièrement le glissement minier de plomb et zinc de Touissite, Sidi Boubekeur et les eaux urbaines des agglomérations de Touissite, Sidi Boubekeur, Oued El Heim et Guenfouda.
- ***Oued Bou Naim*** : ce dernier draine toutes les eaux usées urbaines et industrielles de la ville d'Oujda et d'autres agglomérations secondaires avoisinantes Béni Drar, El Aleb.
- ***Oued Ouerdeffou*** : il se forme au niveau de Maghnia par les affluents Oued Lamhaguene et Oued Aouina, traverse la ville de Maghnia en drainant les eaux usées urbaines, les eaux résiduaires industrielles ainsi que les déchets solides (décharges sauvages dans le lit de l'Oued).
- ***Oued Lamhaguene et Oued Aouina*** : ils forment l'Oued Ouerdeffou au sud immédiat de Maghnia. Ils drainent surtout les eaux de lessivage des terres agricoles au sud de Maghnia.
- ***Oued Abbes*** : cet oued draine les terres agricoles au sud de Maghnia et reçoit les eaux usées industrielles.

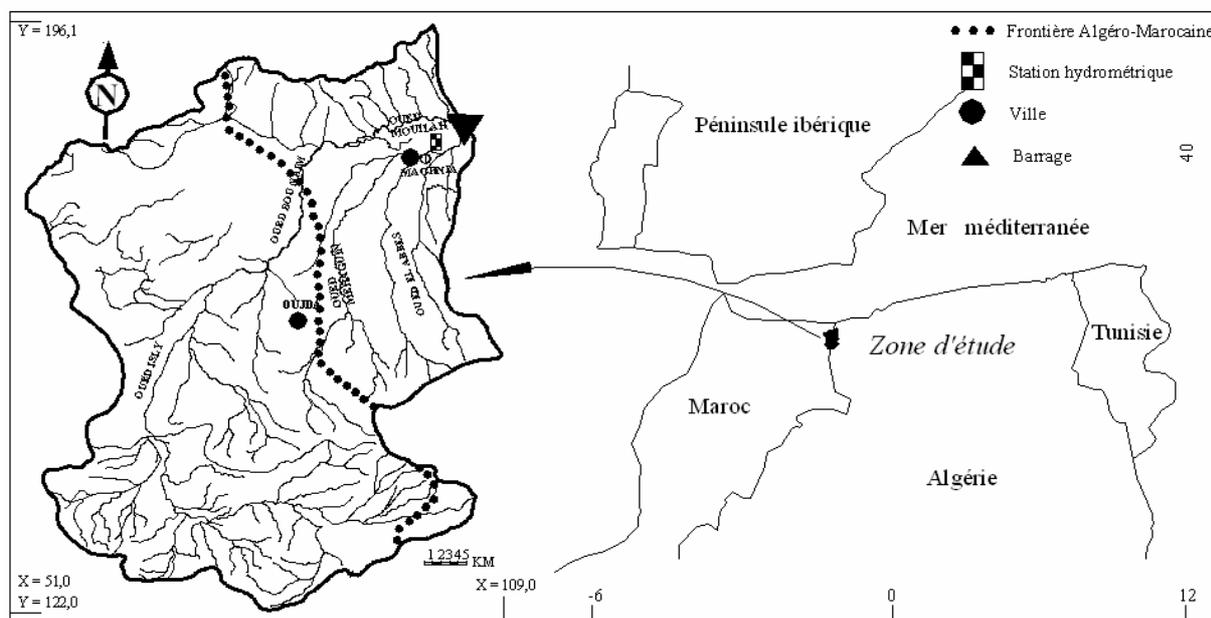


Figure I-8 : Situation du sous bassin versant de l'Oued Mouillah [5]

I.2.2 Géologie du sous bassin Mouillah

Les formations géologiques qui affleurent dans l'ensemble du sous bassin versant de l'Oued Mouillah du plus récent au plus ancien sont :

- **Alluvions** : Cette formation récente est représentée par des sables-argileuses parfois limoneuses associées à des graviers.
- **Quaternaire** : Il affleure en général dans la zone d'étude au niveau des oueds comme oued Abbés, oued Aounia, oued Tafna. Il représente les terrasses des oueds (graviers hétérométriques et hétérogènes, galets de taille différente, sables argileux).
- **Pliocène continental** : Constitué surtout de grès et parfois associés à des limons. Il affleure au niveau des deux rives de l'oued Tafna à Sidi Medjahed.
- **Miocène supérieur** : Il est caractérisé à sa base par des grès qui annoncent la transgression miocène. On passe à des marnes miocènes bien représentées dans la zone d'étude et au Nord de l'oued Mouillah où il forme sa rive gauche. Vers le haut on passe à des marnes sableuses.
- **Miocène inférieur** : Il affleure au Sud Ouest de la zone d'étude, représenté par des marnes.
- **Jurassique supérieur** : Il affleure à Maghnia et forme la rive droite d'Oued Mouillah au Nord. Il est représenté par des marnes un peu gréseuses à la base qui passe à des dolomies cristallines.

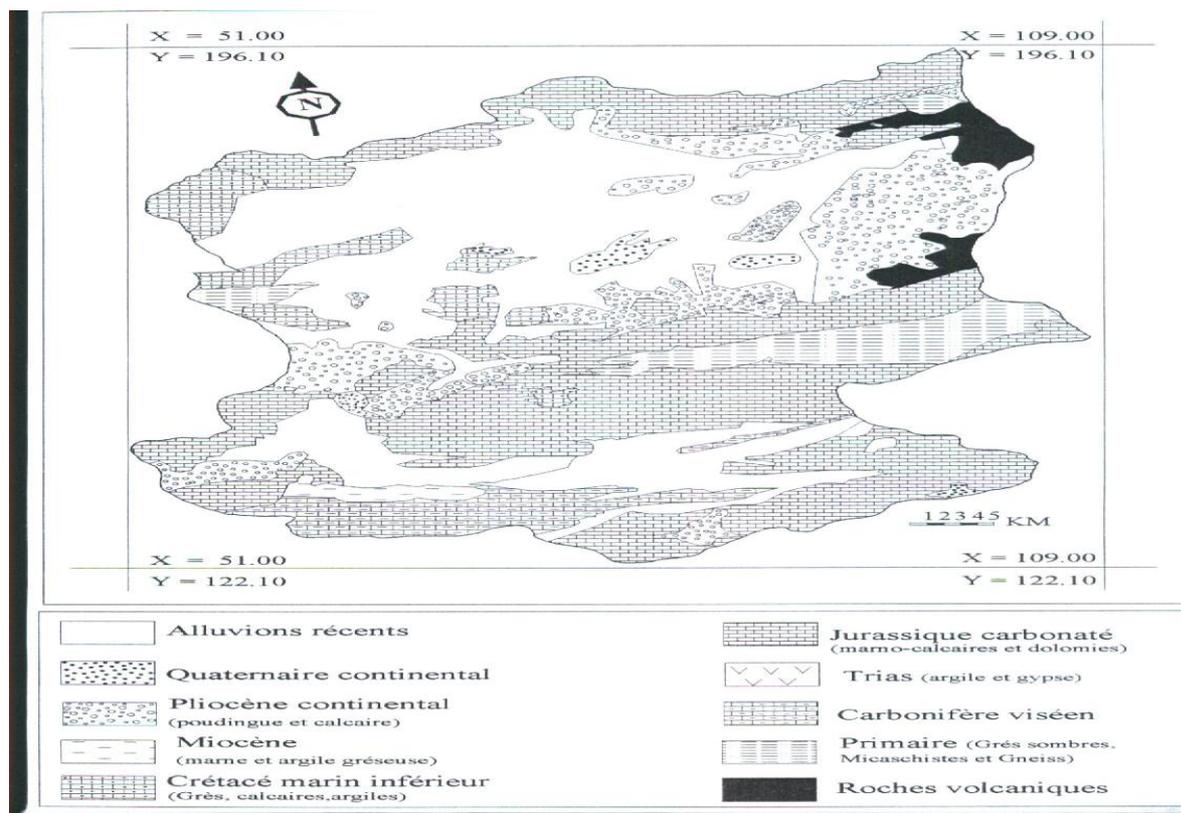


Figure I-9 : Carte lithologique du sous bassin versant d’oued Mouillah [4]

I.2.3 Climatologie au sous bassin Mouillah

➤ Pluviométrie

Les stations pluviométriques dans le sous bassin de Mouillah sont :

- Station de Maghnia : avec une période d’observation entre 1972 – 2009
- Station de Béni Ouassine: avec une période d’observation entre 1953 – 2009
- Station de Ben Boussaid: avec une période d’observation entre 1985 – 2009
- Station d’El Abed: avec une période d’observation entre 1990 – 2009

Les pluviométries mensuelles et annuelles au sous bassin Mouillah sont résumées dans le tableau suivant :

Station pluviométrique	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Pluviométrie annuelle
Maghnia	14.26	22.13	37.60	31.50	27.58	41.06	41.11	38.92	26.16	6.31	2.59	3.20	286.13
B_Ouassine	9.13	23.09	32.96	34.91	31.40	35.95	41.73	36.25	23.60	7.97	1.45	2.00	280.08
B-Boussaid	19.35	25.48	26.80	37.23	31.91	41.73	56.86	7.39	31.23	8.04	3.76	4.49	287.44

Tableau I- 7: Pluviométrie mensuelles et annuelles au sous bassin Mouillah [3]

La répartition mensuelle et saisonnière des précipitations dans l'année conditionne l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eau. Les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques montrent l'existence de deux saisons l'une pluvieuse allant du mois de septembre à celui de mai, avec des maximums variant entre les mois de décembre et mars selon la station, et l'autre sèche s'étendant sur les mois de juin, juillet et août, avec des minimums en juillet et août selon la station également.

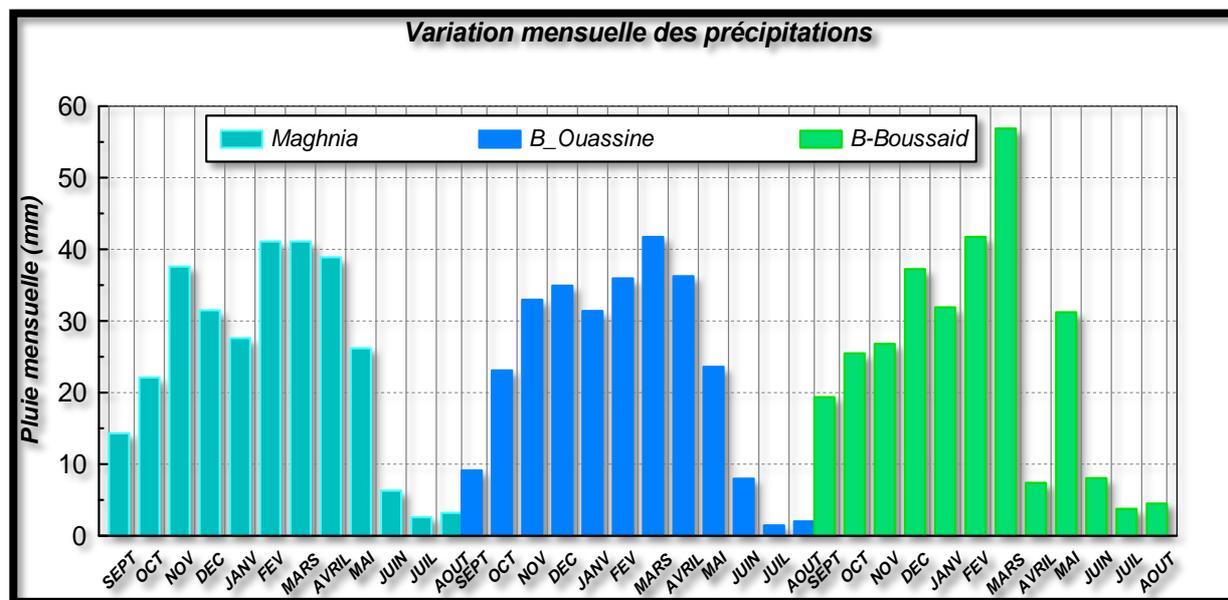


Figure I-10 : Pluviométrie mensuelles au sous bassin Mouillah [3]

➤ **Température**

Le Tableau ci-dessous regroupe les températures mensuelles disponibles pour 2 stations météorologiques situées à l'intérieur ou à proximité du sous bassin de Mouillah. On remarque que la température moyenne annuelle varie de 17.1°C, à la station de Beni Bahdel, à 16.8°C, à la station de Maghnia. Ces valeurs montrent que la moyenne diffère légèrement d'une station à une autre.

Station		SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOÛT	ANNUEL
Beni-Bahdel	Min	17.0	12.0	9.0	5.0	5.0	5.0	7.0	9.0	12.0	16.0	19.0	19.0	11.3
	Max	30.0	24.0	18.0	15.0	14.0	16.0	18.0	20.0	24.0	29.0	34.0	34.0	23.0
	Moy	23.5	18.0	13.5	10.0	9.5	10.5	12.5	14.5	18.0	22.5	26.5	26.5	17.1
Maghnia	Min	15.0	11.0	8.0	5.0	3.0	5.0	6.0	8.0	10.0	14.0	17.0	17.0	9.9
	Max	30.0	25.0	20.0	17.0	16.0	17.0	20.0	21.0	24.0	29.0	33.0	33.0	23.8
	Moy	22.5	18.0	14.0	11.0	9.5	11.0	13.0	14.5	17.0	21.5	25.0	25.0	16.8

Tableau I- 8 : Températures de l'air au niveau des stations de Béni Bahdel et Maghnia [3]

I.2.4 Etude du relief

Le relief est un facteur essentiel qui détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin. Partant de la répartition par tranches d'altitudes du bassin, on a établi la courbe hypsométrique et le diagramme des fréquences altimétriques.

Tranches d'altitudes	Ai (Km ²)	Ai cumulées (Km ²)	Ai %	Ai cumulés %	altitudes cumulés %
1430-1400	26,8	26	0,98	0,98	100
1400-1200	306	332	11,55	12,53	97,39
1200-1000	381	713	14,38	26,91	79,92
1000-800	375	1088	14,15	41,06	62,45
800-600	414,5	1502,5	15,64	56,7	44,98
600-400	904	2406,5	34,11	90,81	27,51
400-285	243,5	2650	9,19	100	10,01

Tableau I- 9 : Répartition hypsométrique du bassin d'oued Mouillah [4]

La forme de la courbe hypsométrique (**Figure I-11**), présente un état d'équilibre du bassin et donc un potentiel érosif moyen.

L'accentuation de la pente de la courbe vers les basses altitudes indique que la partie aval du bassin du Mouillah est bien occupée par la plaine importante de Maghnia-Angades. Vers les hautes altitudes, le relief accentué à l'amont du bassin est bien mis en évidence par la forme de la courbe hypsométrique.

Les pentes sont en général très accentuées (**Figure I-12**), dépassant les 20% au niveau des zones montagneuses des monts des Traras au Nord-Ouest et les monts de Tlemcen au Sud. Entre ces zones à relief fort, on retrouve des pentes plus douces (entre 0 et 10%). Cette zone plus ou moins aplatie est localisée de part et d'autre de l'oued Mouillah constitue la plaine de Maghnia.

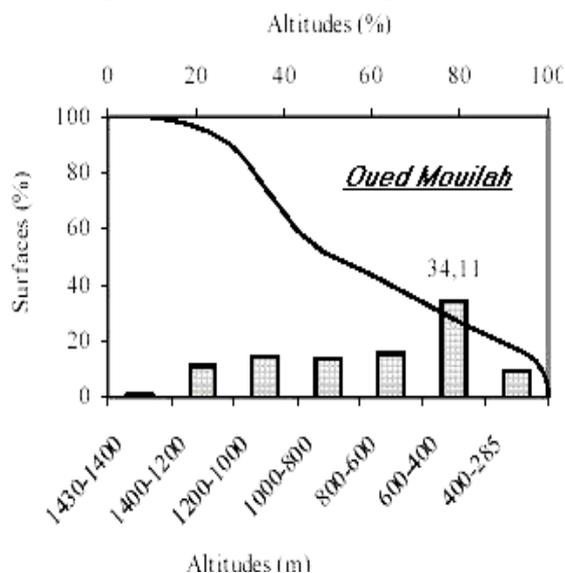


Figure I-11 : Courbe Hypsométrique et histogramme de fréquences altimétriques du Bassin Oued Mouillah [4]

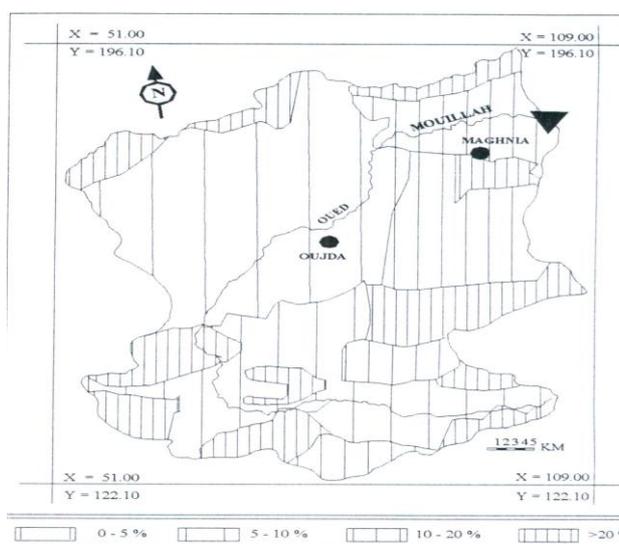


Figure I- 12: Carte de pente du sous bassin Mouillah [4]

I.2.5 Sols et Végétation

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement.

L'occupation végétale a une influence directe sur l'écoulement fluvial aussi bien que facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Le paysage végétal du bassin de la Tafna a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies et par une petite agriculture extensive et un surpâturage endémique. Ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion.

Le tableau suivant montre que la moitié de la superficie du bassin de l'oued Mouillah est constituée de terrains nus, localisés au Sud (**Figure I-13**). Ces terrains susceptibles d'être transpercés par l'effet de pluies violentes, correspondent à une zone plate à pente inférieure à 5%. L'autre partie du bassin se trouve suffisamment couverte pour résister aux menaces érosives.

<i>Occupation des sols</i>	<i>Surface (ha)</i>	<i>% des surfaces</i>
<i>Cultures extensives</i>	57200	21,58
<i>Couvert forestier dégradé</i>	9500	3,58
<i>Couvert forestier normal</i>	39000	14,72
<i>Arboriculture</i>	1200	0,45
<i>Couvert mort</i>	131000	49,43
<i>Prairies et terrains de pacage</i>	27100	10,23

Tableau I- 10 : Distribution du couvert végétal dans le bassin d'oued Mouillah [4]

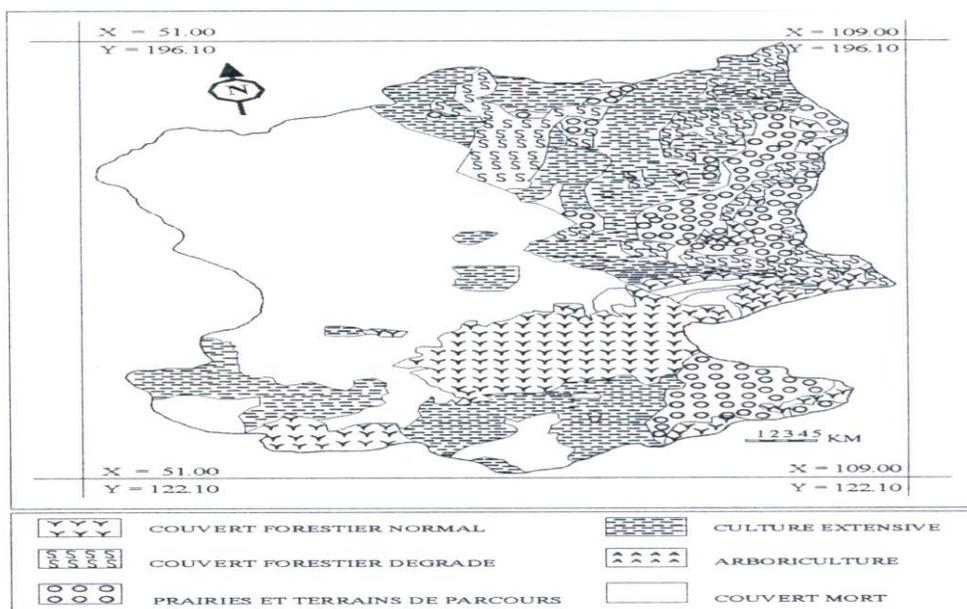


Figure I-13 : Carte d'occupation du sol du sous-bassin d'oued Mouillah [4]

CHAPITRE II

ENVIRONNEMENT DU BARRAGE HAMMAM BOUGHRARA

II.1 Situation géographique et caractéristiques du barrage

Le barrage de Hammam Boughrara est érigé sur l'Oued de Tafna à moins d'un kilomètre en amont de la commune de Hammam Boughrara, à 10 Km environ en aval de Maghnia et à 20 Km d'Oujda. Les coordonnées Lambert du site du barrage sont : X=102.920 et Y=185200.

Ce barrage est limité :

- 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,
- Au Nord-Est, par la commune d'Ain Fettah.

Il est situé sur la confluence d'Oued Mouillah avec Oued Tafna, sa retenue occupe le lit majeur d'oued Tafna jusqu'à 5 km en amont de la confluence. C'est un ouvrage stratégique à caractère régional dont la mise en service en eau à été réalisée en 1999, ça capacité est de 177 millions de m³ destiné pour satisfaire les besoins en eau potable des villes d'Oran (33 Hm³) et de Maghnia (17 Hm³) et de l'irrigation (9 Hm³).

Les caractéristiques du barrage sont représentés dans le tableau suivant :

<u>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</u>	<u>CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES</u>
Coordonnées : X = 102.92, Y = 185.20, Z = 251.00	Année de construction : 1993-1999
Type : Digue en terre hétérogène	Date de mise en eau : 1998
Hauteur maximale : 75 m	Date de mise en service : 1999
Longueur en crête : 1055 m	Capacité totale : 177 Hm ³
Largeur de la crête : 10.00 m	Volume régularisé : 59 Hm ³
<u>EVACUATEUR DE CRUES</u>	Volume mort : 23.3 Hm ³
Débit maximal : 2900 m ³ /s	Volume utile : 149,145 Hm ³
Longueur : 547.70 m	Superficie du lac : 894 ha
Longueur : 250 m, Largeur : 25 m. Hauteur : 3,50 m	Superficie du B.V. : 2000 km ²
<u>TOUR DE PRISE</u>	Précipitations moyenne : 350 mm
Type : galerie avec une tour	Débit de crue de projet : 5880 m ³ /s
Débit de la prise : 5.80 m ³ /s	Apport solide moyen : 501,100 T/an
Débit de la vidange de fond : 600 m ³ /s	Apport liquide moyen : 65,3 Hm ³ /an
Longueur de la galerie : 220 m	
Hauteur de la tour de prise : 66.70 m	

Tableau II- 1: Caractéristiques du barrage Hammam Boughrara [6]

II.2 Vecteurs de pollution dans le bassin versant de HAMMAM BOUGHRARA

Le barrage subit la pollution véhiculée par les oueds composant le réseau hydrographique de son bassin et ça cuvette constitue l'exutoire principal de l'oued Mouillah et ses affluents (Oued Isly, oued Bou Naïm, oued Ouerdeffou et oued Abbés) dont le bassin versant s'étend sur une superficie de près de 2630 km². Il est composé d'une vaste plaine riche en terres agricoles et en réseau hydrique. Autour de ces richesses hydriques et pédologiques, il s'y est développé d'importantes activités agricoles, industrielles et commerciales engendrant une importante pollution des milieux hydriques et terrestres. Cette pollution se propage et se diffuse pour atteindre finalement le barrage Hammam Boughrara qui constitue le récepteur de tous les rejets aussi bien solides que liquides de l'ensemble des activités du périmètre.

Depuis la mise en eau de la retenue du barrage Hammam Boughrara en Septembre 1998, il accumule les eaux chargées en polluants provenant des terres agricoles (pesticides, engrais et déchets d'élevage), et des rejets urbains (domestiques et industriels) de la ville de Maghnia et aussi les eaux usées urbaines et industrielles provenant de la ville marocaine d'Oujda déversées sans aucun traitement préalable directement dans l'Oued Bou Naïm principal affluent de l'Oued Mouillah.

II.2.1 Pollution d'origine agricoles

Les activités agricoles dans le bassin versant de Hammam Boughrara sont essentiellement implantées dans le périmètre irrigué de Maghnia. Les sources de pollution majeures découlant de ces activités sont :

- L'épandage d'engrais : l'utilisation massive et abusive des engrais engendre un apport massif d'Azote dans les eaux superficielles et souterraines.

Le tableau suivant présente les types et les quantités d'engrais utilisés dans la plaine de Maghnia :

<i>Type d'engrais</i>	<i>Quantité utilisée</i>
Phosphate super 46%	1144,00 tonnes/an
Amonitrate 33,5 %	59,00 tonnes/an
Sulfate d'ammonium	299,00 tonnes/an
Sulfate de potassium (15.15.15)	6364,00 tonnes/an
Sulfate de potassium (0.20.25)	511,50 tonnes/an

Tableau II- 2 : Types d'engrais utilisés dans la plaine de Maghnia [8]

- L'élevage : l'élevage avicole en particulier constitue une source majeure de pollution des eaux. Les fientes de volaille 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 tonnes/an.

- *Les pesticides* : la présence de pesticides dans les eaux résulte par les sols et le 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. Certains entre eux sont toxiques et d'autres sont cancérogènes.

Le tableau suivant présente les produits pesticides utilisés dans la plaine de Maghnia.

<i>Produits</i>	<i>Matière</i>	<i>Quantité utilisée (kg/an)</i>
<i>Pesticides</i>	Sandofane	1
	Ripost	91
	Pirimor	42
	Phoxine	25
	Pelt44	20
	Méthyle paratox	6850
	Bacto spein	294
	Calben	102
	Klérat	53
<i>Fongicides</i>	Soufre sublimé	4801
	Chelat de fer	10
<i>Herbicides</i>	Métribuzine	67
	Linuron	14

Tableau II- 3 : Pesticides utilisés dans la plaine de Maghnia [8]

II.2.2 Pollution d'origine domestiques

- *Pollution domestique de la région d'Oujda*

La population d'Oujda serait actuellement de l'ordre de 450 000 habitants avec un taux d'accroissement moyen de 2,1% (selon le taux moyen national marocain). Cette population sera en 2030 de l'ordre de 750 000 habitants.

Sachant que la population de l'agglomération d'Oujda est dotée journalièrement par un débit moyen de consommation de 120 l/j/hab., les rejets domestiques de la ville d'Oujda sont, actuellement, de l'ordre de 43 200 m³/j. Ces rejets sont déversés, sans aucun traitement préalable, directement dans l'Oued Bou Naïm (Mouillah).

Les campagnes d'analyse de la DBO₅ et la DCO faites entre 1996 et 2008, par le laboratoire de l'ANRH (Oran), sur l'Oued Mouillah, juste à la frontière Algéro-Marocaine, ont donné les résultats suivants :

	1996	1999	2008
DBO ₅ en mg/l	29.4	72.7	84.0
DCO en mg/l	83.5	182	271
DCO/DBO	2.8	2.5	3.2

Tableau II- 4 : Résultats d'analyse de la DBO et de la DCO à la frontière Algéro-Marocaine [6]

D'après ces résultats, on remarque que les valeurs moyennes annuelles de la DBO₅ et la DCO pendant la période de 1996 sont inférieures aux normes, mais à partir de l'année 1999 (juste après la mise en eau du barrage Hammam Bouhrara), 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 en matières organiques.

– *Pollution domestique de la région de Maghnia et de Hammam Bouhrara*

Cette pollution est due aux rejets d'eaux usées domestiques de toutes les agglomérations se trouvant dans le bassin versant du barrage Hammam Bouhrara. A savoir la commune de Maghnia et celle de Hammam Bouhrara (près de 124 000 habitants) concernant le sous bassin de Mouillah, Sidi Medjahed (près de 6 500 habitants) et Bouhlou (près de 6 000 habitants) concernant le bassin versant d'Oued Tafna. Dans le cadre de la réduction de l'agressivité de cette pollution, une station d'épuration a été réalisée pour traiter les eaux usées de la ville de Maghnia. [8]

II.2.3 Pollution solide

La décharge actuelle des déchets solides urbains est située en amont de Hammam Chigueur ; à environ 2.5 Km de la ville de Maghnia. Cette décharge ne répond pas aux normes techniques appropriées et peut être considérée comme une décharge sauvage, non contrôlé. On y trouve les déchets ménagers, hospitaliers, ainsi que les rejets industriels et agricoles.

La quantité des déchets à évacuer varie d'une région à une autre, selon les saisons de l'année, les habitudes, le niveau de vie et d'éducation des habitants. Aucune formule ne permet d'en calculer la valeur, sauf des études et des observations effectuées sur place. Actuellement, les déchets ménagers sont estimés à **40.3 tonnes/jour**, soit environ **14 710 tonne/an**, dont une partie importante de ces déchets se trouvera d'une façon ou d'une autre dans le sous bassin versant de l'Oued Mouillah, et par conséquent dans le barrage de Hammam Bouhrara.

Ainsi, il est suggéré de mener des études de gestion des décharges solide afin de régler le problème de pollution solide au niveau du sous bassin de l'Oued Mouillah. [9]

II.2.4 Pollution d'origine industrielles

La pollution industrielle du barrage Hammam Boughrara et ses affluents est causée essentiellement par quatre (04) unités industrielles situées à Maghnia, à savoir l'**ENOF** (entreprise de bentonite et de la terre décolorante), l'**ENCG** (entreprise des corps gras), **Maiserie ERIAD** (entreprise des aliments et dérivés) et **CERTAF** (complexe de la vaisselle et céramique). La réalisation du barrage Boughrara en aval de ses entreprises a accéléré les démarches administratives et techniques pour amener les entreprises à réduire les impacts de la pollution industrielle sur ce barrage.

En plus de ces zones industrielles, il existe plus de 112 entreprises industrielles qui sont implantées dans la région d'Oujda, et qui participent à la pollution industrielle de l'Oued Mouillah pour contaminer les eaux du barrage Boughrara.

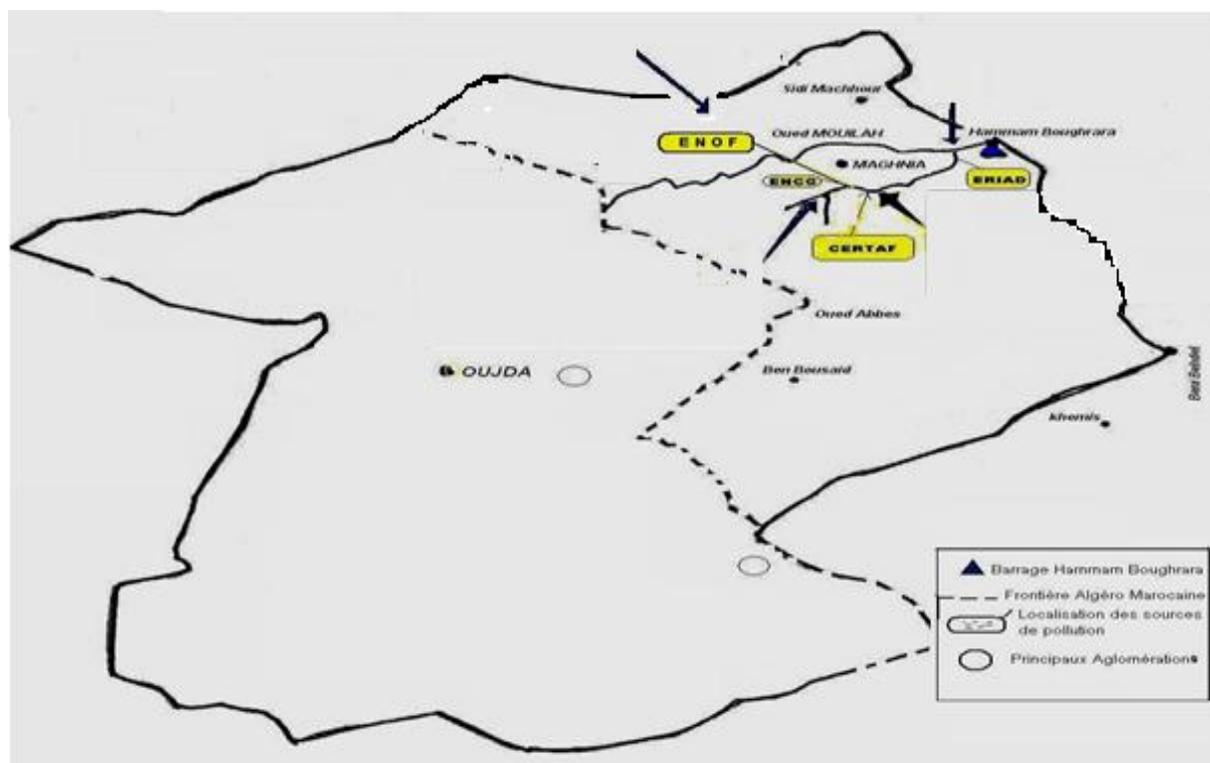


Figure II- 1 : Localisation des sources de pollution industrielles [10]

❖ **E.N.O.F**

Entreprise nationale des produits miniers non ferreux a été mise en service pour la production de terre décolorante (400 tonnes/ans), carbonate de calcium (12000 tonnes/ans) et bentonite (8000 tonnes/ans), l’usine utilise les argile-calcaire-bentonite comme matières premières. La consommation de l’entreprise en eau est d’environ 400 m³/jour.

Les rejets de l’entreprise sont de 600 m³/jour orientées vers l’Oued Ouerdeffou, ces eaux sont très acides et chargées en métaux lourds. Une action entreprise par l’ENOF pour l’amélioration de la qualité de ses rejets consiste à la réalisation d’une station de traitement physico-chimique d’une capacité de 600 m³/jour.

Le schéma suivant représente les phases d’épuration des rejets dans la station de traitement l’ENOF :

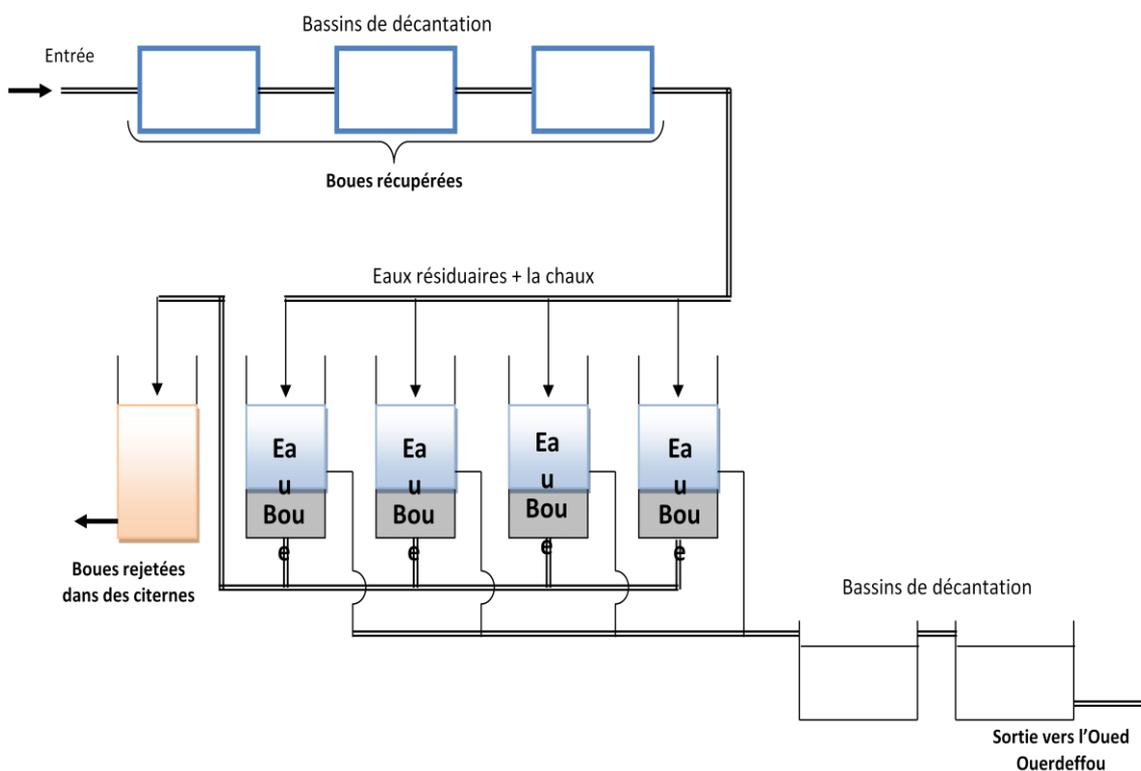


Figure II- 2: Station de traitement de l’ENOF [8]

Résultats d'analyse des rejets de l'ENOF

Les résultats d'analyse des rejets de l'ENOF sont mentionnés dans le tableau (annexe 1), dont les principaux paramètres représentatifs de la qualité des rejets sont représentés dans le tableau suivant :

Analyses	Unité	Date de prélèvement				Normes de rejets	
		Moyenne 2007	Moyenne 2008	Moyenne 2009	Valeurs maximales		
Débit	m ³ /s	0.42	0.30	0.36	1.64	0.36	
T eau	°C	19.70	21.28	19.70	32.00	20.23	30 °C
DBO5	mg/l	98.33	341.10	293.45	1041.00	244.29	40 mg/l
DCO	mg/l	332.92	620.60	576.22	2000.00	509.91	120 mg/l
O2 dissous	mg/l	5.07	5.96	5.82	9.24	5.62	
HCO3	mg/l	165.17	257.08	210.83	956.00	211.03	
Chlorures	(mg/l.Cl)	2152.25	2188.25	2194.24	2907.00	2178.25	
K	mg/l	39.17	15.10	23.81	65.00	26.03	
Na	mg/l	1767.92	1757.54	1747.53	2070.00	1757.66	
Mg	mg/l	219.42	199.95	205.17	720.00	208.18	
Ca	mg/l	483.67	671.11	661.06	854.00	605.28	
NO₂	mg/l	0.29	0.47	0.45	0.80	0.40	
NO₃	mg/l	11.67	14.47	13.90	19.00	13.35	
NH₄	mg/l	1.72	3.75	3.39	12.00	2.95	
N Kjeld	mg/l	3.54	6.73	6.52	14.00	5.60	
P Total	mg/l	2.66	13.23	11.13	82.50	9.01	
PO₄	mg/l	1.85	6.97	6.00	47.00	4.94	
SO₄	mg/l	4627.27	4463.55	4497.25	9600.00	4529.36	
MES	mg/l	6461.80	6410.34	6410.50	7890.00	6427.54	30 mg/l
Phosphore Org	mg/l	0.81	6.26	5.13	35.50	4.07	
Azote Org	mg/l	1.82	2.99	3.12	7.00	2.64	
Cr	mg/l	0.12	0.12	0.12	0.36	0.12	3 mg/l
Fe	mg/l	9.16	9.08	9.01	74.70	9.08	5 mg/l
Cu	mg/l	0.12	0.12	0.12	0.54	0.12	3 mg/l
Mn	mg/l	1.49	1.49	1.49	5.95	1.49	1 mg/l
Al	mg/l	18.43	18.43	18.42	69.00	18.43	5 mg/l
Zn	mg/l	0.42	0.42	0.41	1.06	0.42	5 mg/l
Pb	mg/l	0.33	0.33	0.33	0.52	0.33	1 mg/l

Tableau II- 5: Résultats d'analyse des rejets de l'ENOF [6]

Les charges en DBO5 et DCO sont très élevées par rapport aux normes des rejets urbains qui sont 40 mg/l pour la DBO5 et 120 mg/l pour la DCO. Ces valeurs sont dues au fait que les rejets bruts de l'usine sont très acides, ce qui ne permet donc aucune activité bactérienne. Ainsi, les charges physiques par les matières en suspension sont remarquables.

Les métaux lourds ont des concentrations acceptables, sauf pour l'aluminium et le Fer, polluants prédominants, qui sont présents par des concentrations supérieures aux normes.

❖ E.N.C.G

L'entreprise des corps gras a été mise en service en 1987, il produit de l'huile, du savon et de la glycérine. L'usine utilise comme matière première : 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 (H₃PO₄), le sel (NaCl) et le chlorure ferrique (FeCl₃).

La consommation moyenne en eau de l'usine est d'environ 700 m³/jour utilisée pour la production de la vapeur (lavage d'huile, rinçage de la résine).

L'usine rejette vers l'oued Abbés environ 528 m³/jour d'eaux usées. Une action entreprise par l'ENCG pour l'amélioration de la qualité des rejets consiste à réaliser une station de traitement physico-chimique d'une capacité de 100 m³/jour et un rendement de (DCO=70 % à 80 %).

Le schéma suivant représente les phases d'épuration des rejets dans la station de traitement d'ENCG :

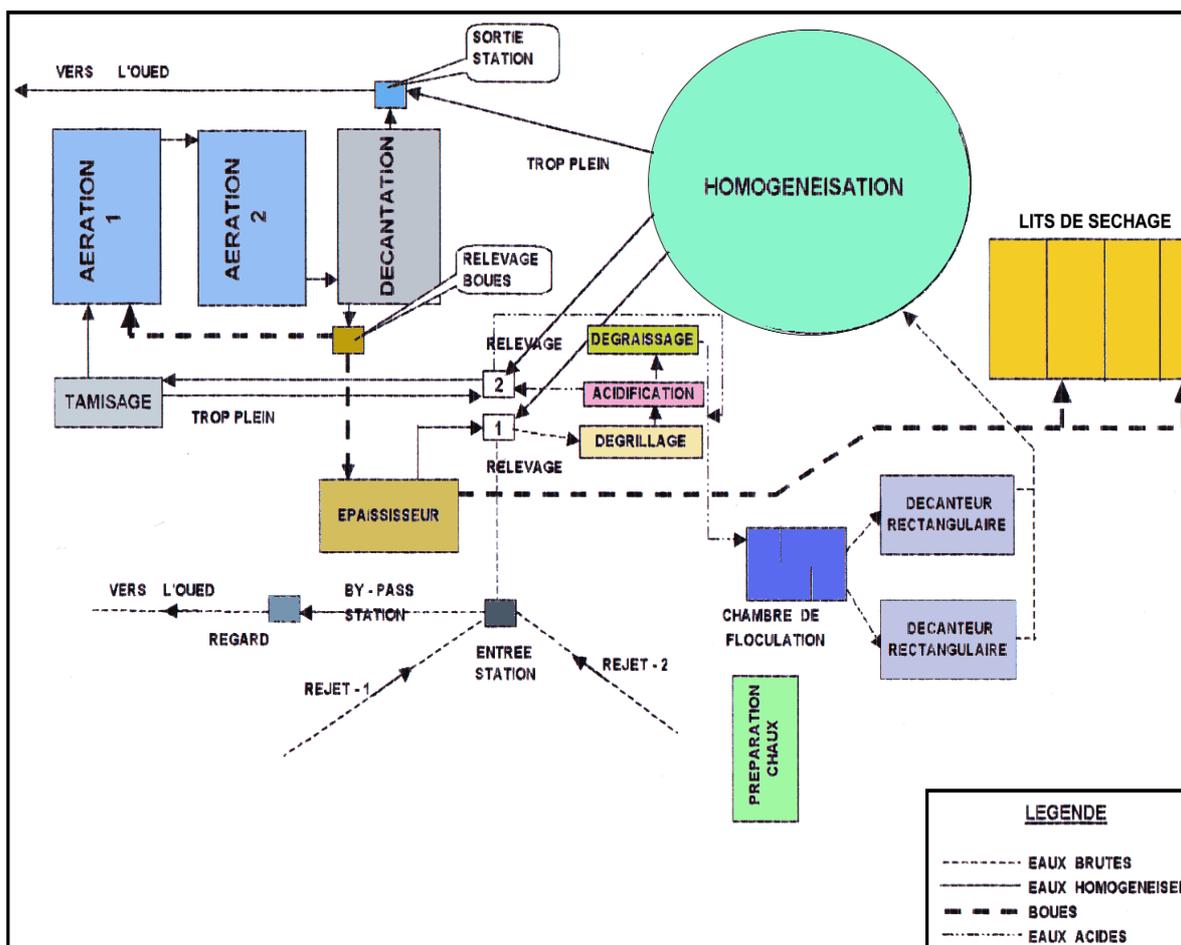


Figure II- 3: Procédé de traitement la station de ENCG [8]

Résultats d'analyse des rejets de l'ENCG

Les résultats d'analyse des rejets de l'ENCG sont mentionnés dans le tableau (annexe 2), dont les principaux paramètres représentatifs de la qualité des rejets sont représentés dans le tableau suivant :

Analyses	Unité	Date de prélèvement				Moyenne général	Normes de rejets
		Moyenne 2007	Moyenne 2008	Moyenne 2009	Valeurs maximales		
<i>Débit</i>	m ³ /s	0.40	0.29	0.32	1.64	0.34	
<i>T eau</i>	°C	22.98	21.94	22.83	34.60	22.58	30 °C
<i>DBO5</i>	mg/l	5511.45	6920.03	6198.10	21129.00	6209.86	40 mg/l
<i>DCO</i>	mg/l	8686.73	11161.61	8664.65	35000.00	9504.33	120 mg/l
<i>O2 dissous</i>	mg/l	0.38	0.86	0.25	3.76	0.50	
<i>CO3H</i>	mg/l	1008.69	917.37	914.19	1499.00	946.75	
<i>Chlorures</i>	(mg/l.Cl)	2206.57	1774.71	1806.08	10054.00	1929.12	
<i>K</i>	mg/l	27.24	24.06	24.31	66.00	25.20	
<i>Na</i>	mg/l	3818.97	4453.50	4439.30	8050.00	4237.26	
<i>Mg</i>	mg/l	144.07	141.62	141.96	338.00	142.55	
<i>Ca</i>	mg/l	506.36	611.84	607.33	1303.00	575.18	
<i>NO₂</i>	mg/l	0.28	1.67	1.58	11.00	1.17	
<i>NO₃</i>	mg/l	12.46	12.09	16.59	37.00	13.72	
<i>NH₄</i>	mg/l	3.57	8.99	3.72	16.50	5.43	
<i>N Kjeh</i>	mg/l	5.48	10.21	5.45	17.00	7.05	
<i>P Total</i>	mg/l	38.04	38.92	45.51	119.00	40.82	
<i>PO4</i>	mg/l	29.43	30.00	35.53	89.00	31.65	
<i>SO₄</i>	mg/l	4395.45	5453.16	5571.53	14400.00	5140.05	
<i>MES</i>	mg/l	2492.69	1977.66	1522.51	8536.00	1997.62	30 mg/l
<i>Phosphore Org</i>	mg/l	8.61	8.92	9.99	35.00	9.17	
<i>Azote Org</i>	mg/l	1.91	1.22	1.73	8.20	1.62	
<i>Cr</i>	mg/l	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10	3
<i>Fe</i>	mg/l	20.03	20.03	20.03	84.90	20.03	5 mg/l
<i>Cu</i>	mg/l	0.17	0.17	0.17	0.47	0.17	3 mg/l
<i>Mn</i>	mg/l	1.99	1.99	1.99	10.75	1.99	1 mg/l
<i>Al</i>	mg/l	3.02	3.02	3.02	3.44	3.02	5 mg/l
<i>Zn</i>	mg/l	0.28	0.28	0.27	0.80	0.28	5 mg/l
<i>Pb</i>	mg/l	0.46	0.46	0.46	1.32	0.46	1 mg/l

Tableau II- 6 : Résultats d'analyse des rejets de l'ENCG [6]

On remarque que la charge organique (DBO5 et DCO) est très importante par rapport aux normes. Une action urgente doit être entreprise pour l'amélioration de la filière physico-chimique afin de rabattre les charges organiques pour permettre l'épuration biologique au stade suivant.

Les charges physiques par les matières en suspension et par les métaux lourds sont remarquables (surtout pour le Fer).

❖ MAÏSERIE E.R.I.A.D

L'entreprise des aliments et dérivés mise en service en 1980, fabrique des produits dérivés de Mais, l'usine utilise le maïs 25 000 tonnes/ans comme matière première. Les eaux usées d'usine renferment une pollution en DBO5 de l'ordre de 12 600 mg/l, et en DCO de 19 200 mg/l. Cette entreprise rejette sur l'oued Abbes un débit de 1 600 m³/jour d'eaux chargées. Une action entreprise par la maïserie pour l'amélioration de la qualité de ses rejets consiste à réaliser une station de traitement de ses effluents composée par cinq (05) bassins de neutralisation-décantation.

Le schéma suivant représente les phases d'épuration des rejets dans la station de traitement la maïserie ERIAD :

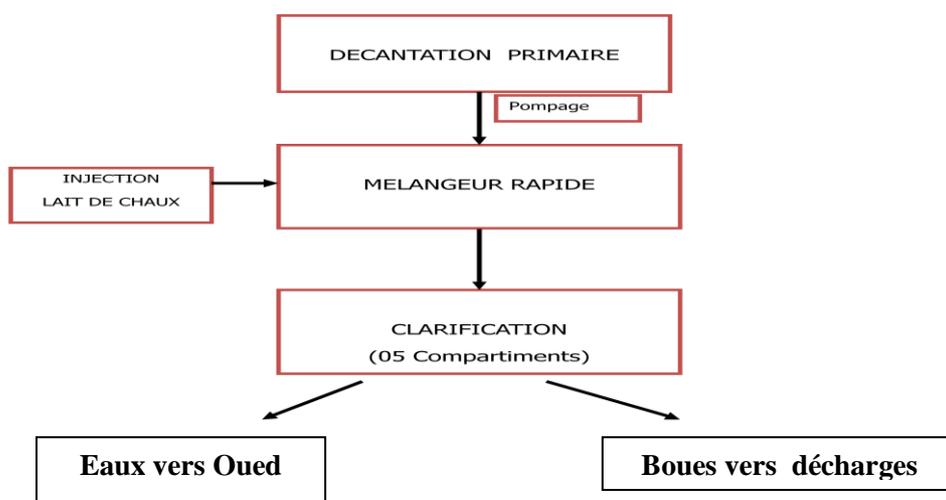


Figure II- 4: Station de traitement (bassins de neutralisations-décantations) à ERIAD [8]

Résultats d'analyse des rejets de la maïserie ERIAD

Les résultats d'analyse des rejets sont mentionnés dans le tableau (annexe 3), dont les principaux paramètres représentatifs de la qualité des rejets sont représentés dans le tableau suivant :

Analyses	Unité	Date de prélèvement				Moyenne général	Normes de rejets
		Moyenne 2007	Moyenne 2008	Moyenne 2009	Valeurs maximales		
<i>Débit</i>	m ³ /s	0.38	0.41	0.18	1.64	0.33	
<i>T eau</i>	°C	24.65	21.17	23.33	43.00	23.05	30 °C
<i>DBO5</i>	mg/l	3376.42	6174.50	4770.14	10920.70	4773.68	40 mg/l
<i>DCO</i>	mg/l	5610.00	8685.75	5581.67	13248.00	6625.81	120 mg/l
<i>O2 dissous</i>	mg/l	2.46	2.86	2.49	10.34	2.60	
<i>CO3H</i>	mg/l	320.92	227.50	222.92	284.00	199.36	
<i>Chlorures</i>	(mg/l.Cl)	348.75	268.33	295.01	850.00	304.03	
<i>K</i>	mg/l	117.50	15.10	24.96	413.00	52.52	
<i>Na</i>	mg/l	129.50	145.92	107.75	219.00	127.72	
<i>Mg</i>	mg/l	125.91	113.30	102.02	322.00	113.74	
<i>Ca</i>	mg/l	114.17	66.63	66.33	461.00	82.37	
<i>NO₂</i>	mg/l	0.08	0.16	0.35	2.00	0.20	
<i>NO₃</i>	mg/l	8.33	13.62	14.25	52.00	12.07	
<i>NH₄</i>	mg/l	54.11	104.52	6.84	17.00	6.42	
<i>N Kjeld</i>	mg/l	70.50	134.23	87.97	285.60	97.57	
<i>P Total</i>	mg/l	203.26	179.59	155.88	536.00	179.57	
<i>PO₄</i>	mg/l	133.99	156.85	136.67	510.00	142.50	
<i>SO₄</i>	mg/l	467.13	405.61	397.70	960.00	423.48	
<i>MES</i>	mg/l	1719.58	1222.55	937.81	5137.00	1293.31	30 mg/l
<i>Phosphore Org</i>	mg/l	69.26	22.75	19.21	390.00	37.07	
<i>Azote Org</i>	mg/l	16.39	29.71	1.36	2.50	1.11	
<i>Cr</i>	mg/l	0.04	0.04	0.03	0.19	0.04	3
<i>Fe</i>	mg/l	4.44	4.44	4.43	35.40	4.44	5 mg/l
<i>Cu</i>	mg/l	0.05	0.05	0.05	0.16	0.05	3 mg/l
<i>Mn</i>	mg/l	0.24	0.24	0.23	0.50	0.24	1 mg/l
<i>Al</i>	mg/l	0.96	0.96	0.96	4.80	0.96	5 mg/l
<i>Zn</i>	mg/l	0.66	0.66	0.66	1.70	0.66	5 mg/l
<i>Pb</i>	mg/l	0.33	0.33	0.32	1.13	0.33	1 mg/l

Tableau II- 7 : Résultats d'analyse des rejets de la maïserie ERIAD [6]

On remarque que la charge organique est importante et loin de satisfaire les normes, ainsi que la charge physique en matière en suspension.

Les concentrations en phosphore à la sortie de la STEP de la Maïserie montrent l'existence d'une pollution excessive. En fait, ces teneurs dépassent considérablement la norme fixée à 5 mg/l, par contre la concentration en métaux lourds est acceptable.

❖ **C.E.R.T.A.F**

L'usine CERTAF de Maghnia mise en service en 1982, a pour objectif la fabrication de faïence (500 tonnes/ans) et porcelaine (2 000 tonnes/ans), il utilise le Kaolin, calcite, sable, oxyde de zinc, feldspath, comme matière première.

La consommation moyenne de l'usine en eau est d'environ 200 m³/jour, il rejette vers l'Oued Abbes un débit de l'ordre de 130 m³/jour d'eaux usées fortement chargées en sels minéraux.

Deux actions ont été entreprises par CERTAF pour l'amélioration de la qualité de ces rejets ; la réhabilitation de la station de traitement des effluents, ainsi que la récupération et recyclage de 60% des volumes traités.

Le schéma suivant représente les phases d'épuration des rejets dans la station de traitement de CERTAF :

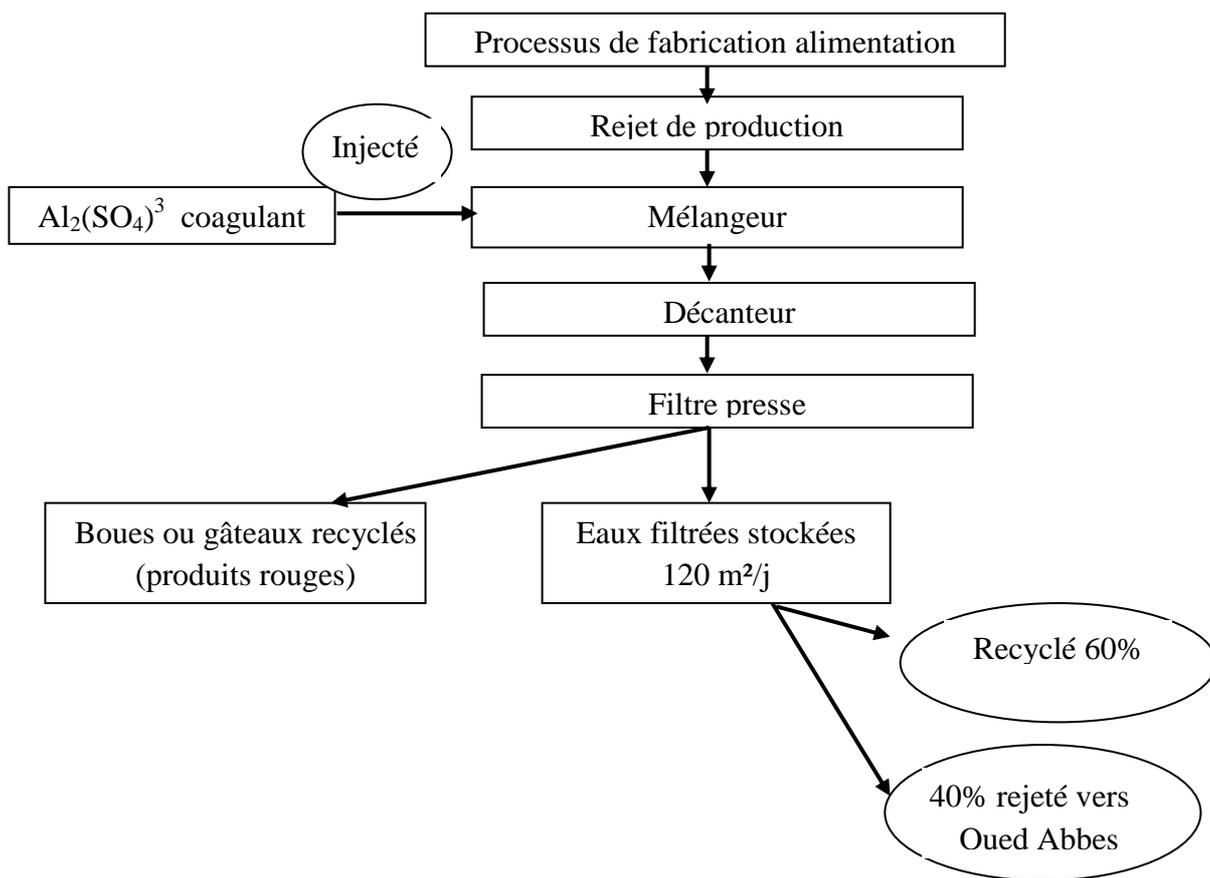


Figure II- 5: Schéma du processus d'épuration à CERTAF [8]

Résultats d'analyse des rejets de CERTAF

Les résultats d'analyse des rejets de CERTAF sont mentionnés dans le tableau (annexe 4), dont les principaux paramètres représentatifs de la qualité des rejets sont représentés dans le tableau suivant :

Analyses	Unité	Date de prélèvement				Moyenne général	Normes de rejets
		Moyenne 2007	Moyenne 2008	Moyenne 2009	Valeurs maximales		
<i>Débit</i>	m3/s	1.42	0.37	0.45	2.95	0.75	
<i>T eau</i>	°C	21.92	18.38	20.00	28.00	20.15	30 °C
<i>DBO5</i>	mg/l	21.40	21.05	18.75	55.00	20.40	40 mg/l
<i>DCO</i>	mg/l	55.46	69.54	41.25	170.00	55.42	120 mg/l
<i>O2 dissous</i>	mg/l	3.92	6.30	6.66	7.93	5.63	
<i>CO3H</i>	mg/l	220.58	154.58	222.92	284.00	199.36	
<i>Chlorures</i>	(mg/l.Cl)	268.92	276.17	278.08	402.00	274.39	
<i>K</i>	mg/l	14.67	11.52	13.48	23.00	13.22	
<i>Na</i>	mg/l	128.88	146.42	133.17	170.00	136.16	
<i>Mg</i>	mg/l	87.56	50.25	58.75	170.00	65.52	
<i>Ca</i>	mg/l	68.29	59.17	59.17	92.00	62.21	
<i>NO₂</i>	mg/l	4.87	4.27	6.22	19.00	5.20	
<i>NO₃</i>	mg/l	22.58	10.42	14.33	50.00	15.78	
<i>NH₄</i>	mg/l	2.48	10.65	6.84	17.00	6.42	
<i>N Kjeld</i>	mg/l	3.31	11.81	8.20	17.80	7.77	
<i>P Total</i>	mg/l	1.39	1.98	2.63	5.90	2.00	
<i>PO4</i>	mg/l	0.81	1.51	1.76	2.90	1.35	
<i>SO₄</i>	mg/l	155.00	123.00	155.67	298.00	144.56	
<i>MES</i>	mg/l	12506.83	4500.35	948.67	23304.00	5985.28	30 mg/l
<i>Phosphore Org</i>	mg/l	0.57	0.44	0.87	3.40	0.63	
<i>Azote Org</i>	mg/l	0.83	1.13	1.36	2.50	1.11	
<i>Cr</i>	mg/l	1.75	1.75	3.09	16.19	2.19	3
<i>Fe</i>	mg/l	1.62	1.50	1.50	2.27	1.53	5 mg/l
<i>Cu</i>	mg/l	0.44	0.41	0.41	3.73	0.42	3 mg/l
<i>Mn</i>	mg/l	2.47	2.59	2.75	9.20	2.60	1 mg/l
<i>Al</i>	mg/l	64.25	67.33	68.41	98.00	66.67	5 mg/l
<i>Zn</i>	mg/l	1.25	1.26	1.22	2.51	1.24	5 mg/l
<i>Pb</i>	mg/l	16.81	16.81	16.59	56.20	16.74	1 mg/l

Tableau II- 8 : Résultats d'analyse des rejets de CERTAF [6]

La concentration de la charge organique est dans les normes, par contre la charge physique en MES est très importante, elle est loin de satisfaire les normes. La concentration en éléments nutritifs est acceptable.

Le Plomb et l'Aluminium restent les polluants majeurs à surveiller. Selon les résultats ci-dessus, leurs concentrations dépassent des normes des rejets.

❖ *Actions à entreprendre*

<i>Unité</i>	<i>Actions</i>
<i>ENOF</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Installation de filtre pour la réduction des émissions atmosphériques de poussière à l'atelier carbonate de calcium, récupération et valorisation des poussières (FINE) ; - 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.
<i>ENCG</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtriser la filière physico chimique afin de rabattre les charges en DCO et DBO5 à des valeurs de 1000 à 1500 mg/L et 400 à 600 mg/L en DBO5 pour permettre l'épuration biologique au stade suivant ; - Diagnostiquer et mettre en service l'épuration biologique ; - Améliorer la gestion des boues et autres déchets.
<i>MAISERIE</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Diagnostic approfondi des bassins de neutralisation ; - Réduction des charges en amont par une maîtrise des consommations d'eau et de matière ; - Lancer une étude d'épuration et de valorisation des effluents ; - Mettre en place un plan environnement entreprise.
<i>CERTAF</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Diagnostic précis des installations de traitement pour en améliorer la performance ; - Etudier la possibilité de récupérer l'email à base de plomb pour éviter son rejet dans le réseau d'assainissement ; - Mettre en place un plan environnement entreprise.

Tableau II- 9 : Tableau récapitulatif des actions à entreprendre aux unités industrielles de Maghnia [7]

II.2.5 Impact de la pollution

Les rejets depuis la frontière de diverses origines (domestique, industrielle, agricole locales et transfrontalière) entraînent d'innombrables agents polluants diffusés dans le milieu récepteur du sous bassin versant de l'Oued Mouillah.

Ces polluants génèrent de graves conséquences sur les milieux écologiques du bassin versant et sur l'être humain.

➤ *Impact de la pollution sur l'être humain*

Les nuisances les plus importantes sont engendrées par la présence des bactéries et les germes, dont certaines peuvent être pathogènes, provoquant les 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 les maladies dangereuses. Les nitrites et nitrates peuvent, par exemple, être à l'origine de concert chez les adultes.

➤ ***Impact de la pollution sur le milieu récepteur***

La pollution des cours d'eau est due principalement aux rejets provenant de la ville de Maghnia et celle d'Oujda.

- Le cours d'eau d'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 d'Oued Abbés : il draine les eaux industrielles polluées de trois importantes unités de la ville de Maghnia : le complexe des corps gras (ENCG), la maïserie (ERIAD) et le complexe de céramique-vaisselle (CERTAF). L'Oued Abbés se divise dans l'Oued Ouerdeffou à quelque Km en aval de la ville de Maghnia.
- Le cours d'eau d'Oued Ouerdeffou : cet 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 terre décolorantes (ENOF). A l'est de Maghnia il est rejoint par oued Abbés véhiculant les eaux industrielles. L'Oued Ouerdeffou est l'un des principaux affluents de l'Oued Mouillah.

D'autre part, les décharges actuelles des déchets solides urbains, comme celle qui se situe en amont de Hammam Chigueur qui attirent les insectes, et d'autres animaux qui peuvent véhiculer des germes pathogènes et des parasites.

Ces déchets génèrent des nuisances comme les odeurs, la pollution du milieu et des cours d'eau par lessivage due aux ruissellements.

➤ ***Impact de la pollution sur le barrage Hammam Boughrara***

Le site du barrage se présente comme une source secondaire de la pollution, alimentée par les oueds Mouillah et Tafna et leurs différents affluents.

Cette pollution composée de différents paramètres et éléments chimiques, organiques et biologiques constitue un réel danger sur la qualité et la potabilité des eaux régularisées par le barrage. Ainsi, cet important ouvrage joue actuellement le rôle d'une grande lagune, et ne peut être utilisé pour les objectifs auxquels il a été conçu, et risque, même d'être condamné si aucune action de lutte contre cette pollution n'est entreprise dans les brefs délais.

Solution proposée

Pour arriver à remédier ces problèmes il suffit de construire des nouvelles stations d'épuration à grande capacités et d'assurer le raccordement de toutes les agglomérations de la région avec ces stations pour éviter les rejets sauvages.

Pour les zones industrielles, la solution se trouve dans l'enceinte des unités et ce par la réduction des déchets à la source et l'économie des matières premières et des ressources (eau, énergie). Ceci est valable concrètement pour l'ensemble des unités du Pôle de Maghnia.

II.3 Station d'épuration de MAGHNIA

Dans le cadre de la réduction de la pollution, une station d'épuration a été réalisée à 5 km au Nord Ouest de la ville de Maghnia pour traiter les eaux usées de cette région. Cette station de traitement biologique à boues activées d'une capacité totale de 150 000 équivalents habitant soit 30 000 m³/jour. Le rendement épuratoire de la station est très satisfaisant.

La pollution agglomérée raccordée à la station d'épuration est estimée à 8% ce qui fait qu'un grand débit d'eaux usées soit rejeté chaque année directement dans le milieu naturel sans le moindre traitement. Toutes les eaux se sont trouvées concernées par cette pollution. [8]

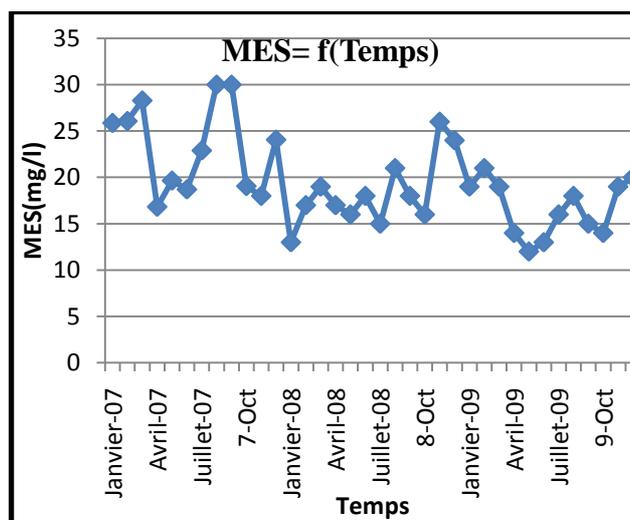
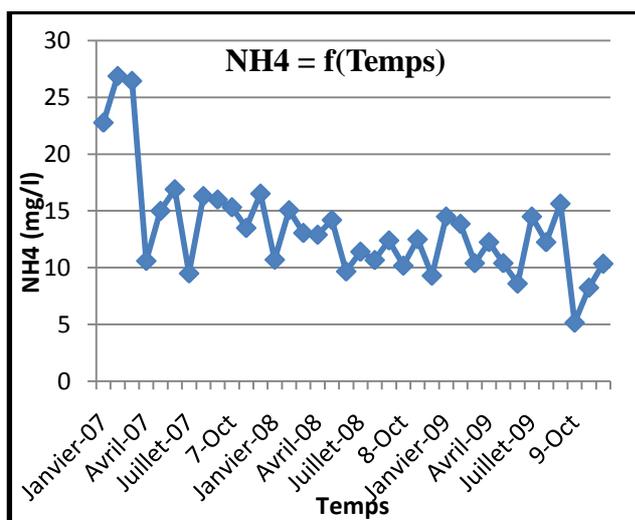
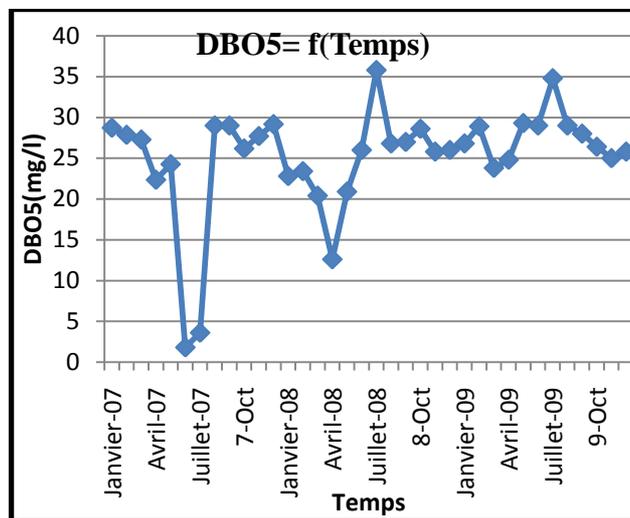
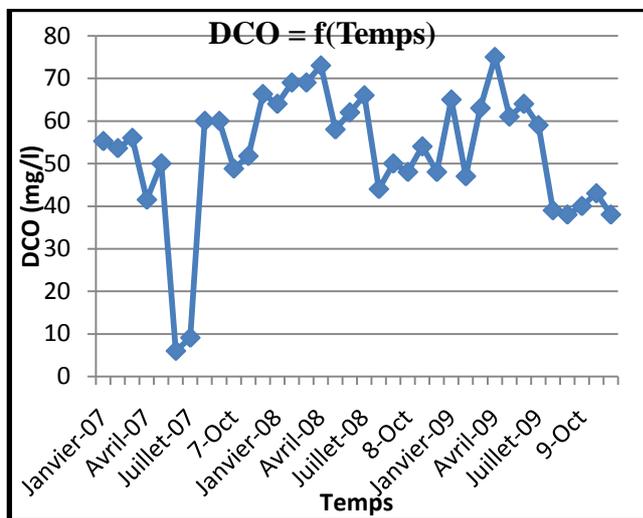
II.3.1 Processus d'épuration dans la station

Les eaux usées dans la station passent par plusieurs étapes :

- Prétraitement : les eaux passent par un dégrillage grossiers et un autre fin, afin de piéger les matières de grandes dimensions. Une opération de dessablage-déshuilage succède cette dernière afin de piéger les sables et les graisses surnageant. Le temps de séjour de cette opération est compris entre 25-30 min.
- Traitement de dénitrification : après le traitement physique les eaux passent dans des bassins de dénitrification, comme son nom l'indique c'est une opération qui consiste à éliminer les nitrates sous toutes ses formes et tout ça dans un milieu anaérobie.
- Traitement biologique : quatre bassins d'aérations ont été prévus pour un débit de 30 000 m³/j, le débit traité actuellement est presque la moitié de celui de dimensionnement de l'ordre de 12 000 m³/j.
- Décantation finale : deux bassins de décantation finale circulaire sont prévus pour la séparation eau-boue, l'eau est récupérée en surface alors que la boue est aspirée par le fond à l'aide des pompes pour être refoulée ensuite vers l'épaississeur.
- Désinfection : un traitement final de désinfection est prévu pour l'eau en fin de chaîne, cette opération assure une eau exempte de germes pathogènes et l'élimination de toutes forme de pollution bactériologique.
- Déshydratation des boues : la production de boue est d'environ de 120 m³/j. Les boues sont séchées sur des lits de séchage et stockées dans l'enceinte de la station d'épuration.
- Mesures de débit : des débitmètres mesurent en continu les débits à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration
- Exploitation de la STEP : La STEP est d'un rendement épuratoire très satisfaisant. La qualité moyenne des effluents épurés est de 28 mg/l pour la DBO5 et 72 mg/l pour la DCO soit un rendement épuratoire de 93% .La concentration de l'effluent brut est de 400 mg/l de DBO.
- La STEP est dotée d'un laboratoire de contrôle.

II.3.2 Résultats des analyses au niveau de la station

Le tableau (annexe 5) présente les résultats d'analyse des eaux à la sortie de la station d'épuration de Maghnia, ainsi les graphes suivants montrent les variations de ses paramètres d'analyse dans le temps :



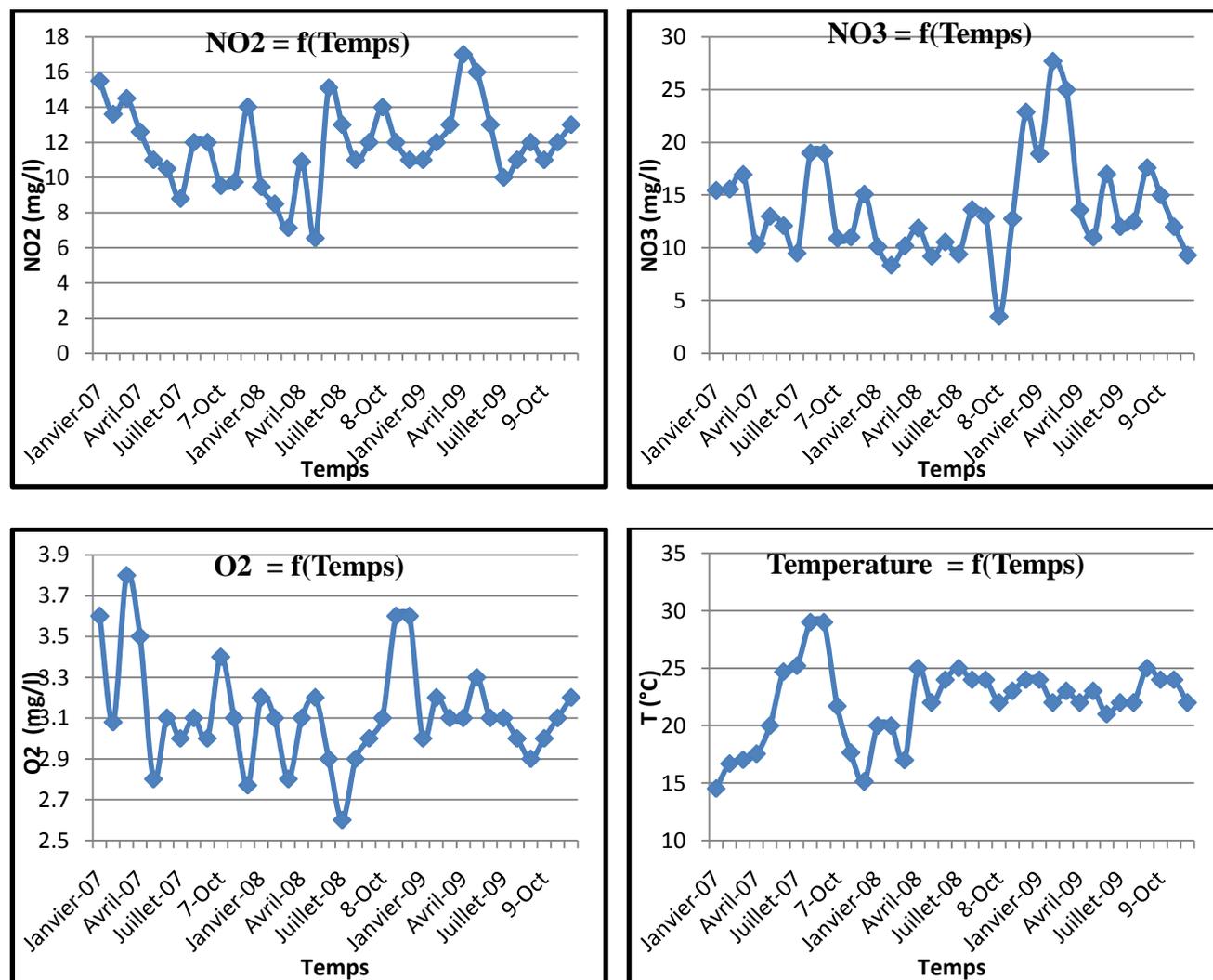


Figure II- 6 : Evolution des paramètres d’analyses à la sortie de la STEP [11]

D’après les graphes ci-dessus, on peut dire que le problème des rejets hydriques domestiques est presque résolu, car l’acidité est normale, la pollution organique est dans les normes avec des valeurs de DBO5 inférieurs à 40 mg/l et DCO inférieurs à 120 mg/l, ainsi que la pollution physique due à la quantité de matières en suspension (MES) correspond aux normes.

Il est clair que presque tous les paramètres à la sortie de la STEP sont dans ou environ les normes de rejets, il suffit d’assurer le raccordement de toutes les eaux usées urbaines à la station d’épuration.

CHAPITRE III

MODELISATION HYDRAULIQUE

III.1 Différents modèles hydrauliques des cours d'eau

Cet aspect est intimement lié aux données topographiques qui forment l'ossature du modèle géométrique utilisé pour les modélisations. Une recherche des caractéristiques des principaux modèles existants en hydraulique fluviale avec leurs atouts et leurs limites est donc nécessaire.

Dans le cas d'un écoulement en rivière, on parle d'écoulements en lits composés (lits mineur et majeur) où les caractéristiques de vitesse, hauteur d'eau, rugosité varient suivant les lits. L'interface entre les lits est primordiale, elle est la source de la majorité des incertitudes pour la simulation des écoulements débordants.

On identifie de fortes pertes de charges dans cette zone et dans la couche limite (interface entre le fond de la rivière et le fluide) comme il est montré sur la figure III-1 :

- a) Pertes par frottement et microturbulences au fond du cours d'eau,
- b) Pertes dues aux macroturbulences issues de la différence de vitesse entre les lits,
- c) Pertes par transferts de quantité de mouvement (QDM) entre les lits.

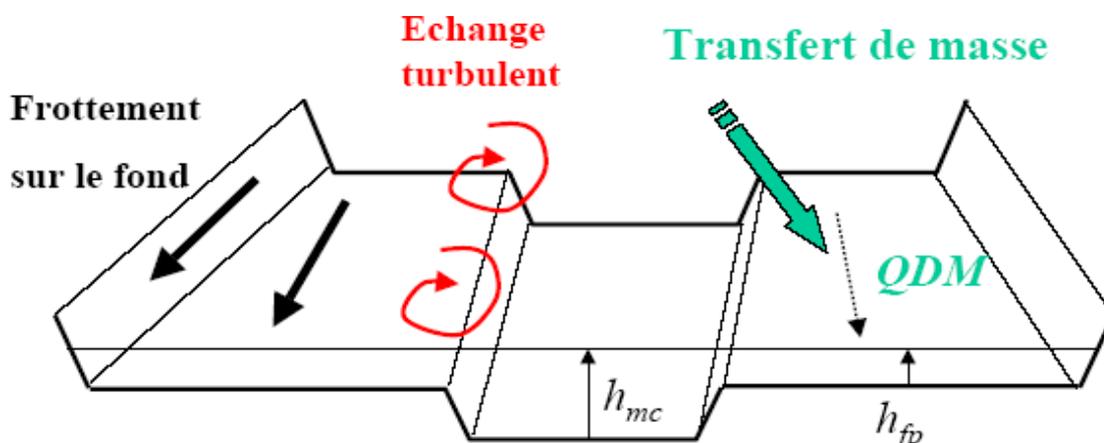


Figure III- 1: Différentes pertes de charge dans un écoulement en lits composés [12]

➤ Les modèles 1D

La plupart des modèles unidimensionnels (1D) à lits composés prennent en charge les pertes (a) comme HEC-RAS ou Mike 11, d'autre tentent de prendre en charge (a) et (b) comme Mage5 et les plus évolués cherchent à simuler les trois pertes comme Axeriv. Néanmoins, la caractéristique principale des codes 1D est qu'ils moyennent la hauteur d'eau (et pour certains la vitesse) sur chaque profil en travers perpendiculairement aux lits majeur et mineur. Ceci provient de leurs structures et des équations qui les régissent : ils sont constitués d'un ensemble de profils en travers perpendiculaires aux écoulements. C'est leur principale faiblesse car les surfaces libres réelles sont loin d'être horizontales lors des crues (et les champs de vitesses sont loin d'être uniformes) pour une section en travers donnée.

➤ *Les modèles 2D*

Les modèles bidimensionnels tentent de reproduire ces variations : ils sont construits sur un réseau maillé qui permet de donner les grandeurs hydrauliques (vitesse et hauteur d'eau) pour chaque cellule du réseau. Les équations qui régissent ces modèles sont moyennées sur la hauteur (2D-Hauteur) et donnent des champs de vitesse pouvant varier dans le plan mais pas sur la hauteur. Ces modèles à priori sont très intéressants mais sont très gourmands en temps de calcul.

➤ *Les modèles 3D*

Actuellement, les modèles 3D ne sont guère opérationnels, ils restent dans le domaine de la recherche et se limitent à des zones d'études très restreintes de l'ordre de quelque dizaine de mètres de cours d'eau.

Le tableau suivant présente les différents modèles hydrauliques des cours d'eau et donne des exemples sur les logiciels les plus utilisés dans le domaine de la simulation pour chaque catégorie.

<i>Modèle</i>	<i>Equation</i>	<i>Nom Du Logiciel</i>	<i>Atouts</i>	<i>Limites</i>
<i>Modélisations 1D Dites Filaires</i>	Barré Saint-Venant Simplifié (BSV 1D)	LISFLOOD-FP	Permet d'utiliser des données topographiques précises	Equation simplifiées
	Barré Saint-Venant (BSV 1D)	Thalweg-Fluvia (CEMAGREF)		
	(BSV 1D)	LIDO (CETMEF)	Conçu pour les grandes plaines inondables	
	(BSV 1D)	HEC-RAS (USACE), MIKE11 (DHI)	Robustesse et fiabilité	Peu adapté aux reliefs complexes
	(BSV 1D)	Mascaret (EDF), Mega5(CEMAGREF)	Tient compte des échanges turbulents entre lits	
	(BSV 1D)	Axeriv (Université Louvain)	Tient compte des échanges turbulents et des transferts de masse entre lits	Peu diffusé, reste dans le domaine de la recherche
<i>Modélisation 2D</i>	BSV 2D	Telemac 2D (LNH-EDF), Mike 21 (DHI), RUBAR (CEMAGREF)	Adapté aux reliefs et aux champs de vitesse complexes	Temps de calculs longs
<i>Modélisation 3D</i>	Navier-Stokes	Mike 3 (DHI)	Equations complètes	Temps de calcul très longs

Tableau III- 1: Différents modèles hydrauliques des cours d'eau [12]

Abréviation : CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales), DHI (Danish Hydraulic Institute), USACE (United State of America Corps Of Engineers), LNH-EDF (Laboratoire Nationale d'hydraulique-Electricité De France).

III.1.1 Hydraulique de la rivière

➤ Les équations de Saint Venant

Les hypothèses sous-jacentes à ces équations sont :

1. l'écoulement est filaire (le champ de vitesse de l'eau est supposé uniforme dans chacune des sections transversales),
2. l'écoulement est quasi horizontal (la pente générale du fond est faible),
3. la courbure des lignes de courant est faible
4. la masse volumique de l'eau est constante.

Les grandeurs qui interviennent dans ces équations sont :

- S(x,t) section mouillée à l'abscisse curviligne x (point kilométrique pk) et au temps t,
- Z(x,t) côte de la surface libre,
- U(x,t) vitesse de l'eau dans la section,
- Q(x,t) débit traversant la section.

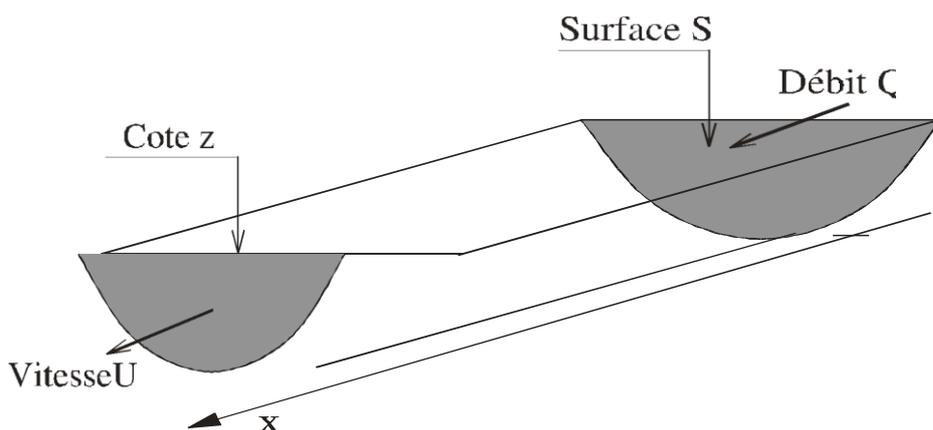


Figure III- 2: Notations utilisées dans les équations de Saint Venant [13]

S, Z d'une part, U, Q d'autre part, sont liées par la géométrie de la section. On peut exprimer les équations de Saint Venant avec le couple S, Q par exemple. La première équation de Saint Venant est une équation de continuité (qui traduit la conservation de la masse) :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

Où $Q=SU$ est le débit global traversant la section mouillée S, et U étant la vitesse moyenne.

Avec q est un terme d'apport (de dimension L^2T^{-1}).

La deuxième équation de Saint Venant traduit la conservation de la quantité de mouvement :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{S} \right) + gS \frac{\partial z}{\partial x} = -gSj$$

Où J est la pente de frottement, qui décrit le frottement de l'eau sur le lit de la rivière. J peut être exprimé par la relation empirique de Manning-Strickler :

$$j = \frac{Q^2}{K_S^2 S^2 R_H^{\frac{3}{4}}}$$

Avec R_H est le rayon hydraulique et K_S est le coefficient de Strickler. Ce coefficient doit être calé pour chaque bief de rivière et varie avec le débit.

➤ Description de la rivière

Le cours d'eau est composé d'une succession de biefs où s'appliquent les équations de Saint Venant et de points singuliers où des conditions particulières conditionnent l'écoulement. Il peut s'agir de la limite amont ou aval du domaine étudié, d'un point de diffluence où la rivière se sépare en deux ou plusieurs bras, d'un point de confluence où plusieurs bras se rejoignent, d'un barrage ou d'un point où la morphologie du lit change de façon importante (frottement,...). Les biefs sont à leur tour divisés en mailles dont le pas est défini par l'utilisateur. Ces mailles sont les mailles de calcul lors de la résolution numérique des équations de Saint Venant.

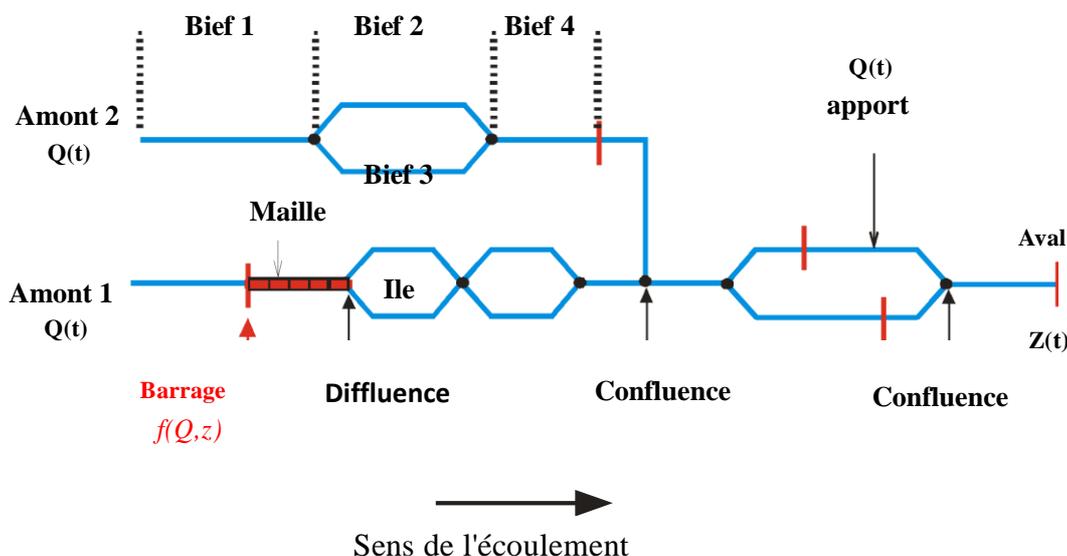


Figure III- 3: Schématisation de la géométrie d'une rivière [13]

Le long du domaine d'étude de la rivière, il est nécessaire de rentrer des profils en travers qui décrivent la forme du lit.

L'utilisateur doit également spécifier les entrées intermédiaires d'eau, diffuses (nappes) ou ponctuelles (affluents), et les débits associés (en plus du débit entrant dans le système en amont de la région étudiée), ainsi que les éventuels prélèvements.

Il est enfin nécessaire d'introduire une description précise de tout ouvrage situé sur le cours de la rivière (barrages, seuils, vannes).

III.1.2 Quelques logiciels de modélisation hydraulique

➤ Logiciel MAGE du CEMAGREF

L'outil de modélisation utilisé est le logiciel MAGE développé par le CEMAGREF qui permet la simulation en régime transitoire d'écoulement en rivière par la résolution des équations de Saint-Venant monodimensionnelles. Son domaine d'application privilégié est la simulation des crues et des zones inondées. MAGE prend en compte la géométrie réelle du lit de la rivière définie par des profils en travers et utilise une modélisation géométrique en lit mineur, lit moyen et lit majeur avec calcul de la répartition des débits.

La précision absolue d'un modèle de simulation des écoulements à surface libre (c'est-à-dire l'incertitude entachant les grandeurs hydrauliques calculées par le modèle pour un événement hydrologique donné) résulte de :

- la méthode de résolution mathématique des équations des écoulements,
 - la qualité des données topographiques et bathymétriques introduites dans le modèle,
 - la fiabilité des conditions aux limites imposées pour un événement donné et la qualité des données hydrologiques,
 - la représentativité de la formulation mathématique des phénomènes physiques mis en jeu.
- [14]

➤ Modèle HEC-RAS

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le *Hydrologic Engineering Center* du *U.S Army Corps of Engineers*. Il s'agit d'une nouvelle version d'un modèle hydraulique auparavant nommé HEC-2, qui comporte maintenant un interface graphique permettant d'éditer, modifier et visualiser les données d'entrée, de même qu'observer les résultats obtenus. Ce modèle permet de simuler les écoulements permanents et non permanents et le transport de sédiments.

L'objectif principal du programme HEC-RAS est tout à fait simple, il est conçu pour exécuter le calcul hydraulique unidimensionnel par les mesures des hauteurs de la surface de l'eau en toute section d'intérêt pour un ensemble de données d'écoulement en régime permanent ou par des hydrogrammes de propagation des crues par la simulation de l'écoulement en régime non permanent. [15]

III.2 Modélisation hydraulique d'oued Mouillah par le logiciel HEC-RAS

III.2.1 Présentation du logiciel

HEC-RAS est un logiciel qui permet de simuler les écoulements à surface libre, il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux. Ce modèle englobe plusieurs aspects hydrologiques et hydrauliques : analyse du ruissellement des précipitations, hydraulique fluviale, analyse des dommages d'inondation, simulation des écoulements permanents et non permanents, transport de sédiments, analyse de la qualité d'eau et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques.

HEC-RAS est un logiciel basé sur le modèle 1D de Saint Venant permanent ou non-permanent de calcul de la ligne d'eau en graduellement varié. Il résout « l'équation de l'énergie unidimensionnelle », les pertes étant évaluées par la formule de frottement au fond de Manning-Strickler et par des formules de contraction/expansion de l'écoulement. Pour les situations rapidement variées telles que les ressauts hydrauliques, les écoulements à proximité des ponts, et les confluences de rivière, l'équation de l'énergie est remplacée par l'équation de quantité de mouvement. [15]

III.2.2 Théorie de base de calcul du modèle HEC-RAS

III.2.2.1 Cas du régime d'écoulement permanent

Comme il a été indiqué précédemment le modèle HEC-RAS est capable d'exécuter des calculs unidimensionnels de profil de la surface de l'eau pour l'écoulement permanent graduellement varié (écoulement fluvial, supercritiques, et mixtes) dans les canaux naturels ou artificiels. Pour faire ces calculs plusieurs étapes sont incluent :

❖ Equation de base entre deux sections

Les profils de la surface de l'eau sont calculés entre deux sections comme c'est indiqué dans la figure **III-4** en résolvant l'équation d'énergie suivante :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Où :

Y_1, Y_2 : Profondeur de l'eau au niveau des sections

Z_1, Z_2 : côte du canal principal

V_1, V_2 : vitesses moyennes (débit total / surface totale d'écoulement)

α_1, α_2 : coefficients de pondération de vitesse

g : accélération de la gravité

h_e : perte totale d'énergie

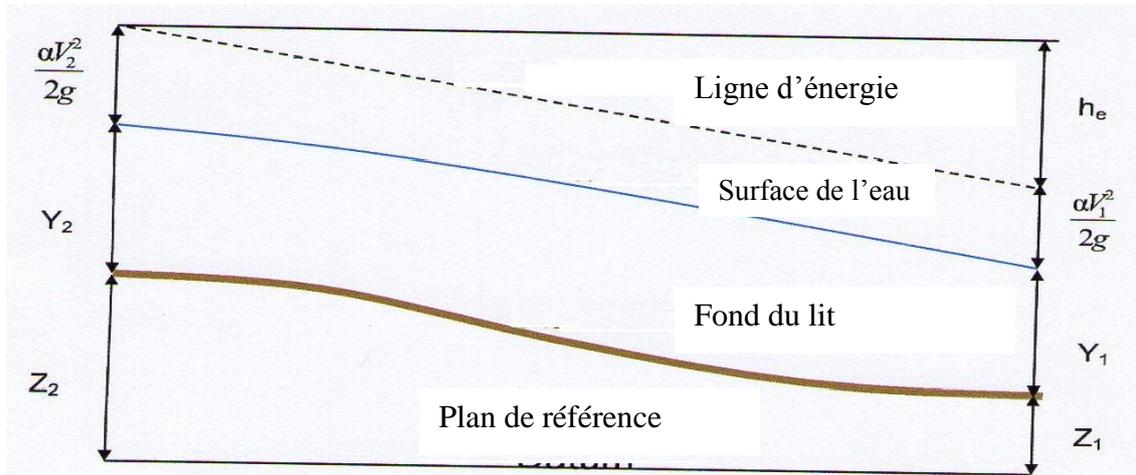


Figure III- 4 : Représentation des limites dans l'équation d'énergie [16]

La perte totale d'énergie (h_e) entre deux sections est liée aux pertes de frottement et aux pertes de contraction ou d'expansion. L'équation de la perte totale d'énergie est calculée par:

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

Où :

L : longueur de la distance entre deux sections, calculée par l'équation (3)

\bar{S}_f : angle de frottement représentatif entre deux sections

C : coefficient de pente d'expansion ou de contraction

$$L = \frac{L_{lob} \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}} \quad (3)$$

Où :

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : Longueur des distances entre deux sections pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: Moyenne arithmétique des débits entre deux sections pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.

❖ **Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit**

La détermination du transport total et du coefficient de vitesse pour une section exige que l'écoulement soit subdivisé en unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée. L'approche utilisée dans HEC-RAS est de subdiviser l'écoulement dans les surfaces des rives en utilisant les points d'arrêt des valeurs de la rugosité n comme base de la subdivision (endroit du changement du coefficient de rugosité n) comme c'est montré dans la figure III-5.

Le flux est calculé dans chaque subdivision par les relations suivante en fonction de n (Equation de Manning) :

$$Q = K S_f^{1/2} \tag{4}$$

Avec
$$K = \frac{1}{n} A R^{2/3} \tag{5}$$

Où :

K : flux pour la subdivision

n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision (n dépend de la nature des parois)

A : surface d'écoulement pour une subdivision

R : rayon hydraulique pour une subdivision (surface / périmètre mouillé)

Le programme cumule tous les débits dans les rives pour obtenir un flux pour la rive gauche et un autre pour la rive droite. Le débit total d'une section de calcul est obtenu en additionnant les débits des trois subdivisions (gauche, canal, droite).

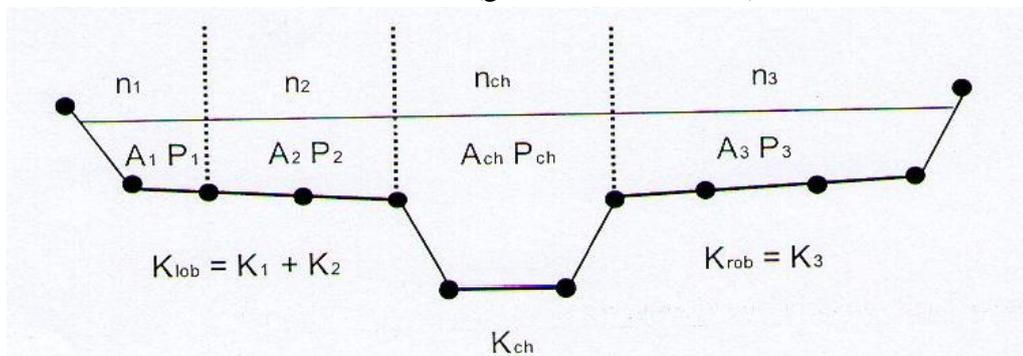


Figure III- 5: Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS [16]

❖ *Evaluation de l'énergie cinétique moyenne*

Puisque le logiciel HEC-RAS est un programme de calcul unidimensionnel des profils de la surface de l'eau, seule une surface d'eau et une énergie moyenne sont calculées en chaque section. Pour un niveau donné de la surface d'eau, l'énergie moyenne est obtenue en considérant les énergies correspondantes aux trois parties de la section de calcul (rive gauche, canal principal, rive droite).

Le schéma suivant montre comment obtenir l'énergie moyenne pour une section de calcul :

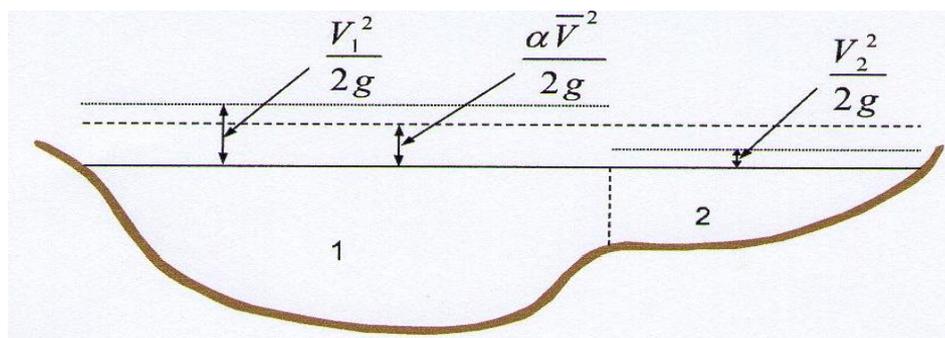


Figure III- 6 : Exemple de calcul de l'énergie moyenne [16]

Avec V_1 : vitesse moyenne de la surface 1

V_2 : vitesse moyenne de la surface 2

$$\alpha \frac{\bar{v}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

$$\alpha = \frac{2g \left[Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g} \right]}{(Q_1 + Q_2) \bar{v}^2}$$

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{v}^2}$$

En général

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{v}^2} \quad (6)$$

Pour calculer l'énergie cinétique moyenne il est nécessaire d'obtenir le coefficient de pondération α de la vitesse qui est calculé en se basant sur le flux dans les trois éléments d'écoulement : la rive gauche, le canal principal, la rive droite. Il peut également être écrit en termes de transport et de surface comme c'est indiqué dans l'équation suivante :

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3} \quad (7)$$

Où :

α : coefficient de pondération de la vitesse

A_t : surface total d'écoulement de la section totale de calcul (m²)

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : Surface d'écoulement de la rive gauche, canal principal, rive droite respectivement (m²).

K : flux total (m³/s)

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : Débit de la rive gauche, du canal principal et de la rive droite (m³/s)

❖ *Evaluation de la perte hydraulique (de frottement)*

La perte de frottement est évaluée dans HEC-RAS comme le produit S_f et L (**équation 2**), où S_f est la pente représentative de frottement pour un tronçon et L est la distance entre deux sections défini par **l'équation 3**. La perte de frottement en chaque section est calculée à partir de l'équation de Manning comme suit :

$$S_f^{1/2} = \frac{Q}{K} \Rightarrow S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (8)$$

Les Expressions alternatives qui calculent de la perte de frottement S_f pour un tronçon dans le modèle HEC-RAS sont défini comme suit :

- Equation de débit moyen entre deux sections de calcul (c'est l'équation par défaut employée par le programme)

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (9)$$

- Equation de perte moyenne de frottement

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \quad (10)$$

- Equation de perte moyenne géométrique de frottement

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \quad (11)$$

- Equation de perte moyenne harmonique de frottement

$$\bar{S}_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}} \quad (12)$$

❖ Evaluation des pertes de contraction et d'expansion

Les pertes de contraction et d'expansion dans HEC-RAS sont évaluées par l'équation suivante:

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \quad (13)$$

Avec :

C = coefficient d'Expansion ou de Contraction dont ses valeurs sont représentés par le tableau suivant :

	Coefficient de Contraction	Coefficient d'Expansion
Aucune perte de transition calculée	0.0	0.0
Transition progressive	0.1	0.3
Sections typiques de pont	0.3	0.5
Transitions brusques	0.6	0.8

Tableau III- 2 : Valeurs des coefficients d'expansion et de contraction utilisés par HEC-RAS [16]

Lorsque le changement de la section transversal de la rivière est petit, et le régime d'écoulement est fluvial, les coefficients de contraction et d'expansion prennent les valeurs de 0.1 et 0.3 respectivement. Par contre, lorsque le changement effectif de la section transversal est brusque comme celui des ponts, les coefficients de contraction et d'expansion prennent souvent les valeurs de 0.3 et 0.5.

❖ *Calcul du profil de la surface d'eau*

La hauteur inconnue de la surface de l'eau en une section donnée est déterminée par une solution itérative des équations (1) et (2) :

$$WS_2 = WS_1 + \frac{1}{2g} (\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2) + h_e \quad (14)$$

WS : niveau (profil) de la surface d'eau

❖ *Détermination de la profondeur critique*

La profondeur critique de la surface de l'eau est atteinte lorsque la perte totale d'énergie est au minimum.

La perte totale d'énergie pour une section transversale est définie par :

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (15)$$

Avec :

H = perte totale d'énergie

WS : niveau de la surface de l'eau

$\frac{\alpha V^2}{2g}$: Perte de vitesse

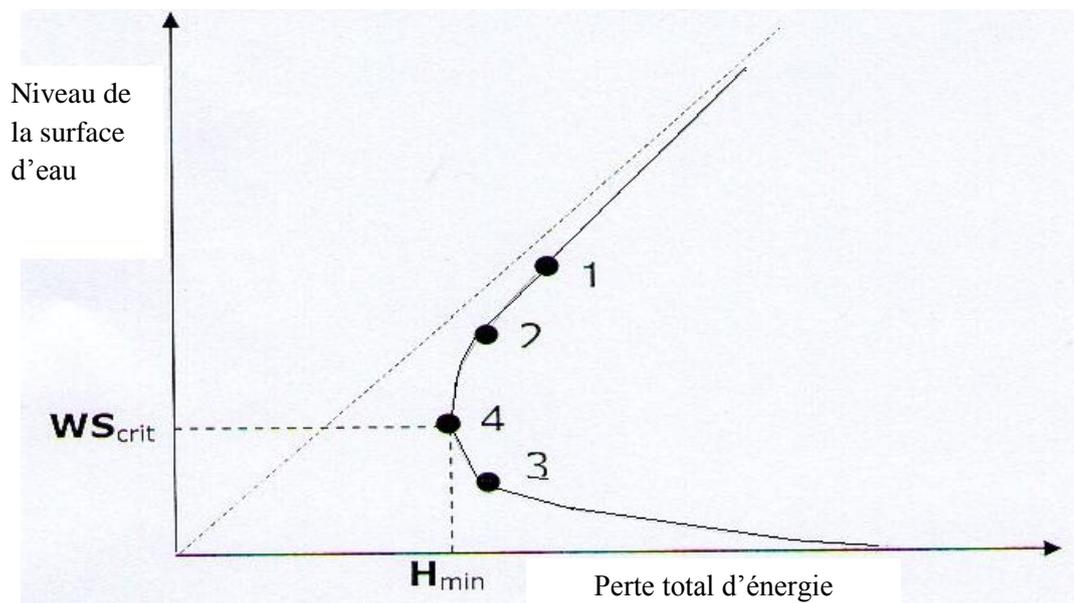


Figure III- 7 : Détermination de la profondeur critique [16]

III.2.2.2 Cas du régime d'écoulement non permanent

Les lois physiques qui régissent l'écoulement d'eau dans un canal sont : le principe de la conservation de la masse et le principe de la conservation de la quantité de mouvement. Ces lois sont exprimées mathématiquement sous forme d'équations différentielles partielles, qui sont désigné ci-après sous le nom des équations de continuité et de la quantité de mouvement.

❖ Equation de continuité

Considérons le volume élémentaire représenté sur la figure suivante, la distance x est mesurée le long du canal. Au point médian du volume, le débit d'écoulement et la surface total sont dénotés Q(x,t) et A_T. La surface totale d'écoulement est la somme de la surface active du canal et de la zone de stockage.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (16)$$

Avec : **q₁** est l'apport latéral par unité de longueur

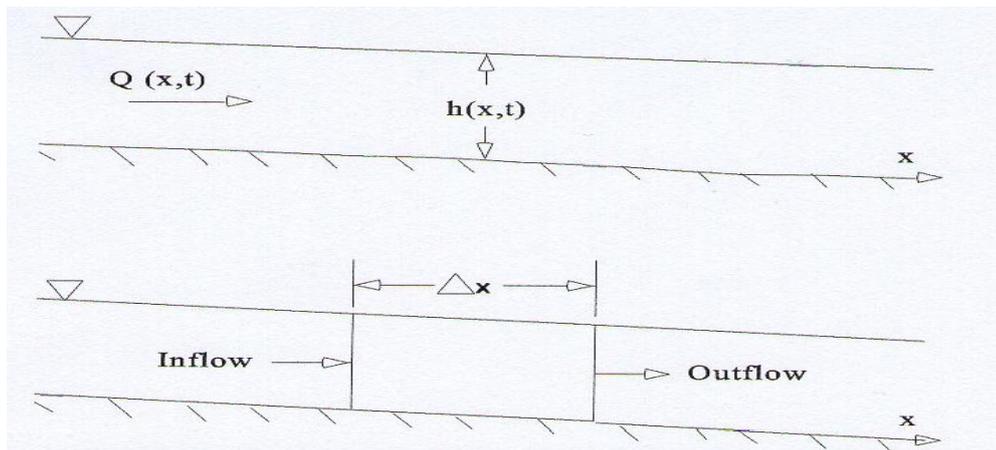


Figure III- 8 : Contrôle du volume élémentaire pour la dérivation des équations de continuité et de la quantité de mouvement [16]

❖ Equation de quantité de mouvement

Cette équation est déterminée par la seconde loi de Newton :

$$\sum F_x = \frac{d\vec{M}}{dt} \quad (17)$$

L'équation de la quantité de mouvement tient compte de Trois forces : la pression, la gravité et les forces de frottement, et elle est déterminée par l'expression finale :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (18)$$

III.2.3 Application du modèle hydraulique HEC-RAS

L'application du modèle HEC-RAS est basée sur la subdivision du cours d'eau en plusieurs sections perpendiculaires à l'écoulement comme c'est illustré dans la figure suivante :



Figure III- 9: Subdivision d'un cours d'eau

Cette application a été faite sur un tronçon réel d'Oued Mouillah depuis la frontière Algéro-marocaine jusqu'au barrage Hammam Boughrara sur une longueur d'environ 24 Km.

Les sections géométriques induites dans le modèle HEC-RAS sont extraites du logiciel d'Architecture AUTO-CAD en alignant les trois cartes topographiques 1/25000 (Maghnia 1-2, Nedroma 5-6, Nedroma 7-8) qui englobent le tronçon à étudié. La figure suivante montre le plan topographique de l'Oued Mouillah ainsi que les sections transversales.

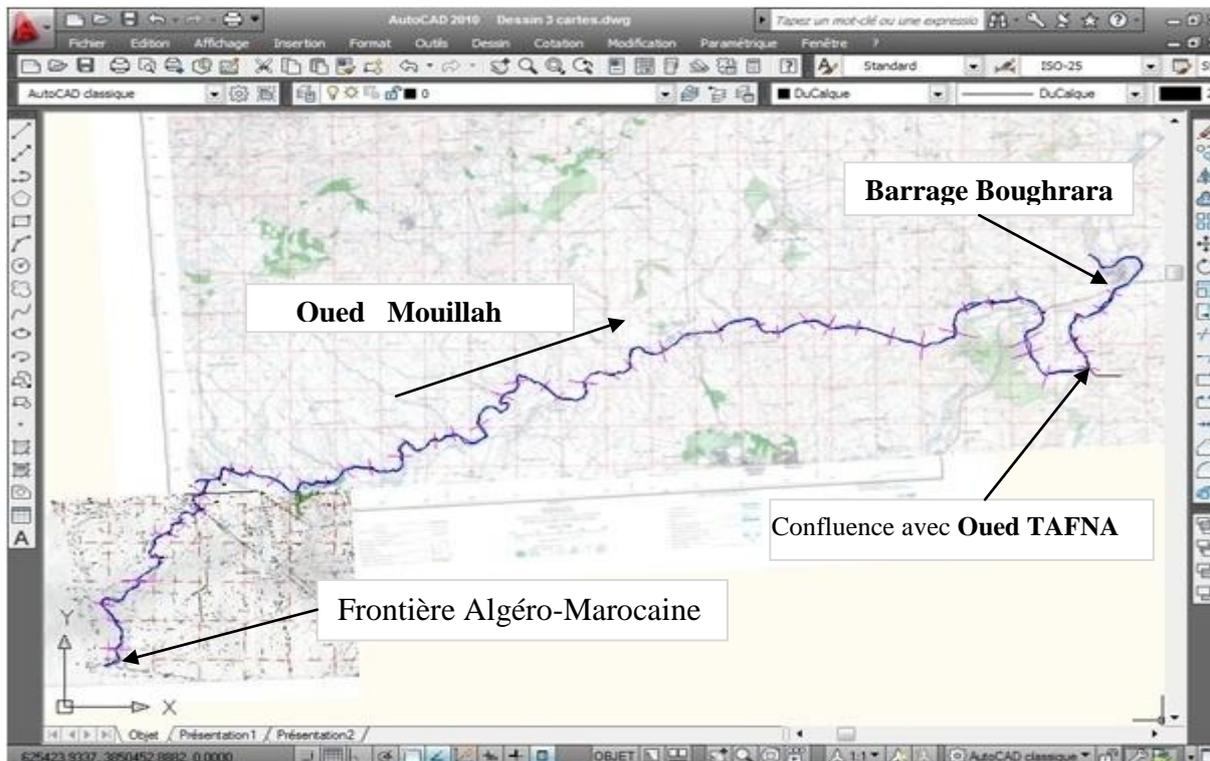


Figure III- 10: Plan topographique d'Oued Mouillah (Autocad)

III.2.3.1 Banque de données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS

L'application du modèle HEC-RAS nécessite des données concernant le site étudié :

- A. Des données géométriques relatives à chaque section :
 - Les sections en travers, définie par une série de couples distances-altitude ;
 - Les coefficients de rugosité ;
 - Les distances jusqu'à la section suivantes (Rives et canal principal)
 - Les coefficients de Contraction et d'Expansion.
- B. Des données d'écoulement et les conditions aux limites.

III.2.3.1 .A Les données géométriques

Les données géométriques nécessaires, consistent à l'établissement de la connectivité de l'information pour le système de rivière (schéma de système de rivière), il s'agit des données des sections transversales et des données d'ouvrage hydrauliques existants ou projetés (ponts, levées, structures latérales, déversoirs, etc.).

La saisie des données géométriques se fait en deux étapes distinctes :

1. Le traçage du schéma de système de rivière qui est un diagramme représentatif du réseau hydrographique d'une manière plus au moins réelle en prenant en considération les méandres de la rivière. Il est tracé tronçon par tronçon, de l'amont vers l'aval (dans le sens positif de l'écoulement) comme c'est indiqué dans la figure AUTO-CAD (*Figure III-10*).
2. La saisie des données aux sections transversales du cours d'eau et les ouvrages hydrauliques. Ces données incluent :
 - Les coordonnées X et Y de la section. (Annexe 6)
 - La distance à la section suivante. (Annexe 7)
 - Les coefficients de rugosité de Manning n. (Annexe 8)
 - Stations des rives du canal principal (lit mineur). (Annexe 9)
 - Coefficient de contraction et d'expansion.

Le modèle géométrique ainsi formé par le logiciel HEC-RAS pour l'Oued Mouillah, a été établi en subdivisant le cours d'eau en 48 sections espacées d'une distance moyenne de 600 mètre comme c'est indiqué dans les figures suivantes :

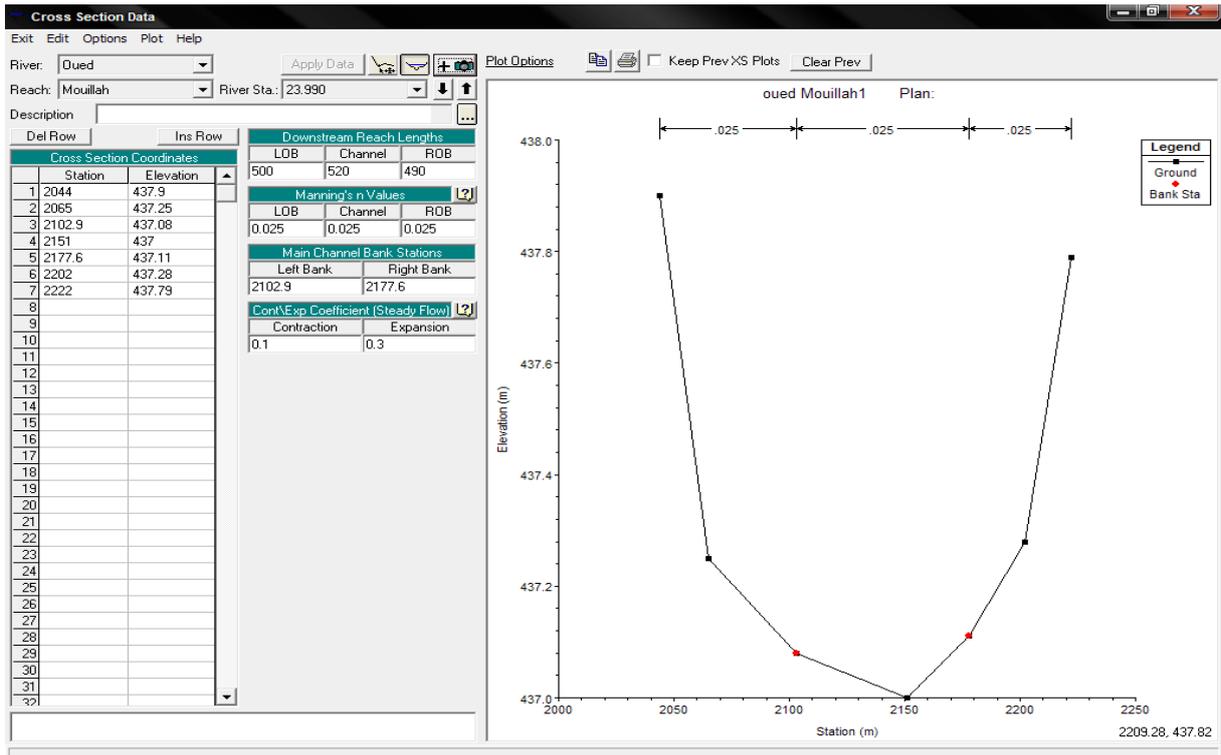


Figure III- 11: Exemple sur l'introduction de la géométrie des sections dans le modèle HEC-RAS

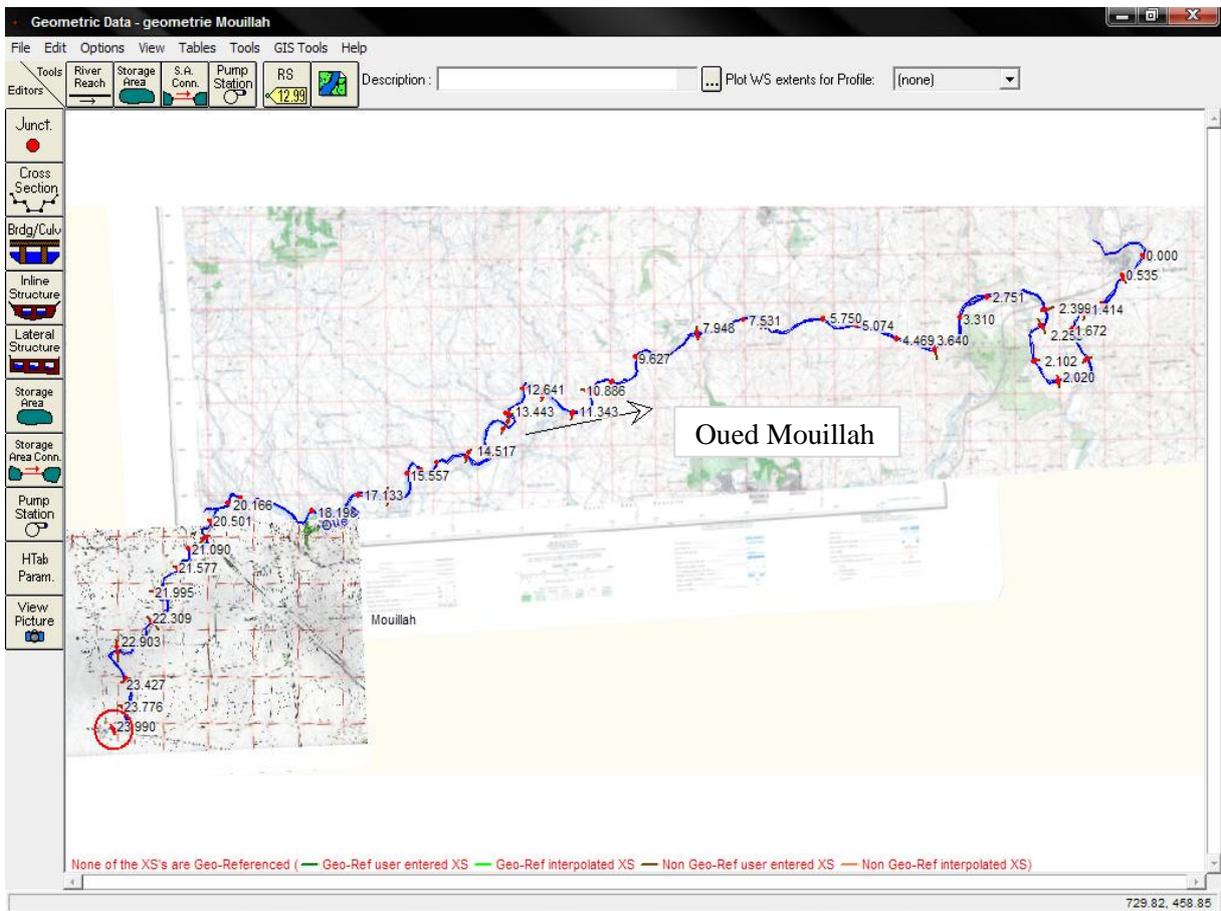


Figure III- 12: Schéma de système de rivière

III.2.3.1. B Les données de l'écoulement et les conditions aux limites

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière en régime fluvial.

- Pour notre étude la modélisation hydraulique est faite pour un seul débit constant de l'amont à l'aval.

Le débit appliqué représente la valeur moyenne des débits caractéristiques enregistrés d'Oued Mouillah pour une période de 1983 au 2009 comme c'est indiqué dans le tableau suivant :

Année	MOIS												Q Moyen
	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	
1983/2009	0.463	1.216	0.940	1.012	0.549	0.501	1.466	1.052	0.375	0.320	0.184	0.161	0.687

Tableau III- 3 : Débits moyens caractéristiques d'Oued Mouillah [3]

Donc la simulation est faite pour un débit moyen de $Q_{moy} = 0.68 \text{ m}^3/\text{s}$.

N.B : voir plus de détail sur les débits moyens caractéristiques d'Oued Mouillah dans tableau (Annexe 10).

- Les conditions aux limites sont nécessaires pour établir la hauteur initiale de la surface de l'eau aux extrémités du système de rivière. Cette hauteur est nécessaire afin que le programme commence les calculs. Dans notre cas d'étude, on la considère comme nulle c'est-à-dire que le débit de base du cours d'eau est nulle en début de simulation.

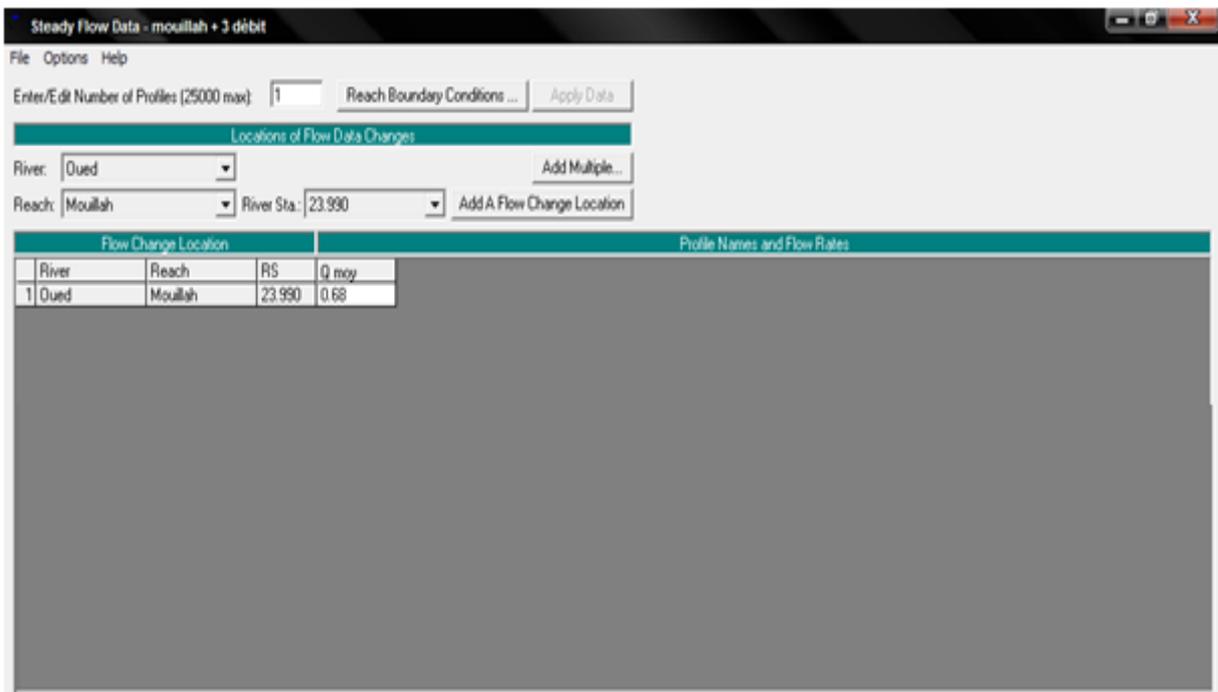


Figure III- 13: L'introduction du débit d'entrée et conditions aux limites dans le modèle HEC-RAS

III.2.3.2 Résultats de simulation hydraulique

Une fois que le modèle exécute la simulation hydraulique avec succès, on peut consulter les résultats qui sont disponibles sous plusieurs options de visualisation :

- ❖ Un des résultats intéressant à consulter est la vue en plan des profils de la surface d'eau le long du cours d'eau Mouillah :

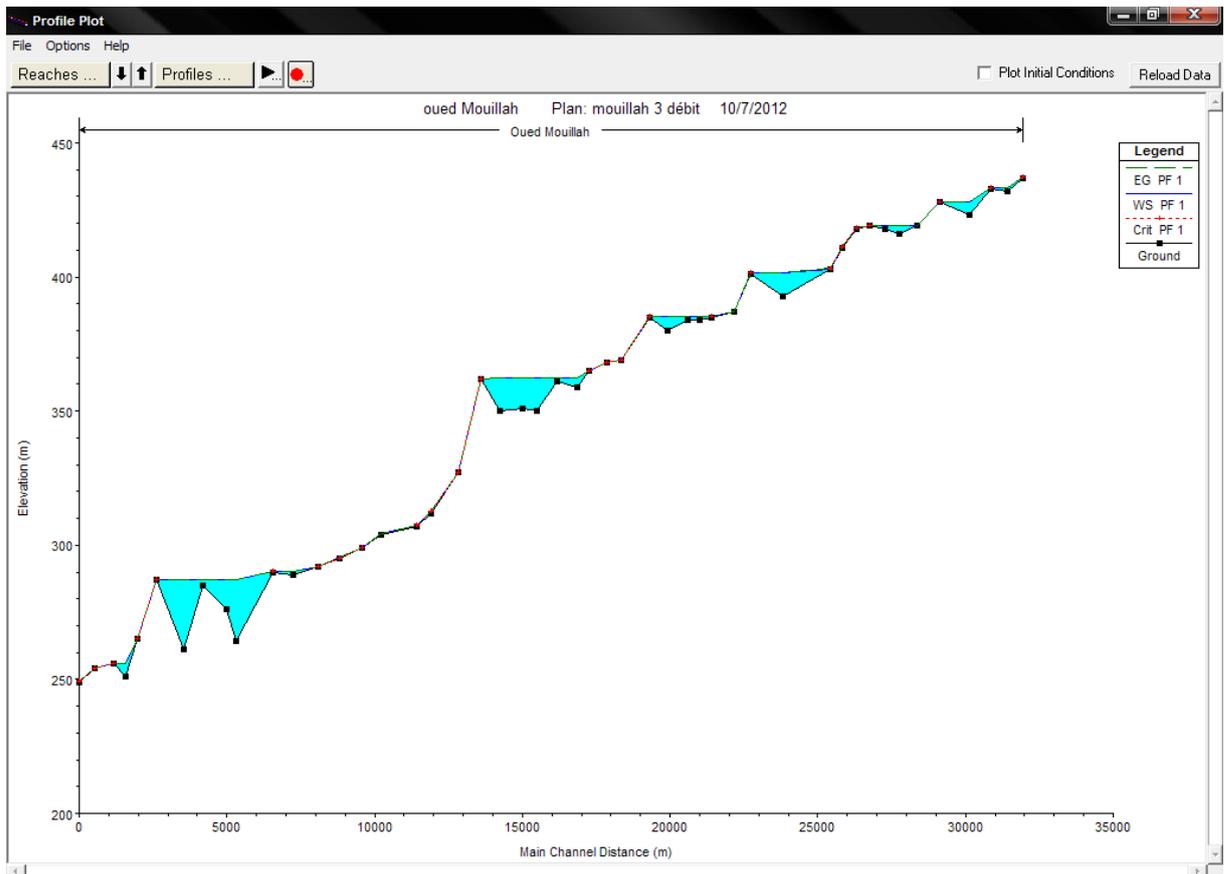


Figure III- 14: Plan du profil de la surface d'eau

- ❖ Une autre option graphique intéressante est représentée par un plan en trois dimensions du modèle géométrique qui schématise l'oued et les niveaux d'eau correspondant, l'option rotation et azimuth permettent de modifier l'angle de vue :

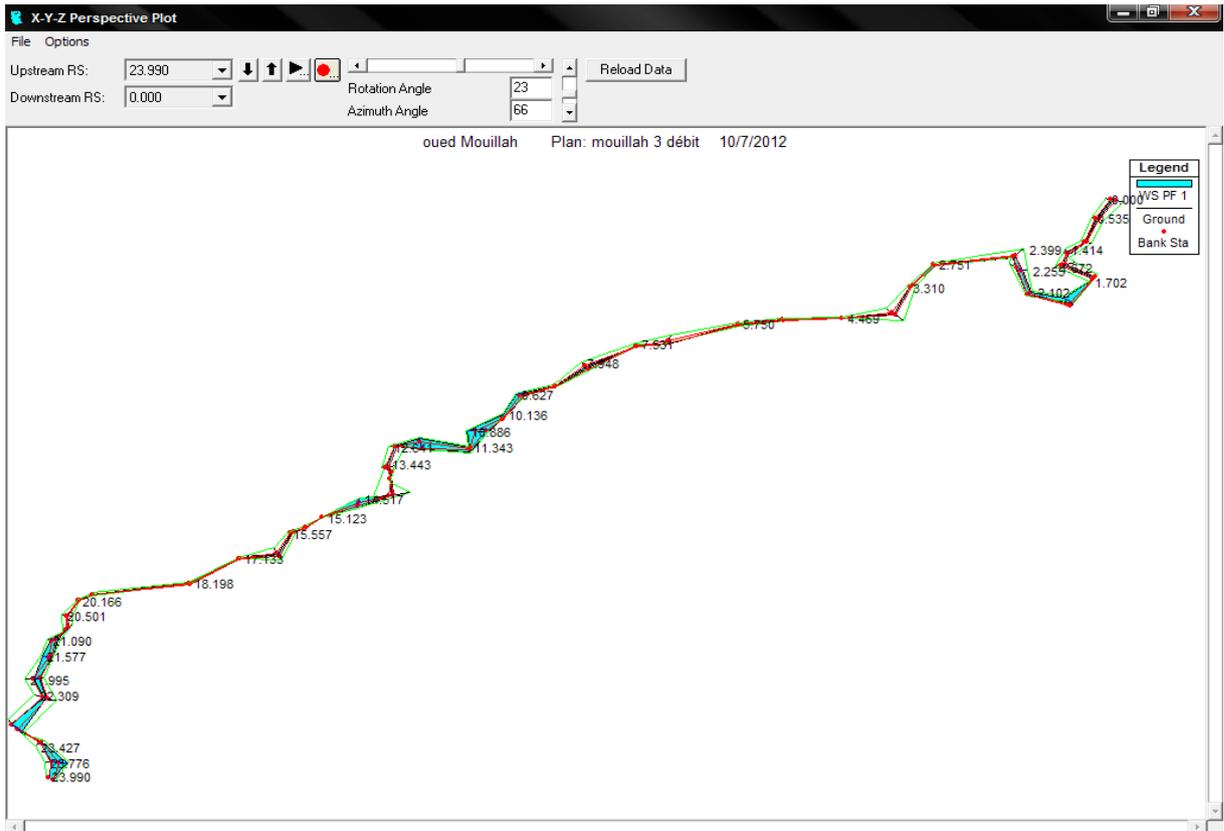


Figure III- 15 : Plan en trois dimensions du modèle géométrique simulé

- ❖ Pour visualiser l’élévation des niveaux d’eau en chaque section descriptive de l’oued, il est préférable d'utiliser l’option **View Cross Sections**. (voir annexe 11)

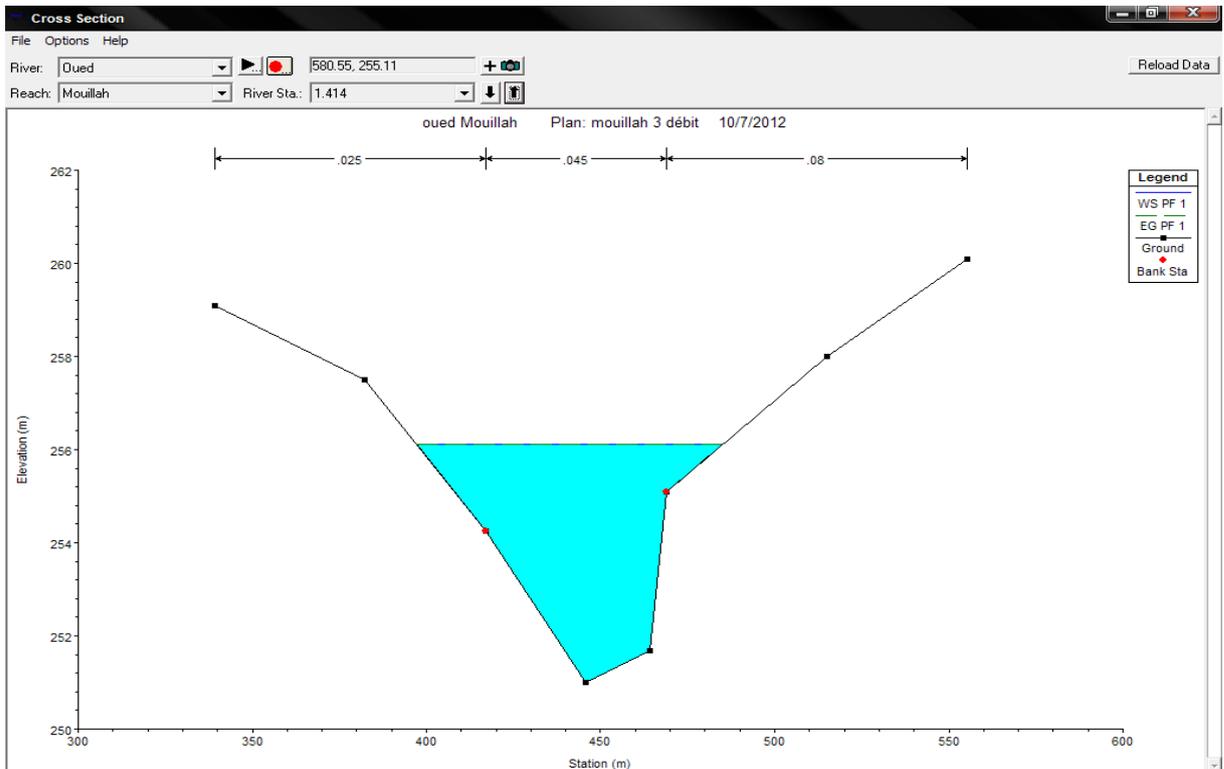


Figure III- 16: Exemple du niveau d’eau pour une section transversale

- ❖ Les résultats tabulés sont calculés par le modèle HEC-RAS pour chaque section transversale de l'oued, plusieurs variables sont obtenues ainsi que les niveaux d'eau:

Code de la section	Débit moyen $Q_{\text{moy}}=0.68 \text{ m}^3/\text{s}$					
	Elévation minimal du canal (m)	Elévation de la surface d'eau (m)	Hauteur critique d'eau (m)	Pente du canal (m/m)	Vitesse d'eau (m/s)	Nombre de Froude
23.990	437	437.05	437.05	0.0255	0.57	1.11
23.427	433	433.07	433.07	0.0183	0.6	1
22.309	428	428.06	428.06	0.0300	0.69	1.24
21.995	419	419.15		0.0002	0.12	0.12
20.917	419	419.15	419.09	0.0010	0.23	0.26
20.501	418	418.13	418.13	0.0117	0.71	0.88
20.166	411	411.19	411.19	0.0134	1.05	1.02
19.77	403	403.12	403.12	0.0216	0.89	1.17
17.133	401.35	401.52	401.52	0.0109	0.82	0.89
16.365	387	387.11		0.0014	0.23	0.3
15.557	385	385.11	385.11	0.0062	0.52	0.64
15.556	384	385.09		0.0000	0.03	0.01
15.123	384	385.09		0.0000	0.09	0.03
13.827	385	385.08	385.08	0.0096	0.46	0.73
13.443	369	369.13	369.09	0.0020	0.28	0.36
12.875	368	368.13	368.09	0.0022	0.32	0.39
12.641	365	365.09	365.09	0.0181	0.66	1.02
11.343	361	362.19		0.0000	0.01	0
8.843	362	362.14	362.14	0.0179	0.92	1.1
7.948	327	327.08	327.08	0.0183	0.65	1.02
7.531	312	312.57	312.57	0.0136	1.69	1.01
6.849	307	307.38	307.27	0.0017	0.55	0.4
5.75	304	304.18		0.0047	0.55	0.59
5.074	299	299.18	299.18	0.0138	0.94	1
4.469	295	295.35	295.24	0.0014	0.5	0.37
3.640	292	292.08	292.08	0.0812	0.75	1.18
3.31	289	290.16		0.0000	0.03	0.01
2.751	290	290.12	290.12	0.0388	0.69	0.88
2.102	285	287.12		0.0000	0.01	0
1.702	287	287.09	287.09	0.0181	0.69	1.03
1.672	265	265.07	265.07	0.1028	0.78	1.31
1.001	256	256.08	256.08	0.0168	0.75	1.02
0.535	254	254.16	254.11	0.0060	0.31	0.36
0	249	249.09	249.09	0.0169	0.67	0.99

Tableau III- 4: Tableau des résultats de simulation hydraulique par le modèle HEC-RAS

La simulation hydraulique par HEC-RAS pour un débit constant, permet le calcul de plusieurs variables en chaque section transversale de l'oued, à savoir : hauteur de la surface d'eau, vitesses d'eau, pente du canal, nombre de Froude...

Les niveaux d'eau permettent de déterminer les risques de débordement et d'inondations des cours d'eaux, ainsi on s'intéressera aux calculs des vitesses afin de quantifier les possibilités d'érosion.

Le nombre de Froude indique le régime d'écoulement, il est calculé par la relation :

$$Fr = \frac{v}{C} = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

Avec :

v : vitesse de l'écoulement

g : accélération de la pesanteur (9.81 m.s⁻²)

h : hauteur d'eau

Le régime torrentiel est spécifié par un nombre de Froude supérieur à 1, avec une faible hauteur d'eau et une forte vitesse, contrairement au régime fluvial qui est défini par un nombre de Froude inférieur à 1 avec une forte hauteur d'eau et une faible vitesse. On remarque que l'écoulement fluvial caractérise plusieurs sections d'oued Mouillah.

CHAPITRE IV

MODELISATION DE LA QUALITE DES EAUX

INTRODUCTION

La qualité des eaux d'un cours d'eau est définie par l'intermédiaire d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques, organoleptiques et bactériologiques. Ces paramètres issus souvent de l'activité humaine, provoquent sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité des eaux naturelles.

Pour lutter contre la pollution du bassin versant de l'Oued Mouillah, on doit envisager des actions à long, court et moyen termes, en prenant en considération tous les facteurs entrant dans sa pollution et ce afin de protéger le barrage Boughrara. La mise en place d'une politique de maintien de la qualité d'eau doit tenir compte du comportement hydraulique du cours d'eau et de l'évolution de la qualité des eaux.

Plusieurs logiciels proposent actuellement des modèles qualité qui permettent de simuler l'évolution de certains paramètres liés à la qualité de l'eau. Il est important de noter que la validité des résultats obtenus par la modélisation qualitative dépendra de la fiabilité du modèle hydraulique, car les conditions hydrauliques influentes sur la dégradation et le transport des polluants.

De nombreux paramètres interviennent sur la qualité des eaux des cours d'eau et sont attachés d'une grande incertitude à :

- la température ;
- les cinétiques de dégradation des polluants ;
- le coefficient de dispersion ;
- les conditions hydrauliques.

Les conditions hydrauliques sont les conditions initiales (le débit initial dans le milieu naturel modifiera les phénomènes de dilution), et le régime hydraulique qui interviennent sur la qualité des eaux. Pour étudier l'influence de la modélisation hydraulique sur le transport et la dispersion des polluants du cours d'eau Mouillah, on doit faire une modélisation de la qualité des eaux en appliquant le même logiciel HEC-RAS, qui nous permettra de suivre le transport des polluants avec réaction et pouvoir auto-épurateur du cours d'eau et donc prévoir la dégradation bactérienne de la matière organique en milieu aquatique.

IV.1 Généralités sur la qualité des eaux

IV.1.1 Phénomène d'autoépuration des cours d'eau

On appelle autoépuration l'ensemble des processus biologiques, physiques et chimiques permettant à un écosystème aquatique équilibré de transformer ou d'éliminer les substances (essentiellement organiques) qui lui sont apportées.

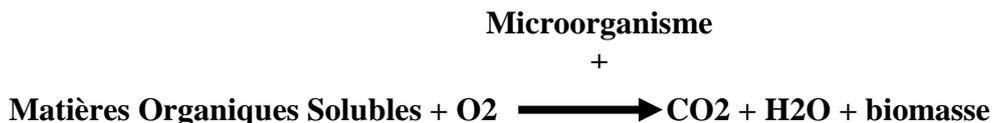
La faculté d'autoépuration d'un cours d'eau est principalement liée à l'activité des micro-organismes présents dans le milieu (les bactéries, les champignons ou les algues). En présence d'oxygène dissous, ces micro-organismes agissent en dégradant progressivement la matière organique dont est chargé le cours d'eau. Cette biodégradation conduit d'abord à la formation de composés organiques plus simples, puis à leur transformation en substances minérales qui seront absorbées par les plantes.

On distingue plusieurs stades d'achèvement de l'autoépuration. *L'autoépuration vraie* qui correspond à la disparition irréversible des effets de l'élément perturbateur (élimination de la pollution), tandis que *l'autoépuration apparente* est temporaire (transformation de la pollution dans l'espace ou dans le temps). L'efficacité augmente avec la température et le temps de séjour. La capacité d'autoépuration d'un écosystème est limitée et peut être inhibée (toxique notamment).

Ce phénomène d'autoépuration, consommateur d'oxygène, peut induire de fortes désoxygénations dans le milieu naturel, voire une anoxie complète ce qui provoque un stress intense pour les organismes vivants dans le milieu. Ces rejets peuvent entraîner toute une série de nuisances pour l'écosystème:

- la désoxygénation de l'eau,
- la libération de substances toxiques : ammoniac, nitrites, hydrogène sulfurisé...
- l'envasement du fond des rivières et la dégradation de la qualité de vie pour le milieu aquatique,
- la présence d'éléments pathogènes (notamment les bactéries fécales, des vers, des virus) peut être néfaste autant pour les écosystèmes des cours d'eau que pour la santé publique,
- et enfin, une gêne visuelle et olfactive.

La biodégradation de la matière organique peut se ramener à l'équation de dégradation suivante :



Selon les principes chimiques, le suivi de l'un des termes de l'équation permet de connaître à tout moment l'état d'avancement de la réaction. Par conséquent il est possible d'estimer la biodégradation en quantifiant soit la disparition des matières organiques ou de l'oxygène soit la production de CO₂ ou de biomasse.

IV.1.1.1 Paramètres influençant la vitesse de biodégradabilité

Plusieurs facteurs interviennent sur la dégradation de la matière organique. Les populations bactériennes sont sensibles à la température, au pH, à la concentration en oxygène dissous et en nutriments... Ces facteurs peuvent, soit favoriser, soit altérer le processus de biodégradation.

– *Taux de concentration en oxygène*

Ce paramètre est lié à la température du milieu, la turbulence du courant, les éléments nutritifs qui participent au développement de plantes productrices d’oxygène... ;

– *Débit et vitesse du courant*

La dilution n'est pas un mécanisme de purification; en effet, elle ne diminue pas la masse de la matière organique au sein de la rivière. Son intérêt tient à une réduction des effets polluants sur l'hydrosystème, durant la période d'assimilation proprement dite.

Les phases critiques qui doivent être cernées précisément sont les périodes d'étiage quand le rapport débit effluent/rivière est grand. Aussi, l'élimination de la matière organique augmente avec la vitesse du courant, et cela indépendamment du type de substances à éliminer.

– *Fonctionnement des microorganismes*

Celui-ci dépend de la présence de substances toxiques et leur concentration (traces métalliques, micropolluants organiques, pesticides,...)

– *Mécanisme d'assimilation des composés organiques*

Ceci est en fonction de la concentration de la matière organique a dégradé, nature et biodégradabilité des molécules...

– *pH*

L'influence du pH sur les cinétiques varie selon le processus biologique. En général, les extrêmes acides et alcalins sont peu supportés par les bactéries; par exemple : un pH inférieur à 3,0 est suffisant pour supprimer l'activité bactérienne (Forée *k* McCarty, 1970). Le **Tableau IV-1** présente des valeurs optimales et quelques intervalles du pH où la croissance est maintenue.

– *Température*

C'est un facteur important influant sur les cinétiques biologiques. La relation entre la vitesse du processus et la température de l'eau est classiquement représentée par une exponentielle. En général on considère que chaque augmentation de 10°C représente un doublement de la vitesse du processus (Klump & Martens, 1983).

Le **Tableau IV-1** indique les valeurs optimales et quelques intervalles de la température où la croissance bactérienne est maintenue.

– *Géomorphologie*

L'intensité de la biodégradation dépend des caractéristiques morphologiques du cours d'eau. Lorsque la colonne d'eau est mince et le lit accidenté, le temps de transit est court, avec une bonne oxygénation; et pour le cas de rivière profonde avec des mouilles, le temps de transit est lent avec une oxygénation faible.

<i>Processus biologique</i>	<i>Température optimale °C (intervalle)</i>	<i>pH optimal (intervalle)</i>
<i>Dénitrification</i>	variable (5 - 85)	7,5 (7 - 8,5)
<i>Réduction des sulfates</i>	28 (20 - 85)	7 (6-9)
<i>Méthanogénèse</i>	35 (4 - 100)	7,0 (5-9)
<i>Nitrification</i>	28 (15 - 35)	8,0 -
<i>Oxydation du méthane</i>	25 variable	- -

Tableau IV- 1: Quelques processus de dégradation et d'oxydation et les valeurs correspondantes de température et pH optimaux ainsi que les intervalles où la croissance bactérienne a été observée. [17]

IV.1.1.2 Expressions mathématiques de la biodégradation [18]

Les cinétiques de dégradation sont décrites par une variété d'expressions mathématiques de complexité croissante au fur et à mesure des tentatives d'intégration des nombreuses variables affectant la disparition de la matière organique.

❖ Cinétique d'ordre Un

(Grau et al 1975) cité par Eckenfelder 1981 ont montré que le processus global peut être décrit comme la succession de trois étapes :

Rencontre de la cellule avec le substrat (matière organique), transport du substrat au sein de la cellule et enfin métabolisme du substrat.

Les grosses molécules doivent être préalablement rompues ; on peut alors classer les substrats en trois catégories :

- Composés uniques directement transformables dans la cellule,
- Mélange de plusieurs composés,
- Substrats complexes qui ne sont pas directement transformables dans la cellule. (Wuhrmann 1956), (Tishler et Eckenfelder 1969) ont montré que dans le cas d'un substrat unique, l'élimination suit une cinétique d'ordre zéro, c'est-à-dire que l'élimination du substrat suit une loi linéaire mais il est rare que le substrat soit constitué d'un seul composé, il s'agit au contraire d'un mélange complexe de plusieurs composés et donc c'est le modèle cinétique d'ordre Un qui est le plus fréquemment utilisé (Olson 1963). Dans ce modèle la vitesse de dégradation est proportionnelle à la concentration du substrat, il considère le substrat comme une substance homogène, avec une vitesse de dégradation constante K .

$$\frac{d[S]}{dt} = -K[S] \dots\dots\dots(1)$$

Qui s'intègre $e^{-Kt} = \frac{[S]}{[S_0]}$ ou $[S] = [S_0].e^{-Kt} \dots\dots\dots(2)$

Avec :

K : constante de dégradation [T^{-1}]

T : durée de dégradation [T]

$[S_0]$: Concentration du substrat initial [$M.L^{-3}$]

$[S]$: Concentration du substrat au temps t [$M.L^{-3}$]

Cette cinétique de décomposition du premier ordre, en fait une courbe de dilution est connue en géochimie sous le nom de *one-G model* (Berner 1980). De (2), on peut tirer la valeur de la constante K

$$\ln \left[\frac{[S]}{[S_0]} \right] = -K.t \dots\dots\dots(3)$$

Cette vision de la dégradation selon une cinétique d'ordre 1 vient du fait que l'étape limitante est la décomposition des polymères en petites molécules solubles (acides aminés, monosaccharides, acides gras,...). La réaction la plus rapide impose sa vitesse à la dégradation, on retrouve là l'idée de "réaction maitresse" dictant sa vitesse à l'ensemble d'un système avancée par Jacques Monod pour les réactions enzymatiques. Au début, les composés relativement faciles à dégrader, les glucides ou les protéines, sont rapidement utilisés par les décomposeurs, alors que le matériel réfractaire, comme les cires, tannins et lignines s'élimine à vitesse relativement plus lente. Ainsi, avec le temps la proportion de matière organique réfractaire augmentera progressivement, et la vitesse absolue de dégradation diminuera pendant que la vitesse relative de dégradation restera constante. La constante K permet de calculer le temps de demi-vie $\tau_{1/2}$:

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln(2)}{K} \dots\dots\dots(4)$$

En réalité, les substrats hétérogènes se décomposant sous des conditions constantes ne suivent pas en général un modèle à exponentielle simple. (Minderman 1968) suggéra que chaque famille de composés se dégrade individuellement selon une fonction exponentielle simple. Il proposa l'utilisation d'un modèle à plusieurs exponentielles pour tenir compte de la variabilité du coefficient K . (Otsuki & hanya 1972) divisèrent la matière organique en deux compartiments, l'un labile et l'autre réfractaire, et modélisèrent la dégradation de l'algue verte *Scenedesmus*, à l'aide d'un modèle à deux exponentielles.

Dans les litières, (Hunt 1977) adopta le même compromis en utilisant une double exponentielle.

$$\frac{[S]}{[S_0]} = \alpha \cdot e^{K_1 t} + (1-\alpha) \cdot e^{K_2 t} \dots \dots \dots (5)$$

Avec

K_1 : constante de dégradation de la matière organique labile [T^{-1}]

K_2 : constante de dégradation de la matière organique réfractaire [T^{-1}]

α : fraction de la matière organique labile

$[S_0]$: Quantité initiale [$M.L^{-3}$]

$[S]$: Quantité au temps t [$M.L^{-3}$]

(Hunt 1977) calcula des K_1 et K_2 relativement constants pour des végétations herbacées différentes. En fait, la vitesse de dégradation est bien liée à la nature de la matière organique présente dans chaque fraction du substrat.

Ce modèle, appelé multi-G, est utilisé par (Berner 1980) pour modéliser la matière organique au cours de la diagenèse précoce dans les sédiments. La matière organique est classée en groupes de réactivité décroissante, chacun se dégradant selon une cinétique d'ordre 1. La quantité de matière organique est la somme de i groupes

$$\frac{dG_i}{dt} = -K_i \cdot G_i \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{dG}{dt} = - \sum_{i=1}^n K_i \cdot G_i \dots \dots \dots (7)$$

Dans la pratique la matière organique est scindée en trois groupes de dégradabilité décroissante. La teneur totale G_t d'un sédiment est donc :

$$G_t = G_1 \cdot e^{K_1 t} + G_2 \cdot e^{K_2 t} \dots \dots \dots (8)$$

Avec

G_1 et K_1 : quantité et constante de dégradation de la matière organique rapidement dégradable

G_2 et K_2 : quantité et constante de dégradation de la matière organique lentement dégradable

G_3 : matière organique réfractaire

Selon (Wieder & Lang 1982), les exponentielles simples et doubles décrivent mieux les pertes de masse dans le temps avec un certain réalisme biologique et ils critiquèrent les modèles dont les valeurs tendent vers l'infini aux extrêmes, comme les fonctions quadratiques et puissance.

Dans la majorité des études le coefficient K est calculé par régression linéaire de l'équation logarithmique suivante :

$$\ln \left[\frac{[S]}{[S_0]} \right] = -K \cdot t + a \dots \dots \dots (9)$$

❖ **Cinétique de Michaelis & Menten**

Malgré l'hétérogénéité des populations microbiennes aquatiques, il semble que la vitesse d'utilisation d'un substrat par la biomasse microbienne obéisse à une cinétique michaelienne (Williams 1973).

$$\frac{d[S]}{dt} = \frac{V_{max} \cdot [S]}{K_m + [S]} \dots \dots \dots (10)$$

Avec

V_{max} : vitesse maximale de la réaction [$M.L^{-3} \cdot T^{-1}$]

[S] : Quantité de substrat [$M.L^{-3}$]

K_m : constante de saturation ou de Michaelis ($K_m = [S]$ pour $v = V_{max} / 2$) [$M.L^{-3}$]

La signification de la constante K_m est modifiée, elle ne mesure plus l'affinité d'une enzyme pour son substrat mais prend en compte également les barrières de diffusion créées par la morphologie de la biomasse et la structure de la matière organique. En fait, l'équation de Michaelis & Menten ne s'applique en toute rigueur qu'à une enzyme pure. En présence d'une population naturelle de n espèces, la vitesse de disparition sera la somme des vitesses individuelles :

$$v = \sum_{i=1}^n v_i = \sum_{i=1}^n \frac{V_{max_i} \cdot [S]}{K_{m_i} + [S]} \dots \dots \dots (11)$$

Les micro-organismes se multipliant, changeant leur activité catalytique en cours de cinétique et plusieurs espèces étant en compétition, cette dernière équation ne peut être réduite à la précédente, avec un K_m moyen et la somme des V_{max} individuelles.

❖ **Modèle de Monod**

Les réactions enzymatiques peuvent être utilisées pour décrire non plus une réaction isolée mais un ensemble de réactions (croissance de population microbiennes). Les vitesses v et V_{max} sont remplacées par μ et μ_{max} , (taux de croissance) et l'équation de Michaelis & Menten devient l'équation de Monod :

$$\mu = \frac{1}{B} \cdot \frac{dB}{dt} = \frac{\mu_{max} \cdot [S]}{K_m + [S]} \dots \dots \dots (12)$$

Avec

B : quantité de biomasse [$M.L^{-3}$]

μ et μ_{max} : taux de croissance réel et maximal de la biomasse [$M.L^{-3} \cdot T^{-1}$]

[S] : Quantité de substrat [$M.L^{-3}$]

K_m : constante de saturation [$M.L^{-3}$]

On ne mesure plus la disparition d'espèces chimiques mais l'accroissement de biomasse B résultant de l'assimilation de la matière organique. Cette équation décrivant l'accroissement de biomasse en fonction du substrat peut être vue comme une mesure indirecte de son utilisation par les micro-organismes.

Si on pose l'hypothèse que le rendement de croissance r, c'est-à-dire la quantité de substrat consommée dS pour une quantité de biomasse dB, reste identique quelle que soit la matière organique, ce qui n'est qu'une hypothèse simplificatrice, alors ce coefficient r de rendement mesurant l'efficacité de la conversion de la matière organique en cellule peut être incorporé à l'équation de Monod pour donner :

$$\frac{d[S]}{dt} = \frac{\mu_{max} \cdot B \cdot [S]}{r(K_s + [S])} \dots \dots \dots (13)$$

(Servais 1989) utilise cette équation dans son modèle H3SB de dégradation microbienne dans lequel la matière organique est réparti en quatre classes de labilité décroissante : une classe directement assimilable qui contrôle effectivement la croissance microbienne, deux classes produites par hydrolyseexo-enzymatique de composés de haut poids moléculaire (facilement et lentement hydrolysable) et enfin une classe non hydrolysable, inutilisable par les micro-organismes.

L'évolution de la concentration en carbone organique dissous en fonction du temps est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{d[S]}{dt} = \left(\frac{\mu_{max1} \cdot [S_1]}{K_1 + [S_1]} + \frac{\mu_{max2} \cdot [S_2]}{K_2 + [S_2]} \right) + \frac{\mu_{maxd} \cdot [S_d]}{K_d + [S_d]} \cdot X + P_s \dots \dots \dots (14)$$

Avec

μ_{max} : Croissance maximal [T^{-1}]

[S] : Quantité de matière organique directement (d) facilement (1) et lentement (2) assimilable [$M.L^{-3}$]

K : constante de saturation [$M.L^{-3}$]

P_s : apport allochtone [$M.L^{-3} \cdot T^{-1}$]

X : biomasse exprimée en carbone organiques [$M.L^{-3}$]

IV.1.2 Principaux descripteurs de la qualité de l'eau

IV.1.2.1 Paramètres physiques

Les paramètres physiques permettent d'évaluer la qualité de l'eau et peuvent détecter des altérations. Les principaux paramètres sont présentés ci-dessous :

❖ La température

C'est le facteur écologique le plus important, car elle conditionne la teneur en oxygène dissous dans l'eau, ainsi le degré de saturation de l'eau en oxygène dissous est inversement proportionnel à sa température, par exemple:

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30
Oxygène dissous (mg/l)	14.26	12.37	10.92	9.76	8.84	8.11	7.53

Tableau IV- 2: Variation de la température en fonction de saturation de l'eau en oxygène dissous [9]

La température influe sur l'activité des microorganismes qui interviennent lors des processus de biodégradation de la matière organique pour cela elle doit être contrôlée quotidiennement, et elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques. La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tel que : la saturation des gaz dissous et la mesure du pH.

❖ Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu, Il résulte de la composition ionique de l'eau. En théorie, le *pH* est défini comme le cologarithme décimal de l'activité de l'ion H^+ , il dépend de la teneur en dioxyde de carbone; c'est à dire une modification de CO_2 (Respiration, photosynthèse, échange air- océan) entraînera donc une modification du *pH*.

La valeur du pH qui conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du lit et du bassin versant.

En plus des processus physiques, chimiques, biologiques, l'accumulation de matières organiques d'origine continentale et la contamination par des rejets urbains ou industriels contribuent à la modification du pH naturel. En l'absence d'influences externes, le pH est le reflet des équilibres entre les espèces chimiques majeures du milieu.

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Tableau IV- 3: Classification des eaux d'après leur pH [9]

❖ *Conductivité*

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

Elle est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C, son unité de mesure et le (micro- siemens /cm).

❖ *Turbidité*

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence de particules en suspension et les matières colloïdales dans l'eau (débris organiques, argiles, limons, grains de silice, organismes microscopiques...).

La description d'une masse d'eau ne saurait être satisfaisante sans une référence à la transparence du milieu, c'est à dire à la pénétration de la lumière. La connaissance de ce facteur a une double importance :

- Il détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface.
- Il permet également une approche de la quantité de particules en suspension.

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Tableau IV- 4: Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit) [9]

❖ *Matières en suspension (MES)*

En plus des substances dissoutes, l'eau contient des matières en suspension d'origines minérales ou organiques, de nature biogénique, terrigène, éolienne ou météoriques. Elles sont de dimensions très variables et comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45 µm, elles peuvent être un indice de pollution.

Des teneurs élevées en matières en suspension réduisent la transparence de l'eau, la pénétration de la lumière de ce fait la production primaire photosynthétique, ce qui va diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre diverses espèces. Elles peuvent être aussi responsables de l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies.

Aussi, elles sont considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques et biologiques.

IV.1.2.2 Paramètres chimiques

❖ *Matières organiques ou oxydables*

Ces matières représentent l'ensemble des substances susceptibles de consommer l'oxygène de l'eau. La plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles se retrouvent en excès dans le milieu. On distingue :

- Les matières organiques biodégradables qui se décomposent dans le milieu naturel,
- Les matières organiques non biodégradables (hydrocarbures).

Ces matières organiques d'origine industrielle ou urbaine affectent la qualité des cours d'eau, elles traversent les stations d'épuration sans être altérés, résistent à l'auto-épuration et se retrouvent à l'état de traces dans les rivières. Outre la réduction d'oxygène dissous qu'ils entraînent, certains confèrent aux eaux de consommation des propriétés irritantes parfois toxiques ainsi qu'une odeur et un goût désagréables, et peuvent avoir une action nuisible sur la flore bactérienne.

La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

Elle correspond à la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder et dégrader par voie biochimique les matières organiques biodégradables, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Cette mesure traduit donc indirectement la fraction biodégradable dans l'eau et représente assez fidèlement le processus de dégradation naturel.

La dégradation de ces matières organiques biodégradables entraîne un développement de micro-organismes aérobies, cette prolifération provoquera une chute de l'oxygène dissous dans le milieu récepteur et conduira à l'asphyxie des espèces présentes.

La mesure la plus couramment réalisée est celle de la DBO₅, qui correspond à la demande biochimique en oxygène après 5 jours d'incubation de l'échantillon à une température de 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'oxygène) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder ou dégrader la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau, elle permet donc d'évaluer la quantité totale de pollution organique. L'oxydation est réalisée par un oxydant chimique énergétique ayant un pouvoir puissant : le bichromate de potassium.

Enfin, la relation empirique suivante lie la DBO₅, la DCO et la matière organique de l'échantillon :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$$

Rapport DCO / DBO₅ (indice de biodégradabilité)

Le ratio DCO / DBO₅ indique le taux de décomposition des matières organiques qui permet d'apprécier l'importance des polluants peu ou non biodégradables.

Si le rapport DCO / DBO₅ est inférieur à 2 on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable, entre 2 et 3 il est biodégradable, et si le rapport est supérieur à 3, l'effluent est déclaré non biodégradable.

❖ *L'Oxygène dissous*

La concentration en oxygène dissous dans les eaux de surface est un paramètre essentiel dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme de molécules gazeuses, au sein de minuscules bulles d'air. Il se dissout dans l'eau par diffusion, jusqu'à un équilibre appelé "saturation".

Cette saturation ou solubilité maximale de l'oxygène dans l'eau est, pour l'essentiel, fonction de la température, de la minéralisation de l'eau et de la pression atmosphérique, en général la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmentent. La teneur en oxygène dissous est exprimée en mg/l d'oxygène ou en %.

Le déficit en oxygène existe, lorsque la consommation est supérieure à la production, ce qui est essentiellement provoqué par :

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

❖ *Les substances azotées*

L'Azote moléculaire prélevé de l'atmosphère constitue un élément essentiel des structures vivantes. Selon son degré d'oxydation, il existe sous plusieurs formes : nitrates (NO₃⁻), nitrites (NO₂⁻), ammonium (NH₄⁺), azote Kjeldahl (N Kjel).

Ces composés azotés sont les plus fréquents dans l'eau de surface (et même souterraine, migration par infiltration). Leur origine est essentiellement due à l'épandage des engrais, d'effluents d'élevages, des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles.

Ils constituent l'un des éléments nutritifs majeurs des végétaux, et participent à leur croissance dans l'eau, étouffant les autres organismes vivants et provoquant ce que l'on appelle un phénomène d'eutrophisation. Ils présentent donc un danger pour la faune et la flore lorsqu'ils sont présents en quantité trop importante.

L'ammonium (NH₄⁺)

L'azote ammoniacal provient des excréments animaux et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. En effet, il est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac (NH₃) et l'ammonium (NH₄⁺) dont des proportions relatives dépendant du pH, de la température et de la salinité du milieu.

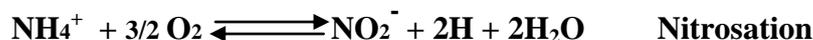
Les nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates sont une forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse, Ils résultent de l'oxydation des nitrites par des bactéries lors de la réaction de nitrification.

Les nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites proviennent des deux réactions suivantes :

- L'oxydation de l'ammonium par la réaction de nitrosation qui est exothermique opérée par des bactéries (Nitrosomonas) :



- La réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène dissous, opérée par les bactéries anaérobiques, selon la réaction suivante:

Azote Kjeldahl (N Kjeld)

Comporte l'azote présent sous les formes organiques et ammoniacales à l'exclusion des nitrates et nitrites.

❖ **Les produits phosphatés**

Dans l'eau de mer, le phosphore existe sous forme organique et inorganique, dissous et particulaire. Les Orthophosphates présentent la forme la plus abondante PO₄³⁻ (10 %) et HPO₄⁻ (90%) et (1%) de H₂PO₄.

Issus de quelques produits chimiques, exemple : (engrais, détergents, lessives, etc.) les orthophosphates sont un nutriment majeur des végétaux et peuvent entraîner leur croissance et la prolifération des algues, étouffant les autres organismes vivant dans l'eau, générant des odeurs et contribuant au phénomène d'eutrophisation, aussi, Il s'agit d'un bon indicateur pour détecter les pollutions phosphorées à l'origine de la croissance anarchique de la flore aquatique.

❖ **Métaux lourds**

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³ et qui possèdent un numéro atomique élevé [mercure (Hg), plomb (Pb), cadmium (Cd), cuivre (Cu), arsenic (Ar), nickel (Ni), zinc (Zn), cobalt (Co), manganèse (Mn)]. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces. Les métaux lourds ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique. Leurs effets toxiques concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérogènes.

Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure. Car Le plomb produit par les tuyauteries et les usées industrielles provoque des intoxications, le cadmium issu des industries de céramique, de colorants et de métallurgie admet une toxicité élevée, le mercure est le plus toxique par ses sels organiques solubles.

❖ **Hydrocarbures**

Toxiques et peu biodégradables, les hydrocarbures s'accumulent et enrobent les plantes, limitant les échanges vitaux et empêchant le développement de la faune et de la flore. Formant un film à la surface de l'eau, ils s'opposent à l'oxygénation naturelle de l'eau et empêchent les rayons lumineux de passer.

❖ *Les éléments majeurs (ions majeurs)*

Le calcium (Ca^{2+})

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

Le magnésium (Mg^{2+})

Les ions (Mg^{2+}) proviennent de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite). Ces principaux sels présents dans les compléments alimentaires sont : chlorure de magnésium, oxyde de magnésium, carbonate de magnésium.

Ce minéral possède de nombreux rôles au niveau de l'organisme. Sa principale propriété étant liée à son action sur le système nerveux, il possède également différentes actions notamment au niveau des muscles et du système immunitaire.

Le sodium (Na^+)

Le sodium est un métal mou et argenté, qui appartient aux métaux alcalins. On ne le trouve pas à l'état de corps pur dans la nature, mais il est très abondant sous forme de composés. Il représente un principal cation dans le milieu extracellulaire, important pour le maintien de la pression osmotique et de l'équilibre hydrique.

Le potassium (K^+)

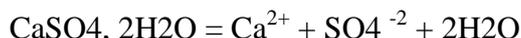
Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans le milieu aquatique. C'est un élément extrêmement abondant dans la nature qui participe à de nombreuses réactions chimiques.

Les chlorures (Cl)

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution.

Les sulfates (SO_4^{-2})

La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution du gypse contenu dans les marnes selon la relation :



Les bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées. [19]

IV.1.2.3 Paramètres bactériologiques

Les analyses bactériologiques recherchent à déterminer la présence et la quantité de bactéries pathogènes (germes indicateurs) comme Escherichia coli, les salmonelles et les streptocoques fécaux. Ces bactéries sont des risques potentiels pour la santé des utilisateurs. [20]

IV.1.2.4 Paramètres biologiques

L'utilisation de variables biologiques s'est imposée comme moyen d'apprécier la qualité des eaux et des systèmes aquatiques, car elles présentent un certain nombre d'avantages et de complémentarités par rapport aux variables physicochimiques. La qualité biologique est appréciée par plusieurs indicateurs :

L'indice biologique global normalisé (IBGN) : C'est une note de 0 à 20 attribuée au niveau d'une station de mesure après étude du peuplement d'invertébrés aquatiques du cours d'eau. La valeur de cet indice dépend à la fois de la qualité du milieu physique (structure du fond, état des berges...) et de la qualité de l'eau.

L'indice biologique diatomées (IBD) : Il fonctionne selon le même principe et repose sur la détermination des diatomées (algues brunes unicellulaires microscopiques fixées). L'indice qui en découle (IBD) reflète la qualité générale de l'eau des cours d'eau.

Le GFI (Groupe Faunistique Indicateur) : C'est un élément de calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN), révélateur de la sensibilité des invertébrés aquatiques à la pollution (essentiellement organique). [20]

IV.1.3 Seuils des différentes classes de pollution d'eau

❖ Seuils de pollution organique de l'eau

Paramètre qualité	O ₂ dissous (mg/l)	DBO ₅ (mg/l O ₂)	DCO (mg/l O ₂)	NH ₄ (mg/l N)
1 Excellent	>7	<2	<4	<0,1
2 Bonne	5-7	2-4	10-20	0,1-0,3
3 Passable	3-5	4-6	20-30	0,3-0,5
4 Mauvaise	1-3	6-10	30-50	0,5-1
5 Hors Classe	<1	>10	>50	>1

Tableau IV- 5: Seuils de la pollution organique [8]

❖ Seuils de phénomène d'eutrophisation

Paramètre Degré d'eutrophisation	PO ₄ et P _{tot} (mg/l)	O ₂ dissous (mg/l)	PH
1 Faible	<0,05	>5	6,6
2 Moyenne	0,05-0,15	3-5	8,0
3 Elèves	0,15-0,3	2-3	8,1
4 Hors Classe Niveau 1.	0,3-0,5	1-2	8,3
5 Hors Classe Niveau 2.	>0,5	<1	8,3

Tableau IV- 6 : Seuils déterminant le degré d'eutrophisation [8]

❖ *Seuils de pollution par les métaux lourds*

<i>paramètre</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<i>1 Bonne</i>	< 4.5	< 20	< 20	< 0,3	< 50	< 25	< 70
<i>2 Passable</i>	4.5-7	20-30	12-20	0,3-0,5	50-70	25-40	70-120
<i>3 Mauvaise</i>	> 7	> 30	> 20	> 0,5	> 70	> 40	> 120

Tableau IV- 7: Seuils de la pollution par les métaux lourds [8]

❖ *Seuils de pollution par les composés inorganiques*

<i>Paramètre qualité</i>	<i>F⁺</i>	<i>NO3</i>	<i>NO2</i>	<i>NH3</i>
<i>1 Excellent</i>	< 0,15	< 6	< 0,07	< 0,005
<i>2 Bonne</i>	0,15-0,25	6-9	0,07-0,12	0,005-0,025
<i>3 Passable</i>	0,25-1	9-13	0,12-0,22	-
<i>4 Mauvaise</i>	> 1	> 13	> 0,22	> 0,025

Tableau IV- 8: Seuils de la pollution par les composés inorganiques [8]

❖ *Seuils de la salinité de l'eau*

<i>Paramètre Qualité</i>	<i>SO4 (mg/l)</i>	<i>Cl (mg/l)</i>	<i>Conductivité (µs/cm)</i>
<i>1 Excellent</i>	< 200	< 150	< 400
<i>2 Bonne</i>	200-300	150-300	400-750
<i>3 Passable</i>	300-400	300-500	750-1500
<i>4 Mauvaise</i>	> 400	> 500	> 3000

Tableau IV- 9: Seuils déterminants la salinité de l'eau [8]

IV.2 Application du modèle qualité du HEC-RAS

IV.2.1 Données de base pour la modélisation de la qualité des eaux

L'étude hydraulique a été menée sur un tronçon réel d'Oued Mouillah depuis la frontière Algéro-marocaine jusqu'au barrage Hammam Boughrara sur une longueur d'environ 24 Km, ainsi la modélisation de la qualité des eaux de cet Oued est faite à l'aide du même logiciel HEC-RAS qui effectue l'analyse détaillée de la température d'eau et le transport d'un nombre de paramètres déterminant le niveau de la qualité des eaux (DBO5, DCO, oxygène dissous, Les produits phosphatés, les substance azotés, les métaux lourds, les ions majeurs... etc).

Le module de qualité de l'eau emploie le plan numérique explicite de QUICKEST-ULTIMATE (Léonard 1979, Léonard 1991) pour résoudre l'équation unidimensionnelle d'advection-dispersion.

IV.2.1.1 Stations d'échantillonnage

Cette modélisation nécessite des prélèvements des paramètres d'analyses en plusieurs points descriptifs du cours d'eau. Pour notre cas, la modélisation de la qualité des eaux est faite sur sept (07) section représentatives du cours d'eau Mouillah qui sont :

❖ La diguette

Aux coordonnées UTM X=604.14, Y=3856.70 sur l'oued Mouillah se trouve cette diguette située à près de 328 m à l'amont du Pont sur la RN7^a, reçoit essentiellement les rejets provenant du côté marocain. L'ANRH contrôle périodiquement la qualité de ses eaux au niveau des trois points de prise d'échantillon d'eau: SP46 Amont (Mouillah -Amont), SP46 - Lac (Mouillah -Lac) et SP46-Aval (Mouillah-Aval).

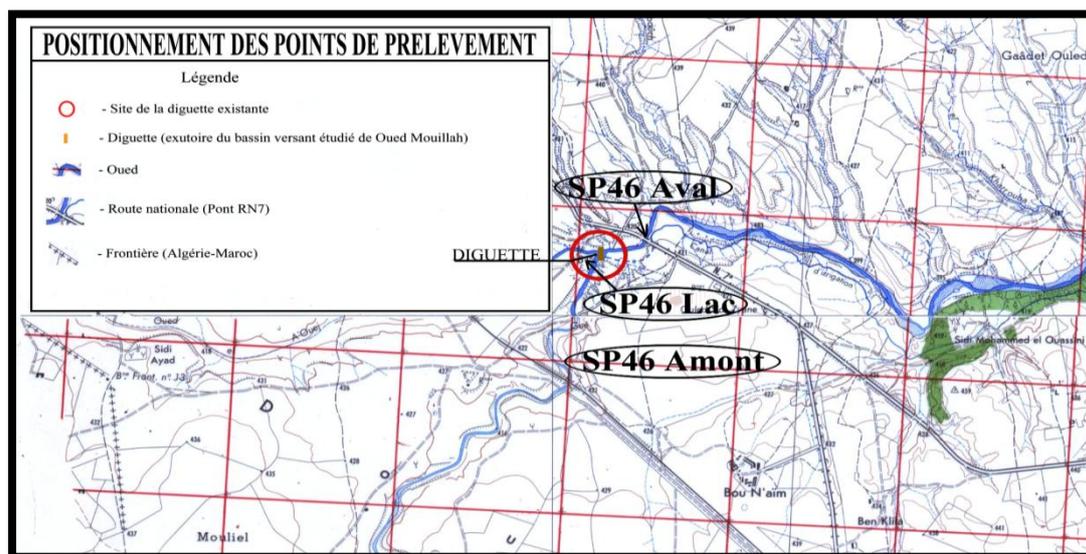


Figure IV- 1: Positionnement des points de prélèvement au niveau de la diguette [6]

La diguette, édifée sur l'oued Mouillah juste au niveau de la confluence des oueds Bou Naïm et El A'Ouedj est un seuil déversant de type Greager avec un noyau en béton cyclopien (voir figure IV-2).



Figure IV- 2: Vue bief aval de la diguette sur oued Mouillah [3]

Dans notre étude les trois points de prise d'échantillon d'eau au niveau de cette diguette sont indiqués dans le logiciel comme suit :

- **Diguette amont ou (Frontière Algéro-marocaine)**: désignée dans le modèle HEC-RAS par le chiffre 23.990, Les résultats d'analyses ont été traité depuis 2007 jusqu'à 2009 (annexe 12).
- **Diguette lac**: désignée dans le modèle par le chiffre 20.501, Les résultats d'analyses ont été traité depuis 2007 jusqu'à 2009 (annexe 13).
- **Diguette aval** : désignée dans le modèle par le chiffre 20.166. Les résultats d'analyses ont été traité depuis 2007 jusqu'à 2009 (annexe 14).

❖ **Oued Ouerdeffou** : désigné dans le modèle HEC-RAS par le chiffre 3.640

Le cours d'eau d'Oued Ouerdeffou est l'un des principaux affluents de l'Oued Mouillah. Il 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 terre décolorantes (ENOF). Aussi, oued Abbés rejoint oued Ouerdeffou à quelque Km en aval de la ville de Maghnia, en transportant la pollution des eaux de trois importantes unités industrielles: le complexe des corps gras (ENCG), la maïserie et le complexe de céramique-vaisselle (CERTAF).

A cette section les résultats d'analyses utilisés sont obtenus en pondérant les résultats des quatre zones industrielles. (Voir annexes 15)

❖ **Rejet STEP** : désignée dans le modèle HEC-RAS par le chiffre 2.751

La modélisation des paramètres qualitatifs à la sortie de la station d'épuration de Maghnia est nécessaire pour estimer ça capacité de réduire la pollution. (Voir annexe 5)

❖ **Cuvette barrage Hammam Boughrara** désignée dans le modèle HEC-RAS par le chiffre 0.535. (Voir annexes 16)

❖ **Sortie barrage** désignée dans le modèle HEC-RAS par le chiffre 0.000

La modélisation de la qualité des eaux à la sortie du barrage permet d'estimer son degré de pollution et son pouvoir auto-épurateur. (Voir annexes 17)

IV.2.1.2 Constituants de la qualité d'eau

Pour introduire les données, il faut choisir les constituants de la qualité d'eau pour être modélés (la température d'eau, éléments nutritifs, et éléments arbitraires), selon le besoin, un constituant ou tous peuvent être sélectionnés en même temps.

Le modèle classe les constituants de la qualité d'eau en trois groupes importants :

- La modélisation de la température d'eau : permet de calculer les sources d'énergie chauffante. Cette modélisation simule la température d'eau en plusieurs sections du cours d'eau.
- La modélisation d'éléments nutritifs : simule les éléments nutritifs (azote et phosphore), l'oxygène dissous, la DBO, et les algues, en plusieurs sections de l'Oued.
- Les constituants arbitraires sont des traceurs simples, configurés par l'utilisateur. Pour notre cas d'étude, ils sont représentés comme suit :

Demande chimique en oxygène (DCO), bicarbonate (HCO_3), chlorure (Cl), potassium (K), sodium (Na), magnésium (Mg), calcium (Ca), azote kjeldahl (N kjel), phosphore totale (P tot), sulfate (SO_4), matière en suspension (MES), chrome (Cr), fer (Fe), cuivre (Cu), manganèse (Mn), aluminium (Al), zenc (Zn), plomb (Pb).

IV.2.1.3 Détermination des tronçons de la qualité d'eau

Les tronçons de la qualité d'eau sont combinés en changeant leurs longueurs minimales qui représentent la plus petite distance hydraulique entre deux sections transversales de la rivière. Pour notre cas, cette distance égale à 300 m.

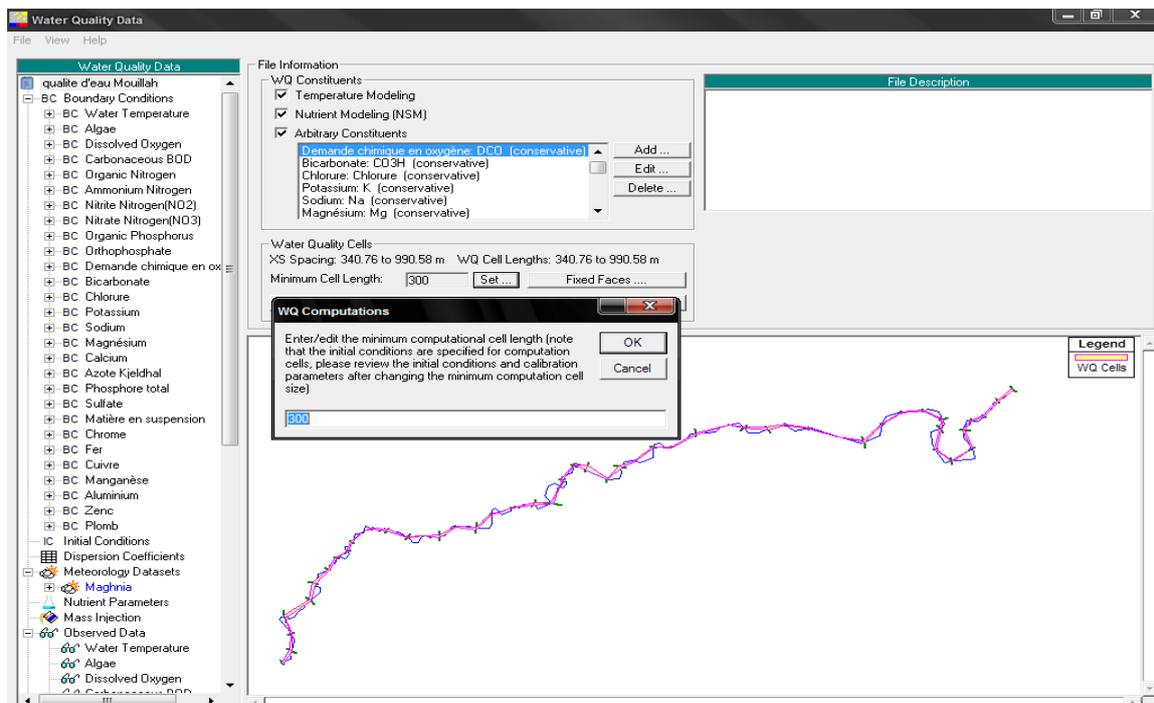


Figure IV- 3: Détermination de la longueur des tronçons dans le modèle

IV.2.1.4 Introduction des séries chronologiques des paramètres d’analyse

Une série chronologique doit être spécifiée pour chaque paramètre qualitatif à tous les sections incluent dans le logiciel : section amont de l’oued, sections secondaires latéraux, section aval de l’oued. [Annexes 12, 13, 14, 15, 16, 17]

Les données de la qualité à l’amont d’écoulement déterminées par des séries chronologiques ou valeurs constantes sont nécessaires.

➤ **Saisir et éditer un Tableau de Données**

Choisir l’option tableau de données, inclure les séries chronologiques pour n’importe quel paramètre à modelé à l’aide d’un Outil de génération qui indique le début et la fin de la série chronologique ainsi que l’intervalle de temps. Une fois qu’elles sont créés, les données qualitatives correspondant peuvent être dactylographiées dans la table, ou collées à partir d’un fichier source, comme c’est indiqué dans la figure suivante :

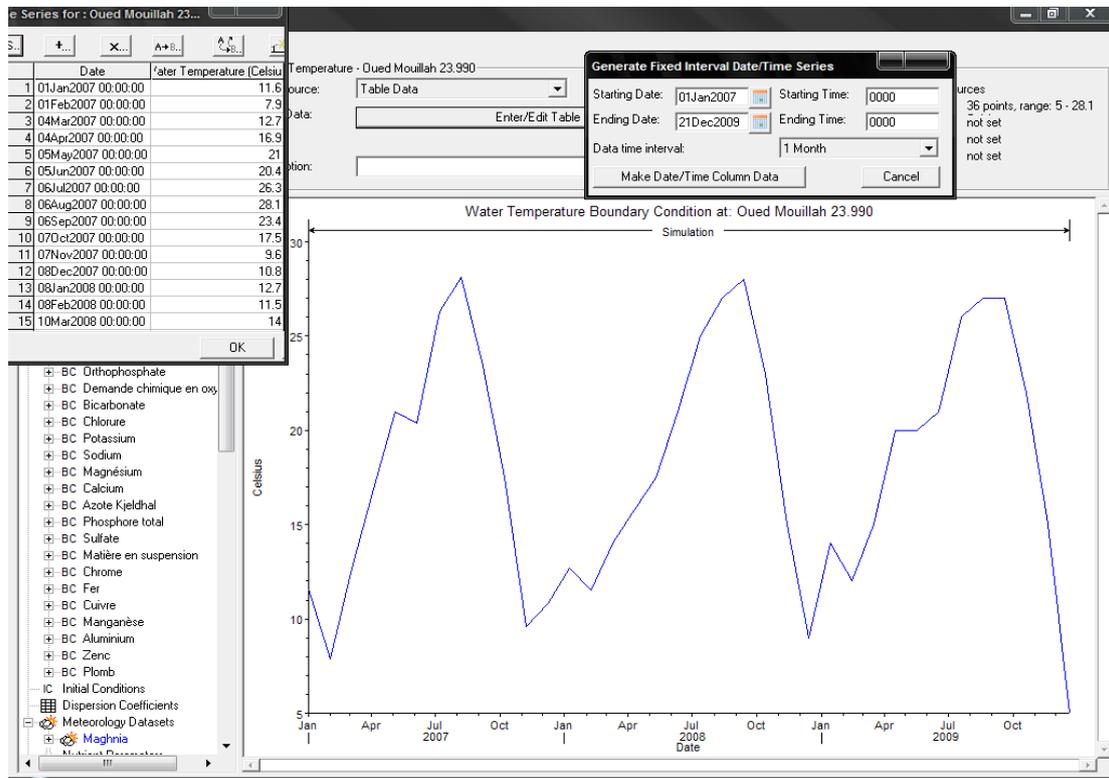


Figure IV- 4: Exemple d’introduction de série chronologique pour la température d’eau

IV.2.1.5 Introduction des conditions initiales

Au minimum une seule valeur initiale à l’amont de l’oued est exigée pour chaque paramètre qualitatif à chaque section descriptive de l’oued, afin d’exécuter la simulation.

Pour notre cas d’étude, les conditions initiales à l’amont d’Oued Mouillah (frontière Algéro-Marocaine) sont saisies manuellement, et elles représentent les valeurs minimales pour chaque paramètre d’analyse. [Annexes 18]

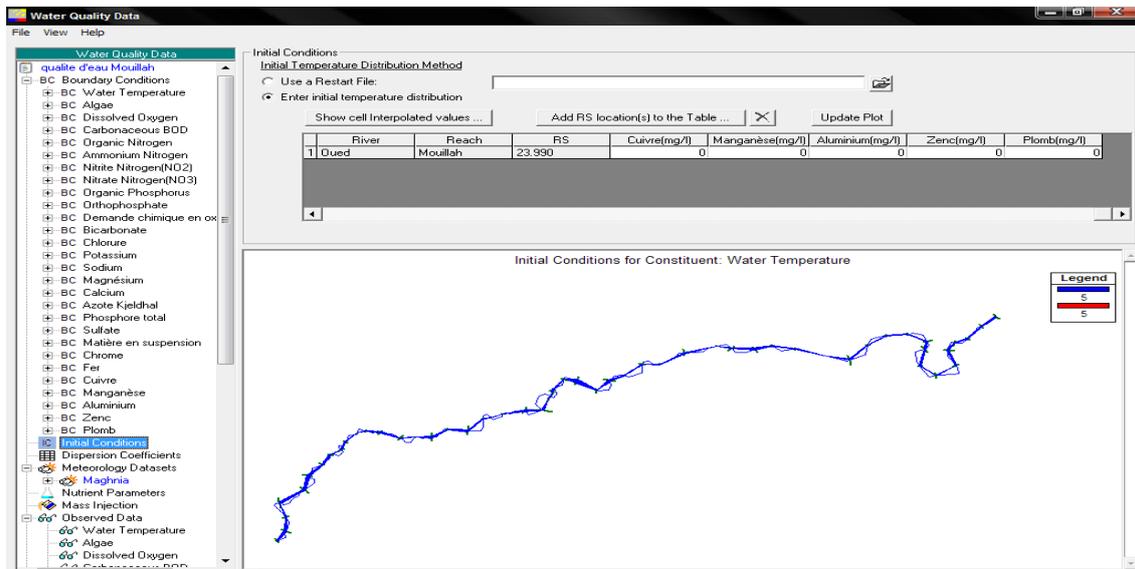


Figure IV- 5: Introduction des conditions initiales de la qualité de l’eau à la section amont

IV.2.1.6 Introduction du coefficient de dispersion

Ce coefficient indique la vitesse de dispersion du polluant dans le cours d’eau. Pour notre cas il prend sa valeur par défaut qui est estimé à : 300 m²/s.

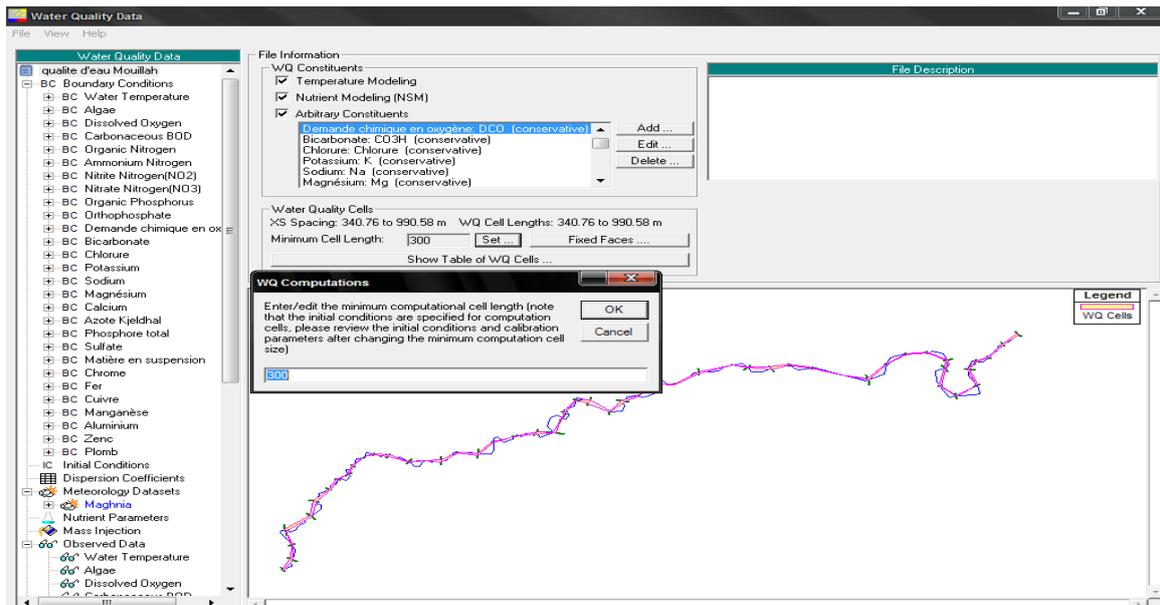


Figure IV- 6: Introduction du coefficient de dispersion

IV.2.1.7 Introduction des données météorologiques

La modélisation de la qualité d'eau nécessite un ensemble de données météorologique d'une station climatique ou plus existante à la zone d'étude à savoir : données physiques, pression atmosphérique, température de l'air, l'humidité, rayonnement solaire, vitesse du vent, et l'opacité (fraction du temps nuageux).

❖ Description physique des stations météorologiques

Des propriétés physiques sont exigées pour chaque station météorologique qui sont: l'altitude de référence, latitude, longitude, méridien standard, ainsi que les coordonnées X et Y de la station.

❖ Pression atmosphérique

La pression atmosphérique est la pression exercée par tous les gaz en air humide, elle est généralement diminuée avec l'augmentation de l'altitude. L'unité utilisée par le modèle lors de la simulation est le millibar. C'est une entrée exigée pour la simulation, en cas de non disponibilité, elle est estimée à partir de l'altitude de site.

❖ Température d'air

Une série chronologique de température d'air de la station météorologique est exigée, elle est écrite dans les unités de Celsius ou de Fahrenheit.

❖ L'humidité

L'humidité peut être exprimée en tant que humidité relative (%), température de thermomètre humide (C° ou F°), ou pression de vapeur (mmHg, inHg, ou mb).

❖ Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire mesuré est souvent fourni par une station météorologique locale. L'unité utilisée par le modèle lors de la simulation est le W/m². Si la mesure directe de ce paramètre est indisponible, il est calculé à partir de la longitude et de la latitude du site, l'opacité, et le coefficient de poussière.

Le coefficient de poussière déterminé par l'utilisateur, représente l'atténuation atmosphérique locale et il est compris entre 0 et 0.2. En générale, ce coefficient est estimé par 0,2 pour des zones urbaines, et par 0 pour des zones rurales.

❖ Temps nuageux

L'opacité est une fraction de ciel couverte de nuages varie de 0 à 0,9. Ce paramètre est exigé pour déterminer le rayonnement solaire.

Degré de couverture du ciel	Valeurs de l'opacité (Cl)
Ciel couvert de nuages	0,9
Ciel cassé ou brisé par les nuages	0.5-0.9
Nuages dispersés	0.1-0.5
Ciel clair	0,1

Tableau IV- 10: Valeurs de l'opacité en fonction du degré de couverture du ciel [21]

❖ **Vitesse du vent**

Le vent est un paramètre nécessaire pour l'évaluation d'écoulement de surface. L'unité utilisée par le modèle lors de la simulation est le m/s.

N.B : Pour l'étude, on a retenu la *station climatique de Maghnia*

STATION CLIMATIQUE DE MAGHνια	
Code de la station	160302
Longitude	-1.8 °
Latitude	34.7931°
X (Km)	90.7
Y(Km)	174.7
Élévation (m)	430

Tableau IV- 11: Description physique de la station climatique de Maghnia [3]

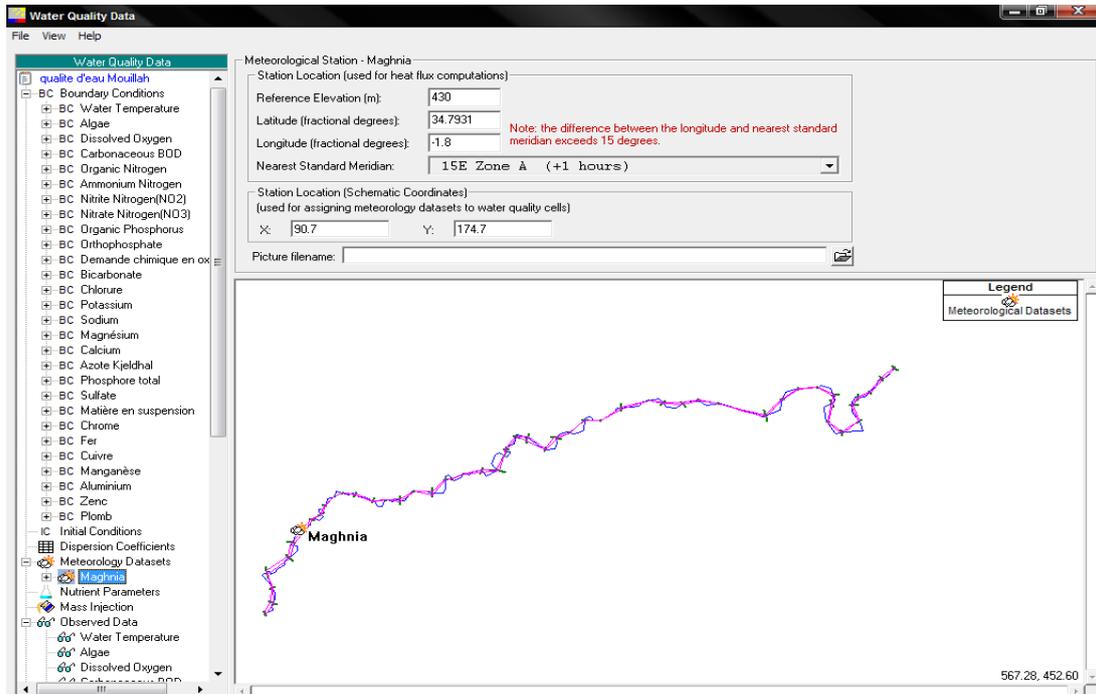


Figure IV- 7: Introduction des paramètres physiques de la station climatique de Maghnia

–Température d’air de la station climatique de Maghnia

Les données de la température d’air introduites dans le logiciel sont représentés dans le tableau suivant :

STATION CLIMATIQUE DE MAGHνια			
TEMPERATURES DE L’AIR (°C)			
Mois	Moyenne mensuelle 2007	Moyenne mensuelle 2008	Moyenne mensuelle 2009
Janvier	9.5	10	11
Février	11	12	11
Mars	13	12.5	13
Avril	14.5	13.5	14.5
Mai	17	16	17
Juin	21.5	22	21
Juillet	25	24	23
Aout	25	25	26
Septembre	22.5	23	24
Octobre	18	19	19
Novembre	14	16	14
Décembre	11	12	11
Annuelle	16.83	17.08	17.04

Tableau IV- 12: Température d’air de la station climatique de Maghnia [3]

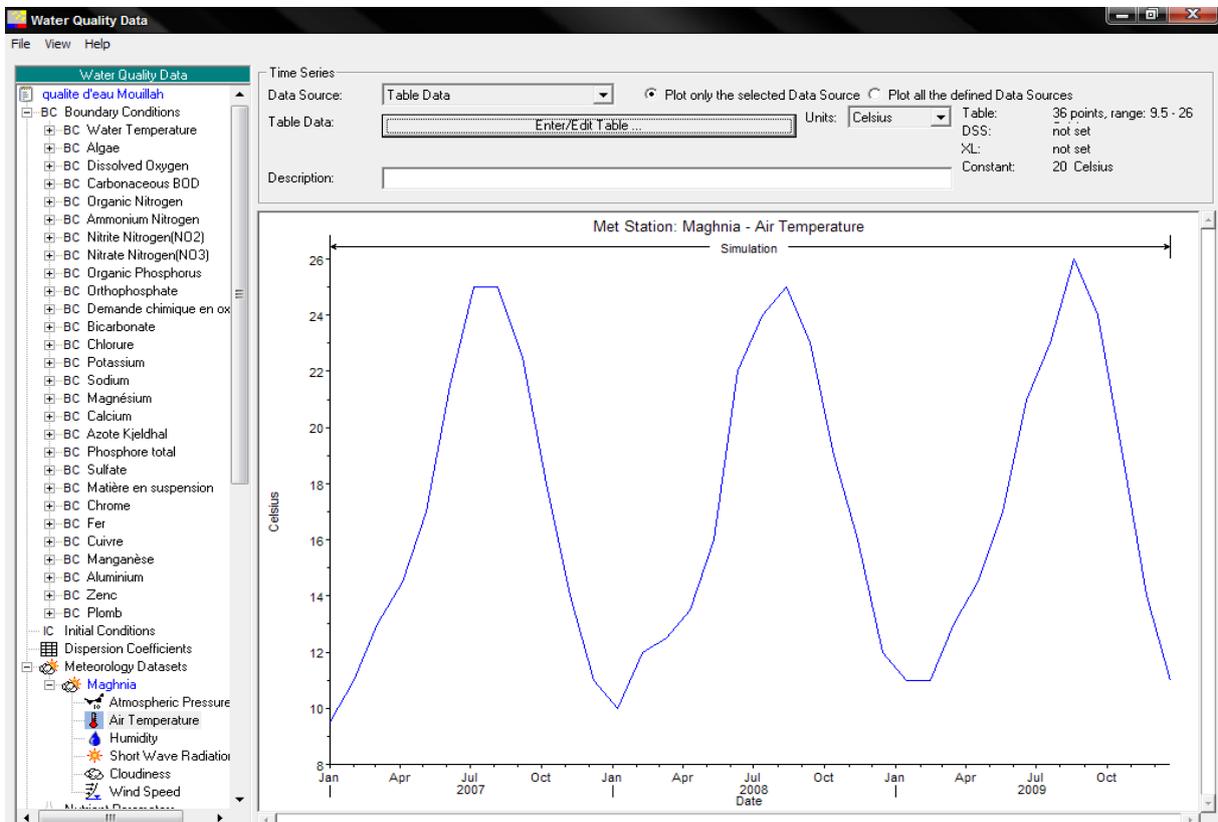


Figure IV- 8: Introduction de la température d’air de la station climatique de Maghnia

– Vitesse du vent de la station climatique de Maghnia

STATION CLIMATIQUE DE MAGHНИЯ			
VITESSE DU VENT (m/s)			
Mois	Moyenne mensuelle 2007	Moyenne mensuelle 2008	Moyenne mensuelle 2009
Janvier	2.80	2.83	2.81
Février	3.60	3.40	3.20
Mars	3.10	3.00	2.79
Avril	3.00	2.90	2.78
Mai	2.90	2.50	2.60
Juin	2.40	2.60	2.40
Juillet	2.40	2.30	2.50
Aout	2.70	2.60	2.60
Septembre	2.40	2.40	2.30
Octobre	2.50	2.70	2.60
Novembre	2.90	3.00	3.00
Décembre	3.30	3.50	3.00
Annuelle	2.83	2.81	2.71

Tableau IV- 13: Vitesse du vent de la station climatique de Maghnia [3]

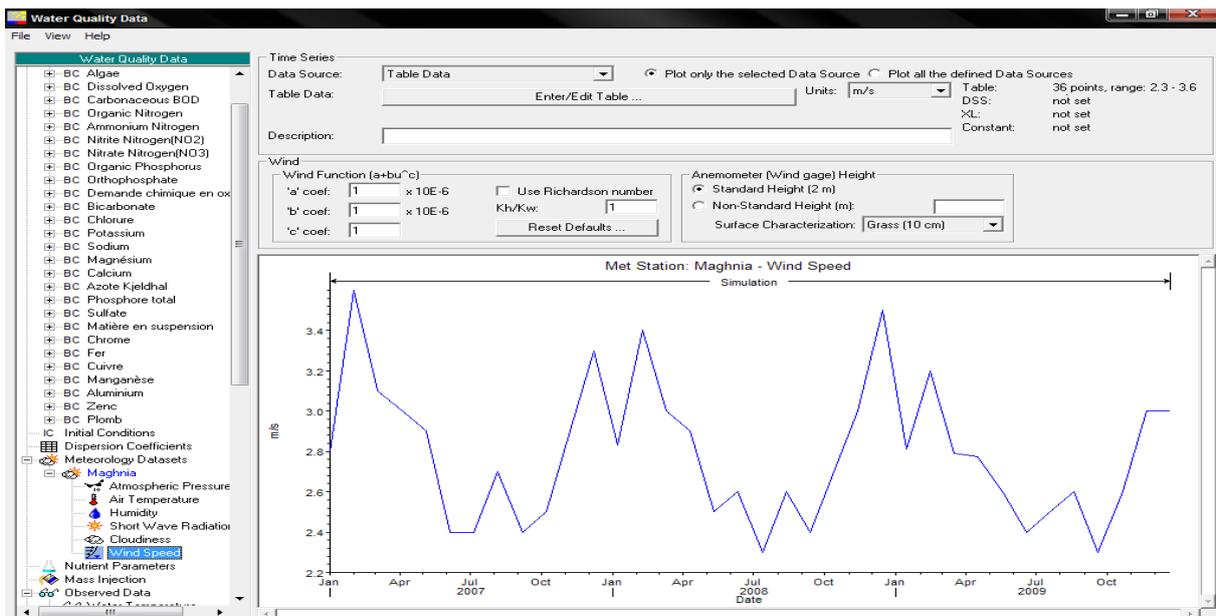


Figure IV- 9: Introduction de la vitesse du vent de la station climatique de Maghnia

– Pression atmosphérique de la station climatique de Maghnia

Vue le manque de données pour ce paramètre, la pression atmosphérique est estimée par le logiciel à partir de l'altitude de site.

– L'humidité de la station climatique de Maghnia

L'humidité de cette station est estimé par une valeur constante égale à : 16 mb.

– Temps nuageux (opacité) de la station climatique de Maghnia

Pour cette station climatique, ce paramètre est estimé à 0.5.

– Rayonnement solaire de la station climatique de Maghnia

Vue le manque de données, le rayonnement solaire est estimée par le logiciel à partir de la latitude et longitude du site.

IV.2.2 Modélisation des Paramètres nutritifs

Les variables du modèle nutritif sont : les nitrites (NO₂), les nitrates (NO₃), azote organique (Org N), ammonium (NH₄), phosphore organique (Org P), orthophosphate (PO₄), algue (A), demande biologique d'oxygène (DBO), Oxygène dissous.

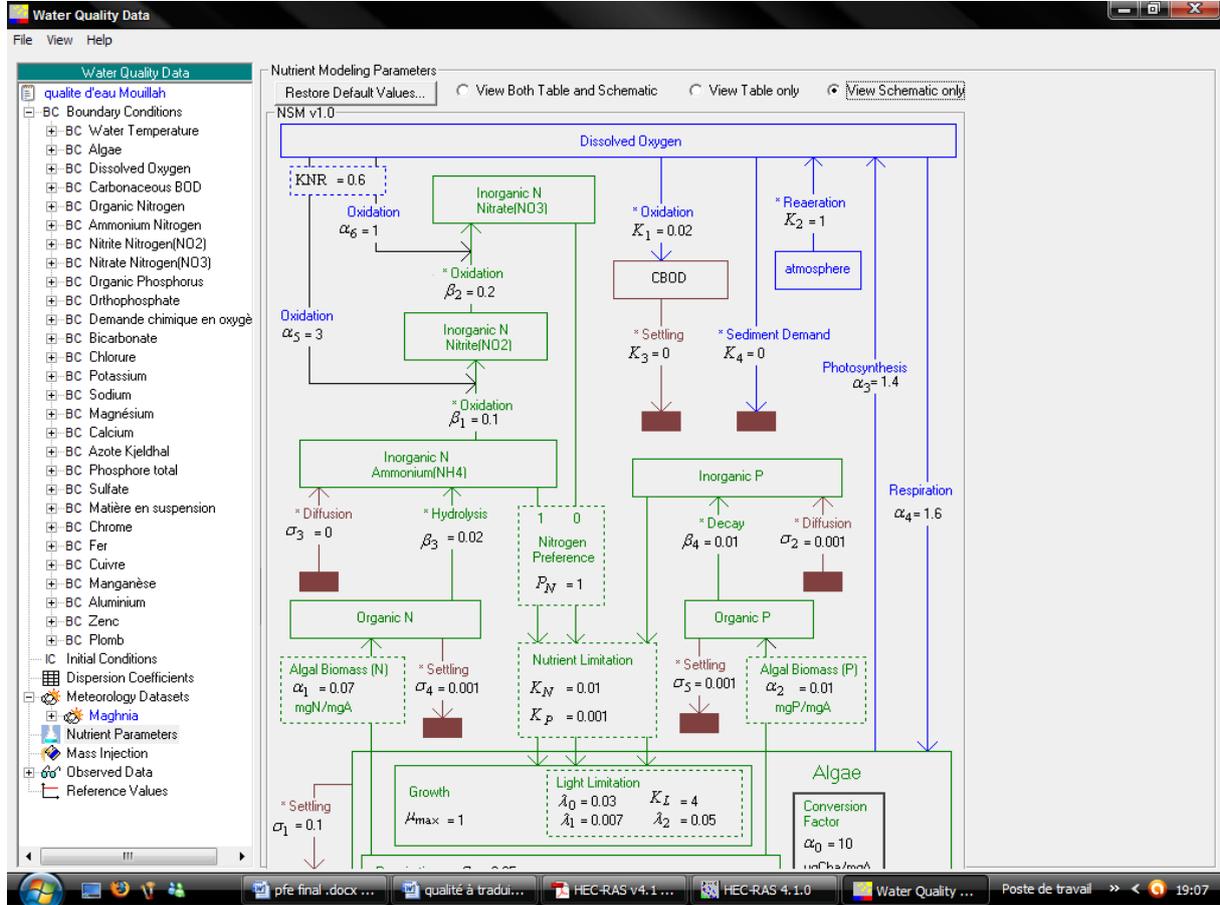


Figure IV- 10: Schéma descriptif de la modélisation des paramètres nutritifs [21]

Les paramètres nutritifs incluent des constantes sur les réactions physiques et chimiques entre les algues, l'azote, le phosphore et l'oxygène dissous, la DBO, et les sédiments. Ces constantes contrôlent les taux du terme : apports/pertes (S) dans l'équation de dispersion-advection :

$$\frac{\partial}{\partial t} (V\phi) = - \frac{\partial}{\partial x} (Q\phi)\Delta x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \Delta x \pm S$$

V: Volume du tronçon de la qualité d'eau (m³) ;

φ : Température de l'eau (°C) ou concentration (Kg m⁻³);

Q: Débit d'écoulement (m³ s⁻¹);

Γ: Coefficient de dispersion défini par l'utilisateur (m² s⁻¹);

A: Surface de la section transversal (m²);

S: Apports/pertes (Kg s⁻¹);

IV.2.2.1 Influence de la température sur les réactions

Quelques réactions de la qualité d'eau sont fortement influencées par la température. Des taux constants sont spécifiés à une température de référence de 20°C et sont corrigés à la température de l'eau locale. Les relations entre les taux de réaction et la température sont modelées avec la loi d'Arrhenius (EPA 1985) :

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

K_T : Taux constant à la température T ;

K_{20} : Taux constant à 20°C ;

θ : Coefficient de correction de la température.

Le coefficient correcteur de la température est généralement indiqué à 1,024 pour des réactions physiques et à 1,047 pour des réactions chimiques. Dans les équations de apports/ pertes qui suivent, un astérisque (*) après un taux constant indique la dépendance de la température. [21]

IV.2.2.2 Les Algues

Le modèle de la qualité d'eau soutient seulement les algues de phytoplancton qui sont en mouvement libre et consomment des éléments nutritifs dans l'eau. La croissance des Algues et leur respiration influent sur la concentration d'algues (A) et la concentration des éléments nutritifs (NH₄, NO₃, PO₄, Org N et Org P), et sur l'oxygène dissous. Au cours de la journée, la photosynthèse d'algues produit l'oxygène dissous et pendant la nuit, leur respiration consomme l'oxygène. Les algues consomment le phosphore et l'azote sous leur forme inorganique dissoute (NH₄, NO₃, et PO₄), ainsi ils représentent une source des formes organiques d'azote (Org N) et du phosphore (Org P).

Chlorophylle-a (CHL):

La Chlorophylle-a est un paramètre généralement surveillé de la qualité d'eau, son concentration en (µg/l) présente des mesures du niveau brut du phytoplancton. La relation linéaire entre la Chlorophylle-a et la biomasse d'algues est :

$$\text{CHL} = \alpha_0 A$$

CHL: Concentration en Chlorophylle-a (µg Chl-a L⁻¹)

α_0 : ratio du Chlorophylle-a à la biomasse d'algues (µg Chl-a/mg A)

Concentration de la biomasse d'algue (A)

Le seul apport de la biomasse d'algue est la croissance des algues, les pertes sont dues à la respiration d'algue et à leur dépôt au lit.

$$\begin{aligned} A_{\text{apports/pertes}} = & \quad A \mu^* && \text{Croissance d'algues} \\ & - A \rho^* && \text{Respiration d'algue} \\ & - \frac{\sigma_1^*}{d} A && \text{Dépôt au lit} \end{aligned}$$

Avec

ρ^* : Taux de respiration d'algues (jour⁻¹).

σ_1^* : Taux de dépôt d'algues (jour⁻¹).

d : la profondeur moyenne du canal (m), cette profondeur est passée du modèle hydraulique au modèle qualité d'eau du logiciel HEC-RAS.

μ : Taux de croissance d'algues (jour⁻¹).

$$\mu = \mu_{max}^* GL$$

μ_{max}^* : Taux maximum de croissance d'algues défini par l'utilisateur.

GL : limitation de croissance spécifique d'algues.

Les paramètres ajustables des algues, valeurs par défaut et les gammes suggérées sont récapitulés dans le tableau suivant :

<i>symbole</i>	<i>description</i>	<i>unités</i>	<i>Gammes suggérées</i>	<i>Valeur par défaut</i>	<i>Coefficient correcteur de température θ</i>
α_0	Conversion Algue → chlorophylle a	µg chl.a/ mg A	10-100	10	Pas de correction
μ_{max}^*	Taux maximum de croissance d'algues	Jour ⁻¹	1-3	1	1.047
ρ^*	Taux de respiration d'algues	Jour ⁻¹	0.05-0.5	0.05	1.047
σ_1^*	Taux de sédimentation d'algues	m jour ⁻¹	0.1-2	0.1	1.024

Tableau IV- 14: Paramètres ajustables d'Algues et les gammes suggérées [21]

IV.2.2.3 Les substances azotées

Les formes d'azote dissous les plus trouvées dans les cours d'eau sont l'azote organique (Org N), l'ammonium (NH₄), nitrite (NO₂), et nitrate (NO₃). Dans les eaux naturelles aérobies, un processus progressif permet la transformation de l'azote organique (Org N) à l'ammonium (NH₄), au nitrite (NO₂), et finalement au nitrate (NO₃).

Puisque l'azote organique (Org N) et les nitrites (NO₂) sont généralement instables dans l'eau aérée, leurs concentrations élevées indiquent une décharge à proximité. Le nitrate (NO₃) et l'ammonium (NH₄) sont également des indicateurs d'une décharge tout près : les concentrations élevées de l'ammonium (NH₄) sont généralement associées aux déchets urbains ; et les concentrations élevées du nitrate (NO₃) sont généralement associées aux rejets agricoles (Meybek 1982). Aussi la croissance et la dégradation d'algues consomme et produit de l'azote, et le lit des cours d'eau agit en tant que source et perte potentielle de l'azote.

❖ *Apport et déficit de l'Azote organique dissous (Org N)*

Le seul apport de l'azote organique dans le modèle est la respiration d'algues. Les déficits d'azote organique sont dues à leur dépôt au lit puis les hydrolysés pour former l'ammonium (NH₄).

$$\begin{aligned} \text{Org N}_{\text{apports/pertes}} = & + \alpha_1 \rho^* A && \text{Respiration d'algues} \\ & - \beta_3^* \text{Org N} && \text{Hydrolyse (OrgN} \longrightarrow \text{NH}_4) \\ & - \sigma_4^* \text{Org N} && \text{Dépôt au lit} \end{aligned}$$

Avec

α_1 : Fraction de la biomasse d'algues azotées (mgN mgA⁻¹). Tableau *IV-15*

β_3^* : Taux constant d'hydrolyse d'Org N à l'ammonium (jour⁻¹). Tableau *IV-15*

σ_4^* : Taux constant du dépôt d'azote organique (jour⁻¹). Tableau *IV-15*

❖ *Apport et déficit de l'Ammonium (NH₄)*

Les apports de l'ammonium (NH₄) sont l'hydrolyse de l'azote organique (OrgN), et la diffusion du benthos. Les pertes d'ammonium sont dues à l'oxydation pour former les nitrites (NO₂) et l'adsorption par les algues.

$$\begin{aligned} \text{NH}_4_{\text{apports/pertes}} = & \beta_3^* \text{Org N} && \text{Hydrolyse (OrgN} \longrightarrow \text{NH}_4) \\ & + \frac{\sigma_3^*}{d} && \text{Diffusion du benthos} \\ & - \beta_1^* (1 - \exp^{-KNR \cdot DOX}) \text{NH}_4 && \text{Oxydation (NH}_4 \longrightarrow \text{NO}_2) \\ & - F_1 \alpha_1 \mu A && \text{L'adsorption par les algues} \end{aligned}$$

Avec

σ_3^* : Taux d'ammonium par diffusion du benthos (mgN m² jour⁻¹). Tableau *IV-15*

β_1^* : Taux constant d'oxydation de l'ammonium au nitrite (jour⁻¹). Tableau *IV-15*

KNR : premier coefficient d'ordre de nitrification (mgO⁻¹ L). Ce paramètre est estimé en général à 0,6. Tableau *IV-15*

F_1 : Fraction d'adsorption de l'ammonium par les algues (sans unité)

La fraction d'ammonium adsorber par les algues (F_1) est une valeur calculée. Elle est en fonction du *facteur de préférence d'azote* (P_N) déterminé par l'utilisateur et des variables d'état d'ammonium (NH₄) et de nitrate (NO₃) :

$$F_1 = \frac{P_N \text{NH}_4}{P_N \text{NH}_4 + (1 - P_N) \text{NO}_3}$$

Le facteur de préférence d'ammonium (P_N) varie entre 0 et 1. Il prend la valeur 1 pour indiquer la préférence d'algues d'ammonium (NH₄). La valeur à 0 indique la préférence d'algues du nitrate (NO₃).

❖ **Apport et déficit du nitrite (NO₂)**

Le seul apport du nitrite (NO₂) est l'oxydation de l'ammonium (NH₄) au nitrite (NO₂). Le déficit est dû à son oxydation au nitrate (NO₃).

$$\begin{aligned} \text{NO}_{2\text{apports/pertes}} = & \\ & \beta_1^* (1 - \exp^{-KNR.DOX}) \text{NH}_4 \quad \text{Oxydation (NH}_4 \longrightarrow \text{NO}_2) \\ & - \beta_2^* (1 - \exp^{-KNR.DOX}) \text{NO}_2 \quad \text{Oxydation (NO}_2 \longrightarrow \text{NO}_3) \end{aligned}$$

β_2^* : Taux constant d'oxydation du nitrite au nitrate (jour⁻¹). Tableau **IV-15**

❖ **Apport et déficit du nitrate (NO₃)**

Le seul apport du nitrate est l'oxydation du nitrite (NO₂) au nitrate (NO₃). Le déficit est dû à l'adsorption par les algues.

$$\begin{aligned} \text{NO}_{3\text{apports/pertes}} = & \\ & \beta_2^* (1 - \exp^{-KNR.DOX}) \text{NO}_2 \quad \text{Oxydation (NO}_2 \longrightarrow \text{NO}_3) \\ & - (1 - F_1) \alpha_1 \mu A \quad \text{Adsorption par les algues} \end{aligned}$$

Les valeurs et les gammes suggérées pour les paramètres azotés sont fournies dans le tableau suivant :

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>	<i>Unités</i>	<i>Gammes suggérées</i>	<i>Valeur par défaut</i>	<i>Coefficient correcteur de température θ</i>
β_3^*	Taux constant OrgN \longrightarrow NH ₄	jour ⁻¹	0.02-0.4	0.02	1.047
β_1^*	Taux constant NH ₄ \longrightarrow NO ₂	Jour ⁻¹	0.1-1	0.1	1.083
β_2^*	Taux constant NO ₂ \longrightarrow NO ₃	Jour ⁻¹	0.2- 2	0.2	1.047
σ_4^*	Taux de dépôt d'azote organique	Jour ⁻¹	0.001-0.1	0.001	1.024
σ_3^*	Taux du NH ₄ par diffusion du benthos	mgN m ² jour ⁻¹	variable	0.0	1.074
<i>KNR</i>	Coefficient de nitrification	(mgO ⁻¹ L)	0.6-0.7	0.6	Pas de correction
P_N	Facteur de préférence d'algue d'ammonium	Sans unité	1 =NH ₄ 0 =NO ₃	1	Pas de correction
α_1	Fraction de la biomasse d'algues azotées	mg N mg A ⁻¹	0.07-0.09	0.07	Pas de correction

Tableau IV- 15: Valeurs et gammes suggérées pour les substances azotées [21]

IV.2.2.4 Les produits phosphatés

Deux types de phosphore sont modélisés : le phosphore organique dissous (OrgP), et l'orthophosphate dissous (PO4). Le phosphore provient essentiellement de la dissolution des roches et des minerais, de l'érosion des sols dans des zones agricoles et des déchets animaux.

❖ *Apport et déficit du phosphore organique (OrgP)*

Le seul apport du phosphore organique (Org P) est la respiration d'algues, les déficits sont dus à la dégradation du phosphore organique (OrgP) pour former l'Orthophosphate (PO4), et leur dépôt au lit.

$$\begin{aligned} \text{Org P}_{\text{apports/pertes}} &= \alpha_2 \rho^* A && \text{Respiration d'Algue} \\ &- \beta_4^* \text{Org P} && \text{Dégradation (Org P} \longrightarrow \text{PO4)} \\ &- \sigma_5^* \text{Org P} && \text{Dépot d'Org P au lit} \end{aligned}$$

Avec

β_4^* : Taux constant d'oxydation du phosphore organique au PO4 (jour⁻¹). Tableau **IV-16**

σ_5^* : Taux constant du dépôt du phosphore organique (OrgP) (jour⁻¹). Tableau **IV-16**

α_2 : Fraction de la biomasse d'algues phosphorées (mgP mgA⁻¹). Tableau **IV-16**

❖ *Apport et déficit de l'Orthophosphate (PO4)*

Il y a deux apports de l'orthophosphate dissous (PO4) : la dégradation du phosphore organique (OrgP), et la diffusion du benthos. Le seul déficit est dû et l'adsorption par les algues.

$$\begin{aligned} \text{PO4}_{\text{apports/pertes}} &= \beta_4^* \text{Org P} && \text{Dégradation (OrgP} \longrightarrow \text{PO4)} \\ &+ \frac{\sigma_2^*}{d} && \text{Diffusion du benthos} \\ &- \alpha_2 \mu A && \text{Adsorption par les algues} \end{aligned}$$

σ_2^* : Taux d'orthophosphate par diffusion du benthos (mgP m² jour⁻¹). Tableau **IV-16**

Les valeurs et les gammes suggérées pour les produits phosphatés sont fournies dans le tableau suivant :

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>	<i>Unités</i>	<i>Gammes suggérées</i>	<i>Valeur par défaut</i>	<i>Coefficient correcteur de température θ</i>
β_4^*	Taux constant OrgP \longrightarrow PO4	jour ⁻¹	0.01-0.7	0.01	1.047
σ_5^*	Taux de dépôt du phosphore organique	Jour ⁻¹	0.001-0.1	0.001	1.024
σ_2^*	Taux d'orthophosphate par diffusion du benthos	mgP m ² jour ⁻¹	variable	0.0	1.074
α_2	Fraction de la biomasse d'algues phosphorées	mg P mg A ⁻¹	0.01-0.02	0.01	Pas de correction

Tableau IV- 16: Valeurs et gammes suggérées pour les produits phosphatés [21]

IV.2.2.5 Demande biologique d'oxygène carbonée (DBOC)

Les pertes de DBOC sont dues à la dégradation par l'intermédiaire de l'oxydation et leurs dépôts au lit du canal:

$$\begin{aligned}
 \text{CBOD}_{\text{apports/pertes}} &= -K_1^* \text{ DBOC} && \text{(Oxydation)} \\
 &- K_3^* \text{ DBOC} && \text{(Arrangement au lit)}
 \end{aligned}$$

K_1^* : Coefficient de taux de désoxygénation (jour⁻¹). Tableau **IV-17**

K_3^* : Taux de perte de DBOC par dépôt au lit (jour⁻¹). Tableau **IV-17**

Les valeurs et les gammes suggérées pour la DBOC sont fournies dans le tableau suivant :

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>	<i>Unités</i>	<i>Gammes suggérées</i>	<i>Valeur par défaut</i>	<i>Coefficient correcteur de température θ</i>
K_1^*	Taux de désoxygénation	jour ⁻¹	0.02-3.4	0.02	1.047
K_3^*	Taux de dépôt au lit	Jour ⁻¹	-0.36 - 0.36	0	1.024

Tableau IV- 17: Valeurs et gammes suggérées pour la DBOC [21]

IV.2.2.6 L'Oxygène dissous

Les apports en oxygène dissous sont l'aération atmosphérique et la photosynthèse d'algues. Les pertes sont dues à la respiration d'algues, la demande d'oxygène au sédiment, la demande biologique d'oxygène carbonée (DBOC), et l'oxydation de l'ammonium et du nitrite.

$$\begin{aligned}
 \text{DOX}_{\text{apports/pertes}} &= K_2^* (O_{\text{Sat}} - \text{DOX}) && \text{(Aération atmosphérique)} \\
 &+ A (\alpha_3 \mu - \alpha_4 \rho) && \text{(Photosynthèse et respiration)} \\
 &- K_1^* \text{ CBOD} && \text{(Demande de DBOC)} \\
 &- \frac{K_4^*}{d} && \text{(Demande de sédiment)} \\
 &- \alpha_5 \beta_1 \text{NH}_4 && \text{(Oxydation d'ammonium)} \\
 &- \alpha_6 \beta_2 \text{NO}_2 && \text{(Oxydation de nitrite)}
 \end{aligned}$$

Avec

O_{Sat} : Concentration d'oxygène dissous à la saturation (mgO L⁻¹), cette valeur est en fonction de la température d'eau.

α_3 : La production d'O2 par photosynthèse d'algues (MgO mgA⁻¹). Tableau **IV-18**

α_4 : La consommation d'O2 par la respiration d'algues (MgO mgA⁻¹). Tableau **IV-18**

α_5 : La consommation d'O2 par l'oxydation du NH4 (MgO mgN⁻¹). Tableau **IV-18**

α_6 : La consommation d'O2 par l'oxydation du NO2 (MgO mgN⁻¹). Tableau **IV-18**

K_2^* : Taux d'aération (jour⁻¹). Tableau **IV-18**

K_4^* : Taux d'oxygène demandé par les sédiments ($\text{mg m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$).

β_1^* : Taux d'oxydation d'ammonium (jour^{-1}).

β_2^* : Taux d'oxydation de nitrite (jour^{-1}).

N.B : L'aération est le processus d'échange d'oxygène entre l'eau et l'atmosphère à travers l'interface air-eau. Dans ce modèle, l'aération est simulée comme un processus de gradient de flux, produit d'un taux d'aération constant (K_2) et la différence entre la concentration réelle et saturée d'oxygène dissous.

Les valeurs et les gammes suggérées pour l'oxygène dissous sont fournies dans le tableau suivant :

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>	<i>Unités</i>	<i>Gammes suggérées</i>	<i>Valeur par défaut</i>	<i>Coefficient correcteur de température θ</i>
α_3	Production d'O ₂ par photosynthèse d'algues	mgO mgA ⁻¹	1.4-1.8	1.4	Pas de correction
α_4	Consommation d'O ₂ par la respiration d'algues	mgO mgA ⁻¹	1.6-2.3	1.6	Pas de correction
α_5	Consommation d'O ₂ par l'oxydation du NH ₄	mgO mgN ⁻¹	3.0-4.0	3.0	Pas de correction
α_6	Consommation d'O ₂ par l'oxydation du NO ₂	mgO mgN ⁻¹	1-1.14	1	Pas de correction
K_2^*	Taux d'aération	jour ⁻¹	0-100	0	1.024
K_4^*	Taux d'oxygène demandé par les sédiments	mgO m ⁻² jour ⁻¹	variable	0	1.060

Tableau IV- 18: Valeurs et gammes suggérées pour l'oxygène dissous [21]

IV-3 Discussion des résultats

Les résultats simulés par le modèle qualité HEC-RAS sont représentés comme suit :

➤ Simulation dans le temps

Le logiciel simule pour chaque tronçon descriptif du cours d'eau Mouillah, les variables à modéliser en fonction du temps. Les résultats simulés peuvent être observés en sélectionnant le tronçon désiré dans la barre menu, aussi ce modèle peut assembler les résultats simulés avec les données observées pour pouvoir déterminer sa fiabilité. Les données observées sont indiqués par l'icône 

Les résultats simulés sont présentés par des graphes déterminant l'évolution du paramètre dans le temps pour chaque tronçon ou bien par des tableaux en mentionnant les concentrations des paramètres en mg/l en fonction du temps.

Les figures suivantes par exemple montrent l'évolution de l'oxygène dissous dans le temps pour le tronçon [23.990 à 23.776] sous formes de graphes et tableaux :

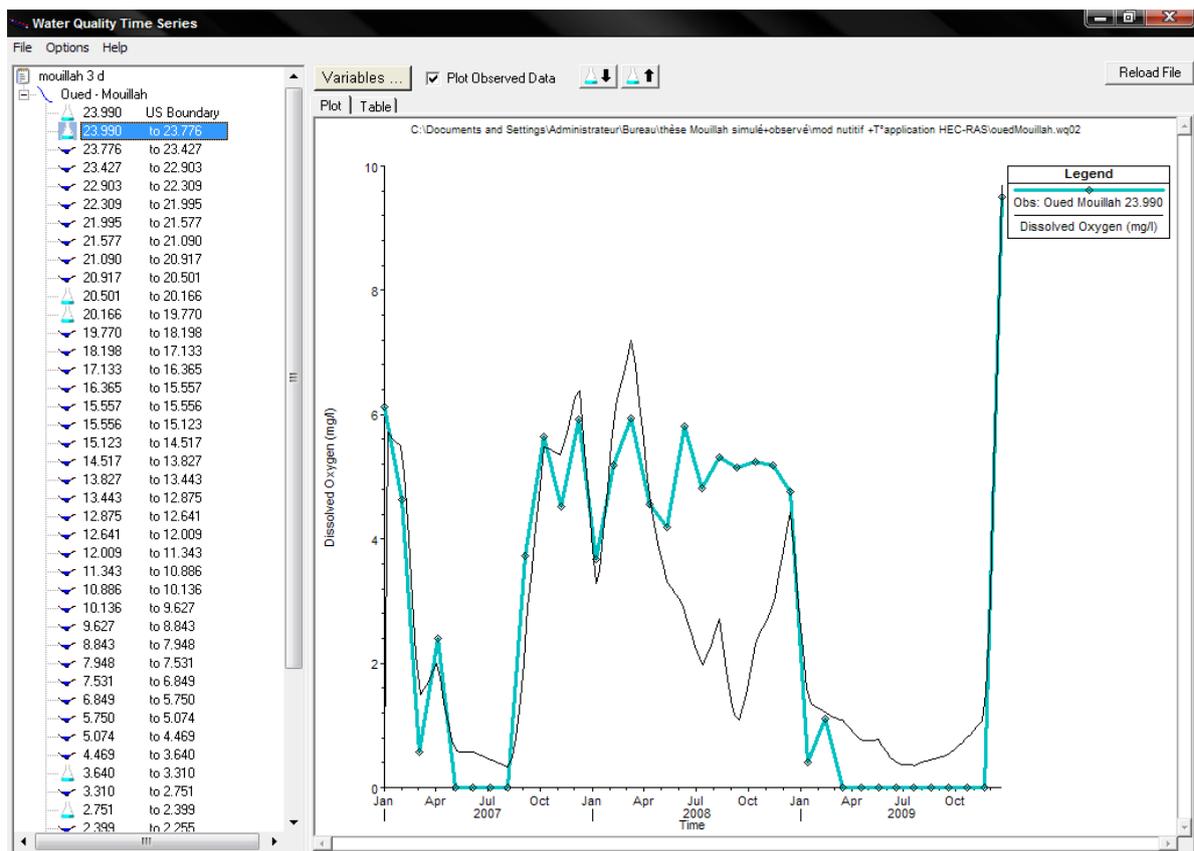


Figure IV- 11 : Evolution de l'oxygène dissous dans le temps pour un tronçon déterminé

Time	Dissolved Oxygen (mg/l)
01Jan2007 00:00:00	0.4
08Jan2007 00:00:00	5.713917
15Jan2007 00:00:00	5.608626
22Jan2007 00:00:00	5.545025
29Jan2007 00:00:00	5.493599
05Feb2007 00:00:00	5.042918
12Feb2007 00:00:00	4.020619
19Feb2007 00:00:00	3.023182
26Feb2007 00:00:00	2.145332
05Mar2007 00:00:00	1.492767
12Mar2007 00:00:00	1.578619
19Mar2007 00:00:00	1.698046
26Mar2007 00:00:00	1.836117
02Apr2007 00:00:00	1.994405
09Apr2007 00:00:00	1.777718
16Apr2007 00:00:00	1.362614
23Apr2007 00:00:00	1.028203
30Apr2007 00:00:00	0.7627528
07May2007 00:00:00	0.5844696
14May2007 00:00:00	0.5799004
21May2007 00:00:00	0.5785506
28May2007 00:00:00	0.5786067
04Jun2007 00:00:00	0.5795208
11Jun2007 00:00:00	0.551751
18Jun2007 00:00:00	0.5191728
25Jun2007 00:00:00	0.489438
02Jul2007 00:00:00	0.4622402
09Jul2007 00:00:00	0.437068
16Jul2007 00:00:00	0.4083359
23Jul2007 00:00:00	0.3813308
30Jul2007 00:00:00	0.35614
06Aug2007 00:00:00	0.3324791
13Aug2007 00:00:00	0.5011965
20Aug2007 00:00:00	0.7854395
27Aug2007 00:00:00	1.245246
03Sep2007 00:00:00	2.01456
10Sep2007 00:00:00	2.887861
17Sep2007 00:00:00	3.52611
24Sep2007 00:00:00	4.186426

Tableau IV- 19: Tableau de résultats de simulation de l’oxygène dissous dans le temps pour un tronçon déterminé

➤ **Simulation dans l’espace**

Le modèle HEC-RAS simule pour chaque pas de temps les variables à modelés le long du cours d’eau principal. Les résultats simulés peuvent être observés en sélectionnant un ou plusieurs profils de temps désirés dans la barre menu, aussi cette simulation nous permet de voir l’animation de la propagation d’un ou plusieurs paramètres à modelé dans l’espace. Ce modèle peut assembler des résultats simulés avec ceux observés pour pouvoir déterminer sa fiabilité.

Les résultats simulés sont présentés par des graphes déterminant la propagation des paramètres dans l’espace pour une date précise ou bien par des tableaux en mentionnant les concentrations du paramètres en mg/l dans l’espace pour une date bien déterminée, cette dernière est choisie en raison des concentrations importantes pour chaque polluant.

Une autre option graphique représente le schéma du système de rivière avec des couleurs décrivant les intervalles des concentrations des paramètres modélisés dans l’espace.

Les figures suivantes montrent un exemple de propagation de l’oxygène dissous dans l’espace pour une date précise (2 avril 2007) sous formes de graphe, tableau et schéma du système de rivière:

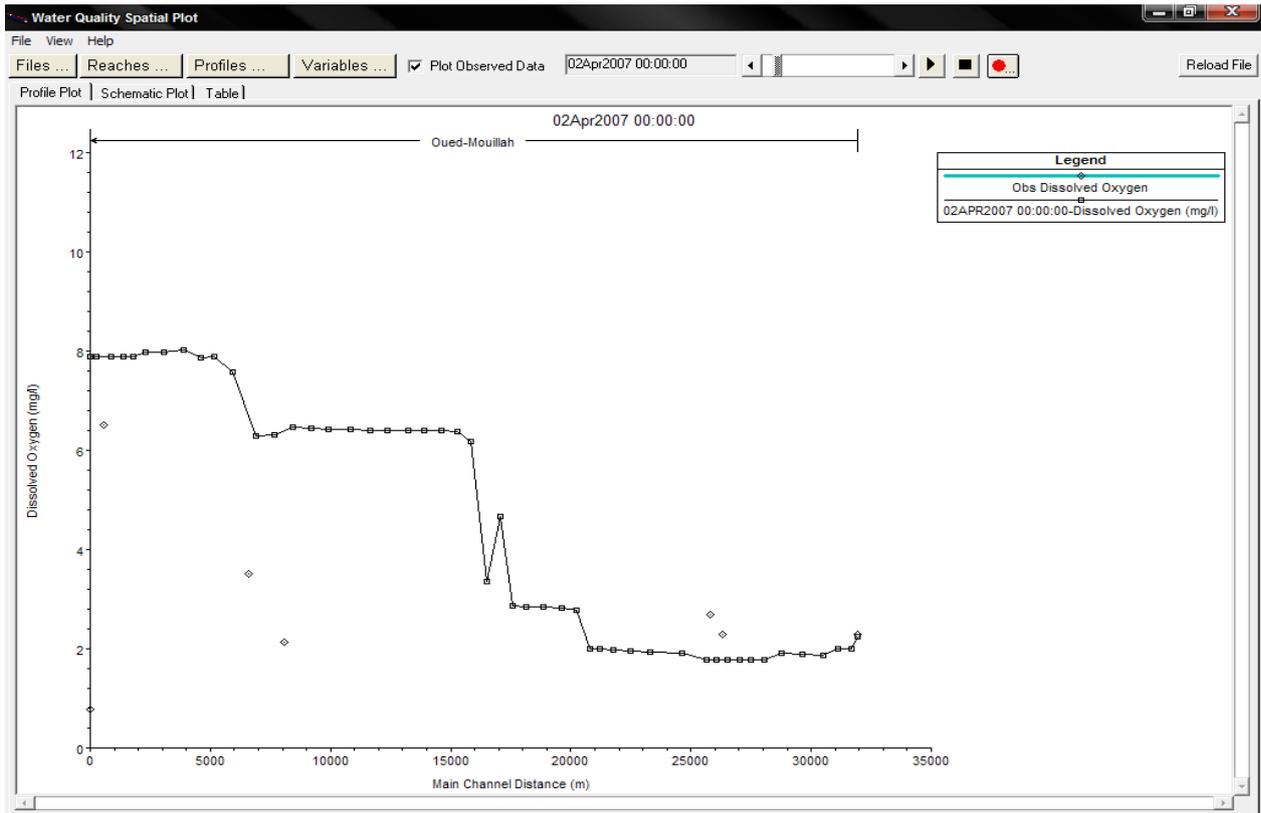


Figure IV- 12: Graphe de propagation de l’oxygène dissous dans l’espace pour une date précise

River	Reach	RS	WQ Cell Length (m)	Dissolved Oxygen (mg/l)
1	Oued Mouillah	23.990 US Boundary	0	2.240202
2	Oued Mouillah	23.990 23.776	520.0001	1.994406
3	Oued Mouillah	23.776 23.427	551.2701	1.997093
4	Oued Mouillah	23.427 22.903	721.0699	1.862803
5	Oued Mouillah	22.903 22.309	990.5799	1.893757
6	Oued Mouillah	22.309 21.995	771.5302	1.900944
7	Oued Mouillah	21.995 21.577	626.08	1.777608
8	Oued Mouillah	21.577 21.090	473.2002	1.772342
9	Oued Mouillah	21.090 20.917	526.78	1.771628
10	Oued Mouillah	20.917 20.501	425.0399	1.771627
11	Oued Mouillah	20.501 20.166	506.01	1.771508
12	Oued Mouillah	20.166 19.770	371.1001	1.769413
13	Oued Mouillah	19.770 18.198	1627.56	1.9051
14	Oued Mouillah	18.198 17.133	1078.63	1.931333
15	Oued Mouillah	17.133 16.365	557.35	1.959665
16	Oued Mouillah	16.365 15.557	779.9198	1.969924
17	Oued Mouillah	15.557 15.556	389.0001	2.009438
18	Oued Mouillah	15.556 15.123	432.7401	2.001604
19	Oued Mouillah	15.123 14.517	659.18	2.783309
20	Oued Mouillah	14.517 13.827	609.49	2.823555
21	Oued Mouillah	13.827 13.443	950.3302	2.837492
22	Oued Mouillah	13.443 12.875	486.0201	2.85305
23	Oued Mouillah	12.875 12.641	618.1	2.862114
24	Oued Mouillah	12.641 12.009	415.9999	4.666718
25	Oued Mouillah	12.009 11.343	670.4802	3.363935
26	Oued Mouillah	11.343 10.886	669.84	6.183599
27	Oued Mouillah	10.886 10.136	475.8001	6.385915
28	Oued Mouillah	10.136 9.627	802.2001	6.392133
29	Oued Mouillah	9.627 8.843	607.5801	6.393626
30	Oued Mouillah	8.843 7.948	789.8401	6.396986
31	Oued Mouillah	7.948 7.531	918.1	6.399594
32	Oued Mouillah	7.531 6.849	472.39	6.408456
33	Oued Mouillah	6.849 5.750	1200.04	6.420871
34	Oued Mouillah	5.750 5.074	665.61	6.431701
35	Oued Mouillah	5.074 4.469	776.6999	6.456551
36	Oued Mouillah	4.469 3.640	723.6199	6.45822
37	Oued Mouillah	3.640 3.310	836.01	6.307325
38	Oued Mouillah	3.310 2.751	661.6799	6.28465
39	Oued Mouillah	2.751 2.399	1259.09	7.581342

Tableau IV- 20 : Tableau de résultats de propagation de l’oxygène dissous dans l’espace pour une date précise

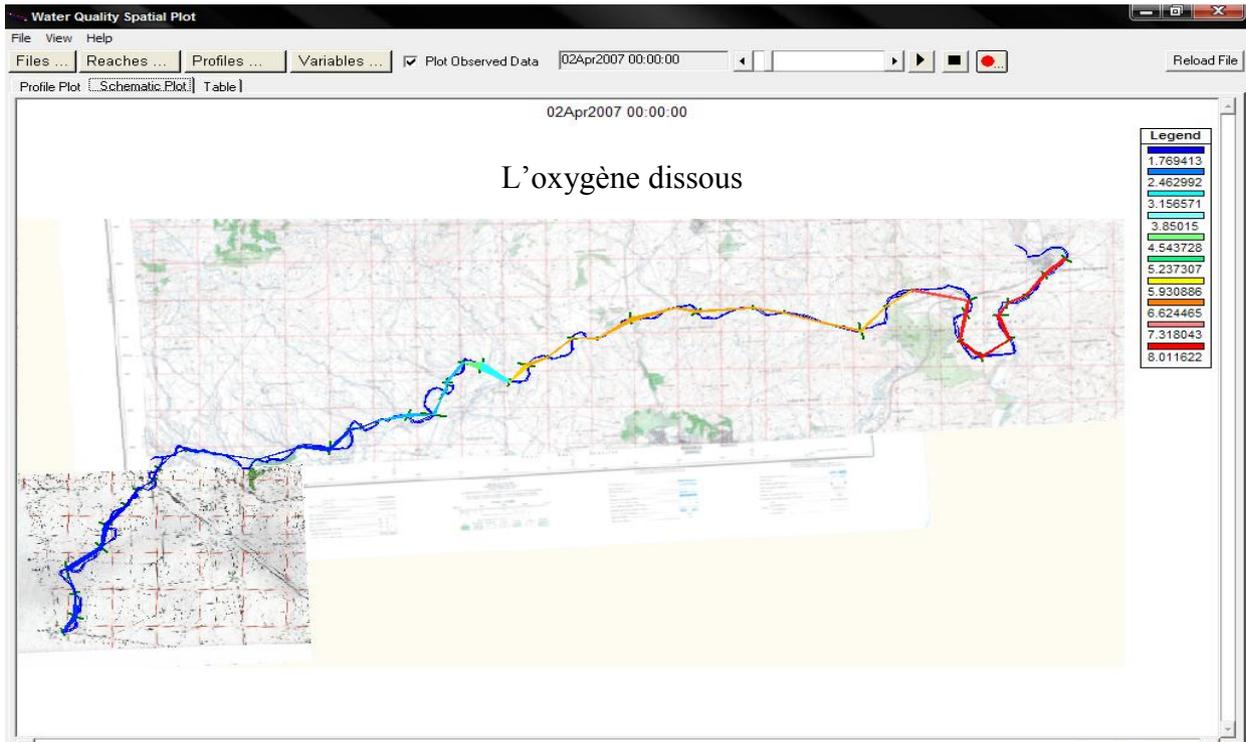


Figure IV- 13 : Schéma du système de rivière de propagation d'oxygène dissous le long du cours d'eau pour une date précise

➤ **Fiabilité du modèle qualité HEC-RAS**

Pour déterminer la fiabilité du modèle, on doit calculer l'écart type par la relation suivante :

$$\text{écart type} = \left[1 - \left(\frac{\sum(Y_{\text{observé}} - Y_{\text{simulé}})}{\sum Y_{\text{observé}}^2} \right) \right] \times 100\%$$

IV.3.1 Modélisation de la matière en suspension

➤ **Simulation dans le temps**

Pour pouvoir examiner la fiabilité du logiciel, on a comparé les résultats simulés aux valeurs observés pour les sept tronçons descriptifs du cours d'eau Mouillah:

- Le tronçon [23.990 à la frontière] indique la Diguette amont ;
- Le tronçon [20.501 à 20.166] indique Diguette lac ;
- Le tronçon [20.166 à 19.770] indique Diguette aval ;
- Le tronçon [3.640 à 3.310] indique l'Oued Ouerdeffou ;
- Le tronçon [2.751 à 2.399] indique la sortie de la station d'épuration ;
- Le tronçon [0.535 à 0.000] indique la cuvette du barrage Hammam Bouhrara ;
- Le tronçon [0.000 à l'aval du barrage] indique la sortie du barrage Hammam Bouhrara.

La confrontation des résultats simulés de la MES aux analyses observés pour les tronçons les plus significatifs dans l'Oued Mouillah, à savoir : la diguette amont, Oued Ouerdeffou, la STEP, la cuvette du barrage, sont représentés par les graphes ci-dessous. Les tronçons restants sont présentés en annexe 19.

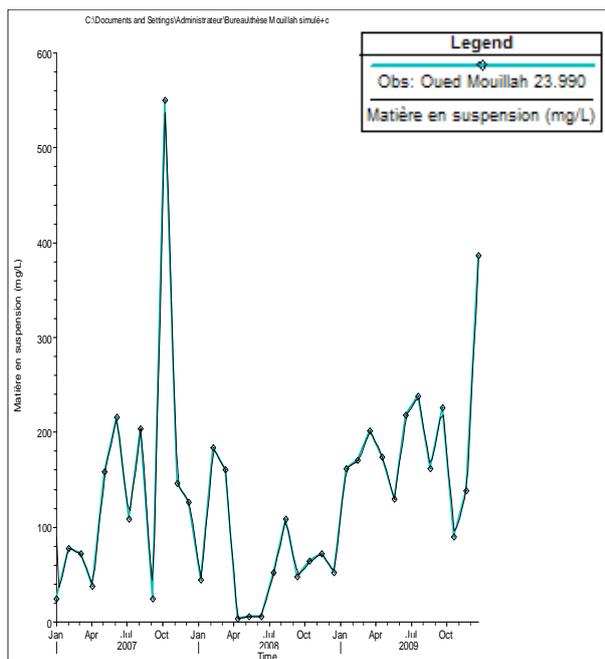


Figure IV- 15 : évolution de la matière en suspension dans le temps à la frontière

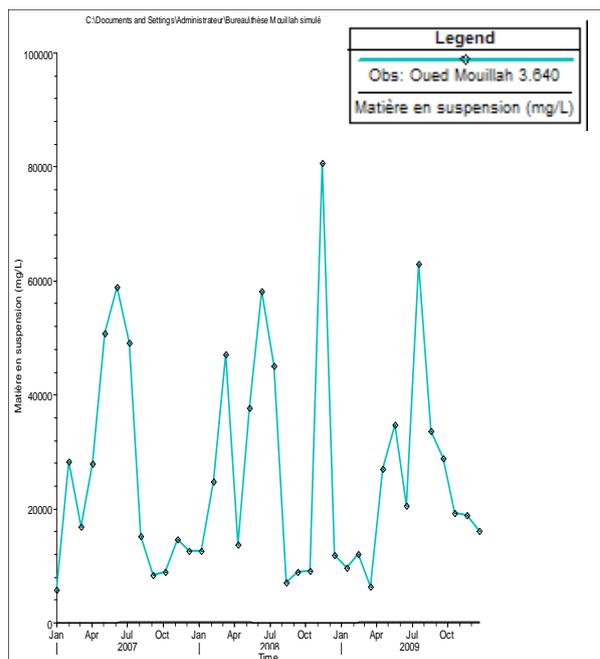


Figure IV- 14 : évolution de la matière en suspension dans le temps à Oued Ouerdeffou

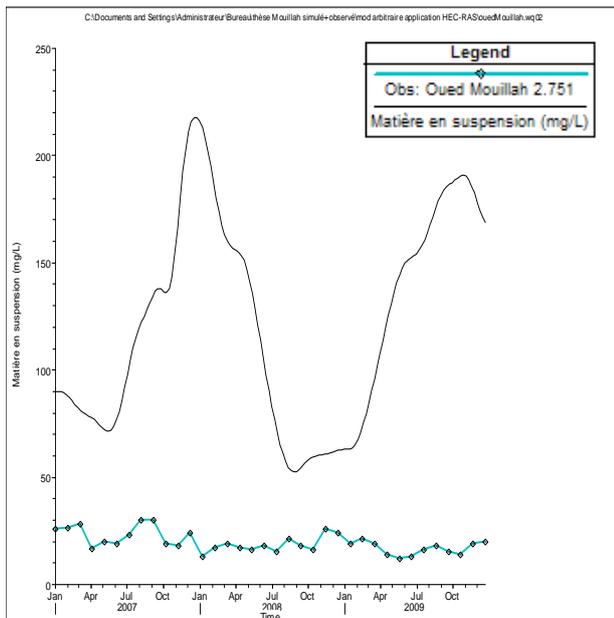


Figure IV- 16: évolution de la matière en suspension dans le temps à la sortie de la STEP

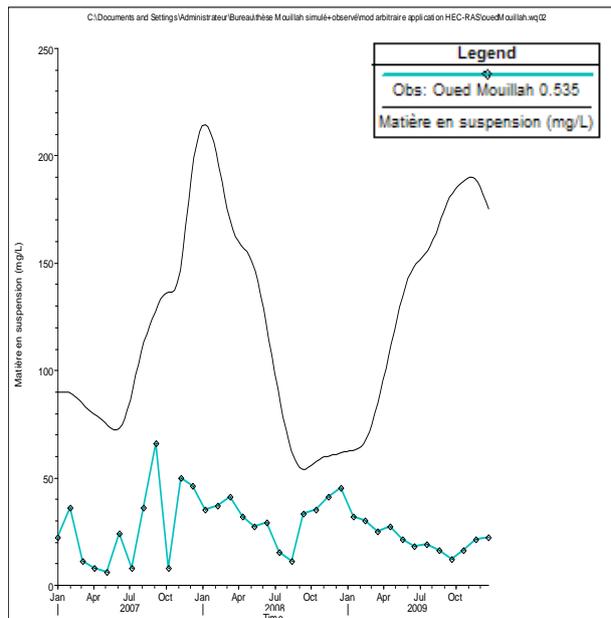


Figure IV- 17: évolution de la matière en suspension dans le temps au barrage Boughrara

Interprétation des résultats de l'évolution de la MES dans le temps

- Les MES rejetées dans les milieux naturels ne doivent pas dépasser une limite de 30 mg/l. Pour l'amont de la diguette (frontière), la MES dépassent largement les normes surtout en temps sec, avec des valeurs qui atteignent les 500 mg/l. Ceci est due aux rejets frontaliers qui charrie des concentrations élevées des MES de sources domestique, agricole, industrielle.

Les résultats simulés est ceux observés sont identiques pour l'amont de la diguette, le modèle présente la pollution par la MES avec une précision de 99.32 %.

- A l'oued Ouerdeffou, les concentrations simulées de la MES dépassent les normes, avec des valeurs qui atteignent les 250 mg/l. Ce qui est due aux rejets des zones industrielles de la ville de Maghnia.

Les résultats simulés de la MES ne présentent pas la réalité, car ils sont largement inférieurs aux données observés. On peut dire, que le modèle minimise la pollution par la MES pour ce point de prélèvement, l'erreur est estimée à 67.43 %.

- A la sortie de la station d'épuration, les concentrations simulées sont supérieures aux normes, avec des valeurs qui dépassent les 220 mg/l, or que les résultats observés sont dans les normes et ne dépassent pas les 30 mg/l.

Pour ce point de prélèvement, les résultats simulés de la MES dépassent ceux observés, ce qui indique que le modèle qualité majore la pollution par la MES. L'erreur est estimée à 54.3 %.

- A la cuvette du barrage Boughrara, les concentrations simulées de la MES sont supérieures aux normes, avec des valeurs qui atteignent les 200 mg/l, ainsi que les concentrations observées qui dépassent les 60 mg/l. Les résultats simulés de la MES dépassent ceux observés pour ce tronçon, la précision du modèle est estimée à 51 %.

Il est clair que les concentrations de la MES à la cuvette du barrage sont plus faibles par rapport aux autres sections, ce qui montre une nette réduction par décantation.

➤ *Simulation dans l'espace*

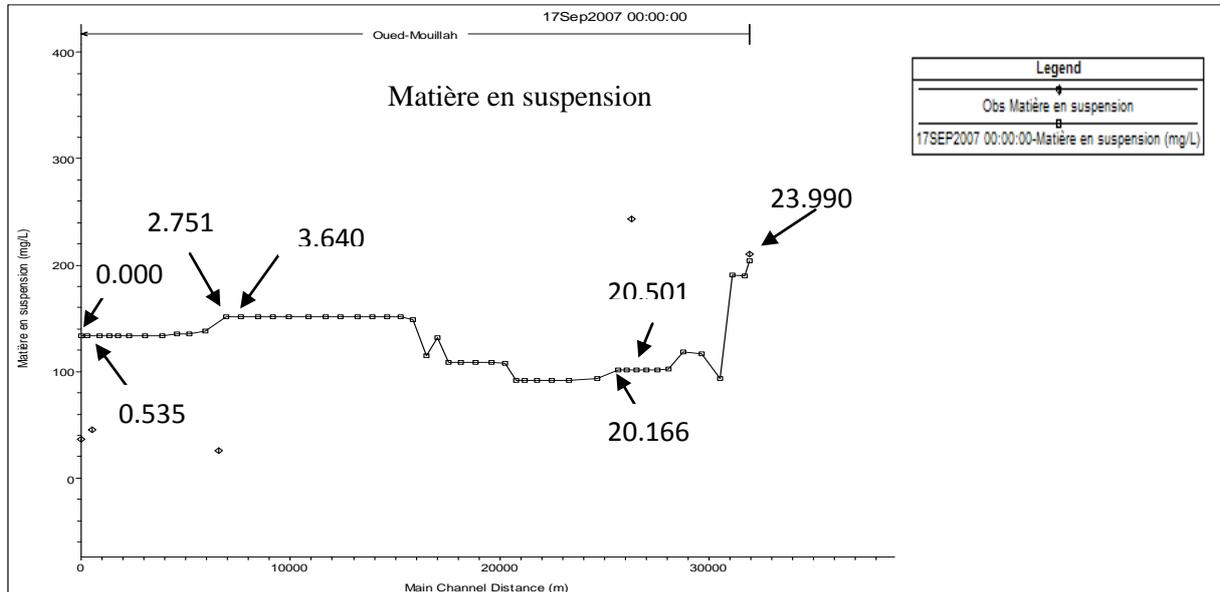


Figure IV- 18 : Graphes de propagation de la matière en suspension dans l'espace le 17/09/2007

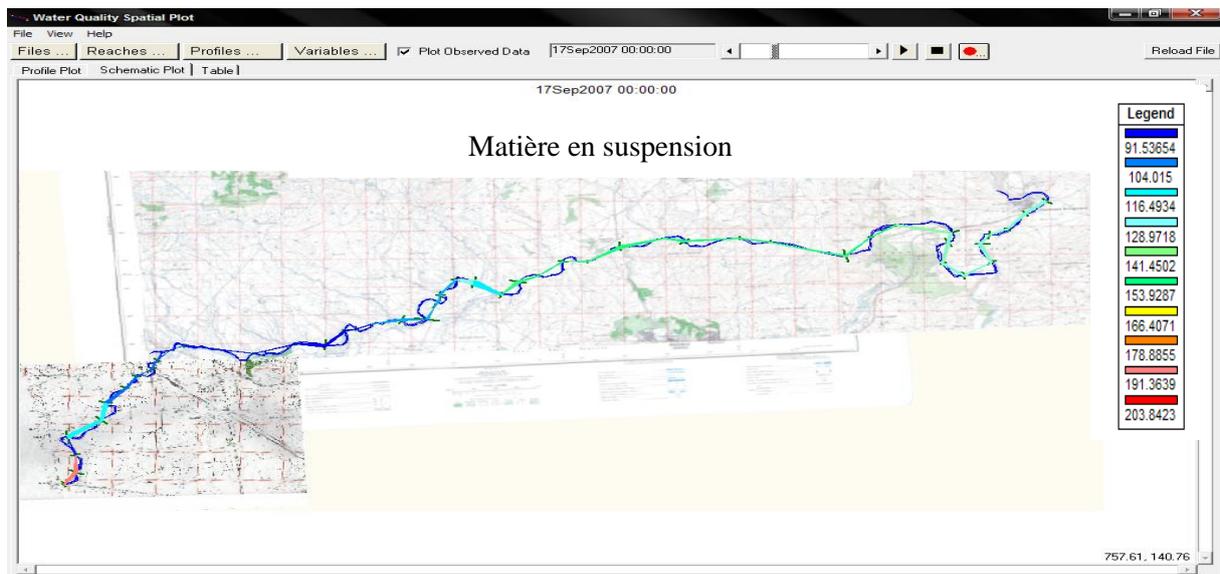


Figure IV- 19 : Schéma du système de rivière de propagation la matière en suspension dans l'espace le 17/09/2007

Interprétation des résultats de propagation de la MES dans l'espace

A la frontière, la matière en suspension simulée prend sa valeur maximale de 200 mg/l, puis elle subit une nette réduction pour arriver à oued Ouerdeffou avec une concentration plus faible de 150 mg/l, enfin elle atteint sa concentration minimale de 130 mg/l au niveau de la cuvette du barrage Boughrara. La réduction de la MES depuis la frontière jusqu'au barrage atteint les 40 %. Il est clair que la cuvette du barrage joue un rôle d'un bassin de décantation des matières en suspension.

IV.3.2 Modélisation de la minéralisation

La minéralisation représente la somme des ions majeurs qui sont : *bicarbonate* (HCO_3^-), *chlorure* (Cl^-), *sulfate* (SO_4^{2-}), *nitrate* (NO_3^-), *sodium* (Na^+), *potassium* (K^+), *magnésium* (Mg^{+2}), *calcium* (Ca^{2+}).

Le modèle qualité HEC-RAS simule l'évolution spatiotemporelle pour chaque un des ions majeur. Tous ces résultats sont mentionnés en annexes 20 et 21.

Dans ce qui suit, on va étudier l'évolution de la minéralisation en totalité dans le temps et sa propagation dans l'espace.

➤ *Simulation dans le temps*

Pour pouvoir examiner la fiabilité du logiciel, on a étudié et comparé les résultats simulés de la minéralisation aux analyses observés pour les tronçons : diguette amont, Oued Querdeffou, la STEP, cuvette du barrage. Les tronçons restants sont présentés en annexe 22.

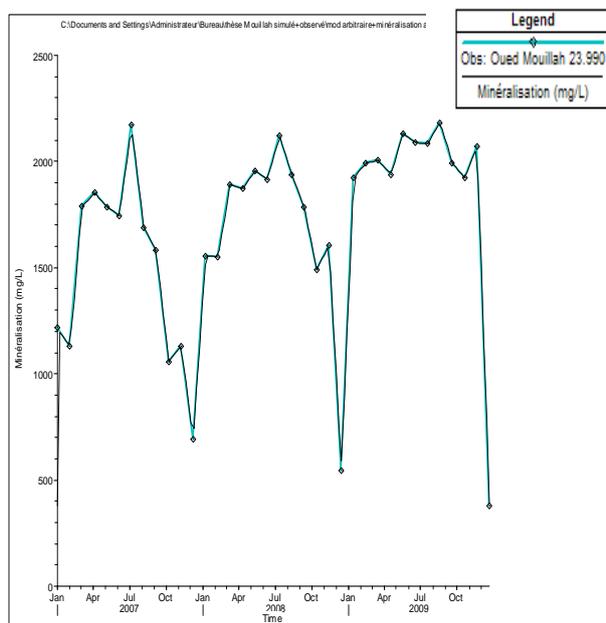


Figure IV- 20: évolution de la minéralisation dans le temps à la frontière

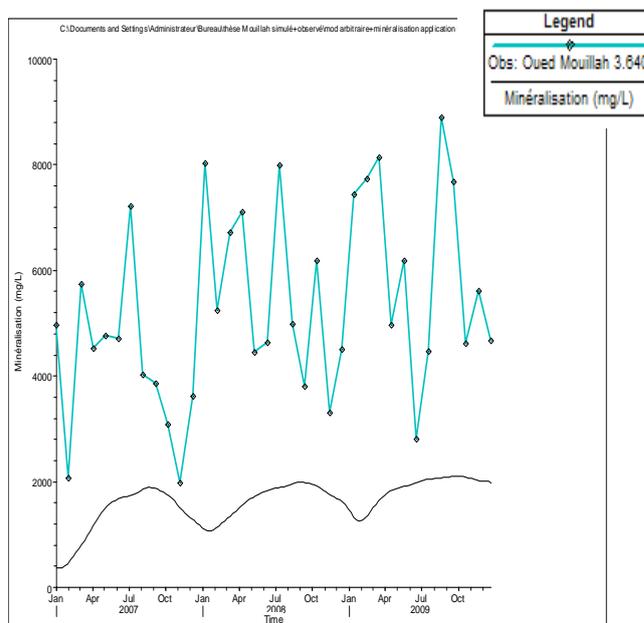


Figure IV- 21 : évolution de la minéralisation dans le temps à oued Querdeffou

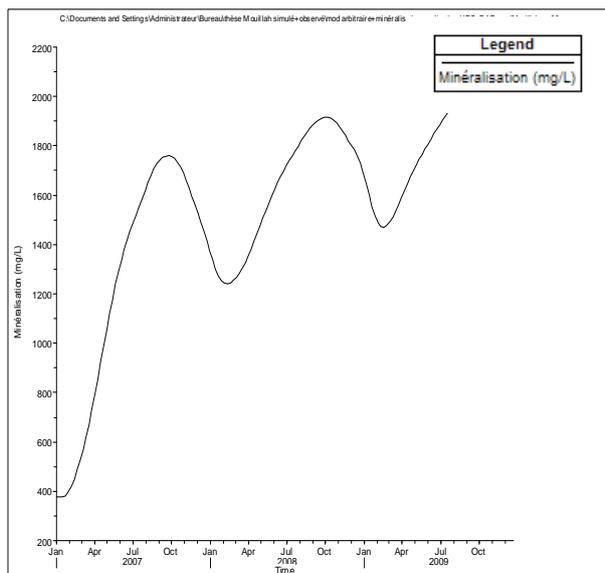


Figure IV- 22: évolution de la minéralisation dans le temps à la sortie de la STEP

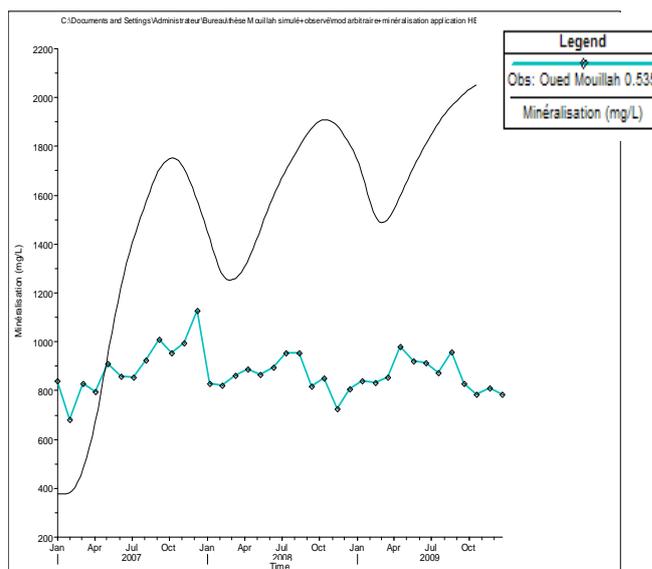


Figure IV- 23: évolution de la minéralisation dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara

Interprétation des résultats de l'évolution de la minéralisation dans le temps

- Pour l'amont de la diguette (frontière), la minéralisation dépasse les 2000 mg/l surtout en temps sec. Les ions les plus dominants qui caractérisent cette section sont : (Tableau IV-21)
 - Le sodium (27% de la minéralisation), le chlorure (20%), le sulfate (8%) et le calcium (3%), présents à l'amont de la diguette, résultent soit du lessivage des terrains traversés soit des rejets domestiques et industriels provenant du Maroc et rejetés dans l'oued Mouillah.
 - Le bicarbonate (22 %) est dû aux rejets industriels de la ville d'Oujda.
 - Le Magnésium (14%) provient de la dégradation de roches traversées.
 - Le potassium (1.6%) et les nitrates (0.27%) sont dus à la dissolution des engrais chimiques utilisés pour les terrains agricoles frontaliers.

Les résultats simulés est ceux observés sont presque identiques, donc le modèle présente la minéralisation à l'amont de la diguette avec une précision de 97.89%.

- A l'oued Ouerdeffou, les concentrations simulées de la minéralisation ne dépassent pas les 2000 mg/l, or que les valeurs observées atteignent les 8000 mg/l. Les ions les plus dominants qui déterminent cette section sont :
 - Le sodium (25%), le bicarbonate (20 %) et le chlorure (19%) proviennent des rejets domestiques et industriels de la ville de Maghnia.
 - Le Magnésium (14%), le sulfate (8%), et le calcium (8%) résultent de la dégradation des roches traversés et des rejets industrielles de Maghnia.
 - Le potassium (1.51%) et les nitrates (1.47%) sont dus à la dissolution des engrais chimiques utilisés massivement pour le périmètre irrigué de Maghnia.

Les résultats simulés de la minéralisation ne présentent pas la réalité, ils sont largement inférieurs aux données observés. On peut dire, que le modèle minimise les concentrations de la minéralisation à oued Ouerdeffou, L'erreur est estimée à 53.76%.

- A la sortie de la station d'épuration, les concentrations simulées de la minéralisation dépassent les 1500 mg/l. Les ions les plus dominants à la sortie de la STEP sont :

Le sodium (24%), le bicarbonate (19%), le chlorure (18%) et le Magnésium (13%) qui proviennent soit des rejets des zones industrielles de la ville de Maghnia, soit des lessivages des terrains traversés, et qui s'échappent à l'épuration, pour ce trouver à l'oued Mouillah en concentrations élevées.

On ne peut pas étudier la fiabilité du logiciel à cette section, vue le manque d'analyses observées à la sortie de la station d'épuration.

- A la cuvette du barrage Boughrara, les concentrations simulées de la minéralisation dépassent largement les 1800 mg/l, or que les résultats observés varient entre 700 et 1000 mg/l. Les ions les plus dominants qui caractérisent la cuvette du barrage sont :

Le sodium (23%), bicarbonate (19%), chlorure (18%) et Magnésium (13%) qui résultent de la dégradation des terrains traversés et des rejets industriels de Maghnia.

Le potassium (1.43%) et les nitrates (1.46%) sont dus à la dissolution des engrais chimiques utilisés aux terrains agricoles de Maghnia.

Les résultats simulés de la minéralisation dépassent ceux observés pour ce point de prélèvement, la précision du modèle est estimée à 68.4 %.

	<i>% des ions majeurs</i>			
	<i>Frontière Algéro-marocaine</i>	<i>Oued Ouerdeffou</i>	<i>sortie de la STEP</i>	<i>cuvette du barrage Boughrara</i>
<i>Chlorure Cl⁻</i>	20.99	19.60	18.77	18.49
<i>Bicarbonate HCO₃⁻</i>	22.24	20.85	19.77	19.44
<i>Nitrate NO₃⁻</i>	0.27	1.47	1.46	1.46
<i>Sulfate SO₄⁻²</i>	8.78	8.37	8.10	8.04
<i>Sodium Na⁺</i>	27.69	25.55	24.24	23.79
<i>Potassium K⁺</i>	1.62	1.51	1.45	1.43
<i>Magnésium Mg⁺²</i>	14.72	14.07	13.74	13.63
<i>Calcium Ca²⁺</i>	3.69	8.56	8.25	8.15

Tableau IV- 21 : Pourcentage des ions majeurs pour chaque tronçon de l'Oued Mouillah

➤ *Simulation dans l'espace*

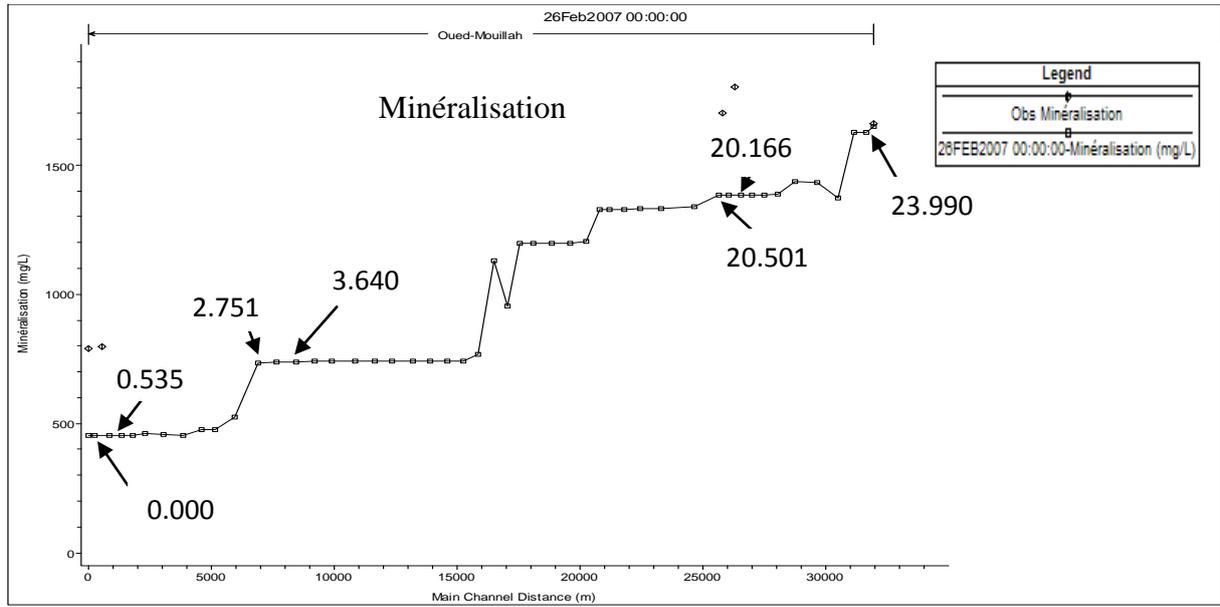


Figure IV- 24 : Graphes de propagation de la minéralisation dans l'espace le 26/02/2007

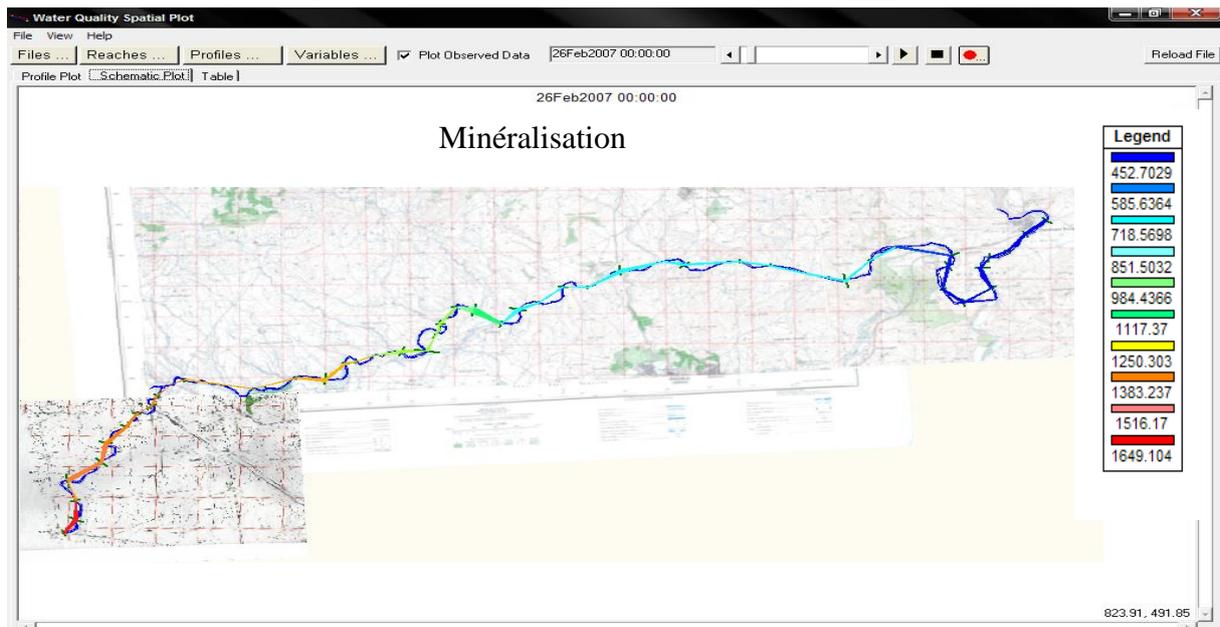


Figure IV- 25 : Schéma du système de rivière de propagation de la minéralisation dans l'espace le 26/02/2007

Interprétation des résultats de propagation de la minéralisation dans l'espace

A la frontière, la minéralisation simulée prend sa valeur maximale de 1600 mg/l qui est due au lessivage des terrains traversés et aux rejets industriels du Maroc, pour arriver au barrage Boughrara avec des concentrations réduites qui atteignent les 500 mg/l et qui résultent des rejets domestiques et industriels de Maghnia. La réduction de la minéralisation due à une autoépuration est estimée à 72 %.

IV-3-3 Modélisation de la pollution organique

La pollution organique est représentée par les paramètres suivants : oxygène dissous, DBO, DCO.

➤ **Simulation dans le temps**

Pour pouvoir examiner la fiabilité du logiciel, on a étudié et comparé les résultats simulés de la pollution organique aux analyses observés pour les tronçons: diguette amont, Oued Ouerdeffou, la STEP, cuvette du barrage. Les résultats des tronçons restants sont mentionnés en annexe 23.

• **Le tronçon [23.990 à la frontière] : oxygène dissous, DBO, DCO**

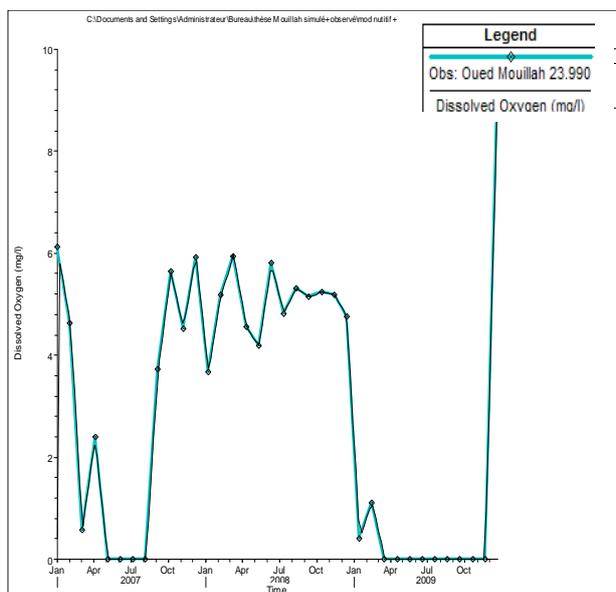


Figure IV- 26: évolution de l’oxygène dissous dans le temps à la frontière

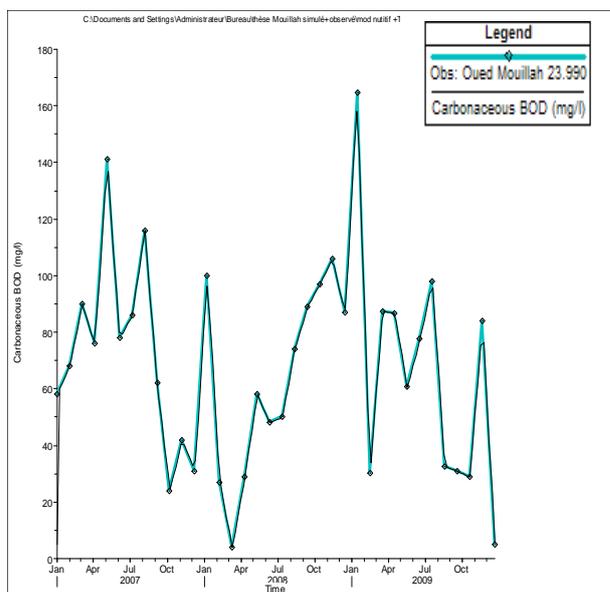


Figure IV- 27: évolution de la DBO dans le temps à la frontière

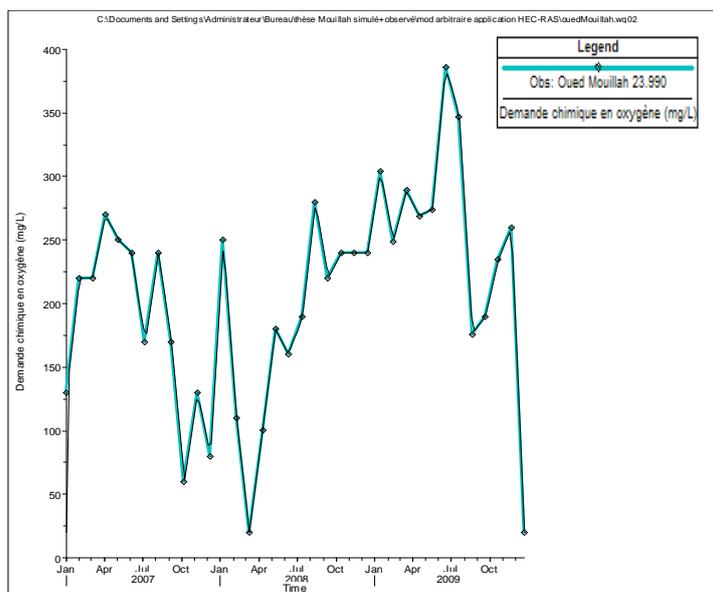


Figure IV- 28: évolution de la DCO dans le temps à la frontière

On remarque d’après les graphes ci-dessus que la concentration du cours d’eau en oxygène dissous, indicateur de la pollution organique, est inversement proportionnelle à celle de la DBO.

Pour les années 2007 et 2009, on constate une diminution de la concentration en oxygène dissous avec une augmentation de la DBO qui atteint un pic en May 2007 de 140 mg/l et en février 2009 de 160 mg/l, ce qui indique une forte pollution organique biodégradable. Contrairement à l’année 2008 où le cours d’eau est riche en oxygène dissous.

Quant-à la variation de la DCO, qui regroupe la pollution organique biodégradable et non biodégradable, son allure est pratiquement semblable à celle de la DBO, et elle est largement supérieure à la DBO avec des valeurs qui dépassent les 350 mg/l, ce qui signifie une pollution organique non biodégradable d’origine industrielle à ce tronçon pendant toute la période d’étude.

En résumé, la pollution organique à la frontière Algéro-marocaine dépasse les normes, elle est représentée par 32.5% de pollution organique biodégradable et 67.5 % de pollution organique non biodégradable. Cette pollution est due essentiellement aux rejets domestiques, agricoles et industrielles de la ville d’Oujda et d’autres agglomérations marocaines.

Les résultats simulés par le modèle et ceux observés sont identiques pour l’amont de la diguette, ce qui indique la précision du modèle à 97% dans la détermination de la pollution organique.

• **Le tronçon [3.640 à 3.310]: oxygène dissous, DBO, DCO**

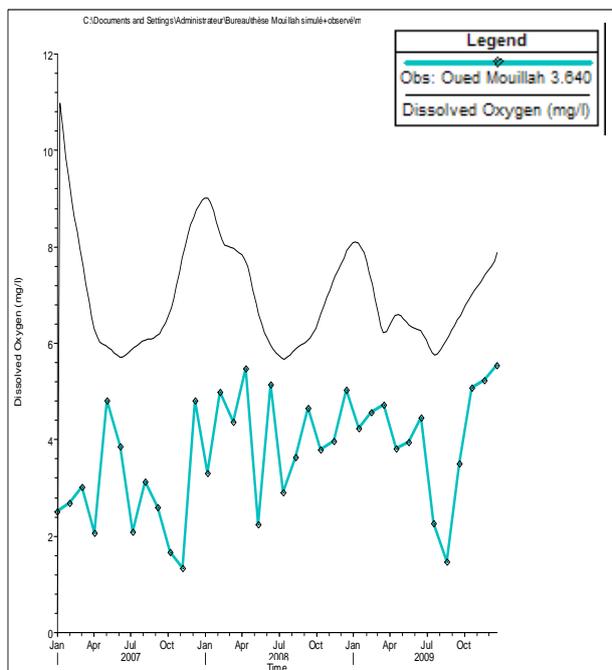


Figure IV- 29: évolution de l’oxygène dissous dans le temps à oued Ouerdeffou

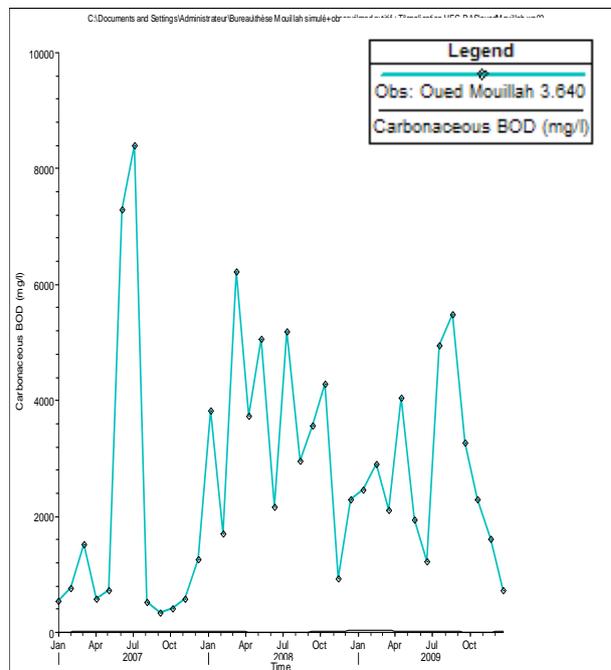


Figure IV- 30 : évolution de la DBO dans le temps à oued Ouerdeffou

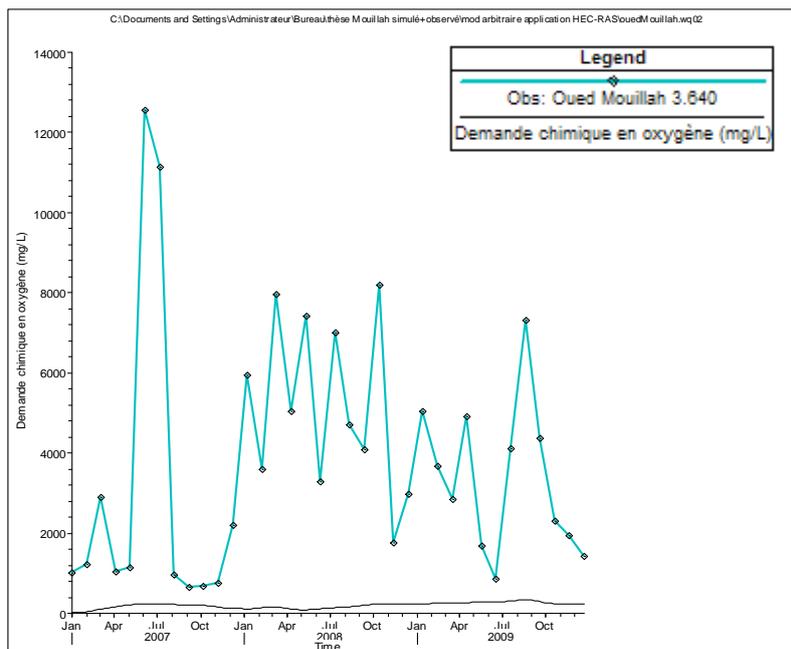


Figure IV- 31 : évolution de la DCO dans le temps à oued Ouerdeffou

A Oued Ouerdeffou, on remarque que les concentrations simulées de la DBO sont dans les normes et n’atteignent pas les 45 mg/l, or que les valeurs observées sont extrêmement élevées et dépassent les 6000 mg/l ce qui montre l’existence d’une pollution organique biodégradable importante. Il est clair que les résultats simulés ne présentent pas la réalité, car ils sont largement inférieurs à ceux observés. On peut dire, que le modèle minimise la pollution organique biodégradable à oued Ouerdeffou, l’erreur est estimée à 85.3 % pour la DBO.

Les concentrations simulées de la DCO dépassent les normes, avec des valeurs qui atteignent les 330 mg/l, ils sont aussi inférieures aux données observées, donc le modèle qualité HEC-RAS minimise toujours la pollution organique non biodégradable. L’erreur est estimée à 78.5% pour la DCO.

La pollution organique importante enregistrée à Oued Ouerdeffou est due aux rejets des quatre zones industrielles de la ville de Maghnia, elle est représentée par 9.2% de pollution organique biodégradable et 90.8% de pollution organique non biodégradable d’origine industrielle.

• **Le tronçon [2.751 à 2.399]: oxygène dissous, DBO, DCO**

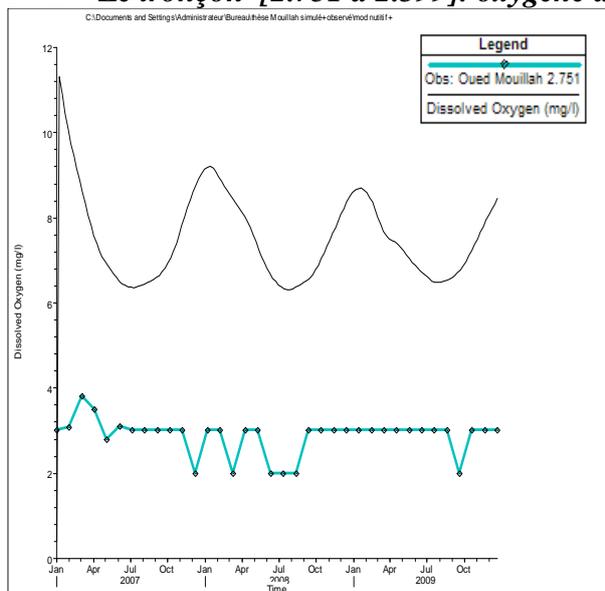


Figure IV- 32: évolution de l’oxygène dissous dans le temps à la sortie de la STEP

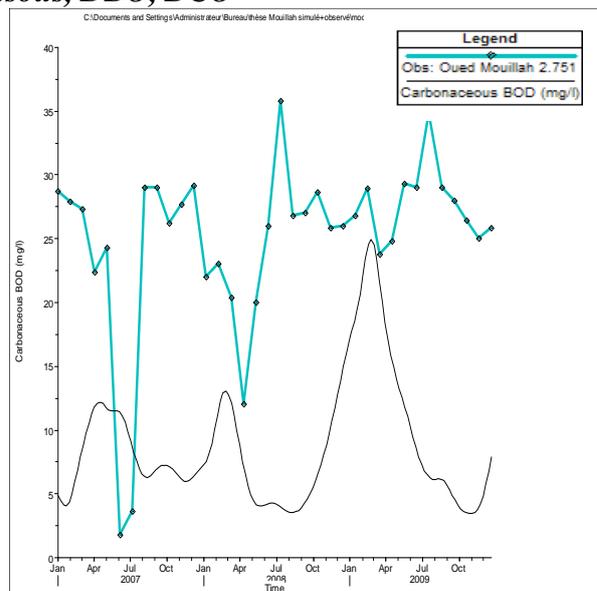


Figure IV- 33: évolution de la DBO dans le temps à la sortie de la STEP

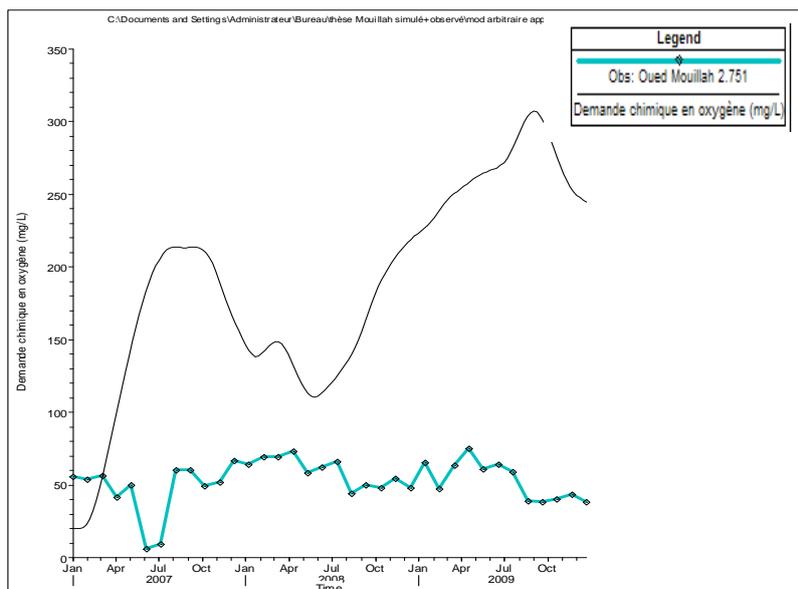


Figure IV- 34 : évolution de la DCO dans le temps à la sortie de la STEP

A la sortie de la station d’épuration, la concentration du cours d’eau en oxygène dissous est inversement proportionnelle à la concentration en DBO. La DBO simulée est dans les normes, elle atteint un pic de 12 mg/l pour 2007 et 2008, et un pic de 25 mg/l pour l’année 2009. La DCO est largement supérieure à la DBO, selon les valeurs simulées, elle dépasse les 300 mg/l, ce qui indique une pollution organique non biodégradable. Ceci explique que les rejets de la STEP ne sont pas uniquement domestiques et confirme l’existence des rejets industriels.

La pollution organique à la sortie de la station d’épuration est représentée par 5.8 % de pollution organique biodégradable et 94.2% de pollution organique non biodégradable.

Il est clair que la DBO simulée est inférieure à celle observée, ceci indique que le modèle minimise la pollution organique biodégradable, la précision du modèle est estimée à 68 % pour la DBO.

Contrairement à la demande biologique en oxygène, la DCO simulée est supérieure à celle observée, ce qui indique que le modèle qualifie majoritairement la pollution organique non biodégradable (d'origine industrielle), l'erreur est estimée à 57 % pour la DCO.

• **Le tronçon [0.535 à 0.000]: oxygène dissous, DBO, DCO**

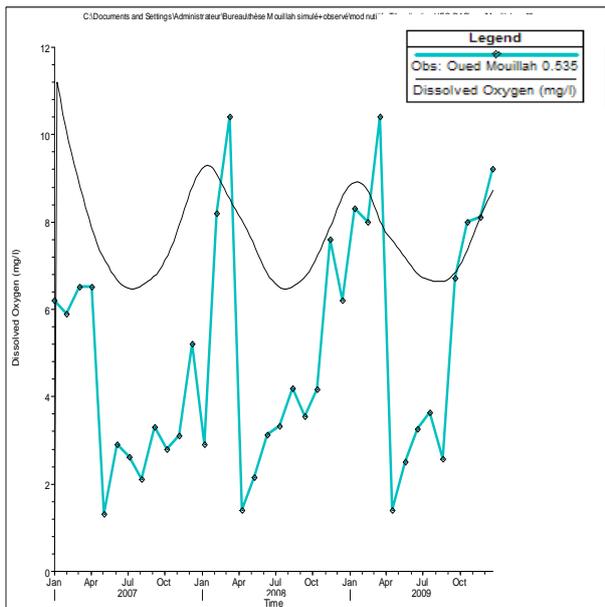


Figure IV- 35: évolution de l'oxygène dissous dans le temps à la cuvette du barrage

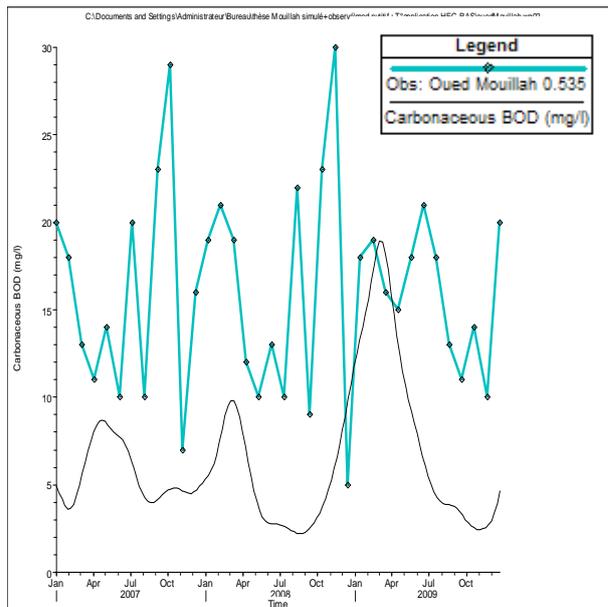


Figure IV- 36: évolution de la DBO dans le temps à la cuvette du barrage

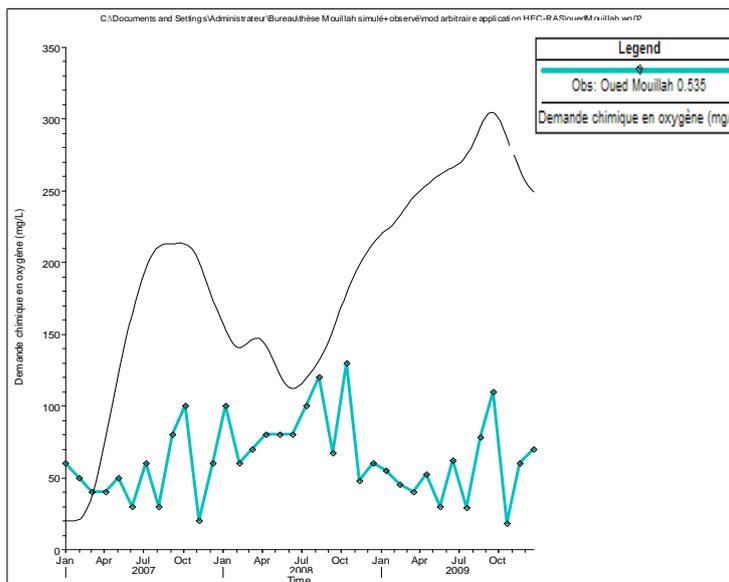


Figure IV- 37 : évolution de la DCO dans le temps à la cuvette du barrage

A la cuvette du barrage Boughrara, les valeurs simulées de la DBO sont dans les normes, elles atteignent un pic de 11 mg/l pour 2007 et 2008, et un pic de 19 mg/l pour l'année 2009. Les concentrations simulées de la DCO sont, par contre, le plus souvent supérieures aux normes, elles dépassent les 250 mg/l, ce qui signifie l'existence d'une pollution organique non biodégradable.

La pollution organique à la cuvette du barrage Boughrara est représentée par 4.6% de pollution organique biodégradable et 95.4% de pollution organique non biodégradable industrielle.

On remarque que la DBO simulée est inférieure à celle observée, donc le modèle minimise la pollution organique biodégradable, la précision du modèle est estimée à 72 % pour la DBO. Contrairement à la demande biologique en oxygène, la DCO simulée est supérieure à celle observée, ce qui signifie que le modèle qualifie majoritairement la pollution organique non biodégradable, la précision du modèle est estimée à 65 % pour la DCO.

➤ *Simulation dans l'espace*

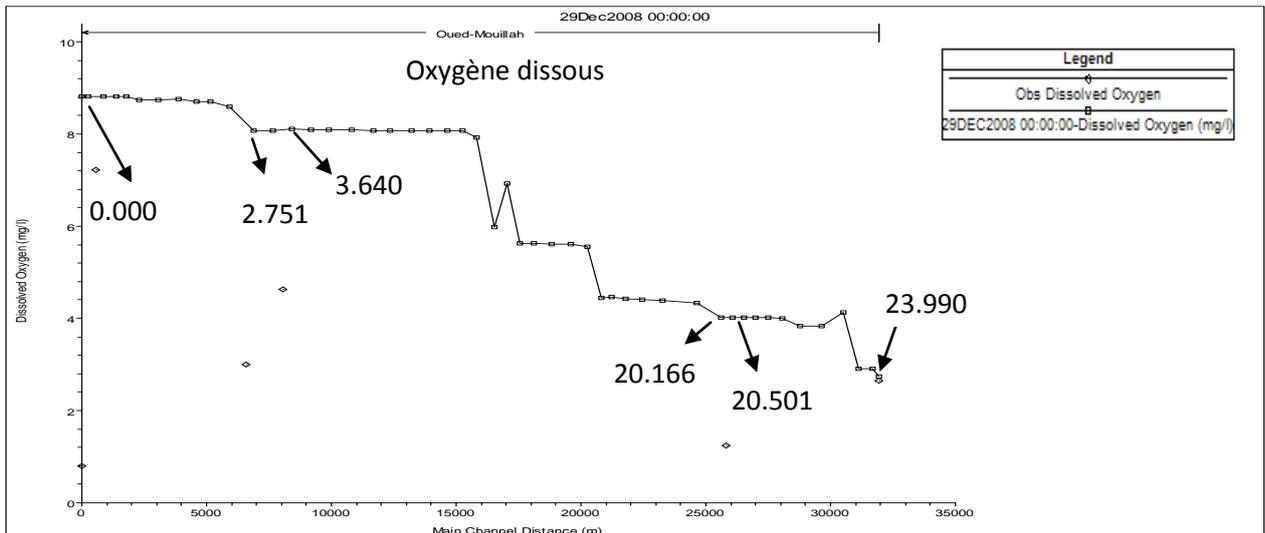


Figure IV- 38 : Graphes de propagation de l'oxygène dissous dans l'espace le 29/12/2008

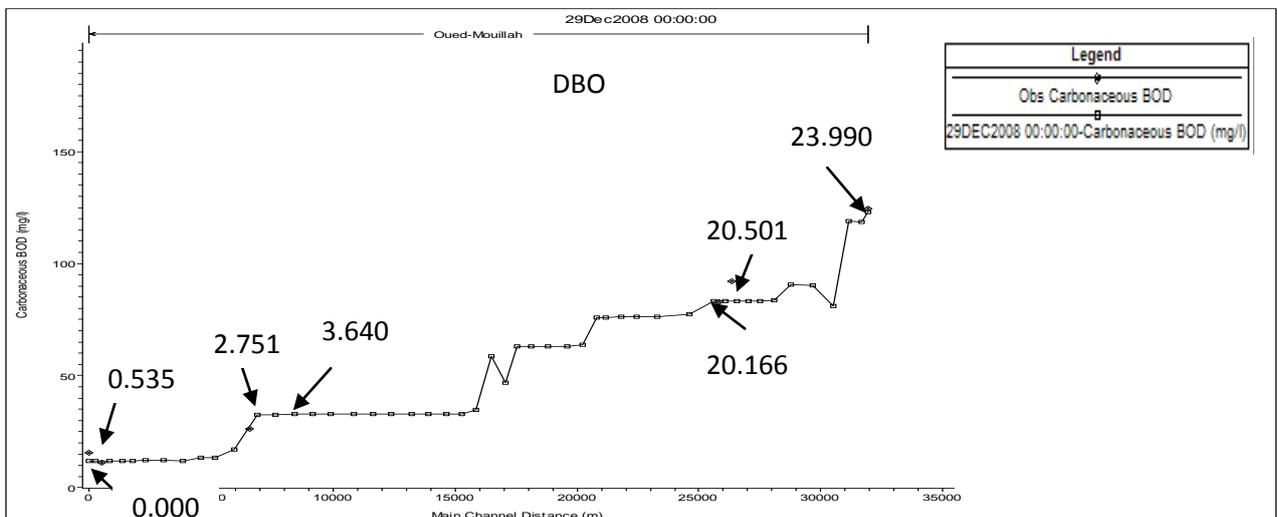


Figure IV- 39 : Graphes de propagation de la DBO dans l'espace le 29/12/2008

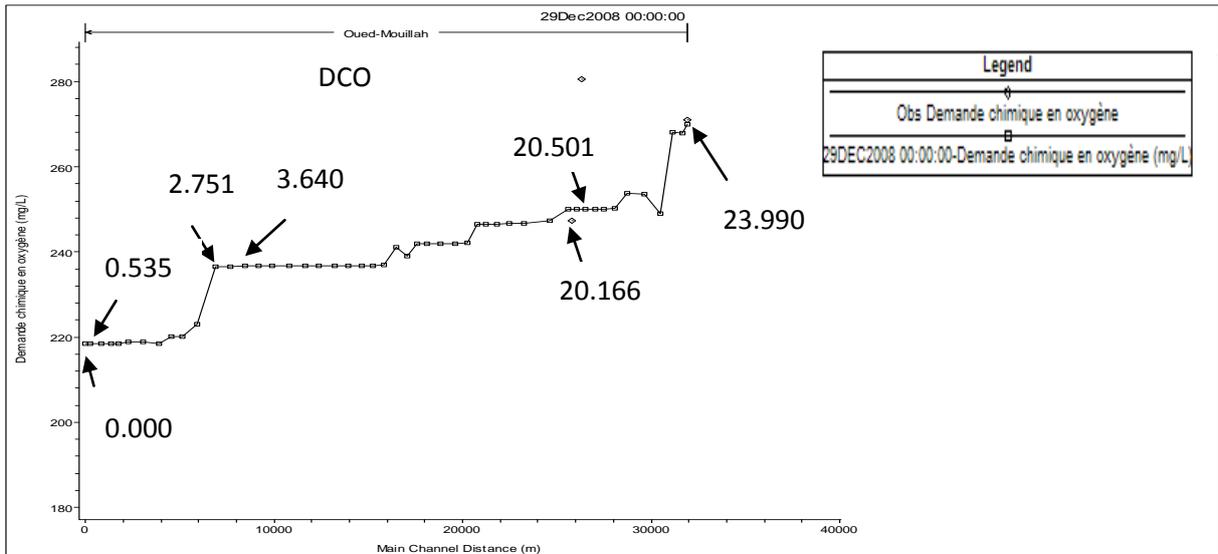


Figure IV- 40 : Graphes de propagation de la DCO dans l'espace le 29/12/2008

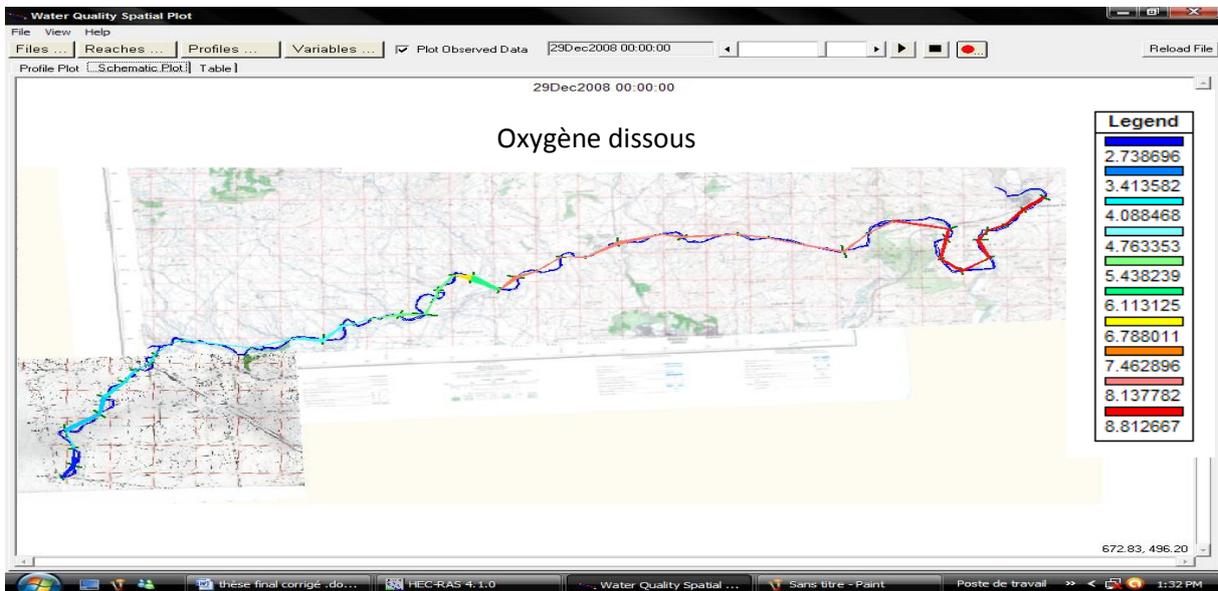


Figure IV- 41 : Schéma de système de rivière de propagation de l'oxygène dissous le 29/12/2008

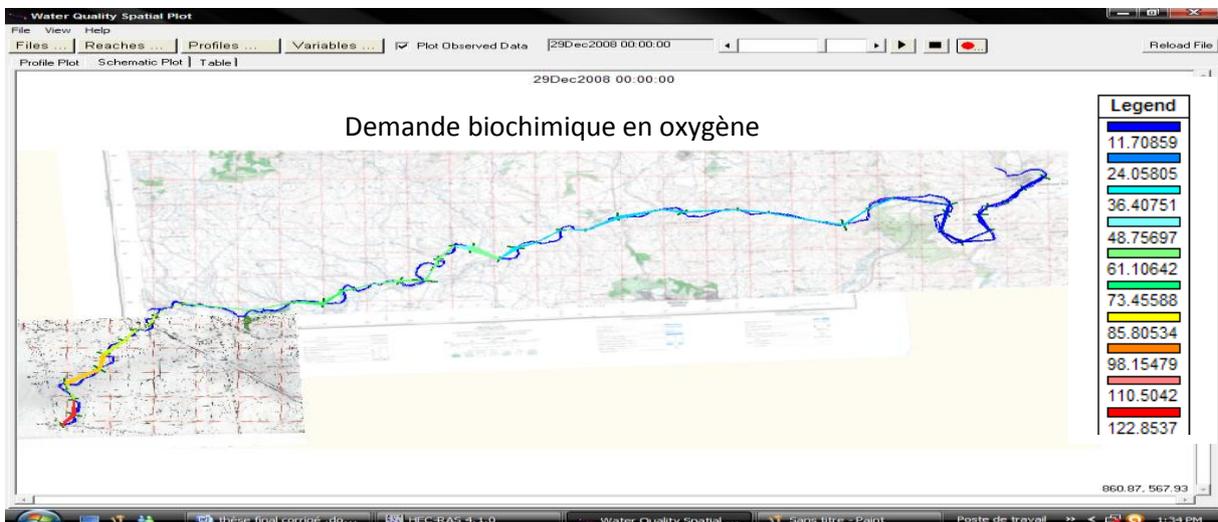


Figure IV- 42 : Schéma du système de rivière de propagation de la DBO le 29/12/2008

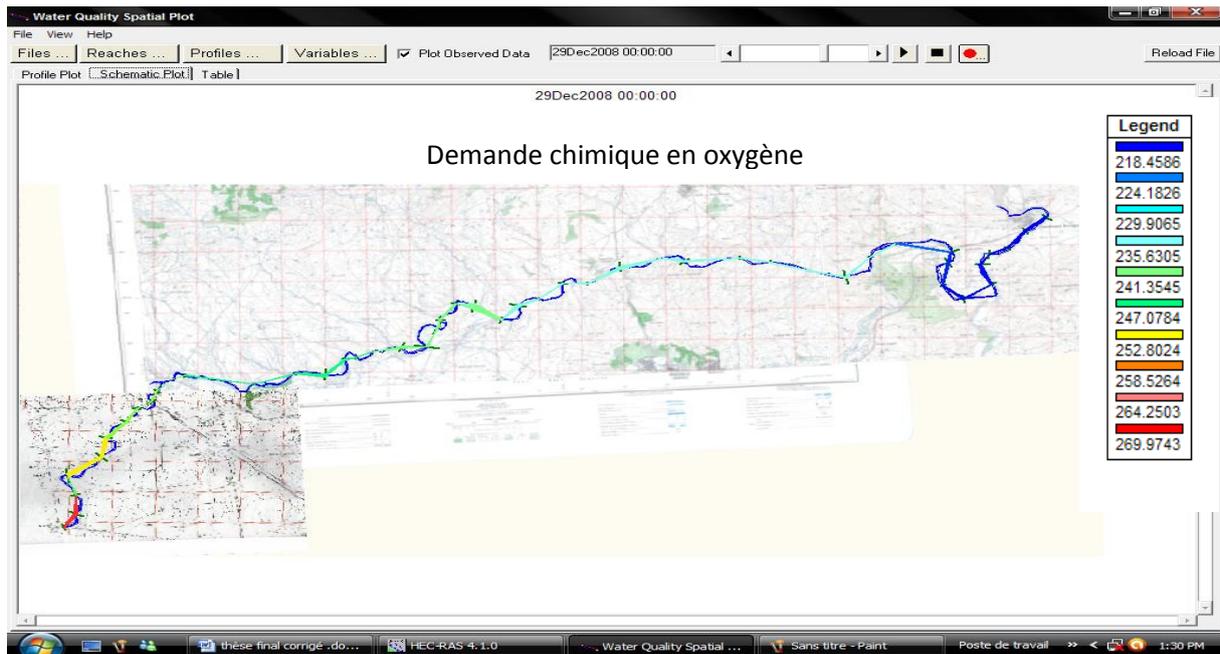


Figure IV- 43 : Schéma de système de rivière de propagation de la DCO le 29/12/2008

Interprétation des résultats de propagation de l'oxygène dissous, DBO, DCO dans l'espace

A la frontière, l'oxygène dissous prend sa valeur minimale de 2 mg/l, pour arriver au barrage Boughrara avec une concentration plus élevée qui atteint 9 mg/l.

Contrairement à l'oxygène dissous, la DBO simulée prend sa valeur maximale à la frontière avec une concentration de 120 mg/l due aux rejets domestiques marocains, pour arriver au barrage Boughrara avec une concentration plus faible de 11 mg/l. La réduction de la DBO le long du cours d'eau due à une auto-épuration est estimée à 90 %.

Quant-à la variation de la DCO, qui regroupe la pollution organique biodégradable et non biodégradable, elle est largement supérieure à la DBO, ce qui signifie l'existence d'une pollution organique non biodégradable d'origine industrielle. La DCO simulée prend sa valeur maximale de 270 mg/l à la frontière due aux rejets domestiques et industriels marocains, pour atteindre le barrage avec une concentration encore élevée de 218 mg/l. La faible réduction de la DCO due à une auto-épuration le long du cours d'eau Mouillah est estimée à 20%.

IV.3.4 Modélisation des nutriments

IV.3.4.1 Modélisation des paramètres azotés

Puisque l’ammonium est le paramètre le plus significatif de la pollution azotée, on va suivre dans ce qui suit sa simulation spatiotemporelle. La modélisation spatiotemporelle des autres éléments azotés est mentionnée en annexes 24 et 25.

➤ **Simulation dans le temps**

Pour pouvoir examiner la fiabilité du modèle, on a étudié et comparé les résultats simulés de l’ammonium aux analyses observés pour les tronçons: diguette amont, Oued Ouerdeffou, la STEP, cuvette du barrage. Pour les sections restantes, les résultats sont mentionnés en annexe 24.

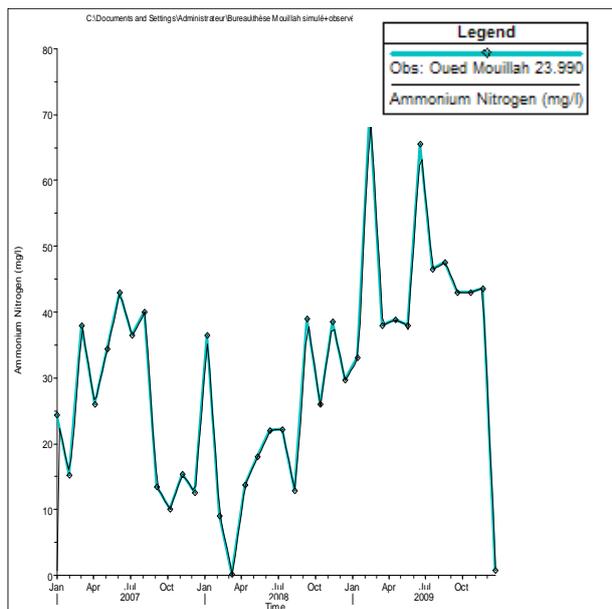


Figure IV- 44: évolution de l’ammonium NH4 dans le temps à la frontière

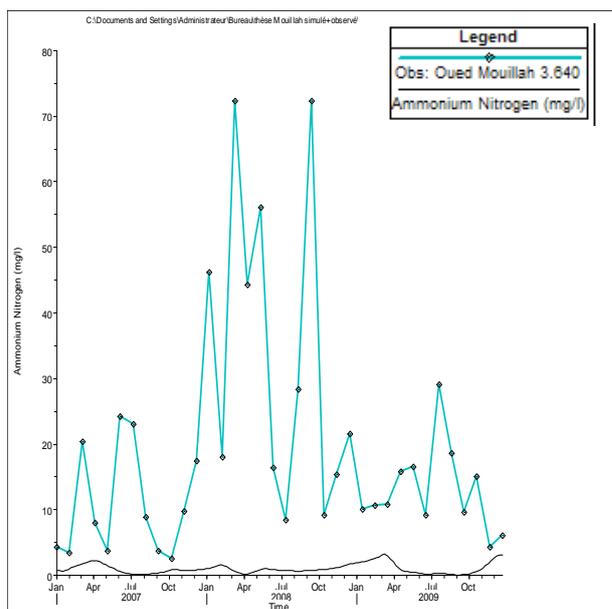


Figure IV- 45: évolution de l’ammonium NH4 dans le temps à oued Ouerdeffou

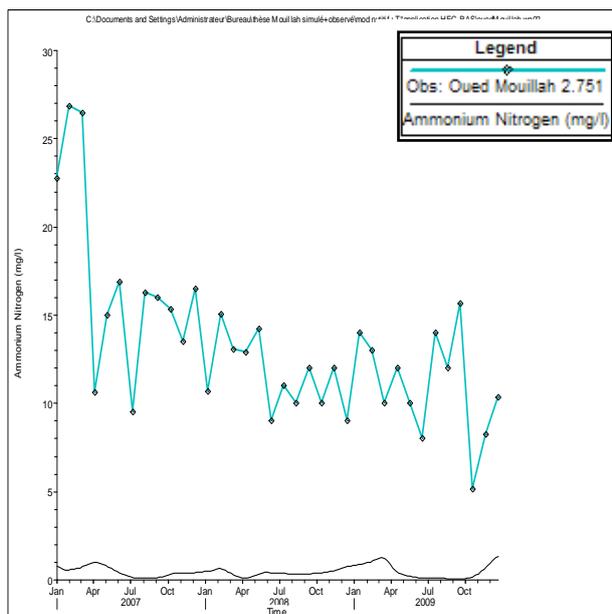


Figure IV- 46: évolution de l’ammonium NH4 dans le temps à la sortie de la STEP

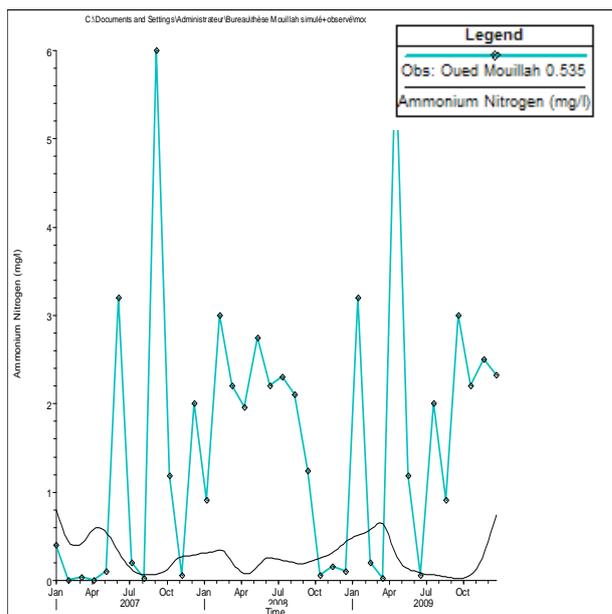


Figure IV- 47: évolution de l’ammonium NH4 dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara

Interprétation des résultats de l'évolution de l'Ammonium dans le temps

L'ammonium provient essentiellement des déjections animale et humaine, son origine est due à une pollution d'urée animale et végétale, il peut aussi apparaitre suite à des réactions chimique facilement ammonifiable.

- A la frontière, les teneurs en ammonium sont très élevées et dépassent les normes de son rejet dans le milieu fixée à 10 mg/l, ce qui indique l'existence des déchets urbains à cet emplacement.

Les résultats simulés de l'ammonium et ceux observés sont identiques pour l'amont de la diguette, la précision du modèle qualité est estimée à 98 %.

- A l'oued Ouerdeffou, les concentrations simulées de l'ammonium sont faibles et ne dépassent pas les 2 mg/l, or que les valeurs observées atteignent les 70 mg/l.

Les résultats simulés du NH₄ ne présentent pas la réalité, ils sont largement inférieurs aux données observées, donc le modèle HEC-RAS minimise la pollution en ammonium enregistrée à Oued Ouerdeffou. L'erreur est estimée à 82%.

- A la sortie de la station d'épuration, les valeurs simulées de l'ammonium sont faibles et ne dépassent pas 1.5 mg/l, or que les valeurs observées atteignent les 27 mg/l.

Les valeurs observées du NH₄ dépassent largement les concentrations simulées, la précision du modèle à la sortie de la STEP est estimée à 69 %.

- A la cuvette du barrage Boughrara, les teneurs en ammonium sont faibles et ne dépassent pas 1 mg/l, selon les valeurs simulées. Par contre, les valeurs observées atteignent un maximum de 6 mg/l.

Les résultats simulés du NH₄ ne présentent pas la réalité, elles sont largement inférieures à ceux observées, donc le modèle HEC-RAS minimise la pollution en ammonium à la cuvette du barrage. La précision du modèle est estimée à 54 %.

➤ *Simulation dans l'espace*

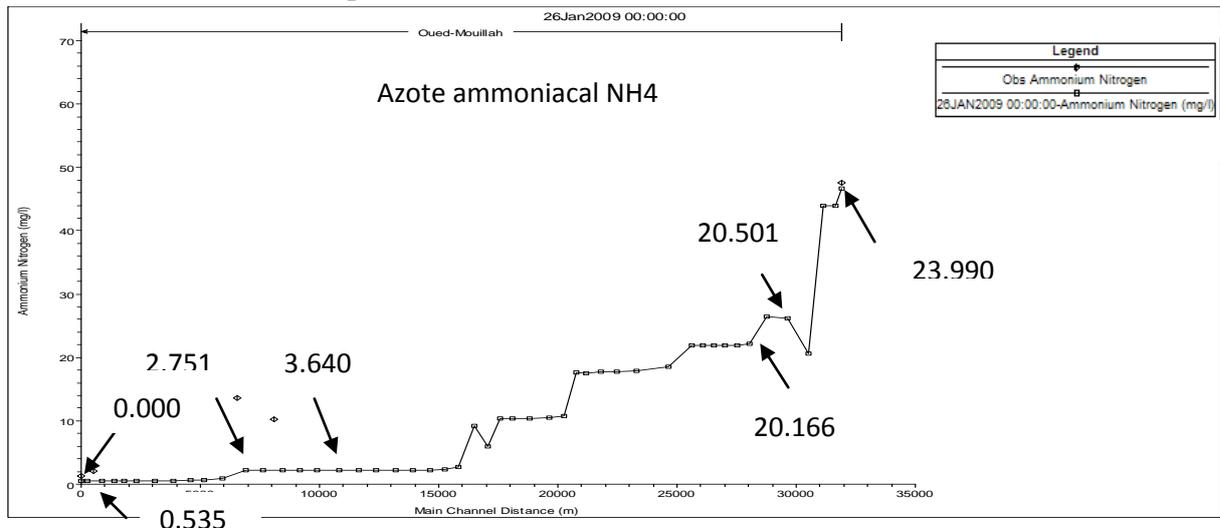


Figure IV- 48 : Graphes de propagation de l’ammonium NH_4 dans l’espace le 26/01/2009

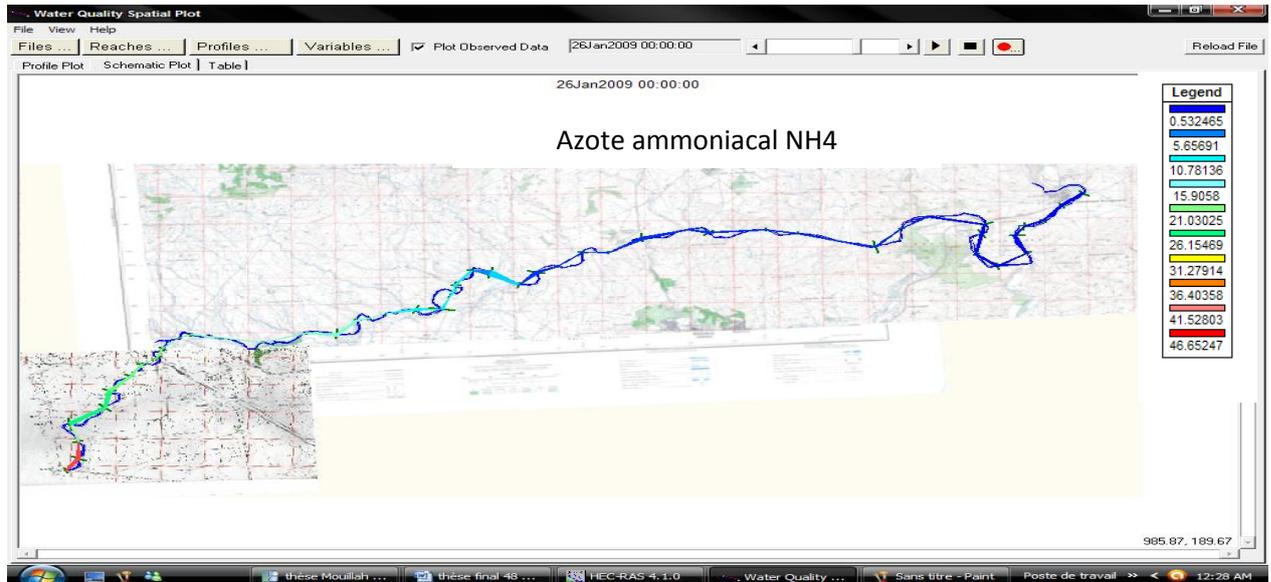


Figure IV- 49 : Schéma de système de rivière de propagation de l’ammonium NH_4 le 26/01/2009

Interprétation des résultats de propagation de l’ammonium dans l’espace

La concentration simulée en ammonium prend sa valeur maximale à la frontière de 46 mg/l, car l’oued Mouillah charrie les eaux usées du territoire marocain composées principalement d’urée, pour arriver au barrage Boughrara avec des teneurs plus faibles de l’ordre de 0.5 mg/l.

On remarque une nette réduction de l’ammonium depuis la frontière jusqu’au barrage Boughrara estimée à 96%. Ce qui indique une autoépuration sur le cours d’eau Mouillah.

IV.3.4.2 Modélisation des phosphates

Les graphes présentés ci-dessous illustrent la simulation du phosphore organique dissous (OrgP) et les Orthophosphates dissous (PO4). La modélisation spatiotemporelle du phosphore total (P tot) est mentionnée en annexes 26.

➤ **Simulation dans le temps**

Pour déterminer la fiabilité du logiciel, on va comparer les résultats simulés des paramètres phosphatés aux analyses observés pour les tronçons: diguette amont, Oued Ouerdeffou, la STEP, cuvette du barrage. Pour les sections restantes, les résultats de simulation sont mentionnés en annexes 26.

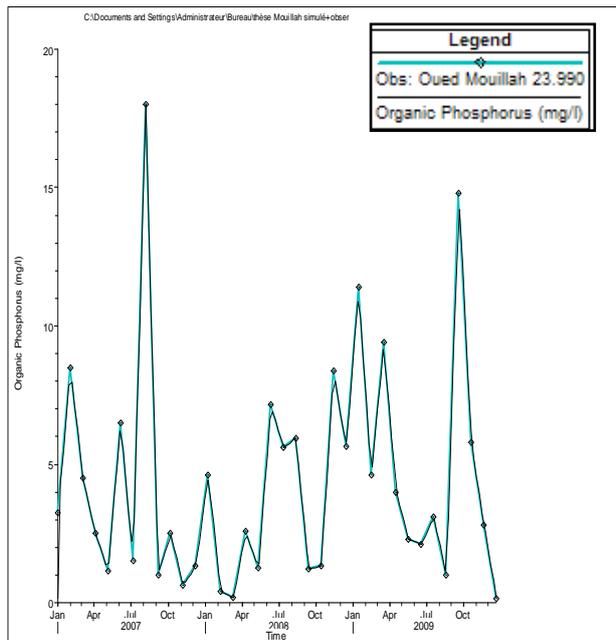


Figure IV- 50 : évolution du phosphore organique dans le temps à la frontière

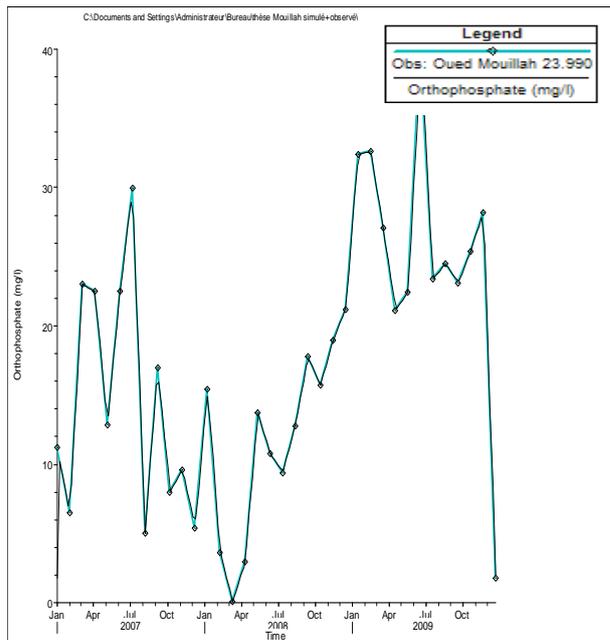


Figure IV- 51 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à la frontière

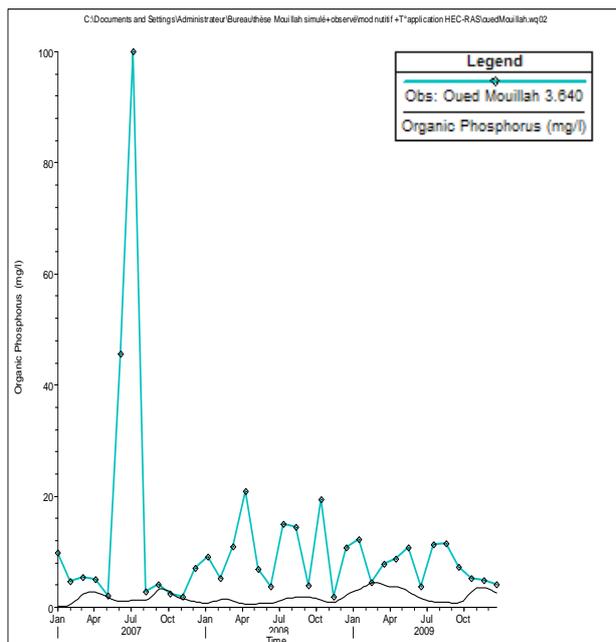


Figure IV- 52 : évolution du phosphore organique dans le temps à oued Ouerdeffou

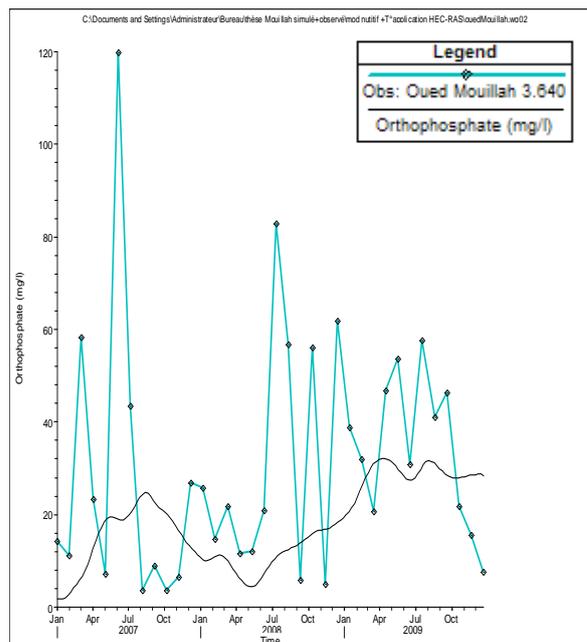


Figure IV- 53 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à oued Ouerdeffou

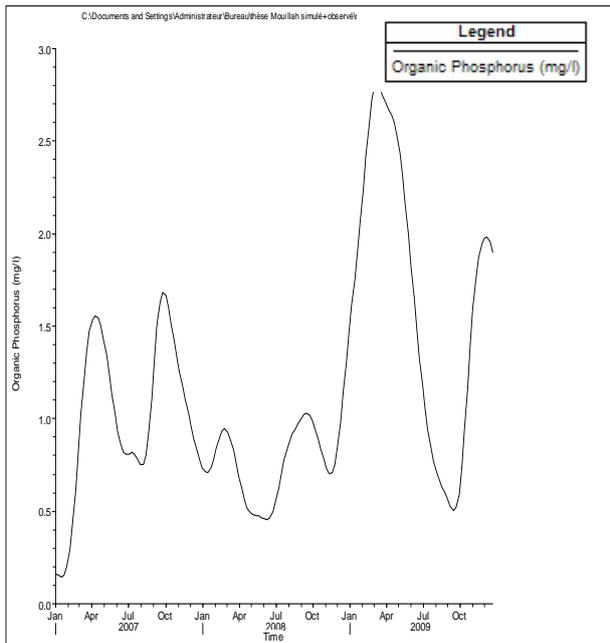


Figure IV- 54 : évolution du phosphore organique dans le temps à la sortie de la STEP

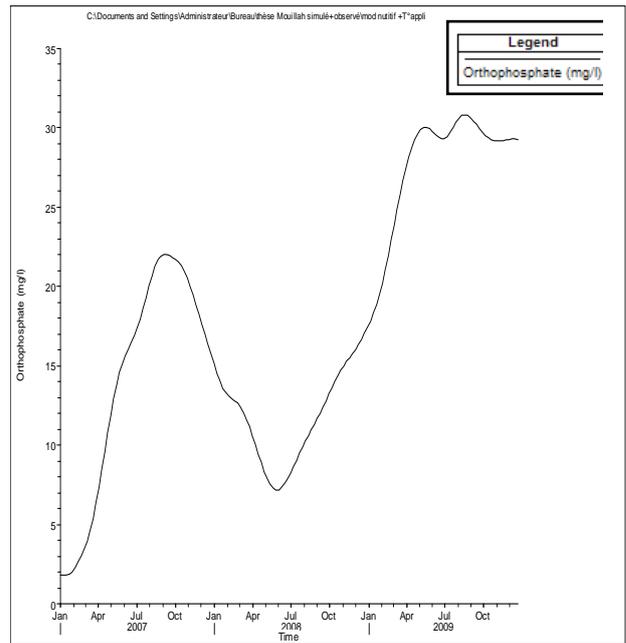


Figure IV- 55 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à la sortie de la STEP

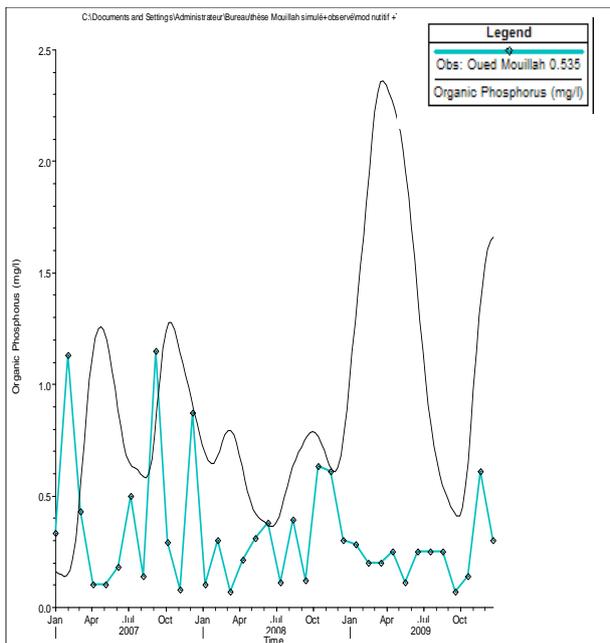


Figure IV- 56 : évolution du phosphore organique dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara

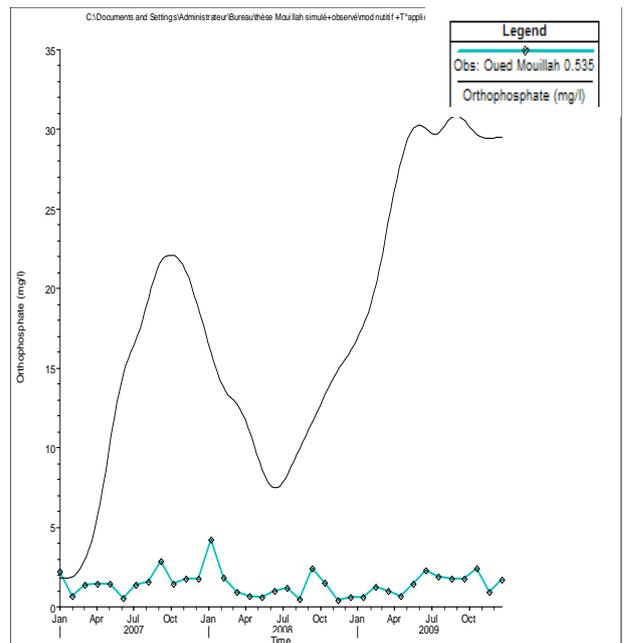


Figure IV- 57 : évolution de l'orthophosphate dans le temps à la cuvette du barrage Boughrara

Interprétation des résultats de l'évolution du phosphore organique et l'orthophosphate dans le temps

Le phosphore dans les cours d'eau se trouve sous deux formes :

1. Phosphore organique (Porg) qui est due à l'utilisation des engrais et fertilisant véhiculés par lessivage des terres agricoles dans les eaux de ruissellement et dont l'exutoire est l'oued Mouillah.
2. Orthophosphate (PO₄) qui est due aux rejets des détergents industriels dans le milieu.

- A l'amont de la diguette, Les teneurs du phosphore sous ces différentes formes montrent l'existence d'une pollution excessive. En fait, ces teneurs dépassent considérablement la norme fixée à 5 mg/l pour les rejets. Le phosphore organique atteint un maximum de 18 mg/l et l'orthophosphate atteint une concentration maximale de 39 g/l.

Ainsi, le phosphore total est représenté par 21% de phosphore organique et 78% d'orthophosphate. En général, on peut dire que l'orthophosphate due aux rejets industriels du Maroc est le plus dominant.

Les résultats simulés par le modèle et ceux observés sont identiques pour l'amont de la diguette, ce qui indique que le modèle qualité présente la pollution phosphatés à la frontière avec une précision de 96%.

- A l'oued Ouerdeffou, et selon les valeurs simulées, les teneurs en phosphore organique sont dans les normes, par contre les teneurs en orthophosphate dépassent considérablement la norme fixée à 5 mg/l, ce qui montrent l'existence d'une pollution industrielle excessive.

Le phosphore total à l'oued Ouerdeffou est représenté par 9% de phosphore organique et 89% d'orthophosphate. Il est clair, que l'orthophosphate est le plus dominant, puisque l'oued Ouerdeffou charrie les eaux usées de certaines activités industrielles de Maghnia.

Les valeurs observées du (Org P, PO₄) sont supérieures aux résultats simulés, donc le modèle HEC-RAS minimise la pollution phosphatée importante enregistrée à Oued Ouerdeffou. L'erreur est estimée à 84 % pour le phosphore organique, et 42 % pour l'orthophosphate.

- A la sortie de la station d'épuration, les teneurs simulées en phosphore organique sont dans les normes, avec un maximum de 2.7 en avril 2009. Par contre, les concentrations d'orthophosphate atteignent un maximum de 30 mg/l en avril 2009, ce qui montre l'existence d'une pollution industrielle excessive.

Le phosphore total à la sortie de la station d'épuration est représenté par 10% de phosphore organique et 90% d'orthophosphate. On peut remarquer que le phosphore d'origine industriel est toujours le plus dominant.

On ne peut pas étudier la fiabilité du logiciel à cette section, vue le manque d'analyses observées à la sortie de la STEP.

- A la cuvette du barrage Boughrara et d'après les valeurs simulées, les teneurs en phosphore organique sont dans les normes, avec un maximum de 2.5 en mars 2009, par contre les teneurs en orthophosphate atteignent un maximum de 31 mg/l en juin 2009, ce qui indique l'existence d'une pollution industrielle excessive.

Le phosphore total à la cuvette de barrage est représenté par 5.7 % de phosphore organique et 94 % d'orthophosphate. On remarque toujours que le phosphore d'origine industriel est le plus dominant.

Les valeurs observées du (Org P, PO4) sont inférieures aux résultats simulés, donc les paramètres phosphatés arrivent en réalité à la cuvette du barrage avec des concentrations faible, ce qui indique une autoépuration importante sur le cours d'eau Mouillah. Le modèle qualité majore la pollution phosphatée à ce tronçon. La précision du modèle est estimée à 86 % pour le phosphore organique, et 34 % pour l'orthophosphate.

➤ *Simulation dans l'espace*

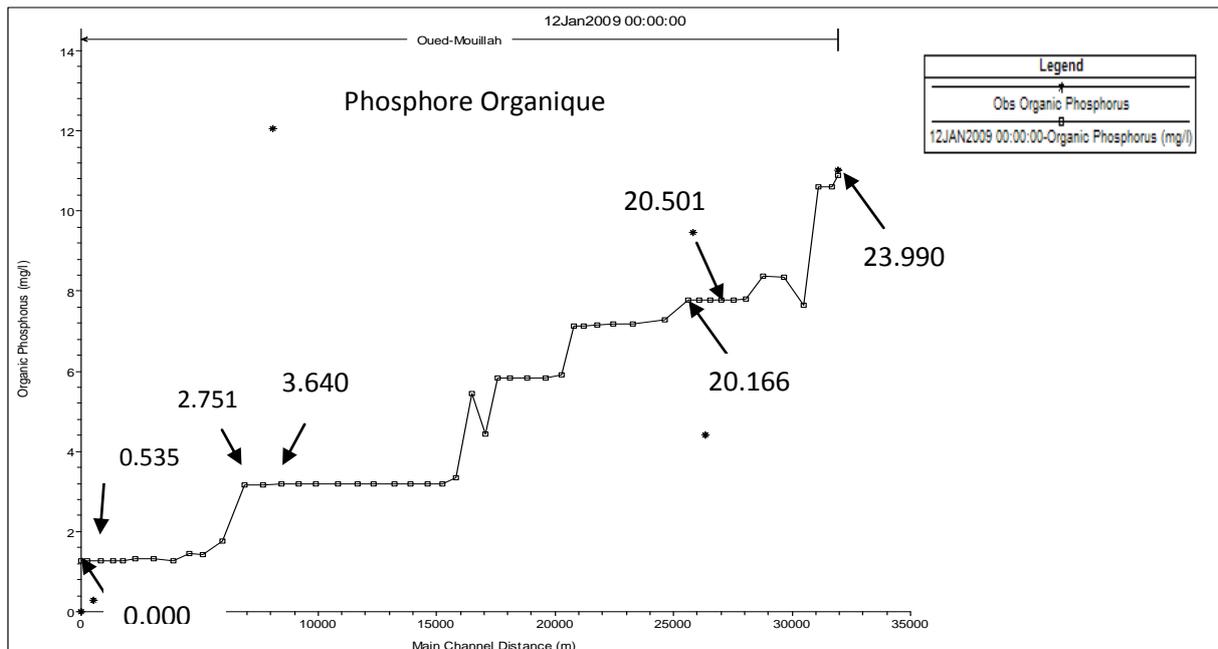


Figure IV- 58 : Graphes de propagation du phosphore organique dans l'espace le 12/01/2009

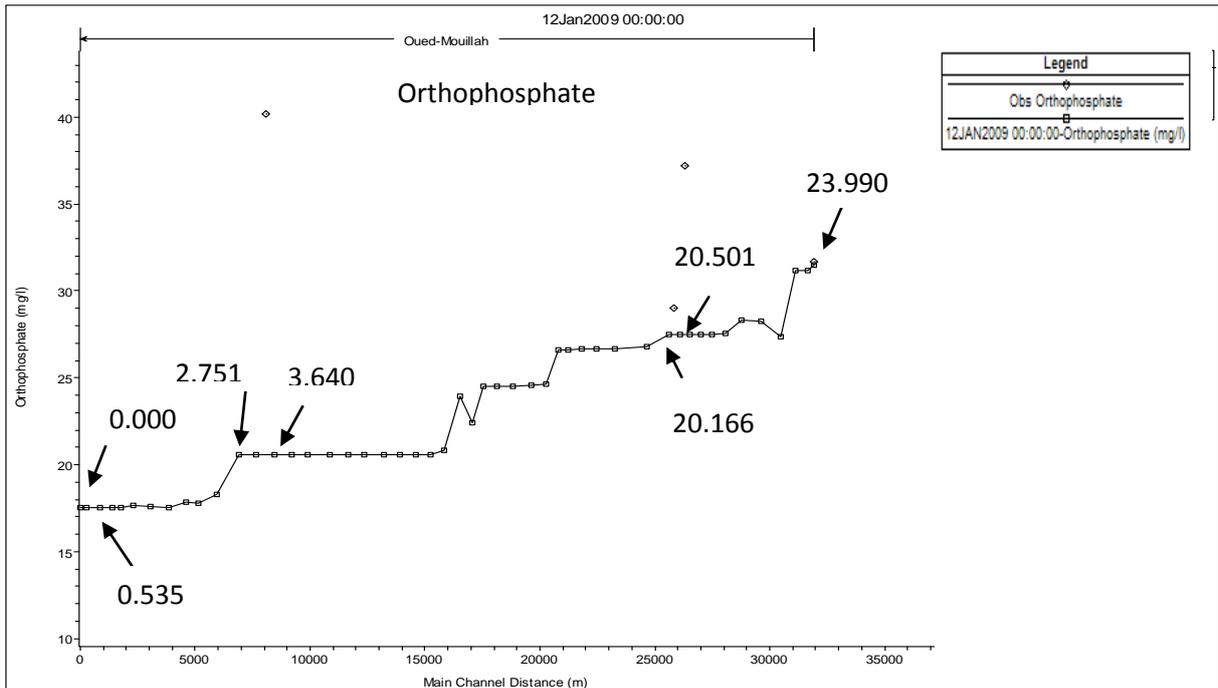


Figure IV- 59 : Graphes de propagation du PO4 dans l'espace le 12/01/2009

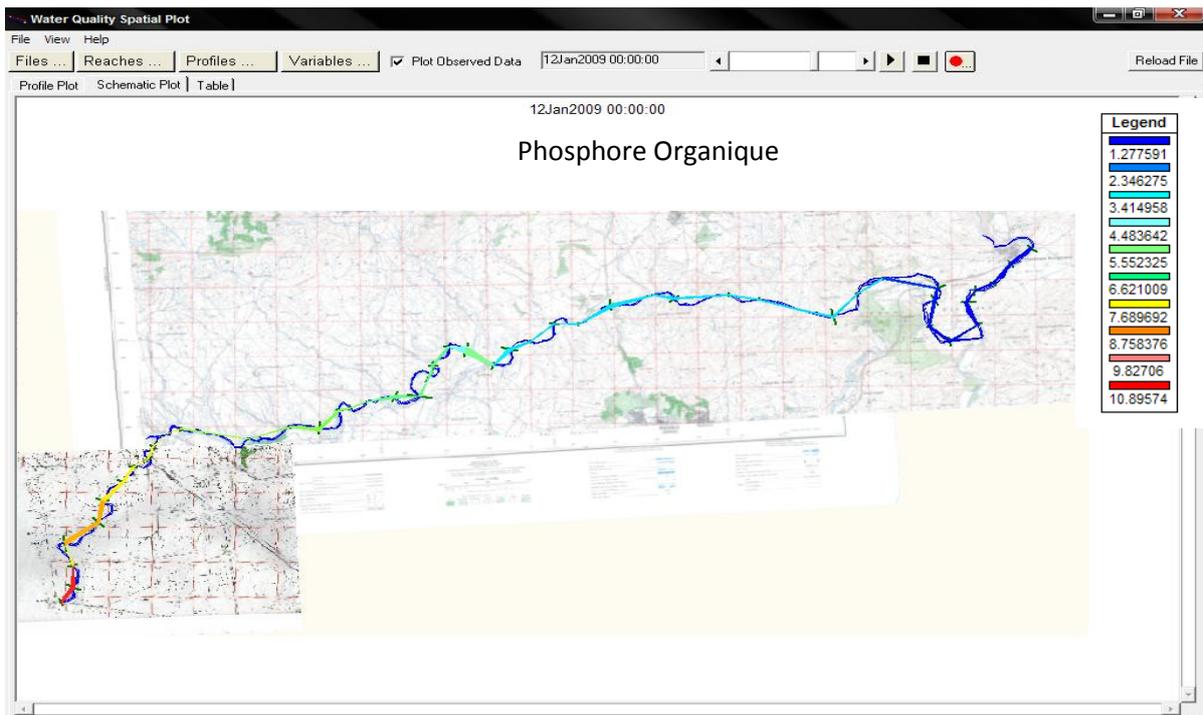


Figure IV- 60 : Schéma de système de rivière de propagation du phosphore organique le 12/01/2009

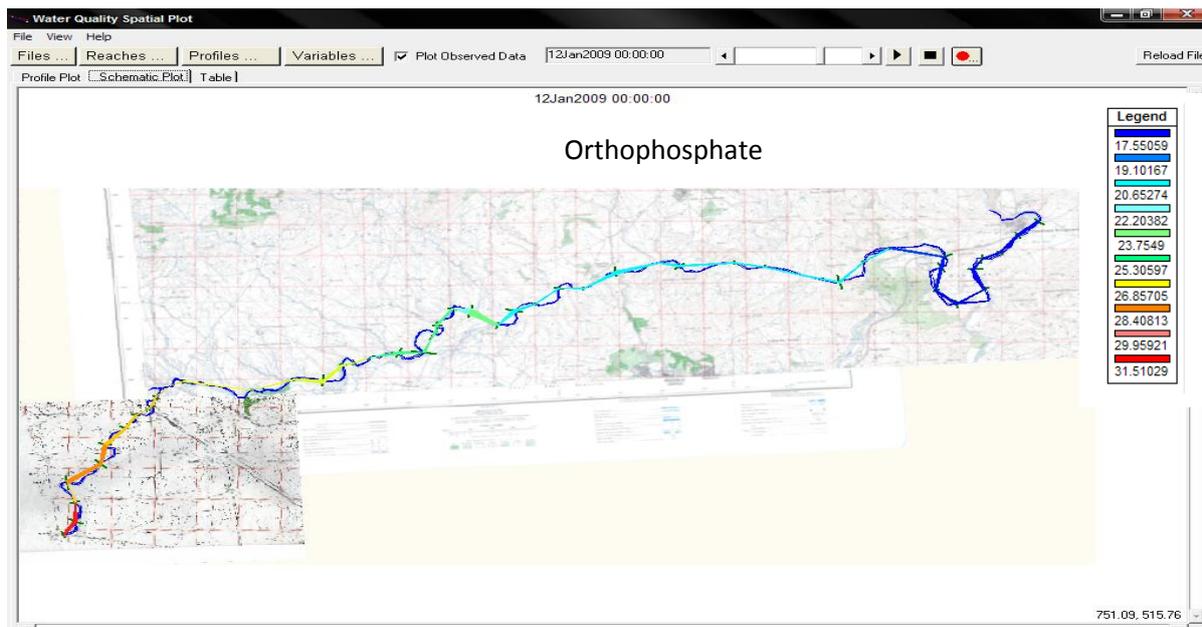


Figure IV- 61: Schéma de système de rivière de propagation du PO4 le 12/01/2009

Interprétation des résultats de propagation du phosphore organique et l'orthophosphate dans l'espace

Les concentrations simulées du phosphore organique sont supérieures aux normes surtout à la frontière où elles atteignent un maximum de 11 mg/l, ce qui est due au lessivage des terrains agricoles frontaliers, puis ce paramètre se dégrade le long du cours d'eau pour arriver au barrage Boughrara avec une concentration minimale de 1 mg/l.

Les teneurs simulées en orthophosphate dépassent considérablement les normes, elles présentent un maximum de 31 mg/l à la frontière due aux rejets industriels frontaliers, pour arriver à la cuvette du barrage Boughrara avec des concentrations réduites de 17 mg/l. On peut remarquer l'existence d'une pollution industrielle excessive sur tout l'oued Mouillah.

On constate une nette réduction des paramètres phosphatés sur le cours d'eau Mouillah due à une autoépuration estimée à 88 % pour le phosphore organique, et à 45% pour l'orthophosphate.

CONCLUSION GENERALE

La modélisation de la qualité des eaux d'oued Mouillah en appliquant le logiciel HEC-RAS, nous a permis de suivre l'évolution des concentrations des principaux polluants dans le temps, et leur propagation dans l'espace.

Les principaux descripteurs de la qualité des eaux retenus dans cette étude sont : la DBO, la DCO, l'oxygène dissous, les produits phosphatés, les paramètres azotés, les ions majeurs et les métaux lourds.

Les résultats de simulation montrent que tous les éléments analysés à l'amont du Barrage Hammam Boughrara, dépassent les normes de rejets de très loin, présentant clairement l'existence d'une pollution nuisible, essentiellement composée d'éléments organiques et de paramètres azotés et phosphorés auxquels s'ajoutent les matières en suspension. L'importance de cette pollution est surtout enregistrée à Mouillah Amont à la frontière algéro-marocaine d'une part, et d'autre part, à Oued Ouerdeffou à quelques centaines de mètre à l'aval des unités industrielles de la ville de Maghnia, identifiant ainsi, la source de cette pollution, à savoir, les rejets urbains et industriels de la ville 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 les oueds El Abbes et Ouerdeffou) risquent de polluer encore plus le barrage Hammam Boughrara, en raison de leurs importances, d'une part, et de leur proximité du barrage, d'autre part.

Les résultats d'analyses effectuées au niveau du barrage, montrent que la pollution enregistrée à l'amont est largement réduite, sûrement suite à une auto-épuration naturelle biologique le long du cours d'eau, d'une part, et à l'intérieure de la cuvette du barrage Hammam Boughrara, d'autre part.

La fiabilité du modèle HEC-RAS dans la simulation de la qualité des eaux du cours d'eau de Mouillah est estimée, par confrontation aux résultats d'analyses, à 58 % pour la matière en suspension, à 71 % pour la minéralisation, à 63% pour la DBO, à 57% pour la DCO, à 60% pour l'ammonium, à 66% pour le phosphore organique et à 63% pour l'orthophosphate. Ceci est probablement due aux constantes de réactions pris par défaut par le logiciel vue l'indisponibilité des valeurs dans le bassin de Mouillah, tels que : coefficient de respiration et croissance d'algues (ρ , μ), coefficient de fraction azotée et phosphorée de la biomasse d'algues (α_1 , α_2), coefficient d'oxydation de l'azote (β_1 , β_2) et du phosphore (β_4), coefficient du dépôts des éléments nutritifs au lit (σ_1 , σ_4 , σ_5), coefficient de consommation d'oxygène dissous par oxydation (α_5 , α_6) et par respiration d'algues (α_4) et enfin le coefficient de production d'oxygène par photosynthèse (α_3) .

Cependant, en ce qui concerne les métaux lourds surement très présents dans les rejets des unités industrielles, la simulation n'a pas pu être effectuée pour défaillance des analyses le long du cours d'eau.

D'après les résultats de simulation obtenus, il s'avère que le barrage Hammam Boughrara joue le rôle d'un ouvrage de transition entre deux milieux, un milieu largement pollué à l'amont et un autre relativement faiblement pollué, à l'aval.

Pour réduire cette pollution, la solution réside dans le cadre d'une gestion intégrée des eaux dans le bassin de Mouillah et en coordination avec le Maroc. Plus de 60 % de la population des agglomérées de Maghnia n'est pas raccordée à la station d'épuration, ce qui fait que des grands débits d'eaux usées domestiques sont rejetés chaque année directement dans le milieu naturel sans la moindre épuration et qui s'ajoutent aux rejets des quatre unités industrielles.

Cependant, pour une meilleure préservation de la qualité de nos ressources en eau, nous devant privilégier une mis en place d'une politique de l'eau « pollueur-payeur ». Les réglementations en cours régies par le décret exécutif n°06-141 du 23 avril 2006 relatif aux valeurs limites des rejets industrielles en milieu naturel et le décret exécutif n°09-209 du 21 juin 2009 relatif aux modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées industrielles dans un réseau public ou dans une station d'épuration, doivent être respectés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **HAMLAT A, 2005** « Contribution à la gestion des ressources hydriques des bassins versants (bassin de la Tafna) Par l'application du modèle SWAT »; Mémoire de Magister en Hydraulique, université MOHAMED BOUDIAF, USTO.

[2] **Agence De Bassin Hydrographique Oranie-Chott chergui**, Cadastre hydraulique « bassin de la Tafna, document de synthèse 2006 ».

[3] **Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tlemcen**, « étude de faisabilité d'un système de traitement par lagunage des eaux de l'oued Mouillah », *hydrologie et hydraulique de l'oued Mouillah*.

[4] **BOUANANI A**, « hydrologie, transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie) », thèse de doctorat d'état en géologie appliquée. Université ABOU BEKR BELKAID TLEMEN.

[5] **GHENIM A, SEDDINI A, TERFOUS A, 2007** « production et exportation des sédiments en suspension lors des événements de crue. Cas du bassin versant de l'oued Mouillah », institut national des sciences appliquées de Strasbourg.

[6] **Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tlemcen**, « étude de faisabilité d'un système de traitement par lagunage des eaux de l'oued Mouillah », *enquête de pollution*.

[7] **Direction de l'hydraulique de la wilaya de Tlemcen**, « étude de pollution du barrage Hammam Boughrara », *état des lieux et collecte des données, mémoire explicatif*.

[8] **GHERNATI A, TOUIL I 2008**, « contribution à l'étude de l'ampleur de phénomène d'eutrophisation du barrage BOUGHRARA », Mémoire d'ingénieur en Hydraulique, université MOHAMED BOUDIAF, USTO.

[9] **GHALI F, BOURAHLA S 2009**, « simulation du transport et de diffusion de la pollution dans le cours d'eau Mouillah », Mémoire d'ingénieur en Hydraulique, université MOHAMED BOUDIAF, USTO.

[10] **Selka. G*, Debbal .Z 2007 Bordeaux**, « Evaluation des effets environnementaux du oued Mouillah sur la Pérennité du Barrage Hammam Boughrara ».

[11] **Agence Nationale Des Ressources Hydriques**, bulletin d'analyse à la sortie STEP Maghnia.

[12] **GEOFFRY J 2007**, « Modélisation des paramètres morphogènes du cours inférieur de la Bruche (Bas-Rhin) et analyse de la sensibilité du modèle HEC-RAS à la qualité des données topographiques ». Mémoire d'ingénieur de L'école Nationale Du Génie De L'eau Et De L'environnement de Strasbourg et Université Louis Pasteur.

[13] **Sylvain BOURLANGE 2000**, « MODELISATION HYDRAULIQUE ET ECOLOGIQUE D'UNE RIVIERE AMONT : LE GRAND MORIN », Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud, Ecole des Mines de Paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts.

- [14] *Syndicat intercommunal pour le contrat de rivière de la Clarence et de ces affluents 2001*, étude d'aménagement intégré, phase 3 : modélisation hydraulique.
- [15] *Université du Québec-École de technologie supérieure*, Département de Génie de la construction, « HEC-RAS River Analysis System », Guide de laboratoire Version 3.1.1, Mars 2005.
- [16] *Us Army Corps Of Engineers, hydrologic engineering center*, « HEC-RAS River Analysis System », hydraulic reference manual version 4.1, January 2010.chapter 2.
- [17] *Alice Pereira 2004*, « Contribution à l'étude de la qualité des eaux des retenues amazoniennes : Application de la modélisation mathématique à la retenue de Tucurui (Brésil) ». Thèse de doctorat en Sciences et Techniques de l'Environnement. ECOLE NATIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES.
- [18] *BENYAHIA Mohammed*, « Caractérisation des rejets organiques urbains et étude de la capacité d'assimilation du milieu récepteur ». Mémoire de magistère en hydraulique université MOHAMED BOUDIAF, USTO.
- [19] *GOUAIDIA Layachi 2008*, « Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de MESKIANA nord-est ALGERIEN », thèse de doctorat en hydrogéologie .UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA.
- [20] *UNIVERSITÉ DE METZ*, COURS SCIENCES DE LA VIE - NIVEAU 2 « Application du tableur Excel en métrologie et microbiologie Environnementale ».
- [21] *Us Army Corps Of Engineers, hydrologic engineering center*, « HEC-RAS River Analysis System », User's Manual version 4.1, January 2010.chapter 19.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats d'analyse des rejets de l'ENOF

Date de prélèvement	Débit (m3/s)	T(eau) °C	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	O2diss (mg/l)	CO3H (mg/l)	Cl (mg/L)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)
Janvier-07	0.7072	13	56.00	210.00	0.00	120.00	2170.00	30.00	2070.00	275.00	501.00	0.060	9.00
Février-07	0.493	15.00	65.00	340.00	2.24	95.00	1850.00	35.00	1985.00	289.00	340.00	0.080	11.00
Mars-07	0.493	17.90	82.00	325.00	3.01	956.00	1933.00	39.00	1856.00	297.00	365.00	0.095	13.00
Avril-07	1.639	21.00	100.00	330.00	7.36	43.00	1922.00	27.00	1668.00	264.00	356.00	0.150	5.00
Mai-07	0.311	22.50	164.00	390.00	7.39	100.00	1926.00	35.00	1645.00	100.00	551.00	0.600	12.00
Juin-07	0.257	24.00	88.00	310.00	7.65	65.00	1952.00	39.00	1656.00	143.00	411.00	0.400	14.00
Juillet-07	0.2405	25.00	24.00	70.00	3.02	46.00	2907.00	40.00	1840.00	59.00	451.00	0.380	11.00
Aout-07	0.2075	23.00	148.00	460.00	4.10	19.00	2178.00	35.00	1748.00	99.00	321.00	0.360	19.00
Sept-07	0.191	23.00	130.00	360.00	9.24	345.00	2639.00	36.00	1656.00	720.00	230.00	0.300	15.00
Oct-07	0.1745	19.00	120.00	400.00	6.40	60.00	2178.00	39.00	1725.00	102.00	707.00	0.100	9.00
Nov-07	0.1415	18.00	91.00	320.00	6.57	23.00	2074.00	50.00	1610.00	139.00	789.00	0.500	11.00
Déc-07	0.2373	15.00	112.00	480.00	3.87	110.00	2098.00	65.00	1756.00	146.00	782.00	0.450	11.00
Janvier-08	0.2373	14.00	245.00	516.00	7.40	116.00	2135.00	23.00	1899.00	157.00	658.00	0.580	12.50
Février-08	0.3534	15.00	356.00	382.00	7.31	250.00	2150.92	22.00	1778.00	163.00	624.00	0.650	14.00
Mars-08	0.3534	16.00	825.00	760.00	8.17	454.00	2149.46	14.00	1755.54	124.00	754.00	0.640	13.00
Avril-08	0.654	19.40	1041.00	2000.00	8.43	379.00	2172.49	15.00	1737.89	127.00	854.00	0.300	14.00
Mai-08	0.0628	28.00	82.10	370.00	2.24	194.00	2190.91	14.00	1728.80	265.00	832.00	0.260	15.00
Juin-08	0.0576	32.00	132.40	440.00	2.99	185.00	2211.60	13.50	1733.48	345.00	762.00	0.800	10.00
Juillet-08	0.1745	28.00	214.53	470.17	5.41	275.00	2233.57	12.00	1740.29	211.89	571.56	0.373	18
Aout-08	0.44	26.00	223.33	484.62	5.71	218.00	2255.23	15.00	1746.77	208.38	575.48	0.390	19
Sept-08	0.315	24.00	232.13	492.65	5.90	289.00	2205.09	16.00	1739.60	203.90	588.56	0.407	18.5
Octo-08	0.654	21.00	240.47	501.97	6.06	265.00	2207.17	11.20	1738.95	198.73	600.98	0.424	13.05
Nov-08	0.052	19.00	248.28	511.52	5.99	226.00	2173.96	12.40	1745.33	195.11	614.59	0.440	13.24
Déc-08	0.2424	13.00	252.96	518.27	5.91	234.00	2173.65	13.10	1746.90	200.39	618.12	0.431	13.35
Janvier-09	0.97	13	262.12	529.84	5.82	211.13	2181.31	13.00	1757.43	203.58	629.63	0.432	13.36
Février-09	0.8	15.00	275.35	555.39	5.97	214.92	2187.72	26.57	1757.54	211.61	639.55	0.435	13.76
Mars-09	0.6208	17.90	282.43	560.69	6.08	219.92	2191.77	26.43	1746.65	217.87	657.25	0.440	13.85
Avril-09	0.266	21.00	290.89	571.84	5.90	189.25	2194.92	26.09	1744.24	189.97	680.98	0.447	13.84
Mai-09	0.266	22.50	300.39	581.39	5.87	195.34	2198.41	25.57	1743.37	194.86	679.54	0.467	13.97
Juin-09	0.134	24.00	312.02	595.91	5.84	199.31	2200.41	25.51	1743.80	197.96	673.46	0.465	13.73
Juillet-09	0.0628	25.00	323.13	602.35	5.94	204.91	2201.14	25.13	1744.95	200.85	667.43	0.466	13.67
Aout-09	0.0576	23.00	327.47	607.15	5.86	211.53	2200.33	24.58	1745.83	203.28	667.95	0.459	13.90
Sept-09	0.257	23.00	325.89	619.65	5.78	219.55	2197.78	23.96	1746.26	205.52	670.39	0.449	14.03
Oct-09	0.2405	19.00	298.16	611.86	5.65	214.33	2193.36	23.52	1746.22	210.05	665.75	0.438	14.18
Nov-09	0.4	18.00	256.89	534.74	5.50	220.76	2192.46	23.02	1746.73	214.66	655.29	0.446	14.26
Déc-09	0.3	15.00	266.60	543.89	5.68	229.00	2191.32	22.38	1747.33	211.87	645.47	0.456	14.27

Annexe 1 : Résultats d'analyse des rejets de l'ENOF (Suite)

Date de prélèvement	NH4 (mg/l)	N Kjeld (mg/l)	P Total (mg/l)	PO4 (mg/l)	SO4 (mg/l)	MES (mg/l)	p org mg/l	N org mg/L	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (mg/l)	Al (mg/l)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)
Janvier-07	0.58	2.80	6.60	6.00	9600.00	6250.00	0.60	2.22	0.130	74.700	0.130	0.061	3.540	1.060	0.510
Février-07	0.70	1.70	5.00	3.00	2600.00	7890.00	2.00	1.00	0.170	1.000	0.540	2.400	2.180	0.360	0.250
Mars-07	0.80	1.65	3.00	2.00	3540.00	5480.00	1.00	0.85	0.100	0.089	0.190	3.530	0.600	0.580	0.290
Avril-07	0.01	0.07	2.10	0.63	3240.00	6540.00	1.47	0.06	0.055	0.760	0.014	0.240	11.000	0.700	0.150
Mai-07	1.60	2.80	1.60	0.40	3840.00	6636.67	1.20	1.20	0.200	0.170	0.008	0.900	10.000	0.650	0.520
Juin-07	1.05	2.10	0.68	0.00	3168.00	6218.89	0.68	1.05	0.090	5.600	0.040	1.210	12.000	0.020	0.170
Juillet-07	1.40	4.20	0.15	0.00	4800.00	6465.19	0.15	2.80	0.360	11.440	0.220	5.950	34.400	0.340	0.450
Aout-07	1.40	8.40	0.33	0.02	4896.00	6440.25	0.31	7.00	0.020	7.810	0.068	1.660	69.000	0.120	0.500
Sept-07	10.40	11.20	11.00	10.00	8400.00	6374.77	1.00	0.80	0.050	6.360	0.099	0.540	3.500	0.680	0.460
Oct-07	1.00	2.10	0.35	0.05	3360.00	6426.74	0.30	1.10	0.170	0.170	0.005	0.570	5.500	0.200	0.130
Nov-07	0.85	1.05	0.18	0.03	3456.00	6413.92	0.15	0.20	0.018	0.120	0.036	0.120	47.400	0.030	0.300
Déc-07	0.90	4.45	0.90	0.10	4627.27	6405.14	0.80	3.55	0.080	1.710	0.110	0.670	22.000	0.260	0.200
Janvier-08	1.20	4.34	10.80	2.60	4175.21	6415.27	8.20	3.14	0.129	74.610	0.129	0.060	3.539	1.059	0.509
Février-08	1.50	2.45	3.00	2.60	4318.41	6411.44	0.40	0.95	0.169	0.910	0.539	2.399	2.179	0.359	0.249
Mars-08	12.00	14.00	11.00	3.50	4389.17	6410.62	7.50	2.00	0.099	0.080	0.189	3.529	0.599	0.579	0.289
Avril-08	10.00	13.00	82.50	47.00	4493.64	6348.00	35.50	3.00	0.054	0.670	0.013	0.239	10.999	0.699	0.149
Mai-08	0.54	5.13	0.15	0.13	4553.06	6445.43	0.02	4.59	0.199	0.080	0.007	0.899	9.999	0.649	0.519
Juin-08	1.10	5.38	1.50	0.70	4678.98	6457.64	0.80	4.28	0.089	5.510	0.039	1.209	11.999	0.019	0.169
Juillet-08	3.7	5.76	7.82	4.38	4667.98	6368.12	3.45	2.06	0.359	11.350	0.219	5.949	34.399	0.339	0.449
Aout-08	5.35	5.97	7.89	4.29	4647.25	6423.63	3.61	0.62	0.019	7.720	0.067	1.659	68.999	0.119	0.499
Sept-08	1.08	6.24	8.05	4.36	4306.09	6416.36	3.70	5.16	0.049	6.270	0.098	0.539	3.499	0.679	0.459
Octo-08	2.72	6.39	8.33	4.49	4392.10	6402.59	3.85	3.67	0.169	0.080	0.004	0.569	5.499	0.199	0.129
Nov-08	2.82	6.25	8.68	4.70	4477.20	6414.07	3.98	3.42	0.017	0.030	0.035	0.119	47.399	0.029	0.299
Déc-08	2.93	5.89	9.07	4.94	4463.55	6410.87	4.13	2.97	0.079	1.620	0.109	0.669	21.999	0.259	0.199
Janvier-09	3.03	6.16	9.54	5.22	4489.77	6409.04	4.32	3.14	0.128	74.520	0.128	0.059	3.538	1.058	0.508
Février-09	3.17	6.53	10.06	5.51	4505.34	6411.18	4.56	3.36	0.168	0.820	0.538	2.398	2.178	0.358	0.248
Mars-09	3.24	6.68	10.60	5.81	4515.90	6410.21	4.79	3.43	0.098	0.090	0.188	3.528	0.598	0.578	0.288
Avril-09	3.35	6.84	10.58	5.58	4517.93	6409.98	5.00	3.50	0.053	0.580	0.012	0.238	10.998	0.698	0.148
Mai-09	3.44	7.16	11.15	5.88	4514.73	6410.28	5.26	3.72	0.198	0.010	0.006	0.898	9.998	0.648	0.518
Juin-09	3.54	6.67	11.76	6.21	4499.80	6409.97	5.55	3.13	0.088	5.420	0.038	1.208	11.998	0.018	0.168
Juillet-09	3.21	6.22	12.36	6.55	4484.51	6409.87	5.81	3.01	0.358	11.260	0.218	5.948	34.398	0.338	0.448
Aout-09	3.32	6.30	12.45	6.77	4469.72	6409.83	5.68	2.98	0.018	7.630	0.066	1.658	68.998	0.118	0.498
Sept-09	3.44	6.36	12.97	7.00	4484.60	6413.69	5.97	2.93	0.048	6.180	0.097	0.538	3.498	0.678	0.458
Oct-09	3.56	6.40	13.08	7.19	4493.00	6411.71	5.89	2.85	0.168	0.010	0.003	0.568	5.498	0.198	0.128
Nov-09	3.67	6.44	9.23	4.98	4494.44	6408.84	4.24	2.77	0.016	0.060	0.034	0.118	47.398	0.028	0.298
Déc-09	3.77	6.45	9.73	5.25	4497.25	6411.38	4.48	2.68	0.078	1.530	0.108	0.668	21.998	0.258	0.198

Annexe 2 : Résultats d'analyse des rejets de l'ENCG

Date de prélèvement	Débit (m3/s)	T(eau) °C	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	O2diss (mg/l)	CO3H (mg/l)	Chlorures (mg/l.Cl)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)
Jan-07	0.2	15	898	1300	0	630.00	503.00	10.00	321.00	68.00	501.00	0	6
Fev-07	0.3	17	1024	1654	0.22	1371.00	591.00	37.00	934.00	2.00	46.00	0.09	9
Mar-07	0.7072	20.00	1065.00	1750.00	0.32	1130.00	10054.00	66.00	8050.00	338.00	66.00	0.06	11.00
Avr-07	1.6390	23.00	1333.00	1800.00	0.46	1499.00	2741.00	39.00	2392.00	260.00	421.00	0.50	10.00
Mai-07	0.3110	34.60	1332.00	1850.00	2.67	1157.50	1097.00	10.00	2484.00	75.00	401.00	0.40	37.00
Juin-07	0.2570	29.00	19602.00	35000.00	0.34	1289.38	1299.00	16.00	2875.00	212.00	581.00	0.02	14.00
Juill-07	0.2405	30.10	21129.00	27800.00	0	1268.97	1466.00	29.00	5060.00	29.00	1303.00	0.05	12.00
Aout-07	0.2075	26.00	3369.00	6200.00	0.1118	281.00	634.00	11.00	7362.00	140.57	853.00	0.03	10.00
Sep-07	0.1910	23.00	3121.00	6000.00	0	416.00	1190.14	27.25	3684.75	150.94	133.00	0.04	9.00
Oct-07	0.1745	21.00	4650.00	7500.00	0	1004.76	2333.02	29.41	4105.22	172.22	536.86	0.00	12.00
Nov-07	0.1415	19.00	3103.00	4700.00	0	1046.40	2816.74	28.46	4501.62	148.53	604.12	0.14	10.00
Dec-07	0.4299	18	5511.45	8686.73	0.40	1010.33	1753.99	23.76	4058.07	132.61	630.28	2	9.5
Jan-08	0.3991	16	5930.86	9358.25	0.48	997.04	1589.13	21.86	4266.33	140.84	663.04	5	15
Fev-08	0.2613	18	6376.94	10058.63	0.83	941.26	1778.29	23.34	4489.12	130.67	674.76	0.64	14
Mar-08	0.2558	19	6859.84	10813.96	0.91	917.24	1767.31	24.26	4690.89	145.20	585.01	0.69	12
Avr-08	0.2557	20	7362.28	11633.42	1.11	875.89	1647.08	23.67	4644.75	145.86	546.72	0.74	12.7
Mai-08	0.2574	24	7910.49	12522.82	0.49	832.21	1722.71	25.25	4305.10	145.13	605.83	0.79	13.15
Juin-08	0.2629	28	6916	10479.44	0.52	893.46	1950.61	25.00	4382.64	141.26	615.68	0.81	13.42
Juill-08	0.2709	29	6259	8904.84	0.54	946.51	1919.53	24.45	4417.32	140.22	617.33	0.84	13.58
Aout-08	0.2816	27	3967	8000.00	0.55	940.04	1764.34	23.95	4406.78	141.31	615.48	0.91	13.82
Sep-08	0.2972	21	9875	10068.00	0.56	928.22	1767.38	23.97	4450.37	141.38	608.69	0.97	12.28
Oct-08	0.6540	19.80	14404.00	28800.00	0.58	919.10	1810.02	24.24	4473.37	142.91	599.25	8.00	12.16
Nov-08	0.0520	20.50	3361.00	8000.00	0	910.44	1803.75	24.35	4471.40	142.58	601.28	0.20	6.00
Dec-08	0.2424	21.00	3818.00	5300.00	3.76	907.01	1776.40	24.36	4443.96	142.11	609.08	0.40	7.00
Jan-09	0.8000	17.00	7680.40	16000.00	0.03	905.88	1799.32	24.45	4418.87	141.68	609.54	0.40	19.00
Fev-09	0.6208	17.00	9112.80	10848.00	0	909.21	1832.43	24.35	4433.09	141.74	608.66	11.00	10.00
Mar-09	0.2660	20.00	7588.20	9984.00	0	917.76	1815.11	24.26	4439.39	141.96	607.43	0.80	30.00
Avr-09	0.2660	24.00	10488.40	11400.00	0	920.46	1794.11	24.24	4442.15	142.05	606.27	0.07	24.00
Mai-09	0.1340	26.00	431.00	1133.00	0	917.57	1799.25	24.28	4446.58	142.15	605.93	0.10	25.00
Juin-09	0.0628	28.00	3963.70	8200.00	0	915.07	1807.71	24.31	4446.10	142.04	606.88	0.30	14.00
Juill-09	0.0576	29.00	2464.40	5600.00	0	913.61	1804.11	24.32	4442.69	141.96	607.69	0.13	7.00
Aout-09	0.3790	30	6835.38	8558.13	0.18	913.00	1799.43	24.32	4439.10	141.94	607.49	1.16	13.67
Sep-09	0.3614	25	7107.18	8965.39	0.49	913.29	1805.20	24.32	4438.50	141.98	607.19	1.20	13.91
Oct-09	0.3012	22	7488.65	8086.06	0.46	913.98	1809.04	24.30	4440.95	142.01	606.98	1.24	14.07
Nov-09	0.2913	19	7451.11	7740.82	0.98	914.88	1804.96	24.29	4441.93	142.02	606.92	1.28	14.17
Dec-09	0.2833	17	3766.00	7460.43	0.90	915.51	1802.30	24.30	4442.25	142.02	607.01	1.30	14.30

Annexe 2 : Résultats d'analyse des rejets de l'ENCG (Suite)

Date de prélèvement	NH4 (mg/l)	N Kjel (mg/l)	P Tot (mg/l)	PO4 (mg/l)	SO4 (mg/l)	MES (mg/l)	P org mg/L	Norg mg/L	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (mg/l)	Al (mg/l)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)
Jan-07	3	3.1	8	7	189	4612.00	1	0.1	0.930	0.030	0.100	2.300	0.150	0.600	0.065
Fev-07	2.5	3.5	9.5	7.8	250	1128.00	1.7	1	10.700	0.300	0.170	3.440	0.800	1.320	0.180
Mar-07	3.70	3.80	6.60	6.00	9600.00	2072.00	0.6	0.1	1.690	0.360	0.600	2.870	0.160	0.100	0.058
Avr-07	12.00	16.00	7.50	6.50	228.00	4008.00	1	4	15.000	0.470	1.078	3.155	0.013	0.220	0.200
Mai-07	11.00	11.80	26.00	23.00	1344.00	8536.00	3	0.8	0.500	0.044	0.005	3.013	0.280	0.070	0.036
Juin-07	0.00	0.14	105.20	82.00	739.00	252.00	23.2	0.14	0.590	0.140	0.250	3.084	0.252	0.330	0.055
Juill-07	0.50	1.10	45.00	37.00	2880.00	498.00	8	0.6	84.300	0.140	3.930	3.048	0.260	1.150	0.112
Aout-07	2.00	2.80	21.00	20.80	6000.00	972.00	0.2	0.8	0.640	0.070	0.570	3.066	0.330	0.230	0.200
Sep-07	4.40	9.80	110.00	75.00	14400.00	440.00	35	5.4	3.340	0.130	3.230	3.057	0.500	0.390	0.036
Oct-07	0.20	8.40	44.60	26.20	12000.00	2584.00	18.4	8.2	84.900	0.201	3.070	3.061	0.142	0.542	0.055
Nov-07	0.17	1.82	35.00	32.40	720.00	2510.20	2.6	1.65	11.100	0.109	10.750	3.059	0.332	0.182	0.100
Dec-07	3.39	3.5	38.04	29.43	4395.45	2300.02	8.61	0.11	26.700	0.054	0.167	3.060	0.096	0.405	0.103
Jan-08	4.73	4.77	40.77	31.47	4777.86	2417.22	9.30	0.04	0.929	0.029	0.099	2.299	0.149	0.599	0.064
Fev-08	5.11	6.2	43.61	33.62	5189.48	2451.74	9.99	1.09	10.699	0.299	0.169	3.439	0.799	1.319	0.179
Mar-08	7.8	8.2	46.97	36.13	4788.53	2296.12	10.85	0.40	1.689	0.359	0.599	2.869	0.159	0.099	0.057
Avr-08	9.4	10.6	50.56	38.82	5203.12	1672.13	11.74	1.20	14.999	0.469	1.077	3.154	0.012	0.219	0.199
Mai-08	12.34	14.3	52.80	40.26	5553.95	2584.00	12.54	1.96	0.499	0.043	0.004	3.012	0.279	0.069	0.035
Juin-08	11.5	13.1	48.03	36.47	5991.67	984.00	11.57	1.60	0.589	0.139	0.249	3.083	0.251	0.329	0.054
Juill-08	10.5	12	48.31	36.42	6274.55	152.00	11.89	1.50	84.299	0.139	3.929	3.047	0.259	1.149	0.111
Aout-08	14.2	16	50.79	37.84	6299.51	2199.94	12.95	1.80	0.639	0.069	0.569	3.065	0.329	0.229	0.199
Sep-08	13.4	14	23.00	21.50	5563.10	1929.72	1.50	0.60	3.339	0.129	3.229	3.056	0.499	0.389	0.035
Oct-08	16.50	17	13.50	12.00	4977.93	541.00	1.50	0.50	84.899	0.200	3.069	3.060	0.141	0.541	0.054
Nov-08	2.40	5.3	40.00	30.00	5365.01	2656.00	10.00	2.90	11.099	0.108	10.749	3.058	0.331	0.181	0.099
Dec-08	0.01	1.1	8.70	5.49	5453.16	3848.00	3.21	1.09	26.699	0.053	0.166	3.059	0.095	0.404	0.102
Jan-09	2.50	9.135	119.00	89.00	5514.55	854.00	30.00	6.64	0.928	0.028	0.098	2.298	0.148	0.598	0.063
Fev-09	1.60	2.6	89.00	82.00	5544.10	960.00	7.00	1.00	10.698	0.298	0.168	3.438	0.798	1.318	0.178
Mar-09	8.50	8.9	56.00	39.00	5612.79	648.00	17.00	0.40	1.688	0.358	0.598	2.868	0.158	0.098	0.056
Avr-09	1.60	2.9	21.00	20.00	5650.03	842.00	1.00	1.30	14.998	0.468	1.076	3.153	0.011	0.218	0.198
Mai-09	1.60	3.2	8.80	8.00	5658.76	2078.00	0.80	1.60	0.498	0.042	0.003	3.011	0.278	0.068	0.034
Juin-09	1.00	2.7	11.00	10.00	5628.50	1938.37	1.00	1.70	0.588	0.138	0.248	3.082	0.250	0.328	0.053
Juill-09	0.30	1.3	19.00	9.30	5569.77	1973.56	9.70	1.00	84.298	0.138	3.928	3.046	0.258	1.148	0.110
Aout-09	5.41	7.80	44.60	36.00	5503.43	1968.61	8.60	2.39	0.638	0.068	0.568	3.064	0.328	0.228	0.198
Sep-09	5.49	7.42	45.02	37.00	5498.00	1893.26	8.02	1.93	3.338	0.128	3.228	3.055	0.498	0.388	0.034
Oct-09	5.59	7.10	45.71	35.00	5545.28	1650.02	10.71	1.51	84.898	0.199	3.068	3.059	0.140	0.540	0.053
Nov-09	5.65	6.46	43.49	32.00	5561.67	1710.81	11.49	0.81	11.098	0.107	10.748	3.057	0.330	0.180	0.098
Dec-09	5.45	5.92	43.51	29.00	5571.53	1753.48	14.51	0.48	26.698	0.052	0.165	3.058	0.094	0.403	0.101

Annexe 3 : Résultats d'analyse des rejets de la Maïserie ERIAD

<i>Date de prélèvement</i>	<i>Débit (m3/s)</i>	<i>T (eau) °C</i>	<i>DBO5 (mg/l)</i>	<i>DCO (mg/l)</i>	<i>O2diss (mg/l)</i>	<i>CO3H (mg/l)</i>	<i>Cl (mg/L.Cl)</i>	<i>K (mg/l)</i>	<i>Na (mg/l)</i>	<i>Mg (mg/l)</i>	<i>Ca (mg/l)</i>	<i>NO2 (mg/l)</i>	<i>NO3 (mg/l)</i>
Jan-07	0.3842	18.50	2863.00	5300	0.00	110.00	280.00	63.00	168.00	102.00	160.00	0.00	10.00
Fev-07	0.7072	20.00	3566.00	5400	1.03	116.00	349.00	76.00	195.00	49.00	461.00	0.05	18.00
Mar-07	1.639	23.00	4473.00	8600	2.15	250.00	323.00	48.00	219.00	207.00	36.00	0.13	6.00
Avr-07	0.311	25.00	3960.00	9000	2.24	744.00	650.00	283.00	152.00	198.00	46.00	0.08	7.00
Mai-07	0.257	26.00	1382.00	2300	1.12	979.00	322.00	90.00	164.00	103.00	164.00	0.01	7.00
Juin-07	0.2405	26.50	7063.00	10700	0.77	194.00	511.00	413.00	138.00	109.00	160.00	0.14	7.00
Juill-07	0.2075	43.00	9029.00	12200	0.83	185.00	850.00	88.00	138.00	322.00	48.00	0.15	11.00
Aout-07	0.191	26.00	117.00	200	10.34	275.00	251.00	25.00	92.00	79.00	56.00	0.01	7.00
Sep-07	0.1745	24.00	243.00	450	1.98	218.00	126.00	26.00	46.00	53.00	69.00	0.00	3.00
Oct-07	0.1415	23.80	61.00	130	5.38	289.00	143.00	113.00	53.00	67.00	52.00	0.04	5.00
Nov-07	0.191	21.00	3798.00	4040	1.76	265.00	150.00	120.00	69.00	96.00	67.00	0.12	8.10
Dec-07	0.1745	19.00	3962.00	9000	1.89	226.00	230.00	65.00	120.00	125.91	51.00	0.21	10.90
Jan-08	0.1745	16.00	6392.00	9400	1.98	234.00	243	23.00	124.00	128.08	48.00	0.15	8.33
Fev-08	0.1745	18.00	3608.38	13248	2.75	188.00	367.00	22.00	128.00	135.27	41.00	0.08	11.20
Mar-08	0.44	21.00	10920.7	13000	3.10	284.00	402.00	14.00	138.00	128.75	61.00	0.19	14.50
Avr-08	0.315	24.00	9212.00	9800	1.03	262.00	327.00	15.00	170.00	122.46	71.00	0.15	15.34
Mai-08	0.654	26.00	5329.00	7400	2.24	168.00	234.00	14.00	161.00	124.22	52.00	0.10	9.03
Juin-08	0.052	27.50	7129.00	10800	2.92	248.00	211.00	13.50	158.00	87.00	56.00	0.23	4.00
Juill-08	0.2424	28.00	8659.00	11100	2.84	250.00	212.00	12.00	150.00	104.25	96.65	0.19	14.00
Aout-08	0.97	23.50	4624.00	6800	3.10	259.00	225.00	15.00	155.00	106.54	90.53	0.25	15.00
Sep-08	0.8	20.00	6468.40	7700	3.27	248.00	232.00	16.00	157.00	111.41	69.10	0.19	6.00
Oct-08	0.6208	18.00	2415.90	3264	3.44	221.00	259.00	11.20	146.00	115.44	72.30	0.26	7.00
Nov-08	0.266	17.00	971.20	1517	3.71	198.00	265.00	12.40	142.00	117.21	73.66	0.05	52.00
Dec-08	0.266	15.00	8364.40	10200	3.96	170.00	243.00	13.10	122.00	79.00	68.27	0.07	7.00
Jan-09	0.134	17.00	3303.90	5328	3.01	165.00	355.00	13.00	115.00	111.96	63.19	0.10	10.00
Fev-09	0.0628	18.00	5500.70	11000	2.75	169.00	311.39	11.50	120.00	109.84	64.38	0.17	10.00
Mar-09	0.0576	19.00	5885.12	7226	5.06	178.00	309.78	10.000	147.00	108.12	64.81	2.00	11.00
Avr-09	0.257	23.00	5437.00	7699	2.06	207.07	310.04	11.000	131.00	106.82	64.53	0.19	15.00
Mai-09	0.2405	26.00	5680.00	4107	2.15	241.55	309.54	12.000	138.00	105.24	65.29	0.16	17.00
Juin-09	0.2075	27.00	4625.00	1258	1.03	150.00	294.75	26.000	138.00	106.89	65.14	0.20	24.00
Juill-09	0.191	29.00	8698.00	6028	0.95	123.00	294.23	38.000	92.00	107.13	65.98	0.23	23.00
Aout-09	0.1745	28.00	5870.00	9000	1.38	111.00	285.47	64.000	120.00	107.19	66.99	0.21	19.00
Sep-09	0.1415	29.00	4296.00	6890	1.89	106.00	261.33	56.000	124.00	65.00	68.46	0.22	15.00
Oct-09	0.191	25.00	7061.71	5874	2.32	98.00	263.21	40.000	46.00	102.22	68.81	0.22	12.00
Nov-09	0.1745	20.00	875.00	2530	2.49	90.00	270.14	13.00	53.00	100.85	68.66	0.26	11.00
Dec-09	0.36	19.00	9.20	40	4.82	92.00	275.28	5.00	69.00	93.00	69.65	0.23	4.00

Annexe 3 : Résultats d'analyse des rejets de la Maïserie ERIAD (Suite)

Date de prélèvement	N Kjel (mg/l)	P Tot (mg/l)	PO4 (mg/l)	SO4 (mg/l)	MES (mg/l)	P Org mg/L	NOrg mg/L	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (mg/l)	Al (mg/l)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)
Jan-07	58.80	135.20	75.00	560.00	5137.00	60.20	33.80	0.020	0.900	0.044	0.200	0.500	0.230	0.460
Fev-07	22.40	70.00	50.00	648.00	2994.00	20.00	8.40	0.020	0.830	0.087	0.170	4.800	0.870	0.680
Mar-07	84.00	205.00	188.00	444.00	2430.00	17.00	20.00	0.187	1.740	0.160	0.110	0.600	1.200	0.032
Avr-07	111.20	536.00	450.00	600.00	3828.00	86.00	11.20	0.029	1.700	0.013	0.300	0.600	0.990	0.210
Mai-07	3.42	6.25	2.50	409.00	1836.00	3.75	3.13	0.043	0.330	0.060	0.100	0.700	0.081	0.140
Juin-07	93.38	525.00	375.00	643.00	1972.00	150.00	3.88	0.030	1.830	0.020	0.370	0.650	1.700	0.050
Juill-07	103.60	520.00	130.00	960.00	880.00	390.00	13.60	0.020	4.760	0.010	0.500	0.590	1.080	0.060
Aout-07	69.00	21.60	2.50	156.00	146.00	19.10	9.00	0.025	0.042	0.004	0.337	0.600	0.720	0.430
Sep-07	22.40	3.63	2.40	139.00	40.00	1.23	8.40	0.010	1.100	0.070	0.120	0.600	0.170	1.131
Oct-07	2.80	9.38	7.50	120.00	46.00	1.88	1.30	0.018	2.900	0.015	0.220	0.600	0.160	0.340
Nov-07	53.20	45.00	36.00	467.90	654.00	9.00	16.20	0.020	35.400	0.040	0.150	0.700	0.510	0.160
Dec-07	221.80	362.00	289.00	458.69	672.00	73.00	67.80	0.010	1.700	0.070	0.260	0.600	0.260	0.220
Jan-08	285.60	75.00	60.00	439.76	556.00	15.00	59.60	0.019	0.899	0.043	0.199	0.499	0.229	0.459
Fev-08	210.00	125.00	98.00	439.33	1719.58	27.00	47.00	0.019	0.829	0.086	0.169	4.799	0.869	0.679
Mar-08	202.30	525.00	510.00	423.27	2328.00	15.00	37.30	0.186	1.739	0.159	0.109	0.599	1.199	0.031
Avr-08	196.70	168.75	155.00	424.70	624.00	13.75	43.70	0.028	1.699	0.012	0.299	0.599	0.989	0.209
Mai-08	108.79	10.50	4.00	402.86	1504.00	6.50	22.19	0.042	0.329	0.059	0.099	0.699	0.080	0.139
Juin-08	111.91	225.00	214.00	347.15	2016.00	11.00	35.11	0.029	1.829	0.019	0.369	0.649	1.699	0.049
Juill-08	26.00	238.53	208.74	366.27	1136.00	29.79	18.60	0.019	4.759	0.009	0.499	0.589	1.079	0.059
Aout-08	54.00	123.00	100.00	388.99	356.00	23.00	8.00	0.024	0.041	0.003	0.336	0.599	0.719	0.429
Sep-08	213.00	15.00	6.00	415.89	496.00	9.00	13.00	0.009	1.099	0.069	0.119	0.599	0.169	1.130
Oct-08	21.00	289.80	215.00	410.69	773.00	74.80	9.00	0.017	2.899	0.014	0.219	0.599	0.159	0.339
Nov-08	65.00	2.00	1.40	405.89	2268.00	0.60	40.60	0.019	35.399	0.039	0.149	0.699	0.509	0.159
Dec-08	116.47	357.50	310.00	402.50	894.00	47.50	22.47	0.009	1.699	0.069	0.259	0.599	0.259	0.219
Jan-09	119.44	240.00	220.00	398.82	1156.00	20.00	19.44	0.018	0.898	0.042	0.198	0.498	0.228	0.458
Fev-09	224.00	221.00	197.00	396.38	1104.00	24.00	14.00	0.018	0.828	0.085	0.168	4.798	0.868	0.678
Mar-09	139.33	211.00	185.00	393.55	138.00	26.00	41.33	0.185	1.738	0.158	0.108	0.598	1.198	0.030
Avr-09	64.00	193.00	164.00	392.61	1133.22	29.00	6.00	0.027	1.698	0.011	0.298	0.598	0.988	0.208
Mai-09	58.00	187.00	160.00	397.16	956.13	27.00	17.00	0.041	0.328	0.058	0.098	0.698	0.079	0.138
Juin-09	59.00	156.00	143.00	400.25	742.84	13.00	16.00	0.028	1.828	0.018	0.368	0.648	1.698	0.048
Juill-09	64.00	123.00	106.00	401.37	782.40	17.00	9.00	0.018	4.758	0.008	0.498	0.588	1.078	0.058
Aout-09	72.00	98.00	75.00	399.92	753.95	23.00	16.00	0.023	0.040	0.002	0.335	0.598	0.718	0.428
Sep-09	58.00	236.00	217.00	398.85	904.84	19.00	23.00	0.008	1.098	0.068	0.118	0.598	0.168	1.129
Oct-09	91.57	128.00	110.00	398.14	1124.40	18.00	5.57	0.016	2.898	0.013	0.218	0.598	0.158	0.338
Nov-09	90.30	73.00	61.00	397.71	1245.51	12.00	48.80	0.018	35.398	0.038	0.148	0.698	0.508	0.158
Dec-09	16.00	4.50	2.00	397.59	1212.40	2.50	11.00	0.008	1.698	0.068	0.258	0.598	0.258	0.218

Annexe 4 : Résultats d'analyse des rejets de CERTAF

Date de prélèvement	Débit (m3/s)	T(eau) °C	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	O2diss (mg/l)	CO3H (mg/l)	Chlorures (mg/l.Cl)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)
Jan-07	1.21	16.00	17.50	75.00	5.16	162.00	250.00	10.00	125.60	85.00	58.00	4.60	38.00
Fev-07	2.30	18.00	18.25	60.00	3.61	159.00	243.00	10.50	145.00	80.00	75.00	5.00	40.00
Mar-07	2.55	21.00	18.00	50.00	4.32	188.00	367.00	11.00	161.00	170.00	76.00	2.00	27.00
Avr-07	2.95	25.00	41.00	150.00	0.00	284.00	402.00	23.00	161.00	98.00	92.00	4.00	16.00
Mai-07	0.26	24.00	12.00	40.00	7.93	262.00	327.00	22.00	129.00	68.00	56.00	3.50	20.00
Juin-07	0.17	28.00	17.00	60.00	7.65	168.00	234.00	14.00	92.00	72.00	74.00	0.60	50.00
Juill-07	0.14	28.00	3.00	10.00	5.83	248.00	211.00	15.00	85.00	69.00	62.00	2.50	12.00
Aout-07	0.90	26.00	17.00	20.00	2.06	250.00	212.00	14.00	115.00	91.71	70.43	7.50	11.00
Sep-07	1.50	24.00	22.00	23.00	2.15	259.00	225.00	13.50	120.00	80.00	56.00	8.00	16.00
Oct-07	1.70	20.00	25.00	50.00	1.03	248.00	232.00	12.00	147.00	86.00	80.00	8.50	19.00
Nov-07	1.65	18.00	31.00	62.50	0.95	221.00	259.00	15.00	131.00	79.00	60.00	6.00	12.00
Dec-07	1.67	15.00	35.00	65.00	6.36	198.00	265.00	16.00	135.00	72.00	60.00	6.20	10.00
Jan-08	0.12	14.00	27.00	110.00	6.45	170.00	243.00	11.20	130.00	24.00	74.00	7.00	8.00
Fev-08	0.65	15.20	55.00	170.00	5.99	165.00	355.00	12.40	128.00	65.00	49.00	0,01	11.00
Mar-08	0.05	13,00	22.00	90.00	6.42	169.00	321.00	13.10	138.00	50.00	67.00	0,40	2.00
Avr-08	0.24	14.00	11.00	30.00	7.83	178.00	325.00	13.00	170.00	58.00	51.00	0,40	16.00
Mai-08	0.12	18.00	12.60	60.00	6.06	98.00	247.00	11.50	161.00	48.00	48.00	1.30	7.00
Juin-08	0.65	22.00	17.40	50.00	7.34	90.00	234.00	10.00	158.00	50.00	41.00	2.00	9.00
Juill-08	0.05	25.00	13.90	46.50	7.14	92.00	247.00	11.00	150.00	55.00	61.00	5.00	13.00
Aout-08	0.24	24.00	13.50	48.00	5.59	120.00	264.00	5.00	155.00	62.00	71.00	4.00	12.00
Sep-08	0.89	22.00	17.00	75.00	6.79	156.00	271.00	12.00	157.00	48.00	52.00	3.67	9.00
Oct-08	0.66	19.00	22.00	50.00	4.99	198.00	280.00	12.00	146.00	49.00	56.00	3.60	10.00
Nov-08	0.12	15.00	25.00	56.00	5.42	221.00	280.00	14.00	142.00	44.00	80.00	5.38	15.00
Dec-08	0.65	14.00	16.20	49.00	5.59	198.00	247.00	13.00	122.00	50.00	60.00	6.50	13.00
Jan-09	0.89	15.00	12.40	40.00	6.43	170.00	234.00	21.00	115.00	50.00	60.00	0.25	12.00
Fev-09	0.66	16.00	8.50	19.00	7.34	165.00	247.00	10.00	120.00	53.00	55.00	12.00	4.00
Mar-09	0.27	18.00	14.80	48.00	6.18	169.00	264.00	11.00	147.00	60.00	45.00	0.70	4.00
Avr-09	0.27	20.00	26.40	100.00	7.20	284.00	327.00	10.80	131.00	65.00	56.00	2.00	9.00
Mai-09	0.13	22.00	14.40	58.00	7.18	262.00	247.00	12.00	135.00	53.00	60.00	4.00	6.00
Juin-09	0.63	25.00	13.70	50.00	5.73	168.00	247.00	14.00	130.00	60.00	75.00	19.00	11.00
Juill-09	0.06	26.00	4.80	20.00	4.84	248.00	264.00	14.50	128.00	72.00	84.00	11.00	11.00
Aout-09	0.05	26.00	17.00	10.00	6.11	250.00	327.00	15.00	132.00	70.00	60.00	8.00	14.00
Sep-09	0.24	22.00	22.00	26.00	6.45	259.00	243.00	12.00	135.00	72.00	50.00	5.00	19.00
Oct-09	0.89	18.00	25.00	28.00	7.05	248.00	355.00	12.00	141.00	44.00	45.00	5.68	21.00
Nov-09	0.66	17.00	31.00	49.00	7.65	220.00	322.00	14.50	139.00	56.00	58.00	7.00	25.00
Dec-09	0.70	15.00	35.00	47.00	7.74	232.00	260.00	15.00	145.00	50.00	62.00	0.04	36.00

Annexe 4 : Résultats d'analyse des rejets de CERTAF (Suite)

Date de prélèvement	NH4 (mg/l)	N Kjel (mg/l)	P Tot (mg/l)	PO4 (mg/l)	SO4 (mg/l)	MES (mg/l)	POrg mg/L	N Org mg/L	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (mg/l)	Al (mg/l)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)
Jan-07	0.00	0.20	1.50	0.90	126.00	5800.00	0.60	0.20	0.010	1.600	0.350	1.216	28.000	1.200	2.984
Fev-07	0.80	1.00	1.80	1.10	144.00	18654.00	0.70	0.20	0.020	1.700	0.021	2.700	65.000	1.400	3.000
Mar-07	0.60	0.70	0.25	0.10	298.00	11776.00	0.15	0.10	16.190	1.800	0.044	4.600	78.000	0.960	0.420
Avr-07	0.58	2.10	0.50	0.00	269.00	23304.00	0.50	1.52	0.065	1.900	0.060	7.800	73.000	1.710	28.000
Mai-07	0.75	1.05	0.60	0.25	108.00	19828.00	0.35	0.30	0.051	2.270	0.095	9.200	98.000	1.280	31.500
Juin-07	3.80	5.60	0.70	0.50	144.00	4148.00	0.20	1.80	0.160	2.130	3.730	0.900	27.000	2.410	36.500
Juill-07	0.23	1.40	0.83	0.45	132.00	8200.00	0.38	1.17	0.210	1.340	0.068	0.360	91.000	2.510	5.500
Aout-07	1.20	2.50	1.10	0.70	123.00	19500.00	0.40	1.30	0.350	0.706	0.510	0.290	36.000	1.260	0.180
Sep-07	1.60	3.00	1.80	0.98	128.00	9860.00	0.82	1.40	0.090	1.360	0.015	0.333	69.000	0.033	56.200
Oct-07	3.00	3.60	2.21	1.12	182.00	9742.00	1.09	0.60	1.500	0.943	0.019	0.432	85.000	0.186	24.200
Nov-07	8.20	9.00	2.35	1.26	96.00	9640.00	1.09	0.80	2.300	0.509	0.010	0.540	93.000	0.800	10.250
Dec-07	9.00	9.56	3.00	2.40	110.00	9630.00	0.60	0.56	0.009	1.599	0.349	1.215	27.999	1.199	2.983
Jan-08	11.00	12.10	3.10	2.60	125.00	2500.00	0.50	1.10	0.019	1.699	0.020	2.699	64.999	1.399	2.999
Fev-08	12.00	12.80	0.45	0.38	123.00	2680.00	0.07	0.80	16.189	1.799	0.043	4.599	77.999	0.959	0.419
Mar-08	15.00	15.90	2,23	1,68	128.00	384.00	0.55	0.90	0.064	1.899	0.059	7.799	72.999	1.709	27.999
Avr-08	9,60	11,25	1,59	1,14	182.00	1916.00	0.45	1.65	0.050	2.269	0.094	9.199	97.999	1.279	31.499
Mai-08	12.00	13.00	1.80	1.60	96.00	7108.22	0.20	1.00	0.159	2.129	3.729	0.899	26.999	2.409	36.499
Juin-08	15.00	16.20	1.05	0.80	103.00	5390.00	0.25	1.20	0.209	1.339	0.067	0.359	90.999	2.509	5.499
Juill-08	17.00	17.80	1.05	0.90	98.00	6500.00	0.15	0.80	0.349	0.705	0.509	0.289	35.999	1.259	0.179
Aout-08	16.00	17.00	1.85	1.12	90.00	7684.00	0.73	1.00	0.089	1.359	0.014	0.332	68.999	0.032	56.199
Sep-08	2.00	3.20	0.95	0.70	177.00	8900.00	0.25	1.20	1.499	0.942	0.018	0.431	84.999	0.185	24.199
Oct-08	5.50	7.00	1.70	1.14	187.00	7210.00	0.56	1.50	2.299	0.508	0.009	0.539	92.999	0.799	10.249
Nov-08	6.00	7.12	2.30	1.85	85.00	2532.00	0.45	1.12	0.008	1.598	0.348	1.214	27.998	1.198	2.982
Dec-08	7.00	8.30	4.00	2.90	82.00	1200.00	1.1	1.30	0.018	1.698	0.019	2.698	64.998	1.398	2.998
Jan-09	11.00	12.50	5.90	2.50	96.00	117.00	3.4	1.50	16.188	1.798	0.042	4.598	77.998	0.958	0.418
Fev-09	9.00	10.20	1.25	1.01	119.00	415.00	0.24	1.20	0.063	1.898	0.058	7.798	72.998	1.708	27.998
Mar-09	12.00	13.80	2.75	1.35	132.00	2904.00	1.4	1.80	0.049	2.268	0.093	9.198	97.998	1.278	31.498
Avr-09	1.58	3.00	2.25	1.52	124.00	1600.00	0.73	1.42	0.158	2.128	3.728	0.898	26.998	2.408	36.498
Mai-09	13.80	14.60	4.75	2.50	120.00	340.00	2.25	0.80	0.208	1.338	0.066	0.358	90.998	2.508	5.498
Juin-09	0.05	1.20	1.43	0.89	119.00	176.00	0.54	1.15	0.348	0.704	0.508	0.288	35.998	1.258	0.178
Juill-09	0.30	1.60	0.85	0.80	220.00	375.00	0.05	1.30	0.088	1.358	0.013	0.331	68.998	0.031	56.198
Aout-09	6.50	7.00	1.87	1.60	256.00	899.00	0.27	0.50	1.498	0.941	0.017	0.430	84.998	0.184	24.198
Sep-09	7.30	7.90	2.38	1.87	180.00	1025.00	0.51	0.60	2.298	0.507	0.008	0.538	92.998	0.798	10.248
Oct-09	6.20	8.50	2.68	2.23	176.00	1123.00	0.45	2.30	0.007	1.597	0.347	1.213	27.997	1.197	2.981
Nov-09	6.50	9.00	2.68	2.45	186.00	1210.00	0.23	2.50	0.017	1.697	0.018	2.697	64.997	1.397	2.997
Dec-09	7.80	9.10	2.80	2.40	140.00	1200.00	0.4	1.30	16.187	1.797	0.041	4.597	77.997	0.957	0.417

Annexe 5 : Résultats d'analyse à la sortie de la station d'épuration

ANALYSE SORTIE STEP									
MOIS	MES	DBO5	DCO	N-NH4	N-NO2	N-NO3	T	pH	O2
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	C°		mg/l
Janvier-07	25.87	28.73	55.25	22.77	15.50	15.45	14.52	7.27	3,60
Février-07	26.07	27.86	53.60	26.87	13.60	15.57	16.69	7.10	3.08
Mars-07	28.29	27.28	56.00	26.44	14.50	16.96	17.03	7.57	3.80
Avril-07	16.83	22.35	41.50	10.60	12.60	10.37	17.53	7.50	3.50
Mai-07	19.65	24.26	50.00	15.00	11.00	13.00	20.00	7.00	2.80
Juin-07	18.70	1.80	6.00	16.90	10.50	12.10	24.70	7.40	3.10
Juillet-07	22.90	3.60	9.10	9.50	8.80	9.50	25.20	5.40	3.00
Aout-07	30.00	29.00	60.00	16.30	12.00	19.00	29.00	7.00	3,10
Sept-07	30.00	29.00	60.00	16.00	12.00	19.00	29.00	7.00	3,0
Oct-07	19.06	26.18	48.80	15.32	9.53	10.90	21.70	7.34	3,4
Nov-07	18.00	27.70	51.75	13.50	9.74	11.02	17.63	7.39	3,1
Déc-07	24.06	29.17	66.30	16.52	14.02	15.10	15.13	7.30	2,77
Janvier-08	13.00	22,8	64.00	10.70	9.47	10.12	20.00	7.20	3,2
Février-08	17.00	23,4	69.00	15.06	8.50	8.36	20.00	7.00	3,1
Mars-08	19.00	20.40	69.00	13.06	7.14	10.19	17.00	7.10	2,8
Avril-08	17.00	12,6	73.00	12.90	10.90	11.88	25.00	7,29	3,1
Mai-08	16.00	20,9	58.00	14.20	6.55	9.20	22.00	7,49	3,2
Juin-08	18.00	26.00	62.00	9,67	15,1	10,56	24.00	7,29	2,9
Juillet-08	15.00	35.80	66.00	11,41	13.00	9,41	25.00	7,38	2,6
Aout-08	21.00	26.80	44.00	10,67	11.00	13,64	24.00	7,41	2,9
Sept-08	18.00	26.98	50.00	12,4	12.00	13.00	24.00	7,35	3.00
Octo-08	16.00	28.60	48.00	10,18	14.00	3,5	22.00	7,44	3,1
Nov-08	26.00	25.80	54.00	12,5	12.00	12,76	23.00	7,52	3,6
Déc-08	24.00	26.00	48.00	9,30	11.00	22,88	24.00	7,38	3,60
Janvier-09	19.00	26.80	65.00	14,5	11.00	18,92	24.00	7,35	3.00
Février-09	21.00	28.90	47.00	13,86	12.00	27,7	22.00	7,32	3,20
Mars-09	19.00	23.80	63.00	10,4	13.00	25.00	23.00	7,44	3,10
Avril-09	14.00	24.80	75.00	12,25	17.00	13,6	22.00	7,43	3,10
Mai-09	12.00	29.30	61.00	10,40	16.00	11.00	23.00	7,32	3,30
Juin-09	13.00	29.00	64.00	08,60	13.00	17.00	21.00	7,39	3,10
Juillet-09	16.00	34.80	59.00	14,50	10.00	12.00	22.00	7,48	3,10
Aout-09	18.00	29.00	39.00	12,25	11.00	12,5	22.00	7,55	3,00
Sept-09	15.00	28.00	38.00	15.64	12.00	17,6	25.00	7,45	2,90
Oct-09	14.00	26.40	40.00	5.16	11.00	15.00	24.00	7,33	3,0
Nov-09	19.00	25.00	43.00	8.24	12.00	12.00	24.00	7,38	3,10
Déc-09	20.00	25.80	38.00	10.35	13.00	9,31	22.00	7.52	3,20

Annexe 6 : coordonnées X et Y de chaque section

CARTE Maghnia 1-2									
Section (23.990)		Section 23.776		Section 23.427		Section 22.903		Section 22.309	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
2044	437.9	688.1	434.12	1981	434.01	2455.4	430.5	2940	429.13
2065	437.25	730.5	433.67	2009.6	433.65	2539.6	428.9	2994.6	428.7
2102.9	437.08	761.5	433.11	2067.1	433.11	2557.6	427.23	3054.2	428.25
2151	437	788.9	432.33	2090	433	2579.2	425.2	3082.1	428.05
2177.6	437.11	816.9	432	2106	433.07	2594.6	423.21	3108.3	428
2202	437.28	847.4	432.11	2125.1	433.2	2635.4	423	3121.8	428.2
2222	437.79	883	432.28	2143.8	433.7	2696.8	424.5	3162.4	428.61
		986.4	432.75	2167.4	434.06	2750.7	426	3215.5	429.2
		998.64	433.7			2837.3	429.8	3267.7	429.5

CARTE Maghnia 1-2									
Section 21.995		Section 21.577		Section 21.090		Section 20.917		Section 20.501	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
40.7	421	452.5	420.2	3899.7	420	3937.9	420.53	318.7	419.33
105.4	420.2	490.1	418.2	3932.2	419.5	3982.8	419.9	357.2	418.67
154.2	419.31	525.9	417.45	3957.5	418.4	4023.4	419.26	382.8	418.23
176.8	419.1	555.6	416.32	3975.8	418.09	4061.8	419	395.6	418
222.1	419	571.3	416	3986.3	418	4075.3	419.12	406.1	418.2
251.8	419.4	601.1	416.7	4013.4	418.34	4088.9	419.28	422.8	418.54
275.8	419.85	611.9	417.8	4037.7	419.04	4117.4	420.1	434.1	418.9
300.8	420.75	618.9	420.35	4070.2	419.39	4158.2	420.71	461.9	419.2

Annexe 6 : coordonnées X et Y de chaque section (Suite)

CARTE NEDROMA5-6									
Section 20.166		Section 19.770		Section 18.198		Section 17.133		Section 16.365	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
680.1	413.27	93.2	405.1	813	402.9	786.3	403.57	275.15	388.13
684.5	412.11	103	404.5	815.3	398.5	792.8	402.35	319.02	387.73
688.4	411.52	113.38	403.67	817	395.4	801.5	402.2	413.02	387.29
695.1	411	122	403.35	820	393	811	401.7	457.1	387.09
698.1	411.12	125	403.12	824	393.51	813.1	401.52	492.6	387
700.6	411.45	135	403	831	395.42	817.3	401.35	511.3	387.3
705.9	411.86	142	403.28	833	398.89	822.5	401.51	528.2	387.5
709.1	412.31	155.1	403.6	843	403.5	828.6	402.13	556.89	387.9
		164.2	403.92			838.9	403.3	593.18	388.11
		173	404.13			846.2	404.2		

CARTE NEDROMA5-6											
Section 15.557		Section 15.556		Section 15.123		Section 14.517		Section 13.827		Section 13.443	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
521.1	387	620.53	387.7	251.5	386.4	61.74	386.44	494.35	387.42	803.96	372.3
539.7	386.3	630.09	386.67	253.3	385.6	85.18	381.12	592.62	386.5	887.72	371.5
557.3	385.4	646.02	385	254.1	384.8	144.08	380.8	647.35	386.3	944.95	370.7
572.1	385.06	651.5	384.3	255.3	384	184.36	380.28	689.9	385.17	1021.72	369.4
582.1	385	665.92	384	259.8	384.21	215.02	380	753.74	385	1078.26	369
601.6	385.33	676.54	384.7	262.9	384.67	240.84	381	771.45	385.2	1093.1	369.1
620.6	386	687.71	385.63	268.6	385.71	287.9	383.77	833.42	386	1171.78	369.5
638.9	386.43	696.09	386.45	275.1	386.52	325.025	385.95	896.27	387.1	1205.98	370.62
657.9	387.1	702.23	386.83					983.03	387.9	1279.96	371.6

Annexe 6 : coordonnées X et Y de chaque section (Suite)

CARTE NEDROMA5-6											
Section 12.875		Section 12.641		Section 12.009		Section 11.343		Section 10.886		Section 10.136	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
620.8	370.07	1921.31	367.7	353.63	363.34	111.4	363.17	416.34	364.8	264.4	366.75
646.24	369.38	1950.9	367	445.3	360.04	127.2	362.9	453.68	359.44	281.3	354.37
671.5	368.32	1975.82	365.9	508.25	359.36	143.8	362.33	543.56	355.9	296.1	353.17
694.48	368.1	1993.74	365.2	532.55	359	162.3	361.21	571.4	351.3	307.6	352.12
720.13	368	2003.088	365	613.36	360.26	182.1	361	621	350	314.3	351
724.3	368.21	2030.34	365.12	653.25	362.67	198.9	361.33	672.17	354.36	318.2	353.08
759.39	369.69	2056.04	366.25	670.66	363.93	237.3	362.37	713.65	358.72	324.1	358.2
805.88	370.3	2130.81	367.67			279.3	363.55	746.84	363.09	328.8	362.2
										334.1	366.67

CARTE NEDROMA5-6															
Section 9.627		Section 8.843		Section 7.948		Section 7.531		Section 6.849		Section 5.750		Section 5.074		Section 4.469	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
650.02	364.9	509.6	363.4	316.8	328.2	858.3	330	440	335.12	615.5	306.2	355.42	301.6	83.71	297
668.54	357.82	528.2	363.1	372.7	327.8	867.1	328.75	488.9	325.75	624.8	306	369.22	300.4	85.65	296.5
706.81	353.13	537.4	362.15	427.7	327.32	870.6	322.5	504.9	316.37	637.4	305.1	379.58	299.6	87.72	295.3
721.2	351.39	546.7	362	458.6	327.1	875.8	315.25	530.6	307	652.6	304.21	391.66	299.18	91.32	295
741.38	350	551.1	362.5	481.7	327	881	312	553.01	308.6	662.5	304	396.84	299	93.4	295.2
754.1	352.3	556.6	363.2	504.9	327.3	884.6	316.1	579.1	316.63	670.9	304.3	406.2	299.56	95.45	295.43
766.08	355.72	563.8	364.7	525.3	327.9	888	325.56	593.4	323.86	680.8	304.5	422.46	300.6	97.45	296.9
777.19	359.54	575.1	365.9	548.5	328.4	891.5	328.93	621.1	328.68	696.1	305.68	424.45	301.1	99.25	297.14
832.75	363.36					895	331.5	678.6	335.9	701.4	306.1				

Annexe 6 : coordonnées X et Y de chaque section (Suite)

CARTE NEDROMA 7-8											
Section 3.640		Section 3.310		Section 2.751		Section 2.399		Section 2.255		Section 2.102	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
639.1	293.83	996.62	291.2	569.1	292.09	331.3	309.71	275.8	300	169.84	288.3
728	293.1	1015.51	290.8	575.95	291.2	392.5	302.62	332.4	294	199.06	287.67
755.1	292.5	1027.53	289.94	583.47	290.3	436.5	299.08	382.2	282	220.97	286.33
782.3	292.22	1041.26	289	594	290	474.8	292	409.1	276	228.27	285
820.9	292	1051.4	289.2	605.28	290.12	495.8	264.44	429.8	278.12	248.4	285.3
847.1	292.25	1061.86	290.3	614.99	290.5	512.4	270.19	450.8	285	267.22	287.03
876.8	292.7	1080.75	291.33	625.67	291.2	526.4	295.67	527.6	291	281.83	287.73
905.5	293.11	1104.78	292.1	642.37	291.8	576.1	297.5	563.9	297	293.35	287.8
942.7	293.8										
1014.3	294.1										

CARTE NEDROMA 7-8													
Section 2.020		Section 1.702		Section 1.672		Section 1.414		Section 1.001		Section 0.535		Section 0.000	
X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation	X Station	Y Elévation
661	293.67	624.9	288.33	595.4	266.13	339.2	259.1	470.9	257.14	3946.033	255.75	223.9	251.2
704.3	277	688.4	287.4	649.3	265.67	382.4	257.5	504.7	256.83	3959.58	255.1	249.8	250.4
744.4	261.67	716.2	287.2	673.6	265.33	417	254.25	521.6	256.54	4003.4	254.42	297.8	249.6
775	261	737.3	287	732.6	265	445.8	251	535.1	256	4034.4	254	306.3	249.13
794.9	261.56	767.8	287.24	747.5	265.1	464.1	251.68	547.6	256.04	4051.8	254.17	326.6	249
812.3	263	782.6	287.5	769.6	265.4	468.8	255.1	562.1	256.34	4067.34	254.46	364.3	249.5
841.5	276	805.6	288.1	835	266.1	515	258	589.8	256.6	4100.34	255.13	429.3	250
884.8	296.1	836.6	288.5	889.9	266.4	555.4	260.08	618.1	257.1	4131.95	255.9	476.6	251.75

Annexe 7 : Distance entre les sections du modèle géométrique

<i>Code de la section</i>	<i>Distance entre les sections</i>		
	<i>Rive gauche LOB</i>	<i>Canal principal</i>	<i>Rive droite ROB</i>
23.990	500	520	490
23.776	539.09	551.27	532.7
23.427	723.46	721.07	717.67
22.903	985.1	990.58	972.13
22.309	765.38	771.53	765.89
21.995	630.31	626.08	628.22
21.577	468.93	473.2	460.57
21.090	524.95	526.78	525.35
20.917	427.72	425.04	430.95
20.501	509.78	506.01	501.99
20.166	374.37	371.1	343.42
19.770	1625.5	1627.56	1637.63
18.198	1075.53	1078.63	1083.87
17.133	566.65	557.35	546.2
16.365	740	779.92	781.11
15.557	399.8	389	373.62
15.556	429.95	432.74	434.12
15.123	668.96	659.18	653.99
14.517	593.87	609.49	615.57
13.827	949.25	950.33	931.47
13.443	477.61	486.02	485.11
12.875	634.82	618.1	611.13

<i>Code de la section</i>	<i>Distance entre les sections</i>		
	<i>Rive gauche LOB</i>	<i>Canal principal</i>	<i>Rive droite ROB</i>
12.641	417.25	416	413.59
12.009	657.81	670.48	678.95
11.343	673.39	669.84	670
10.886	479.95	475.8	487.82
10.136	809.14	802.2	797.56
9.627	602.25	607.58	609.52
8.843	788.21	789.84	782.17
7.948	945.46	918.1	897.22
7.531	445.88	472.39	497.15
6.849	1209.18	1200.04	1194.95
5.750	645.49	665.61	663.07
5.074	776.25	776.7	776.07
4.469	722.61	723.62	728.63
3.640	798.72	836.01	836.73
3.310	681.22	661.68	620.11
2.751	1250.87	1259.09	1266.81
2.399	340.94	340.76	336.38
2.255	766.35	775.83	788.71
2.102	646.56	652.98	652.79
2.020	920.39	939.24	961.06
1.702	634.03	611.57	602.86
1.672	411.88	420.75	423.54
1.414	403.9	407.3	411.08
1.001	643.44	623.83	610.51
0.535	530.17	539.48	555.51
0.000	515.65	520.97	525.24

Annexe 8 : Coefficients de rugosité de Manning n pour chaque section

code de la section	Coefficient de rugosité		
	rive gauche LOB	canal principal	rive droite ROB
23.990	0.025	0.025	0.025
23.776	0.025	0.025	0.025
23.427	0.025	0.025	0.025
22.903	0.025	0.025	0.025
22.309	0.025	0.025	0.025
21.995	0.025	0.025	0.025
21.577	0.025	0.025	0.025
21.090	0.025	0.025	0.025
20.917	0.025	0.025	0.025
20.501	0.025	0.025	0.025
20.166	0.025	0.025	0.025
19.770	0.025	0.025	0.025
18.198	0.025	0.025	0.03
17.133	0.025	0.025	0.025
16.365	0.025	0.025	0.025
15.557	0.025	0.025	0.025
15.556	0.025	0.025	0.025
15.123	0.025	0.025	0.025
14.517	0.025	0.025	0.025
13.827	0.025	0.025	0.025
13.443	0.025	0.025	0.025
12.875	0.025	0.025	0.025
12.641	0.025	0.025	0.025
12.009	0.025	0.025	0.08

Code de la section	Coefficient de rugosité		
	Rive gauche LOB	Canal principal	Rive droite ROB
11.343	0.025	0.025	0.08
10.886	0.025	0.025	0.025
10.136	0.025	0.025	0.025
9.627	0.025	0.025	0.025
8.843	0.025	0.025	0.025
7.948	0.025	0.025	0.025
7.531	0.025	0.025	0.025
6.849	0.025	0.025	0.025
5.750	0.025	0.025	0.08
5.074	0.025	0.025	0.08
4.469	0.025	0.025	0.025
3.640	0.08	0.045	0.03
3.310	0.08	0.045	0.025
2.751	0.08	0.045	0.025
2.399	0.025	0.045	0.03
2.255	0.08	0.045	0.03
2.102	0.025	0.045	0.03
2.020	0.08	0.045	0.025
1.702	0.025	0.025	0.025
1.672	0.08	0.045	0.08
1.414	0.025	0.045	0.08
1.001	0.025	0.025	0.025
0.535	0.025	0.045	0.025
0.000	0.025	0.025	0.025

Annexe 9 : Stations des rives du canal principal (lit mineur)

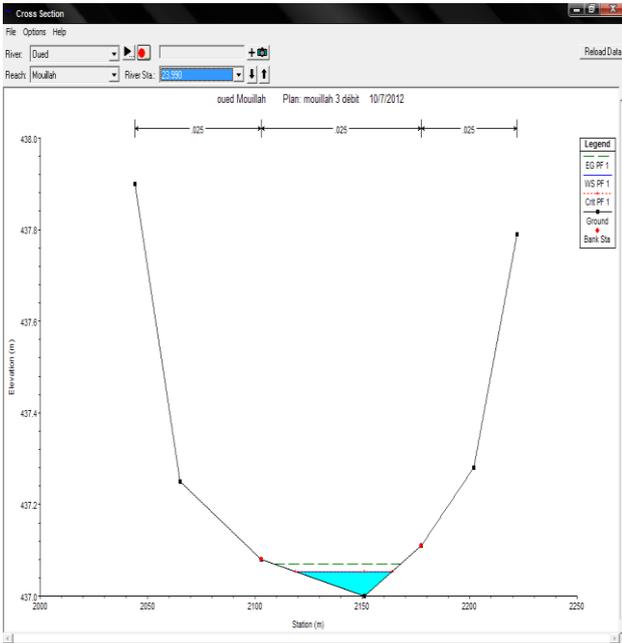
<i>Code de la section</i>	<i>Stations des rives du canal principal</i>	
	<i>X Rive Gauche</i>	<i>X Rive Droite</i>
23.990	2102.9	2177.6
23.776	788.9	883
23.427	2067.1	2106
22.903	2579.2	2696.8
22.309	3054.2	3121.8
21.995	154.2	251.8
21.577	555.6	601.1
21.090	3957.5	4013.4
20.917	4023.4	4088.9
20.501	382.8	406.1
20.166	688.4	700.6
19.770	122	142
18.198	817	831
17.133	811	822.5
16.365	413.02	511.3
15.557	557.3	601.6
15.556	646.02	676.54
15.123	254.1	262.9
14.517	144.08	240.84
13.827	689.9	771.45
13.443	1021.72	1171.78
12.875	671.5	724.3
12.641	1993.74	2030.34
12.009	445.3	613.36
11.343	162.3	198.9

<i>Code de la section</i>	<i>Stations des rives du canal principal</i>	
	<i>X Rive Gauche</i>	<i>X Rive Droite</i>
10.886	543.56	672.17
10.136	296.1	318.2
9.627	706.81	754.1
8.843	537.4	551.1
7.948	427.7	504.9
7.531	875.8	884.6
6.849	504.9	579.1
5.750	652.6	670.9
5.074	379.58	406.2
4.469	87.72	95.45
3.640	782.3	847.1
3.310	1027.53	1061.86
2.751	583.47	614.99
2.399	474.8	526.4
2.255	382.2	450.8
2.102	220.97	267.22
2.020	744.4	794.9
1.702	716.2	767.8
1.672	673.6	747.5
1.414	417	468.8
1.001	521.6	562.1
0.535	4003.4	4067.34
0.000	297.8	364.3

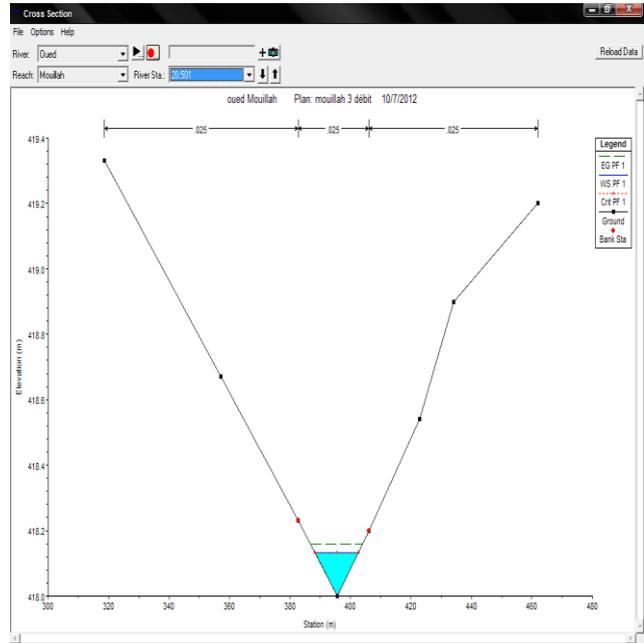
Annexe 10 : Débits moyen caractéristiques d'Oued Mouillah

<i>Qmoy</i>	<i>MOIS</i>												
<i>Année</i>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Déc</i>	<i>Jan</i>	<i>Fév</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aout</i>	<i>Année</i>
1983/1984	0.062	0.061	0.07	4.7	0.27	1.981	4.541	0.924	0.19	0.106	0.078	0.085	1.089
1984	0.087	0.083	0.091	0.1	0.101	1.801	0.282	16.75	0.762	0.283	0.207	0.311	1.738
1985	0.181	0.153	0.2	0.161	0.237	0.366	0.242	0.251	1.125	0.57	2.002	0.244	0.478
1986	0.247	0.403	0.248	0.358	1.715	0.696	0.361	0.344	0.277	0.167	0.135	0.136	0.424
1987	0.457	1.064	2.022	0.421	0.3	0.269	0.167	0.232	0.192	0.145	0.13	0.136	0.461
1988	0.134	0.152	0.14	0.15	0.148	0.52	0.354	0.135	0.13	0.12	0.119	0.119	0.185
1989	0.499	16.58	2.059	0.28	0.312	0.476	0.982	0.298	0.238	0.163	0.153	0.154	1.85
1990	0.379	0.16	0.149	15.13	1.471	0.552	0.387	0.43	0.262	0.538	0.194	0.137	1.649
1991	0.196	0.14	0.165	0.23	0.287	0.262	0.185	0.265	0.287	0.907	0.132	0.512	0.297
1992	0.163	0.223	0.748	0.407	0.349	0.288	0.239	0.137	0.125	0.109	0.107	0.101	0.25
1993	0.086	0.089	0.099	0.476	0.292	0.168	0.467	0.114	1.175	0.141	0.077	0.05	0.269
1994	0.062	0.06	0.764	0.125	0.28	0.146	0.095	0.053	0.446	0.055	0.054	0.039	0.182
1995	0.324	0.131	0.146	0.23	0.354	0.308	0.465	0.07	0.014	0.025	0.03	0.058	0.18
1996	0.289	3.803	14.08	0.233	0.244	0.319	0.338	0.357	0.001	0.017	0.391	0.077	1.679
1997	0.021	2.443	0.091	0.156	0.53	0.1	0.016	0.001	0.504	0.366	0.029	0.006	0.355
1998	0	0.011	1.014	0.132	0.111	0.132	2.392	0.733	0.008	0.025	0.087	0.008	0.388
1999	1.092	0.883	0.748	0.25	1.153	0.084	0.368	1.167	1.473	2.616	0.002	0.081	0.826
2000	1.173	0.479	0.658	0.362	0.142	0.713	9.338	0.164	0	0.115	0.006	0	1.096
2001	1.117	2.166	0.026	0.069	0.059	0.04	0.258	3.549	1.42	0.368	0.036	0.58	0.807
2002	0.016	0.016	0.403	0.065	0.09	0.253	0.198	0.032	0.334	0.017	0.013	0.003	0.12
2003	0.063	0.014	0.117	0.036	0.595	0.794	0.045	0.018	0.011	0.002	0.008	0.002	0.142
2004	0.175	0.219	0.034	0.034	0.055	1.426	12.11	0.361	0.007	0.218	0.006	0.342	1.249
2005	0.313	1.927	0.007	0.019	2.031	0.783	2.026	0.22	0.607	1.109	0.669	0.104	0.818
2006	2.533	0.186	0.015	0.024	0.069	0.017	0.005	0.621	0.007	0.006	0.005	0.781	0.356
2007	2.028	0.14	0.266	2.108	0.076	0.335	0.034	0.046	0.051	0.026	0.013	0.017	0.428
2008/2009	0.336	0.023	0.093	0.064	2.995	0.193	2.223	0.087	0.102	0.114	0.11	0.117	0.538
Moyenne	0.463	1.216	0.94	1.012	0.549	0.501	1.466	1.052	0.375	0.32	0.184	0.161	0.687

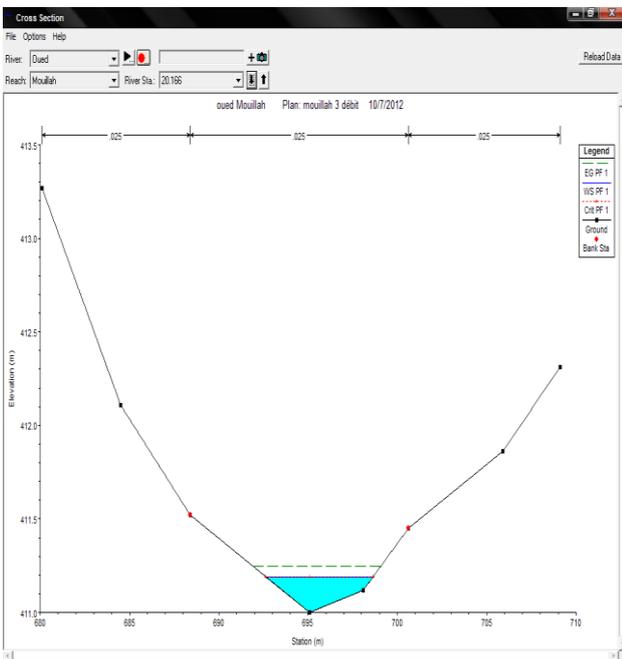
Annexe 11 : Résultats de simulation hydraulique (niveau d'eau de quelques sections transversales)



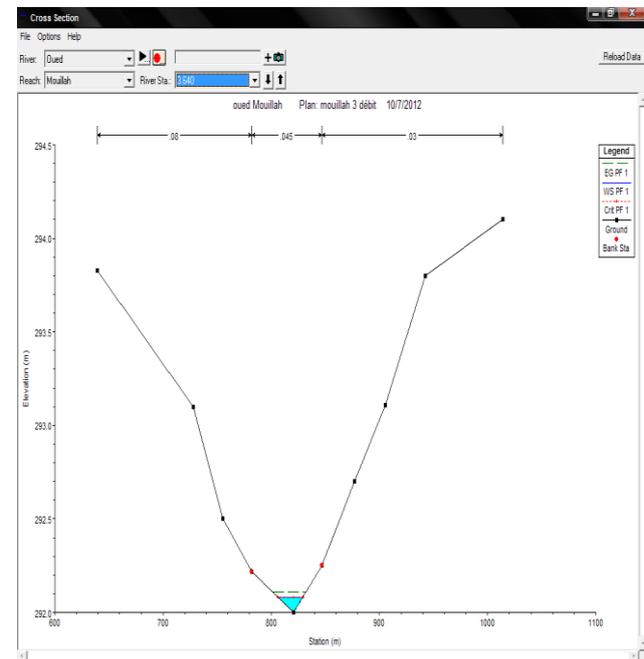
Amont diguette (frontière)



Diguette lac

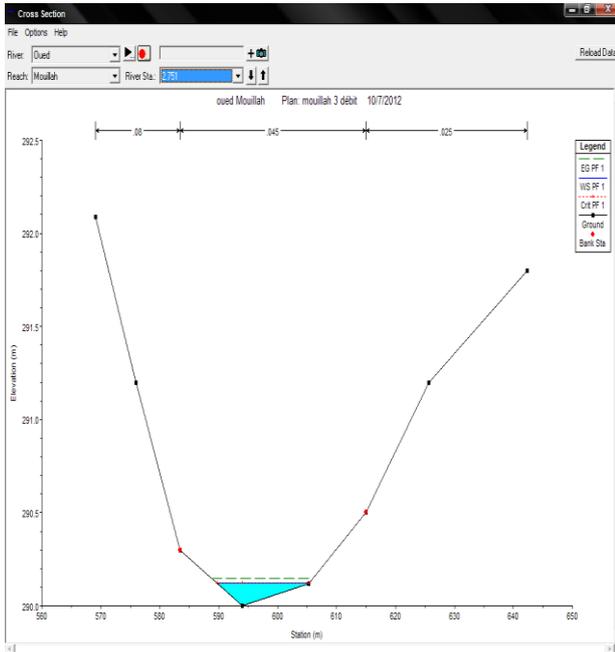


Diguette aval

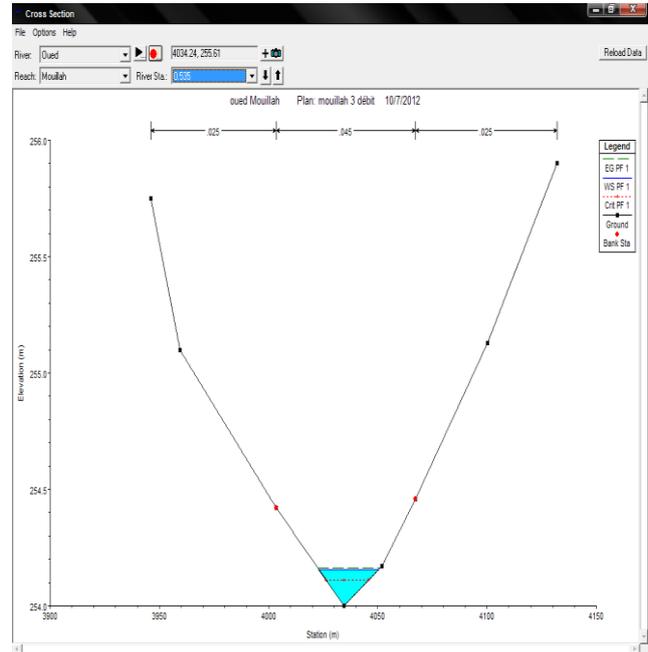


Oued Ouerdeffou

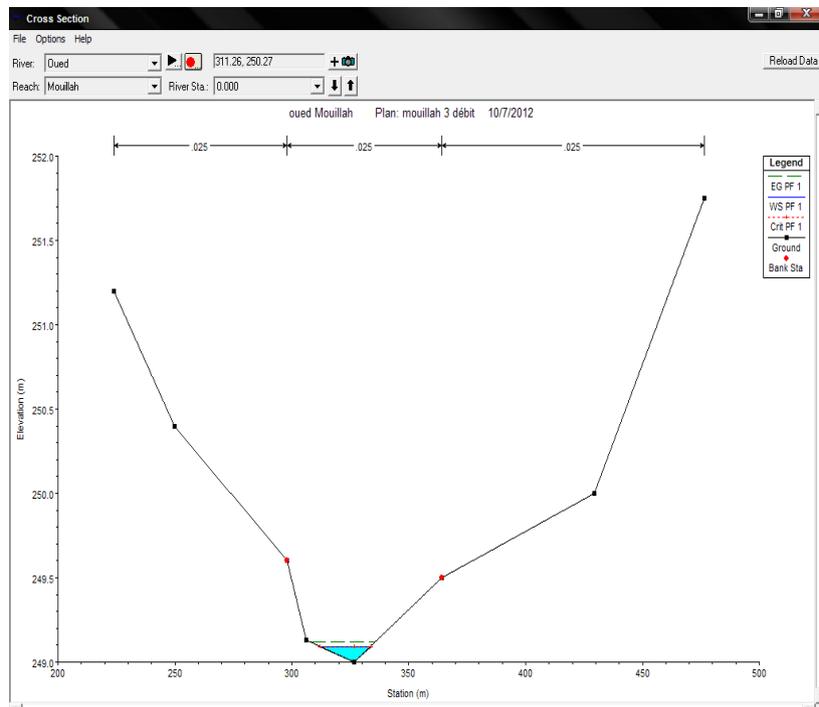
Annexe 11 : Résultats de simulation hydraulique (niveau d'eau de quelques sections transversales)



Sortie de la STEP



Cuvette barrage Boughrara



Sortie barrage Boughrara (Aval)

Annexe 12: Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à l'amont de la diguette (frontière Algéro-marocaine)

Mois	AMONT					DIGUETTE				
	T (°C)	DBO5 mg/l	DCO mg/l	O2 Diss (mg/l)	HCO3 mg/l	Cl mg/l	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l
1/1/2007	11.60	58.00	130.00	6.12	421.00	272.00	23.00	161.00	95.00	70.00
1/2/2007	7.90	68.00	220.00	4.64	512.00	34.00	25.00	150.00	117.00	70.00
1/3/2007	12.70	90.00	220.00	0.58	680.00	427.00	30.00	276.00	100.00	86.00
1/4/2007	16.90	76.00	270.00	2.40	523.00	553.00	31.00	345.00	73.00	90.00
1/5/2007	21.00	141.00	250.00	0.00	647.00	436.00	21.00	288.00	107.00	80.00
1/6/2007	20.40	78.00	240.00	0.00	627.00	436.00	37.00	265.00	101.00	80.00
1/7/2007	26.30	86.00	170.00	0.00	761.00	519.00	35.00	585.00	65.00	118.00
1/8/2007	28.10	116.00	240.00	0.00	614.00	498.00	35.00	294.00	96.00	69.00
1/9/2007	23.40	62.00	170.00	3.72	614.00	360.00	26.00	244.00	97.00	71.00
1/10/2007	17.50	24.00	60.00	5.65	406.00	197.00	21.00	138.00	75.00	73.00
1/11/2007	9.60	42.00	130.00	4.52	413.00	294.00	17.00	202.00	61.00	59.00
1/12/2007	10.80	31.00	80.00	5.93	242.00	143.00	16.00	87.00	47.00	57.00
1/1/2008	12.70	100.00	250.00	3.67	552.00	316.50	28.00	264.50	91.00	77.00
1/2/2008	11.50	27.00	110.00	5.18	608.50	191.50	46.50	246.50	109.00	83.00
1/3/2008	14.00	4.00	20.00	5.94	705.50	380.50	29.50	322.00	102.00	75.50
1/4/2008	15.80	29.00	100.00	4.55	640.50	467.50	31.00	345.00	89.50	87.00
1/5/2008	17.50	58.00	180.00	4.19	692.50	436.00	26.00	351.00	94.50	92.50
1/6/2008	21.00	48.00	160.00	5.81	682.50	446.50	38.50	337.50	85.00	96.00
1/7/2008	25.00	50.00	190.00	4.82	863.50	436.00	33.50	476.50	68.50	117.00
1/8/2008	27.00	74.00	280.00	5.31	805.50	431.00	32.00	326.50	98.00	100.50
1/9/2008	28.00	89.00	220.00	5.14	751.50	353.00	28.50	292.50	90.50	85.50
1/10/2008	23.00	97.00	240.00	5.24	568.50	299.50	26.00	253.00	74.00	88.50
1/11/2008	15.00	106.00	240.00	5.19	569.00	342.50	26.00	303.50	70.50	77.00
1/12/2008	9.00	87.00	240.00	4.76	187.00	88.50	10.50	49.50	41.50	46.00
1/1/2009	14.00	164.80	304.00	0.40	683.00	361.00	33.00	368.00	87.00	84.00
1/2/2009	12.00	30.30	249.00	1.10	705.00	349.00	68.00	343.00	101.00	96.00
1/3/2009	15.00	87.30	289.00	0.00	731.00	334.00	29.00	368.00	104.00	65.00
1/4/2009	20.00	86.70	269.00	0.00	758.00	382.00	31.00	345.00	106.00	84.00
1/5/2009	20.00	60.70	274.00	0.00	738.00	436.00	31.00	414.00	82.00	105.00
1/6/2009	21.00	77.70	386.00	0.00	738.00	457.00	40.00	410.00	69.00	112.00
1/7/2009	26.00	97.90	347.00	0.00	966.00	353.00	32.00	368.00	72.00	116.00
1/8/2009	27.00	32.40	176.00	0.00	997.00	364.00	29.00	359.00	100.00	132.00
1/9/2009	27.00	30.80	190.00	0.00	889.00	346.00	31.00	341.00	84.00	100.00
1/10/2009	22.00	28.80	235.00	0.00	731.00	402.00	31.00	368.00	73.00	104.00
1/11/2009	15.00	83.90	260.00	0.00	725.00	391.00	35.00	405.00	80.00	95.00
1/12/2009	5.00	4.90	20.00	9.50	132.00	34.00	5.00	12.00	36.00	35.00

Annexe 12 : Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à l'amont de la diguette (suite)

Mois	AMONT						DIGUETTE				
	NO2 mg/l	NO3 mg/l	NH4 mg/l	N.Kjel mg/l	P.total mg/l	PO4 mg/l	SO4 mg/l	MES mg/l	Phosphore Organique mg/l	Azote Organique mg/l	Minéra- lisation mg/l
1/1/2007	0.05	6.00	24.40	25.20	14.50	11.25	168.00	24.00	3.25	0.80	1216.0
1/2/2007	0.35	6.00	15.20	39.20	15.00	6.50	216.00	78.00	8.50	24.00	1130.0
1/3/2007	0.03	2.00	38.00	68.60	27.50	23.00	187.00	72.00	4.50	30.60	1788.0
1/4/2007	0.09	52.00	26.00	52.50	25.00	22.50	187.00	38.00	2.50	26.50	1854.0
1/5/2007	0.15	4.00	34.40	42.70	14.00	12.85	204.00	158.00	1.15	8.30	1787.0
1/6/2007	0.05	5.00	43.00	49.00	29.00	22.50	192.00	216.00	6.50	6.00	1743.0
1/7/2007	0.03	4.00	36.40	49.00	31.50	30.00	84.00	108.00	1.50	12.60	2171.0
1/8/2007	0.12	4.00	40.00	51.10	23.00	5.00	77.00	204.00	18.00	11.10	1687.0
1/9/2007	2.00	5.00	13.40	47.60	18.00	17.00	163.00	24.00	1.00	34.20	1580.0
1/10/2007	0.03	1.00	10.00	10.00	10.50	8.00	144.00	550.00	2.50	0.00	1055.0
1/11/2007	0.00	4.00	15.40	21.00	10.25	9.63	82.00	146.00	0.62	5.60	1132.0
1/12/2007	0.08	4.00	12.60	13.30	6.75	5.42	96.00	126.00	1.33	0.70	692.0
1/1/2008	0.02	4.00	36.40	37.45	20.00	15.40	222.50	44.00	4.60	1.05	1555.5
1/2/2008	0.35	2.00	9.00	11.90	4.00	3.60	264.00	184.00	0.40	2.90	1551.0
1/3/2008	0.20	7.00	0.18	0.35	0.28	0.10	271.00	160.28	0.18	0.17	1893.0
1/4/2008	0.01	4.00	13.80	50.05	5.50	2.92	208.00	3.00	2.58	36.25	1872.5
1/5/2008	0.03	5.00	18.00	43.40	15.00	13.75	260.00	6.00	1.25	25.40	1957.5
1/6/2008	0.03	5.00	22.00	61.60	17.90	10.75	222.50	6.00	7.15	39.60	1913.5
1/7/2008	0.05	1.00	22.20	48.30	15.00	9.40	127.00	52.00	5.60	26.10	2123.0
1/8/2008	0.02	4.00	12.80	51.10	18.75	12.80	137.50	108.00	5.95	38.30	1935.0
1/9/2008	0.05	2.00	39.00	53.20	19.00	17.80	181.00	48.00	1.20	14.20	1784.5
1/10/2008	0.07	4.00	26.00	42.45	17.05	15.72	176.00	64.00	1.33	16.45	1489.5
1/11/2008	0.03	10.00	38.50	40.00	27.30	18.93	205.00	72.00	8.37	1.50	1603.5
1/12/2008	0.07	14.00	29.60	36.00	26.79	21.15	107.00	52.00	5.64	6.40	544.0
1/1/2009	0.20	32.00	33.00	46.20	43.80	32.40	277.00	162.00	11.40	13.20	1925.0
1/2/2009	2.50	17.00	70.50	72.10	37.20	32.60	312.00	170.00	4.60	1.60	1991.0
1/3/2009	0.17	21.00	38.00	42.70	36.50	27.10	355.00	202.00	9.40	4.70	2007.0
1/4/2009	0.18	4.00	38.80	47.60	25.10	21.10	229.00	174.00	4.00	8.80	1939.0
1/5/2009	0.20	11.00	38.00	44.10	24.70	22.40	316.00	130.00	2.30	6.10	2133.0
1/6/2009	0.17	9.00	65.60	74.20	42.00	39.90	253.00	218.00	2.10	8.60	2088.0
1/7/2009	0.14	6.00	46.50	47.60	26.50	23.40	170.00	238.00	3.10	1.10	2083.0
1/8/2009	0.14	5.00	47.50	51.10	25.50	24.50	198.00	162.00	1.00	3.60	2184.0
1/9/2009	0.06	3.00	43.00	58.80	37.90	23.10	199.00	226.00	14.80	15.80	1993.0
1/10/2009	0.20	5.00	43.00	74.90	31.20	25.40	208.00	90.00	5.80	31.90	1922.0
1/11/2009	0.16	10.00	43.60	56.00	31.00	28.20	328.00	138.00	2.80	12.40	2069.0
1/12/2009	0.06	5.00	0.80	2.10	1.96	1.80	118.00	386.00	0.16	1.30	377.0

Annexe 13 : Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à la Diguette lac

Mois	DIGUETTE					LAC				
	T (°C)	DBO5 mg/l	DCO mg/l	O2 Diss (mg/l)	HCO3 mg/l	Cl mg/l	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l
1/1/2007	10.60	49.60	150.00	5.72	483.00	265.00	26.00	170.00	107.00	70.00
1/2/2007	8.90	90.60	299.00	3.54	612.00	27.00	20.00	189.00	139.00	46.00
1/3/2007	12.70	120.50	210.00	0.58	680.00	460.00	30.00	318.00	93.00	82.00
1/4/2007	15.90	55.70	300.00	2.40	597.00	574.00	36.00	391.00	71.00	86.00
1/5/2007	21.00	122.00	231.00	0.00	748.00	423.00	23.00	290.00	100.00	88.00
1/6/2007	22.40	80.90	141.00	0.00	694.00	354.00	34.00	205.00	110.00	76.00
1/7/2007	26.30	80.60	78.00	0.00	721.00	575.00	37.00	599.00	80.00	114.00
1/8/2007	28.10	123.20	280.00	0.00	582.00	519.00	41.00	303.00	99.00	45.00
1/9/2007	22.40	71.60	180.00	3.72	516.00	394.00	29.00	262.00	87.00	91.00
1/10/2007	16.50	37.00	31.00	5.65	374.00	170.00	22.00	115.00	74.00	77.00
1/11/2007	10.60	62.80	270.00	4.52	215.00	207.00	10.00	92.00	50.00	59.00
1/12/2007	10.80	31.00	80.00	5.93	242.00	143.00	16.00	87.00	47.00	57.00
1/1/2008	11.70	33.00	270.00	3.27	614.00	309.50	31.00	273.50	103.00	77.00
1/2/2008	12.50	49.60	189.00	4.08	708.50	184.50	13.50	285.50	131.00	59.00
1/3/2008	13.00	34.50	10.00	5.94	705.50	413.50	29.50	364.00	95.00	71.50
1/4/2008	16.70	8.70	130.00	4.55	714.50	488.50	36.00	391.00	87.50	83.00
1/5/2008	17.00	64.00	161.00	4.19	793.50	423.00	28.00	353.00	87.50	100.50
1/6/2008	22.00	50.90	61.00	5.81	749.50	364.50	35.50	277.50	94.00	92.00
1/7/2008	23.00	44.60	98.00	4.82	823.50	492.00	35.50	490.50	83.50	113.00
1/8/2008	26.00	81.20	320.00	5.31	773.50	452.00	38.00	335.50	101.00	76.50
1/9/2008	27.00	98.60	230.00	5.14	653.50	387.00	31.50	310.50	80.50	105.50
1/10/2008	19.00	110.00	211.00	5.24	536.50	272.50	27.00	230.00	73.00	92.50
1/11/2008	16.00	126.80	380.00	5.19	371.00	255.50	19.00	193.50	59.50	77.00
1/12/2008	9.00	87.00	240.00	4.76	187.00	88.50	10.50	49.50	41.50	46.00
1/1/2009	13.00	97.80	324.00	0.00	745.00	354.00	36.00	377.00	99.00	84.00
1/2/2009	13.00	52.90	328.00	0.00	805.00	342.00	35.00	382.00	123.00	72.00
1/3/2009	15.00	117.80	279.00	0.00	731.00	367.00	29.00	410.00	97.00	61.00
1/4/2009	19.00	66.40	299.00	0.00	832.00	403.00	36.00	391.00	104.00	80.00
1/5/2009	20.00	66.70	255.00	0.00	839.00	423.00	33.00	416.00	75.00	113.00
1/6/2009	23.00	80.60	287.00	0.00	805.00	375.00	37.00	350.00	78.00	108.00
1/7/2009	26.00	92.50	255.00	0.00	926.00	409.00	34.00	382.00	87.00	112.00
1/8/2009	27.00	39.60	216.00	0.00	965.00	385.00	35.00	368.00	103.00	108.00
1/9/2009	26.00	40.40	200.00	0.00	791.00	380.00	34.00	359.00	74.00	120.00
1/10/2009	21.00	41.80	206.00	0.00	699.00	375.00	32.00	345.00	72.00	108.00
1/11/2009	16.00	104.70	400.00	0.00	527.00	304.00	28.00	295.00	69.00	95.00
1/12/2009	5.00	4.90	20.00	9.50	132.00	34.00	5.00	12.00	36.00	35.00

Annexe 13 : Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à la Diguette lac (Suite)

Mois	DIGUETTE						LAC				
	NO2 mg/l	NO3 mg/l	NH4 mg/l	N.Kjel mg/l	P.total mg/l	PO4 mg/l	SO4 mg/l	MES mg/l	Phosphore Organique mg/l	Azote Organique mg/l	Miné- ralisation mg/l
1/1/2007	0.12	7.00	22.50	42.70	18.32	17.15	153.00	104.00	1.17	20.20	1281.0
1/2/2007	0.45	5.00	35.20	60.20	17.57	10.70	314.00	80.00	6.87	25.00	1352.0
1/3/2007	0.04	2.00	41.50	75.60	47.90	29.40	246.00	75.00	18.50	34.10	1911.0
1/4/2007	0.11	51.00	26.80	49.00	25.90	24.40	160.00	34.00	1.50	22.20	1966.0
1/5/2007	0.15	3.00	42.40	51.80	21.20	18.45	173.00	150.00	2.75	9.40	1848.0
1/6/2007	0.05	2.00	27.40	29.40	25.90	19.40	160.00	140.00	6.50	2.00	1635.0
1/7/2007	0.05	4.00	34.90	49.70	38.40	35.10	74.00	80.00	3.30	14.80	2204.0
1/8/2007	0.11	4.00	41.50	54.60	34.15	30.00	20.00	140.00	4.15	13.10	1613.0
1/9/2007	2.01	6.00	16.40	44.80	29.80	27.30	139.00	112.50	2.50	28.40	1524.0
1/10/2007	0.04	0.00	12.00	25.00	20.10	20.10	145.00	480.00	0.00	13.00	977.0
1/11/2007	0.02	3.00	10.00	13.30	15.10	15.10	68.00	94.00	0.00	3.30	704.0
1/12/2007	0.08	4.00	12.60	13.30	17.40	17.40	96.00	126.00	0.00	0.70	692.0
1/1/2008	0.09	3.00	44.90	54.95	25.82	21.30	207.50	90.00	4.52	10.05	1618.5
1/2/2008	0.45	1.00	29.00	32.90	16.57	15.00	362.00	1768.00	1.57	3.90	1745.0
1/3/2008	0.21	4.00	15.10	37.00	20.68	17.00	330.00	159.64	3.68	21.90	2013.0
1/4/2008	0.03	3.00	14.60	46.55	26.40	18.40	181.00	120.00	8.00	31.95	1984.5
1/5/2008	0.03	4.00	26.00	52.50	22.20	19.35	229.00	180.00	2.85	26.50	2018.5
1/6/2008	0.03	2.00	22.40	42.00	24.80	16.10	190.50	150.00	8.70	19.60	1805.5
1/7/2008	0.07	1.00	20.70	49.00	17.90	14.50	117.00	148.00	3.40	28.30	2156.0
1/8/2008	0.01	4.00	14.30	54.60	19.90	13.80	80.50	111.10	6.10	40.30	1861.0
1/9/2008	0.06	3.00	42.00	50.40	29.80	28.10	157.00	188.00	1.70	8.40	1728.5
1/10/2008	0.03	3.00	20.00	38.40	17.35	11.22	177.00	168.00	6.13	18.40	1411.5
1/11/2008	0.01	3.00	28.50	32.30	19.30	17.80	191.00	90.00	1.50	3.80	1169.5
1/12/2008	0.07	14.00	29.60	36.00	26.79	21.15	107.00	98.00	5.64	6.40	544.0
1/1/2009	0.27	15.00	41.50	63.70	42.62	38.30	262.00	242.00	4.32	22.20	1972.0
1/2/2009	2.60	16.00	90.50	93.10	39.77	36.80	410.00	98.00	2.97	2.60	2185.0
1/3/2009	0.18	18.00	41.50	49.70	56.90	33.50	414.00	138.00	23.40	8.20	2127.0
1/4/2009	0.20	3.00	39.60	44.10	26.00	23.00	202.00	170.00	3.00	4.50	2051.0
1/5/2009	0.20	5.00	46.00	53.20	31.90	28.00	285.00	458.00	3.90	7.20	2189.0
1/6/2009	0.17	6.00	50.00	54.60	38.90	36.80	221.00	142.00	2.10	4.60	1980.0
1/7/2009	0.16	6.00	45.00	48.30	29.40	28.50	160.00	160.00	0.90	3.30	2116.0
1/8/2009	0.13	5.00	49.00	54.60	26.65	25.50	141.00	98.00	1.15	5.60	2110.0
1/9/2009	0.07	4.00	46.00	56.00	42.70	33.40	175.00	90.00	9.30	10.00	1937.0
1/10/2009	0.16	4.00	37.00	39.90	21.50	20.90	209.00	94.00	0.60	2.90	1844.0
1/11/2009	0.14	3.00	33.60	48.30	21.00	18.50	314.00	86.00	2.50	14.70	1635.0
1/12/2009	0.06	5.00	0.80	2.10	1.96	1.80	118.00	386.00	0.16	1.30	377.0

Annexe 14 : Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à l'aval de la Diguette

AVAL DIGUETTE										
Mois	T° (°C)	DBO5 mg/l	DCO mg/l	O2 Diss (mg/l)	HCO3 mg/l	Cl mg/l	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l
1/1/2007	10.60	51.00	81.00	6.23	524.00	279.00	26.00	182.00	107.00	70.00
1/2/2007	8.40	71.60	210.00	4.28	606.00	41.00	21.00	173.00	125.00	66.00
1/3/2007	12.70	54.20	249.00	0.58	714.00	460.00	33.00	250.00	110.00	90.00
1/4/2007	15.90	54.10	170.00	2.83	563.00	527.00	34.00	345.00	78.00	78.00
1/5/2007	22.00	83.70	221.00	2.50	694.00	409.00	23.00	274.00	99.00	88.00
1/6/2007	23.40	29.40	192.00	0.00	694.00	354.00	34.00	221.00	105.10	76.00
1/7/2007	27.30	69.80	120.00	0.00	714.00	593.00	37.00	604.00	75.00	122.00
1/8/2007	28.10	87.50	260.00	0.00	582.00	519.00	41.00	257.00	108.00	57.00
1/9/2007	22.40	73.60	120.00	3.45	582.00	441.00	27.00	276.00	107.00	83.00
1/10/2007	17.50	33.00	50.00	4.90	406.00	218.00	26.00	147.00	73.00	89.00
1/11/2007	10.60	9.20	150.00	4.97	281.00	213.00	11.00	103.00	54.00	59.00
1/12/2007	10.80	32.20	80.00	3.11	209.00	143.00	17.00	87.00	63.00	61.00
1/1/2008	11.50	12.60	201.00	3.78	655.00	323.50	31.00	285.50	103.00	77.00
1/2/2008	12.50	30.60	100.00	4.83	702.50	198.50	12.50	269.50	117.00	79.00
1/3/2008	14.00	25.80	49.00	5.94	739.50	413.50	32.50	359.00	100.00	79.50
1/4/2008	15.60	40.30	120.00	4.98	680.50	441.50	34.00	345.00	94.50	75.00
1/5/2008	20.90	66.30	151.00	4.19	739.50	409.00	28.00	337.00	86.50	100.50
1/6/2008	22.00	45.20	158.00	5.81	749.50	364.50	35.50	293.50	99.00	92.00
1/7/2008	26.50	33.80	160.00	4.82	816.50	510.00	35.50	495.50	78.50	121.00
1/8/2008	27.00	75.00	300.00	5.31	773.50	452.00	38.00	289.50	120.00	88.50
1/9/2008	28.00	80.00	170.00	5.14	719.50	434.00	29.50	324.50	100.50	97.50
1/10/2008	18.50	85.00	191.00	5.24	568.50	320.50	31.00	262.00	72.00	104.50
1/11/2008	13.00	95.10	260.00	5.64	437.00	261.50	20.00	204.50	63.50	77.00
1/12/2008	9.00	88.20	240.00	1.94	154.00	88.50	11.50	49.50	40.50	50.00
1/1/2009	13.00	77.40	255.00	0.51	786.00	368.00	36.00	389.00	99.00	84.00
1/2/2009	12.50	33.90	239.00	0.75	799.00	356.00	34.00	366.00	109.00	92.00
1/3/2009	15.00	51.50	318.00	0.00	765.00	367.00	32.00	405.00	102.00	69.00
1/4/2009	19.00	64.80	169.00	0.43	798.00	356.00	34.00	345.00	111.00	72.00
1/5/2009	21.00	69.00	245.00	0.00	785.00	409.00	33.00	400.00	74.00	113.00
1/6/2009	24.00	29.10	238.00	0.00	805.00	375.00	37.00	366.00	83.00	108.00
1/7/2009	27.00	81.70	184.00	0.00	919.00	427.00	34.00	387.00	82.00	120.00
1/8/2009	27.00	67.30	196.00	0.00	965.00	385.00	35.00	322.00	122.00	120.00
1/9/2009	26.00	42.40	140.00	0.00	857.00	427.00	32.00	373.00	94.00	112.00
1/10/2009	22.00	37.80	186.00	0.00	731.00	423.00	36.00	377.00	71.00	120.00
1/11/2009	16.00	51.10	280.00	0.45	593.00	310.00	29.00	306.00	73.00	95.00
1/12/2009	5.00	6.10	20.00	6.67	99.00	34.00	6.00	12.00	22.00	39.00

Annexe 14: Résultats d'analyse de la qualité de l'eau à l'aval de la Diguette (Suite)

AVAL DIGUETTE											
Mois	NO2 mg/l	NO3 mg/l	NH4 mg/l	N.Kjel mg/l	P.total mg/l	PO4 mg/l	SO4 mg/l	MES mg/l	Phosphore Organique mg/l	Azote Organique mg/l	Miné- ralisation mg/l
1/1/2007	0.05	10.00	25.00	27.00	10.01	8.45	187.00	20.00	1.56	2.00	1385.0
1/2/2007	0.35	4.00	17.00	29.00	11.40	5.00	150.00	120.00	6.40	12.00	1186.0
1/3/2007	0.05	1.00	39.50	79.10	28.40	26.30	167.00	98.00	2.10	39.60	1825.0
1/4/2007	0.08	50.00	27.20	46.90	27.00	24.90	145.00	69.00	2.10	19.70	1820.0
1/5/2007	0.15	2.00	32.00	32.00	18.10	17.25	165.00	132.00	0.85	0.00	1754.0
1/6/2007	0.02	3.00	35.00	35.00	26.80	17.40	155.00	178.00	9.40	0.00	1642.1
1/7/2007	0.03	4.00	33.40	39.00	34.10	29.00	74.00	96.00	5.10	5.60	2223.0
1/8/2007	0.12	4.00	42.50	45.70	24.71	7.00	67.00	14.51	17.71	3.20	1635.0
1/9/2007	2.01	5.00	17.40	49.00	21.10	19.80	134.00	35.00	1.30	31.60	1655.0
1/10/2007	1.10	1.10	15.00	18.60	15.00	4.00	145.00	7.40	11.00	3.60	1105.1
1/11/2007	0.80	0.80	14.20	14.20	11.20	5.63	65.00	125.00	5.57	0.00	786.8
1/12/2007	0.60	0.60	13.11	13.30	6.45	4.97	70.00	113.00	1.48	0.19	650.6
1/1/2008	0.50	0.50	28.90	28.90	15.51	12.60	198.00	2.91	2.91	0.00	1673.5
1/2/2008	0.35	2.00	12.10	12.10	5.00	2.10	203.00	168.00	2.90	0.00	1584.0
1/3/2008	0.22	6.00	1.68	10.85	18.38	3.40	308.00	5.81	14.98	9.17	2038.0
1/4/2008	0.01	3.00	15.00	44.45	7.50	5.32	166.00	100.00	2.18	29.45	1839.5
1/5/2008	0.03	4.00	21.00	29.50	18.70	18.15	221.00	85.00	0.55	8.50	1925.5
1/6/2008	0.04	3.50	24.00	35.00	15.70	5.65	185.50	80.00	10.05	11.00	1823.0
1/7/2008	0.05	1.00	19.20	59.50	17.60	8.40	117.00	48.00	9.20	40.30	2175.0
1/8/2008	0.02	4.00	15.30	65.00	16.10	14.80	95.40	97.00	1.30	49.70	1860.9
1/9/2008	0.06	3.00	35.00	35.00	21.50	20.60	152.00	0.90	0.90	0.00	1860.5
1/10/2008	0.05	2.00	31.00	38.00	15.00	11.72	177.00	3.72	3.28	7.00	1537.5
1/11/2008	0.04	8.00	26.90	30.90	17.80	9.93	188.00	68.00	7.87	4.00	1259.5
1/12/2008	0.06	11.00	30.11	36.00	26.49	20.70	81.00	60.00	5.79	5.89	486.0
1/1/2009	0.20	16.00	46.00	70.70	39.31	29.60	296.00	134.00	9.71	24.70	2074.0
1/2/2009	2.50	13.00	95.50	98.70	33.60	31.10	455.00	574.00	2.50	3.20	2224.0
1/3/2009	0.19	20.00	39.50	53.20	54.60	30.40	392.00	126.00	24.20	13.70	2152.0
1/4/2009	0.17	5.00	40.00	42.00	27.10	23.50	187.00	1834.00	3.60	2.00	1908.0
1/5/2009	0.20	5.00	48.00	51.10	27.80	26.80	277.00	934.00	1.00	3.10	2096.0
1/6/2009	0.14	7.00	41.20	43.40	39.80	34.80	216.00	802.00	5.00	2.20	1997.0
1/7/2009	0.14	6.00	43.50	58.80	29.10	22.40	160.00	106.00	6.70	15.30	2135.0
1/8/2009	0.14	5.00	50.00	82.60	27.21	26.50	127.00	97.00	0.71	32.60	2081.0
1/9/2009	0.07	3.00	47.00	60.20	38.00	25.90	170.00	250.00	12.10	13.20	2068.0
1/10/2009	0.14	4.00	48.00	60.20	23.50	21.40	209.00	50.00	2.10	12.20	1971.0
1/11/2009	0.14	2.00	32.00	46.90	21.50	19.20	311.00	54.00	2.30	14.90	1719.0
1/12/2009	6.00	5.00	1.31	2.10	1.66	1.35	92.00	337.00	0.31	0.79	309.0

Annexe 15 : Résultats d'analyse de la qualité des eaux d'Oued Ouerdeffou

Date de prélèvement	CONCENTRATION PONDEREES								
	T °C	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	O2diss (mg/l)	CO3H (mg/l)	Cl (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)
1/1/2007	15.63	534.89	1011.92	2.50	179.53	816.62	23.77	696.41	139.87
1/2/2007	17.50	763.93	1215.91	2.69	238.37	498.67	27.96	455.29	95.19
1/3/2007	20.48	1516.13	2898.52	3.01	400.73	1768.06	32.03	1368.93	214.92
1/4/2007	23.50	566.02	1029.60	2.07	550.01	1381.05	40.38	1097.50	184.97
1/5/2007	26.78	724.92	1142.62	4.80	625.02	974.42	37.66	1196.67	86.60
1/6/2007	26.88	7278.74	12549.50	3.85	456.46	1075.60	124.76	1306.47	139.95
1/7/2007	31.53	8387.03	11127.29	2.08	469.55	1515.59	44.55	2048.33	117.76
1/8/2007	25.25	509.58	954.95	3.13	225.61	545.97	17.88	1335.59	97.84
1/9/2007	23.50	338.61	645.65	2.59	278.09	530.44	17.93	587.46	143.74
1/10/2007	20.95	403.33	676.53	1.66	295.96	548.65	22.06	581.96	92.92
1/11/2007	19.00	578.40	746.28	1.33	266.75	540.51	27.67	515.12	89.16
1/12/2007	16.75	1252.47	2200.68	4.80	330.67	690.60	25.36	958.59	93.11
1/1/2008	15.00	3814.57	5931.77	3.29	523.53	1304.58	21.01	2357.72	127.72
1/2/2008	16.55	1703.09	3593.75	4.99	329.16	1053.94	17.89	1321.72	109.39
1/3/2008	18.67	6222.82	7954.52	4.37	480.23	1276.13	16.34	1714.75	127.33
1/4/2008	19.35	3726.90	5028.18	5.47	407.27	1379.42	16.18	1648.80	117.91
1/5/2008	24.00	5060.78	7409.28	2.24	318.43	698.70	16.38	1227.61	129.00
1/6/2008	27.38	2150.99	3287.66	5.13	309.12	783.47	14.22	1328.43	91.80
1/7/2008	27.50	5180.68	7011.94	2.91	499.84	1316.56	16.49	2087.73	139.35
1/8/2008	25.13	2949.30	4691.68	3.63	331.42	915.92	15.05	1136.25	129.19
1/9/2008	21.75	3568.53	4080.48	4.64	306.18	716.21	15.49	929.44	103.54
1/10/2008	19.45	4280.58	8190.37	3.78	402.42	1147.54	14.69	1640.25	126.41
1/11/2008	17.88	919.84	1747.05	3.97	282.45	635.93	14.06	774.05	110.50
1/12/2008	15.75	2293.80	2958.14	5.02	321.25	842.59	15.00	1148.14	97.34
1/1/2009	15.50	2456.89	5042.42	4.22	395.14	1366.08	18.82	1920.75	132.69
1/2/2009	16.50	2902.41	3672.94	4.57	399.01	1431.00	20.37	1978.15	139.46
1/3/2009	18.73	2095.76	2836.09	4.72	360.09	1595.79	21.78	1910.75	161.27
1/4/2009	22.00	4048.93	4919.20	3.81	179.53	1163.74	18.09	1624.73	126.12
1/5/2009	24.13	1944.00	1681.05	3.93	346.18	1205.19	18.79	1434.29	133.36
1/6/2009	26.00	1219.63	859.49	4.45	213.89	605.11	18.53	603.66	92.33
1/7/2009	27.25	4942.65	4099.97	2.26	279.86	849.73	30.01	1058.07	123.04
1/8/2009	26.75	5481.43	7313.50	1.46	589.05	1320.41	34.05	2730.91	132.48
1/9/2009	24.75	3258.02	4370.54	3.49	463.20	1310.09	25.72	2098.31	130.48
1/10/2009	21.00	2286.09	2305.37	5.06	349.28	888.19	19.31	1169.04	93.81
1/11/2009	18.50	1600.79	1925.52	5.23	337.80	1088.33	18.43	1370.15	119.05
1/12/2009	16.50	714.84	1414.22	5.54	318.62	881.82	15.76	1161.70	104.83

Annexe 15 : Résultats d'analyse de la qualité des eaux d'Oued Ouerdeffou (Suite)

CONCENTRATION PONDEREES										
Date de prélèvement	Ca (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NH4 (mg/l)	N Kjel (mg/l)	P Total (mg/l)	PO4 (mg/l)	SO4 (mg/l)	MES (mg/l)	Minéralisation mg/l
1/1/2007	234.01	2.25	22.97	4.24	10.15	23.96	14.19	2871.15	5730.53	4961.4
1/2/2007	178.92	3.05	29.70	3.38	5.27	15.51	10.98	564.78	28159.67	2059.2
1/3/2007	88.96	1.00	17.23	20.31	26.53	63.60	58.19	1859.64	16715.98	5733.3
1/4/2007	238.45	1.97	11.31	8.03	10.26	28.12	23.19	1019.15	27792.47	4511.5
1/5/2007	310.40	1.07	19.52	3.68	5.01	9.11	7.03	1536.17	50660.65	4766.9
1/6/2007	329.75	0.27	18.95	24.17	25.85	165.33	119.86	1274.35	58821.15	4707.3
1/7/2007	530.81	0.59	11.46	23.09	27.67	143.22	43.30	2487.85	49005.96	7214.4
1/8/2007	210.95	4.54	11.46	8.80	11.79	6.34	3.60	1594.57	15195.25	4028.4
1/9/2007	80.42	5.87	14.15	3.73	6.04	12.86	8.81	2222.74	8291.57	3860.8
1/10/2007	164.53	6.61	16.74	2.52	3.81	5.90	3.44	1372.61	8778.17	3078.7
1/11/2007	145.44	4.71	11.45	9.77	11.97	8.22	6.38	394.86	14549.32	1979.5
1/12/2007	225.20	4.52	10.07	17.35	22.79	33.74	26.72	1294.52	12485.05	3618.1
1/1/2008	471.34	3.21	12.22	46.19	58.34	34.75	25.78	3217.57	12570.82	8023.5
1/2/2008	302.14	5.07	12.30	18.02	32.91	59.26	14.55	2105.98	24674.95	5240.2
1/3/2008	405.41	6.77	12.85	72.30	87.98	51.76	21.79	2696.12	47003.36	6716.3
1/4/2008	499.65	4.86	14.39	44.31	51.74	26.58	11.59	3031.25	13645.82	7100.5
1/5/2008	226.91	0.40	10.12	56.09	70.21	18.93	12.06	1822.05	37548.62	4439.1
1/6/2008	229.41	1.54	9.94	16.45	19.65	24.45	20.73	1880.36	58056.46	4636.8
1/7/2008	396.83	0.81	14.72	8.34	15.52	97.76	82.83	3525.58	45009.80	7982.4
1/8/2008	274.85	0.85	15.36	28.36	32.90	71.11	56.78	2180.94	7070.54	4983.6
1/9/2008	203.55	1.66	9.68	72.30	78.08	9.67	5.74	1523.19	8876.58	3797.6
1/10/2008	334.57	3.11	10.60	9.13	12.72	75.38	55.96	2511.12	8965.35	6177.0
1/11/2008	189.03	1.40	34.02	15.31	38.38	6.83	4.91	1290.31	80570.93	3296.3
1/12/2008	252.61	3.18	10.89	21.56	27.12	72.62	61.85	1825.53	11874.68	4502.5
1/1/2009	415.90	0.35	14.39	10.06	14.47	50.86	38.71	3192.94	9557.37	7442.3
1/2/2009	433.35	7.05	9.55	10.57	12.89	36.35	31.85	3331.67	12055.83	7733.0
1/3/2009	483.56	0.65	15.10	10.83	15.04	28.39	20.65	3597.37	6234.54	8130.6
1/4/2009	354.40	0.68	15.46	15.78	18.80	55.54	46.78	2690.58	26937.19	4961.4
1/5/2009	368.87	0.92	15.44	16.58	23.55	64.24	53.52	2673.71	34717.34	6180.4
1/6/2009	183.06	11.68	14.15	9.19	13.62	34.42	30.70	1079.36	20486.24	2795.9
1/7/2009	255.71	1.94	17.04	29.11	34.64	68.87	57.56	1874.74	62946.78	4471.2
1/8/2009	427.58	1.39	15.12	18.63	24.50	52.51	41.03	3659.24	33586.48	8893.7
1/9/2009	412.59	1.79	15.33	9.57	14.41	53.45	46.22	3232.16	28755.26	7672.6
1/10/2009	244.73	3.43	17.63	15.12	17.74	27.04	21.79	1843.74	19251.27	4608.1
1/11/2009	320.18	3.42	18.53	4.24	17.13	20.20	15.43	2362.53	18828.71	5616.5
1/12/2009	264.15	0.38	21.28	6.05	9.58	11.46	7.42	1928.26	16001.81	4675.1

Annexe 15 : Résultats d'analyse de la qualité des eaux d'Oued Ouereffou (Suite)

Date de prélèvement	CONCENTRATION PONDEREES								
	P org (mg/l)	Norg (mg/l)	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (mg/l)	Al (mg/l)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)
1/1/2007	9.77	5.91	0.050	22.068	0.215	0.645	14.830	0.928	1.709
1/2/2007	4.54	1.89	0.052	2.158	0.123	1.991	40.788	1.119	2.079
1/3/2007	5.41	6.22	7.734	1.611	0.134	2.612	37.521	0.893	0.248
1/4/2007	4.93	2.24	0.095	4.888	0.149	3.864	36.510	0.997	12.735
1/5/2007	2.08	1.32	0.086	0.772	0.049	2.352	25.892	0.563	7.320
1/6/2007	45.48	1.67	0.078	2.586	0.756	0.669	9.413	0.968	7.007
1/7/2007	99.93	4.59	0.178	29.160	0.118	3.049	26.512	0.872	1.416
1/8/2007	2.73	2.99	0.243	5.710	0.324	0.523	31.519	0.906	0.263
1/9/2007	4.05	2.31	0.074	1.986	0.038	0.603	50.988	0.148	41.167
1/10/2007	2.46	1.29	1.183	3.401	0.032	0.639	66.687	0.182	18.857
1/11/2007	1.84	2.20	1.796	4.326	0.021	1.157	75.670	0.691	8.009
1/12/2007	7.02	5.44	0.026	4.850	0.024	0.110	2.644	0.059	0.104
1/1/2008	8.97	12.15	0.040	21.868	0.205	0.545	12.830	0.828	1.509
1/2/2008	5.20	6.48	0.042	1.958	0.113	1.891	38.788	1.019	1.879
1/3/2008	10.95	15.68	7.724	1.411	0.124	2.512	35.521	0.793	0.048
1/4/2008	20.90	11.20	0.085	4.688	0.139	3.764	34.510	0.897	12.535
1/5/2008	6.87	14.12	0.076	0.572	0.039	2.252	23.892	0.463	7.120
1/6/2008	3.72	3.19	0.068	2.386	0.746	0.569	7.413	0.868	6.807
1/7/2008	14.94	7.19	0.168	28.960	0.108	2.949	24.512	0.772	1.216
1/8/2008	14.33	4.54	0.233	5.510	0.314	0.423	29.519	0.806	0.063
1/9/2008	3.93	5.78	0.064	1.786	0.028	0.503	48.988	0.048	40.967
1/10/2008	19.41	3.59	1.173	3.201	0.022	0.539	64.687	0.082	18.657
1/11/2008	1.93	23.07	1.786	4.126	0.011	1.057	73.670	0.591	7.809
1/12/2008	10.77	5.56	0.016	4.650	0.014	0.010	1.640	0.040	0.100
1/1/2009	12.15	4.40	0.030	21.668	0.195	0.445	10.830	0.728	1.309
1/2/2009	4.50	2.32	0.032	1.758	0.103	1.791	36.788	0.919	1.679
1/3/2009	7.74	4.21	7.714	1.211	0.114	2.412	33.521	0.693	0.150
1/4/2009	8.76	3.03	0.075	4.488	0.129	3.664	32.510	0.797	12.335
1/5/2009	10.72	6.97	0.066	0.372	0.029	2.152	21.892	0.363	6.920
1/6/2009	3.72	4.43	0.058	2.186	0.736	0.469	5.413	0.768	6.607
1/7/2009	11.31	5.53	0.158	28.760	0.098	2.849	22.512	0.672	1.016
1/8/2009	11.48	5.87	0.223	5.310	0.304	0.323	27.519	0.706	0.130
1/9/2009	7.23	4.84	0.054	1.586	0.018	0.403	46.988	0.056	40.767
1/10/2009	5.24	2.62	1.163	3.001	0.012	0.439	62.687	0.072	18.457
1/11/2009	4.77	5.91	1.776	3.926	0.001	0.957	71.670	0.491	7.609
1/12/2009	4.04	3.53	0.006	4.450	0.004	0.090	2.300	0.030	0.100

Annexe 16 : Résultats d'analyse de la qualité des eaux à la Cuvette du barrage Hammam Boughrara

Date de prélèvement	T (C°)	DBO5 mg/l	DCO mg/l	HCO3 mg/l	CI mg/l	K mg/l	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	NO2 mg/l	NO3 mg/l	N.Kjel mg/l	NH4 mg/l	P.tot al mg/l
1/1/2007	13.00	20.00	60.00	211.00	243.00	11.00	138.00	63.00	60.00	9.00	6.00	0.50	0.40	2.50
1/2/2007	15.00	18.00	50.00	132.00	211.00	9.00	124.00	51.00	40.00	2.00	6.00	0.07	0.00	1.75
1/3/2007	17.40	13.00	40.00	231.00	219.00	37.00	129.00	48.00	56.00	0.12	2.00	0.35	0.03	1.80
1/4/2007	21.70	11.00	40.00	217.00	215.00	10.00	115.00	41.00	60.00	0.30	6.00	0.07	0.00	1.50
1/5/2007	25.00	14.00	50.00	232.00	247.00	11.00	138.00	61.00	52.00	0.70	14.00	1.40	0.10	1.55
1/6/2007	26.50	10.00	30.00	203.00	234.00	5.00	138.00	71.00	56.00	14.00	4.00	4.90	3.20	0.70
1/7/2007	27.00	20.00	60.00	200.00	247.00	12.00	136.00	42.00	80.00	0.25	10.00	0.28	0.20	1.88
1/8/2007	24.30	10.00	30.00	242.00	264.00	12.00	138.00	64.00	60.00	0.30	4.00	0.70	0.02	1.70
1/9/2007	24.00	23.00	80.00	235.00	327.00	14.00	170.00	73.00	60.00	1.70	9.00	7.00	6.00	4.00
1/10/2007	19.00	29.00	100.00	221.00	280.00	13.00	161.00	49.00	74.00	2.80	9.00	3.50	1.18	1.68
1/11/2007	16.00	7.00	20.00	248.00	335.00	12.00	163.00	70.00	49.00	1.60	8.00	0.35	0.06	1.83
1/12/2007	12.00	16.00	60.00	302.00	338.00	11.00	196.00	62.00	67.00	0.20	7.00	2.10	2.00	2.62
1/1/2008	11.50	19.00	100.00	230.00	215.00	37.00	129.00	48.00	51.00	0.20	9.00	2.10	0.91	4.30
1/2/2008	13.50	21.00	60.00	225.00	247.00	10.00	115.00	41.00	48.00	0.10	5.00	3.50	3.00	2.10
1/3/2008	16.80	19.00	70.00	219.00	234.00	11.00	138.00	61.00	41.00	0.00	1.00	2.80	2.20	1.00
1/4/2008	19.80	12.00	80.00	217.00	247.00	5.00	138.00	71.00	61.00	0.20	2.00	2.40	1.96	0.85
1/5/2008	23.00	10.00	80.00	225.00	247.00	12.00	136.00	42.00	71.00	0.13	5.00	2.95	2.75	0.88
1/6/2008	25.00	13.00	80.00	232.00	264.00	12.00	138.00	64.00	42.00	0.14	2.00	2.80	2.20	1.33
1/7/2008	26.00	10.00	100.00	206.00	327.00	14.00	140.00	73.00	64.00	0.20	2.00	2.65	2.30	1.25
1/8/2008	27.50	22.00	120.00	242.00	280.00	13.00	128.00	71.00	73.00	0.19	5.00	2.35	2.10	0.85
1/9/2008	22.00	9.00	67.00	235.00	211.00	37.00	117.00	42.00	49.00	0.18	6.00	1.85	1.24	2.50
1/10/2008	19.00	23.00	130.00	211.00	219.00	10.00	126.00	64.00	70.00	0.15	6.00	0.15	0.05	2.13
1/11/2008	17.00	30.00	48.00	135.00	215.00	11.00	131.00	73.00	40.00	0.06	10.00	0.30	0.15	1.00
1/12/2008	10.00	5.00	60.00	165.00	247.00	5.00	133.00	49.00	56.00	0.12	6.00	0.18	0.10	0.90
1/1/2009	9.00	18.00	55.00	220.00	234.00	12.00	129.00	70.00	60.00	0.30	6.00	3.50	3.20	0.85
1/2/2009	11.00	19.00	45.00	235.00	247.00	12.00	115.00	62.00	52.00	0.70	2.00	0.26	0.20	1.40
1/3/2009	14.00	16.00	40.00	221.00	264.00	14.00	138.00	48.00	56.00	11.00	6.00	0.10	0.02	1.20
1/4/2009	19.00	15.00	52.00	238.00	327.00	13.00	138.00	41.00	80.00	0.25	13.00	7.30	6.00	0.90
1/5/2009	23.00	18.00	30.00	245.00	247.00	13.00	136.00	61.00	60.00	0.30	4.00	1.45	1.18	1.50
1/6/2009	25.00	21.00	62.00	239.00	247.00	12.00	138.00	63.00	60.00	1.70	11.00	0.12	0.06	2.50
1/7/2009	27.00	18.00	29.00	228.00	264.00	11.00	138.00	51.00	49.00	2.00	4.00	2.60	2.00	2.10
1/8/2009	27.90	13.00	78.00	190.00	327.00	37.00	138.00	48.00	67.00	0.12	9.00	1.70	0.91	2.00
1/9/2009	24.00	11.00	110.00	185.00	280.00	10.00	136.00	41.00	51.00	0.30	6.00	3.70	3.00	1.80
1/10/2009	18.50	14.00	18.00	165.00	211.00	11.00	138.00	61.00	48.00	0.70	5.00	2.75	2.20	2.50
1/11/2009	15.50	10.00	60.00	195.00	219.00	5.00	140.00	71.00	50.00	2.90	2.00	2.80	2.50	1.50
1/12/2009	12.00	20.00	70.00	210.00	220.00	12.00	128.00	42.00	56.00	1.30	4.00	2.60	2.32	2.00

Annexe 16 : Résultats d'analyse de la qualité des eaux à la Cuvette du barrage Hammam Boughrara (Suite)

Date de prélèvement	PO4 mg/l	SO4 mg/l	MES mg/l	Phos org mg/l	Azote org mg/L	O2 dissous mg/l	Cu mg/l	Cr mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Pb mg/l	Mn mg/l	Al mg/l	Minéralisation mg/l
1/1/2007	2.17	108.00	22.00	0.33	0.10	6.20	0.150	0.020	0.066	0.330	0.080	0.340	0.160	840
1/2/2007	0.62	106.00	36.00	1.13	0.07	5.90	0.010	0.030	0.110	0.430	0.100	0.270	3.800	679
1/3/2007	1.37	106.00	11.00	0.43	0.32	6.50	0.110	0.010	0.030	0.210	0.090	0.280	2.500	828
1/4/2007	1.40	130.00	8.00	0.10	0.07	6.50	0.090	0.020	0.027	0.200	0.100	0.140	2.300	794
1/5/2007	1.45	154.00	6.00	0.10	1.30	1.31	0.050	0.040	0.080	0.350	0.070	0.190	1.200	909
1/6/2007	0.52	144.00	24.00	0.18	1.70	2.89	0.013	0.015	0.110	0.560	0.085	0.180	0.600	855
1/7/2007	1.38	125.00	8.00	0.50	0.08	2.62	0.014	0.023	0.120	0.450	0.090	0.230	1.680	852
1/8/2007	1.56	139.00	36.00	0.14	0.68	2.10	0.012	0.033	0.090	0.410	0.100	0.200	1.500	923
1/9/2007	2.85	120.00	66.00	1.15	1.00	3.30	0.011	0.038	0.110	0.380	0.200	0.240	0.016	1008
1/10/2007	1.39	144.00	8.00	0.29	2.32	2.80	0.021	0.027	0.100	0.190	0.700	0.160	1.200	951
1/11/2007	1.75	108.00	50.00	0.08	0.29	3.10	0.081	0.025	0.540	0.160	0.050	0.026	1.700	993
1/12/2007	1.75	144.00	46.00	0.87	0.10	5.20	0.210	0.020	0.740	0.120	0.150	0.036	1.500	1127
1/1/2008	4.20	108.00	35.00	0.10	1.19	2.89	0.140	0.019	0.057	0.328	0.079	0.339	0.158	827
1/2/2008	1.80	130.00	37.00	0.30	0.50	8.20	0.009	0.029	0.101	0.428	0.099	0.269	3.798	821
1/3/2008	0.93	154.00	41.00	0.07	0.60	10.40	0.100	0.009	0.021	0.208	0.089	0.279	2.498	859
1/4/2008	0.64	144.00	32.00	0.21	0.44	1.40	0.080	0.019	0.018	0.198	0.099	0.139	2.298	885
1/5/2008	0.57	125.00	27.00	0.31	0.20	2.14	0.040	0.039	0.071	0.348	0.069	0.189	1.198	863
1/6/2008	0.95	139.00	29.00	0.38	0.60	3.13	0.003	0.014	0.101	0.558	0.084	0.179	0.598	893
1/7/2008	1.14	125.00	15.00	0.11	0.35	3.32	0.004	0.022	0.111	0.448	0.089	0.229	1.678	951
1/8/2008	0.46	139.00	11.00	0.39	0.25	4.18	0.002	0.032	0.081	0.408	0.099	0.199	1.498	951
1/9/2008	2.38	120.00	33.00	0.12	0.61	3.55	0.001	0.037	0.101	0.378	0.199	0.239	0.014	817
1/10/2008	1.50	144.00	35.00	0.63	0.10	4.16	0.011	0.026	0.091	0.188	0.699	0.159	1.198	850
1/11/2008	0.39	108.00	41.00	0.61	0.15	7.60	0.071	0.024	0.531	0.158	0.049	0.025	1.698	723
1/12/2008	0.60	144.00	45.00	0.30	0.08	6.20	0.200	0.019	0.731	0.118	0.149	0.035	1.498	805
1/1/2009	0.57	108.00	32.00	0.28	0.30	8.30	0.130	0.018	0.048	0.326	0.078	0.338	0.156	839
1/2/2009	1.20	106.00	30.00	0.20	0.06	8.00	0.008	0.028	0.092	0.426	0.098	0.268	3.796	831
1/3/2009	1.00	106.00	25.00	0.20	0.08	10.40	0.090	0.008	0.012	0.206	0.088	0.278	2.496	853
1/4/2009	0.65	130.00	27.00	0.25	1.30	1.40	0.070	0.018	0.009	0.196	0.098	0.138	2.296	980
1/5/2009	1.39	154.00	21.00	0.11	0.27	2.50	0.030	0.038	0.062	0.346	0.068	0.188	1.196	920
1/6/2009	2.25	144.00	18.00	0.25	0.06	3.25	0.002	0.013	0.092	0.556	0.083	0.178	0.596	914
1/7/2009	1.85	125.00	19.00	0.25	0.60	3.62	0.003	0.021	0.102	0.446	0.088	0.228	1.676	870
1/8/2009	1.75	139.00	16.00	0.25	0.79	2.56	0.001	0.031	0.072	0.406	0.098	0.198	1.496	955
1/9/2009	1.73	120.00	12.00	0.07	0.70	6.70	0.000	0.036	0.092	0.376	0.198	0.238	0.012	829
1/10/2009	2.36	144.00	16.00	0.14	0.55	8.00	0.010	0.025	0.082	0.186	0.698	0.158	1.196	783
1/11/2009	0.89	128.00	21.00	0.61	0.30	8.10	0.070	0.023	0.522	0.156	0.048	0.024	1.696	810
1/12/2009	1.70	112.00	22.00	0.30	0.28	9.20	0.199	0.018	0.722	0.116	0.148	0.034	1.496	784

Annexe 17 : Résultats d'analyse de la qualité des eaux à la Sortie du barrage Hammam Boughrara

Date de prélèvement	T° eau(°C)	DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES -mgl	N.Kjehdal	NO2 mg/l	NO3mg/l	NH4 mg/l	PO4	P.Tot mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l
1/1/2007	10.00	14.00	50.00	26.00	10.00	0.30	5.00	8.00	3.50	4.50	111.00	217.00
1/2/2007	11.60	16.00	40.00	30.00	8.90	0.35	6.00	7.90	3.80	4.80	120.00	232.00
1/3/2007	13.80	18.00	60.00	28.00	8.50	0.20	2.00	7.60	2.90	3.50	118.00	203.00
1/4/2007	15.20	15.00	50.00	40.00	8.20	0.50	2.00	6.50	2.50	2.70	128.00	200.00
1/5/2007	22.00	14.00	70.00	36.00	7.50	0.25	4.00	7.30	1.90	3.00	105.00	242.00
1/6/2007	25.00	13.00	30.00	24.00	8.50	0.20	6.00	6.20	1.85	2.98	110.00	235.00
1/7/2007	27.00	16.00	50.00	15.00	8.40	0.15	7.00	6.50	2.25	3.60	112.00	221.00
1/8/2007	26.00	17.00	60.00	28.00	9.80	0.01	3.00	7.80	3.50	4.90	110.00	312.00
1/9/2007	25.00	8.00	30.00	42.00	8.05	0.02	5.00	7.60	3.75	4.10	105.00	300.00
1/10/2007	16.30	15.00	70.00	27.00	7.00	1.90	2.00	6.40	2.05	2.95	108.00	302.00
1/11/2007	17.00	12.00	50.00	22.00	4.30	0.20	2.00	2.50	0.60	1.13	128.00	420.00
1/12/2007	12.00	10.00	60.00	36.00	8.10	0.40	4.00	7.20	1.11	1.15	84.00	356.00
1/1/2008	11.50	9.00	50.00	10.00	2.80	1.20	4.00	1.46	0.91	1.08	110.00	289.00
1/2/2008	11.00	14.00	60.00	8.00	3.10	0.30	2.00	2.65	0.92	1.05	123.00	406.00
1/3/2008	14.00	13.00	80.00	6.00	3.70	0.20	2.00	2.55	0.90	1.05	128.00	242.00
1/4/2008	20.00	11.00	20.00	24.00	4.10	0.15	9.00	2.75	1.50	1.85	82.00	305.00
1/5/2008	25.00	14.00	60.00	8.00	1.80	0.35	2.00	0.70	0.70	0.95	96.00	324.00
1/6/2008	26.00	12.00	50.00	15.00	3.40	0.40	7.00	2.42	1.52	1.70	103.00	298.00
1/7/2008	27.00	8.00	40.00	27.00	3.80	0.30	9.00	2.40	1.85	1.87	98.00	360.00
1/8/2008	28.00	16.00	30.00	22.00	2.30	0.20	10.00	1.70	2.25	2.38	110.00	280.00
1/9/2008	22.00	17.50	50.00	28.00	2.50	0.20	10.00	1.70	2.25	2.68	77.00	320.00
1/10/2008	16.00	18.00	60.00	31.00	2.90	0.30	14.00	1.76	2.45	2.68	87.00	265.00
1/11/2008	14.00	14.00	90.00	19.00	2.90	0.30	6.00	2.00	2.18	2.80	85.00	249.00
1/12/2008	11.00	16.00	90.00	21.00	3.20	0.35	6.00	2.00	2.35	2.45	82.00	279.00
1/1/2009	10.50	15.00	80.00	28.00	2.10	0.20	14.00	1.10	1.85	1.85	96.00	305.00
1/2/2009	12.00	20.00	70.00	27.00	2.60	0.70	9.00	1.76	2.00	2.55	119.00	321.00
1/3/2009	14.50	18.00	60.00	19.00	3.20	0.60	4.00	2.10	1.90	2.10	132.00	288.00
1/4/2009	18.00	15.00	50.00	22.00	3.50	0.60	6.00	2.50	1.85	2.70	124.00	298.00
1/5/2009	22.00	12.00	60.00	27.00	3.20	0.50	8.00	2.20	2.00	2.90	120.00	360.00
1/6/2009	25.00	10.00	80.00	29.00	3.80	0.70	10.00	2.30	2.25	3.40	119.00	280.00
1/7/2009	27.00	9.00	20.00	15.00	2.10	0.45	9.00	1.90	2.45	3.50	110.00	320.00
1/8/2009	28.00	14.00	60.00	19.00	2.90	0.35	6.00	1.80	2.18	3.89	105.00	325.00
1/9/2009	21.00	12.00	50.00	21.00	3.40	0.35	11.00	2.50	2.30	3.10	98.00	290.00
1/10/2009	16.50	8.00	40.00	23.00	2.90	0.40	9.00	2.40	2.25	3.00	95.00	280.00
1/11/2009	14.00	16.00	90.00	25.00	3.20	0.50	8.00	2.60	2.00	2.90	90.00	260.00
1/12/2009	12.00	17.50	90.00	28.00	3.70	0.55	7.00	2.80	1.90	2.80	85.00	289.00

Annexe 17 : Résultats d'analyse de la qualité des eaux à la Sortie du barrage Hammam Bouhrara

(Suite)

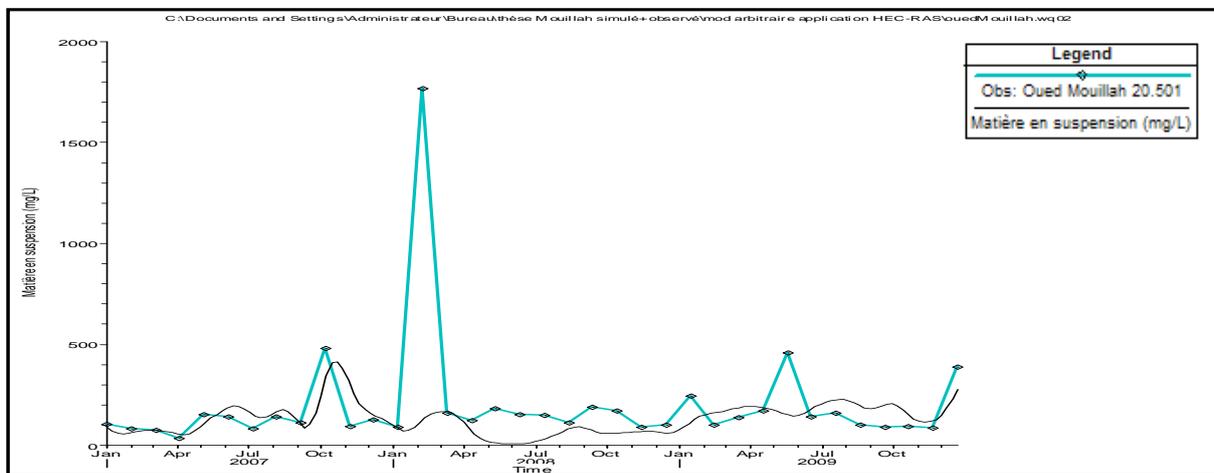
Date de prélèvement	Phosphore org mg/l	Azote org mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	O2 dissous mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cu mg/l	Cr mg/l	Minéralisation mg/l
1/1/2007	1.00	2.00	50.00	49.00	110.00	12.00	211.00	0.00	0.110	1.300	0.160	0.010	765
1/2/2007	1.00	1.00	60.00	52.00	121.00	11.00	219.00	0.07	0.150	1.410	0.250	0.015	821
1/3/2007	0.60	0.90	55.00	51.00	125.00	13.00	215.00	0.21	0.180	1.250	0.260	0.020	782
1/4/2007	0.20	1.70	45.00	50.00	124.00	10.00	247.00	0.81	0.210	1.560	0.270	0.025	806
1/5/2007	1.10	0.20	56.00	53.00	135.00	9.00	234.00	0.77	0.190	0.800	0.300	0.023	838
1/6/2007	1.13	2.30	60.00	60.00	140.00	6.00	247.00	0.74	0.250	1.200	0.350	0.019	864
1/7/2007	1.35	1.90	75.00	65.00	121.00	9.00	264.00	0.77	0.300	1.350	0.330	0.018	874
1/8/2007	1.40	2.00	84.00	53.00	115.00	10.00	271.00	0.69	0.190	1.800	0.260	0.020	958
1/9/2007	0.35	0.45	60.00	60.00	120.00	10.00	280.00	0.71	0.200	1.500	0.300	0.025	940
1/10/2007	0.90	0.60	50.00	72.00	147.00	10.00	291.00	0.73	0.400	1.300	0.400	0.030	982
1/11/2007	0.53	1.80	55.00	70.00	131.00	12.00	289.00	0.81	0.110	1.410	0.380	0.028	1107
1/12/2007	0.04	0.90	56.00	72.00	135.00	15.00	224.00	0.77	0.100	1.250	0.350	0.030	946
1/1/2008	0.17	1.34	40.00	48.00	130.00	17.00	215.00	0.71	0.109	1.299	0.159	0.009	853
1/2/2008	0.13	0.45	56.00	41.00	128.00	10.00	247.00	0.71	0.149	1.409	0.249	0.014	1013
1/3/2008	0.15	1.15	60.00	61.00	124.00	11.00	234.00	0.74	0.179	1.249	0.259	0.019	862
1/4/2008	0.35	1.35	52.00	71.00	129.00	5.00	247.00	0.75	0.209	1.559	0.269	0.024	900
1/5/2008	0.25	1.10	56.00	42.00	115.00	12.00	264.00	0.75	0.189	0.799	0.299	0.022	911
1/6/2008	0.18	0.98	80.00	64.00	138.00	12.00	327.00	0.70	0.249	1.199	0.349	0.018	1029
1/7/2008	0.02	1.40	60.00	73.00	138.00	14.00	280.00	0.72	0.299	1.349	0.329	0.017	1032
1/8/2008	0.13	0.60	60.00	71.00	136.00	13.00	247.00	0.73	0.189	1.799	0.259	0.019	927
1/9/2008	0.43	0.80	74.00	42.00	138.00	21.00	234.00	0.79	0.199	1.499	0.299	0.024	916
1/10/2008	0.23	1.14	49.00	64.00	170.00	10.00	247.00	0.86	0.399	1.299	0.399	0.029	906
1/11/2008	0.62	0.90	67.00	73.00	161.00	11.00	264.00	0.76	0.109	1.409	0.379	0.027	916
1/12/2008	0.10	1.20	51.00	49.00	158.00	5.00	327.00	0.75	0.099	1.249	0.349	0.029	957
1/1/2009	0.00	1.00	48.00	70.00	150.00	12.00	247.00	0.83	0.108	1.298	0.158	0.008	942
1/2/2009	0.55	0.84	41.00	62.00	155.00	19.00	247.00	0.69	0.148	1.408	0.248	0.013	973
1/3/2009	0.20	1.10	61.00	48.00	157.00	23.00	264.00	0.65	0.178	1.248	0.258	0.018	977
1/4/2009	0.85	1.00	71.00	50.00	146.00	21.00	327.00	0.71	0.208	1.558	0.268	0.023	1043
1/5/2009	0.90	1.00	52.00	55.00	142.00	25.00	247.00	0.71	0.188	0.798	0.298	0.021	1009
1/6/2009	1.15	1.50	56.00	62.00	138.00	26.00	247.00	0.74	0.248	1.198	0.348	0.017	938
1/7/2009	1.05	0.20	80.00	48.00	129.00	21.00	264.00	0.75	0.298	1.348	0.328	0.016	981
1/8/2009	1.71	1.10	60.00	49.00	121.00	18.00	327.00	0.75	0.188	1.798	0.258	0.018	1011
1/9/2009	0.80	0.90	60.00	44.00	115.00	17.00	280.00	0.70	0.198	1.498	0.298	0.023	915
1/10/2009	0.75	0.50	49.00	50.00	120.00	14.00	211.00	0.72	0.398	1.298	0.398	0.028	828
1/11/2009	0.90	0.60	67.00	56.00	147.00	13.00	219.00	0.74	0.108	1.408	0.378	0.026	860
1/12/2009	0.90	0.90	51.00	60.00	131.00	11.00	220.00	0.77	0.098	1.248	0.348	0.028	854

Annexe 18 : Conditions initiales de la qualité de l'eau introduite dans le logiciel

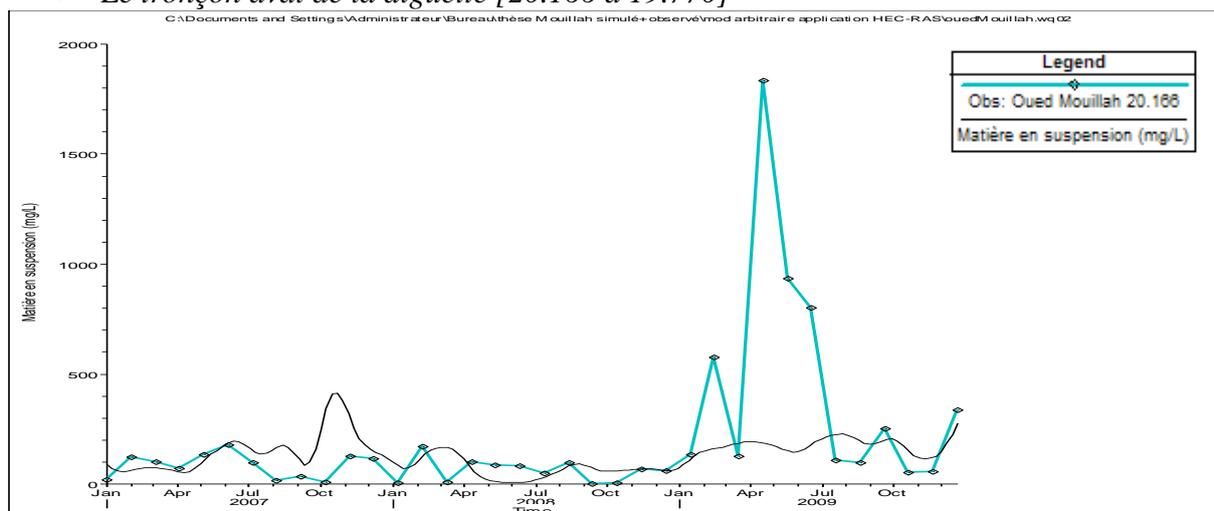
<i>Date</i>	<i>Du 01/2007 au 12/2009</i>	
<i>Echantillon</i>	<i>Unité</i>	<i>Conditions initiales de la qualité de l'eau à la frontière</i>
<i>Température</i>	°C	5
<i>DBO5</i>	mg/L	4
<i>DCO</i>	mg/L	20
<i>Oxygène Dissous</i>	mg/L	0.4
<i>Bicarbonate</i>	mg/L	132
<i>Chlore</i>	mg/L	34
<i>Potassium</i>	mg/L	5
<i>Sodium</i>	mg/L	12
<i>Magnésium</i>	mg/L	36
<i>Calcium</i>	mg/L	35
<i>NO2</i>	mg/L	0.01
<i>NO3</i>	mg/L	1
<i>Ammonium NH4</i>	mg/L	0.18
<i>Azote Kjeldahl</i>	mg/L	0.35
<i>P Total</i>	mg/L	0.28
<i>Phosphates PO4</i>	mg/L	0.1
<i>Sulfates SO4</i>	mg/L	77
<i>MES</i>	mg/L	3
<i>Phosphore Organique</i>	mg/L	0.16
<i>Azote Organique</i>	mg/L	0.17
<i>Minéralisation</i>	mg/l	377

Annexe 19 : Modélisation de la matière en suspension (Simulation dans le temps)

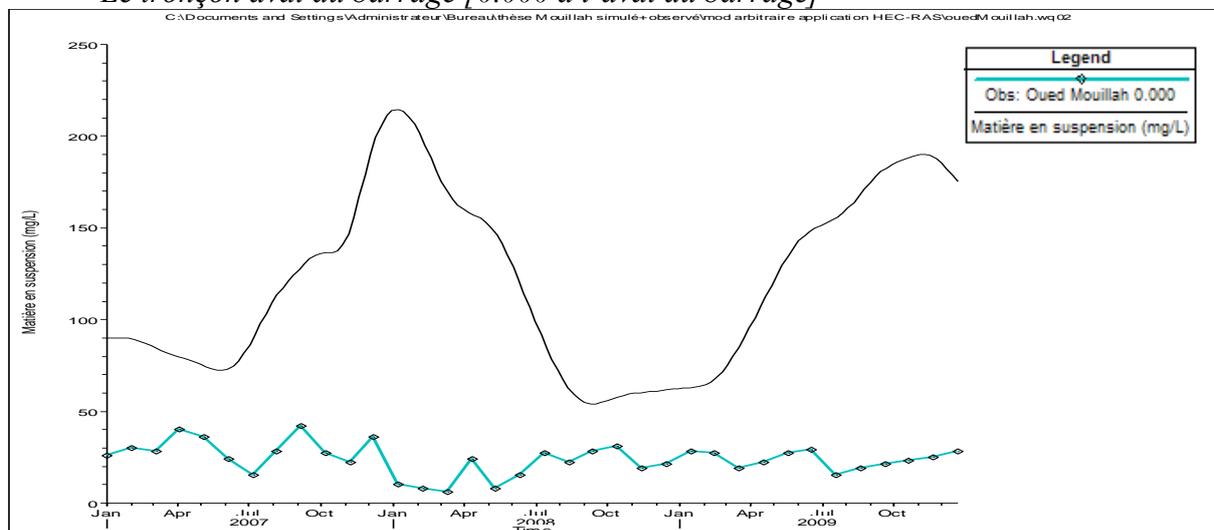
- *Le tronçon lac de la diguette [20.501 à 20.166]*



- *Le tronçon aval de la diguette [20.166 à 19.770]*

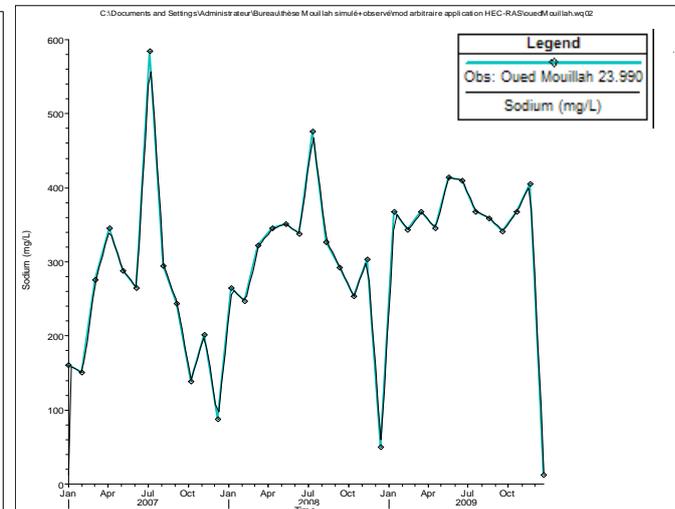
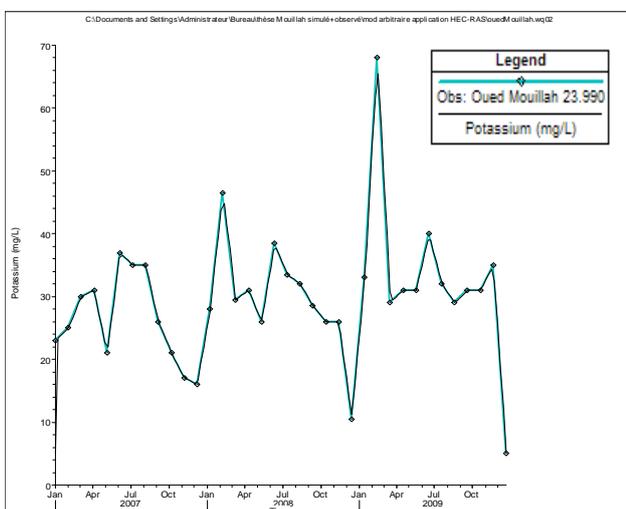
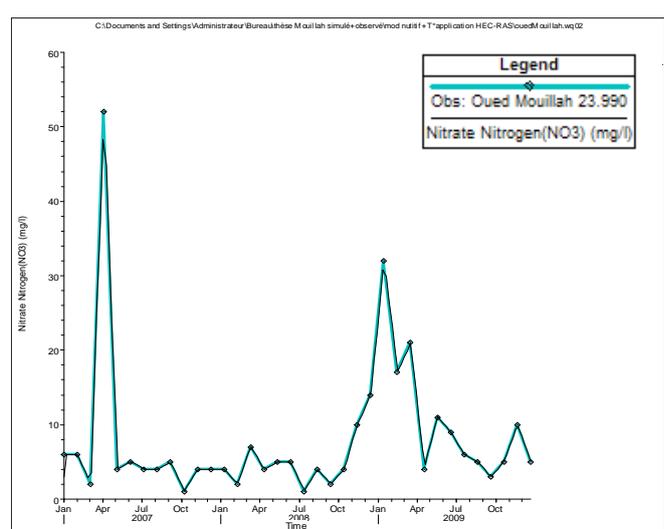
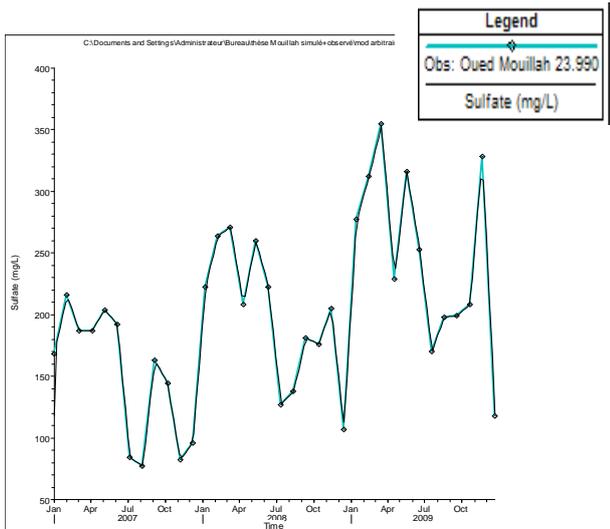
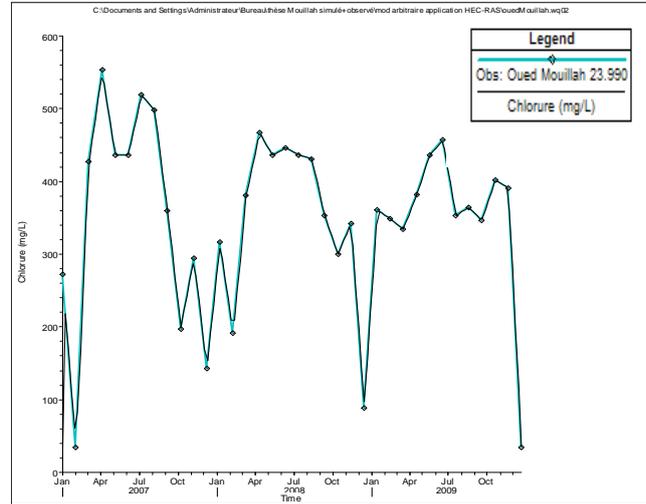
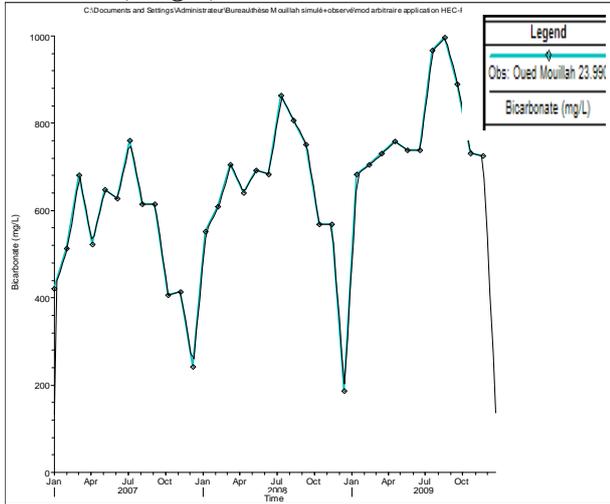


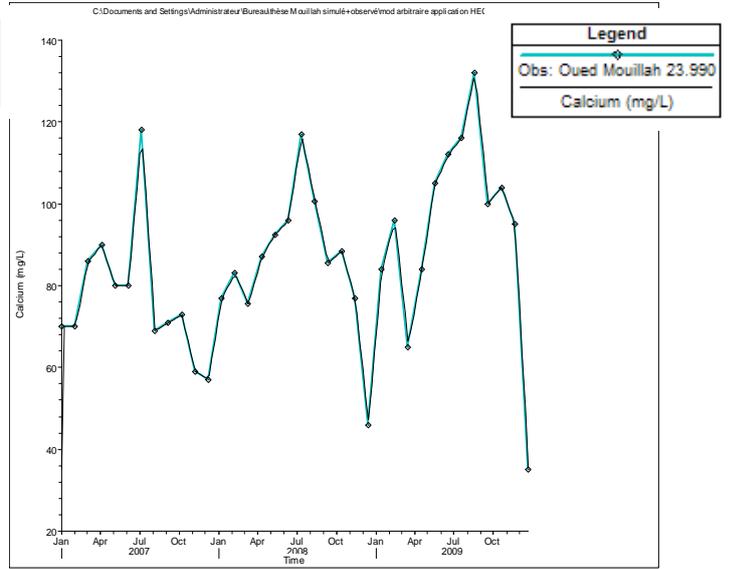
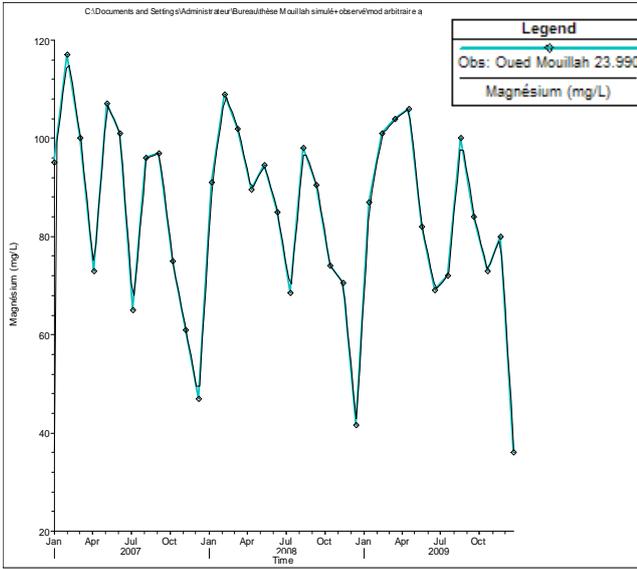
- *Le tronçon aval du barrage [0.000 à l'aval du barrage]*



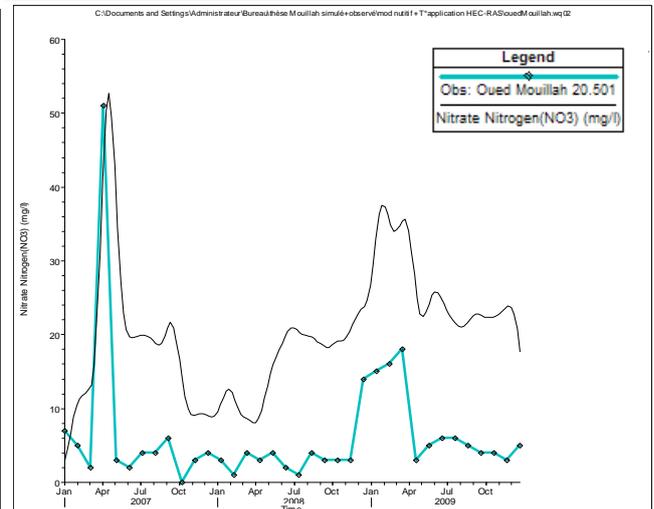
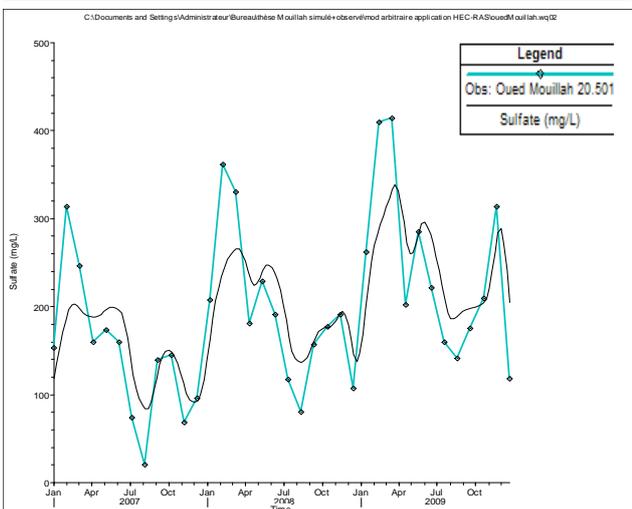
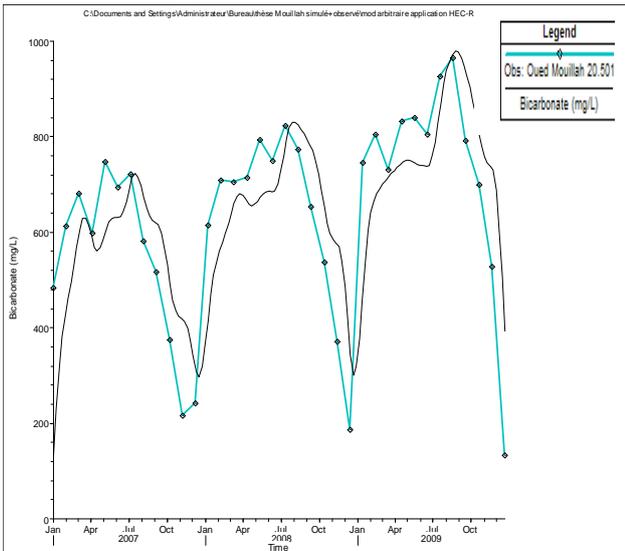
Annexe 20 : Modélisation des ions majeurs (Simulation dans le temps)

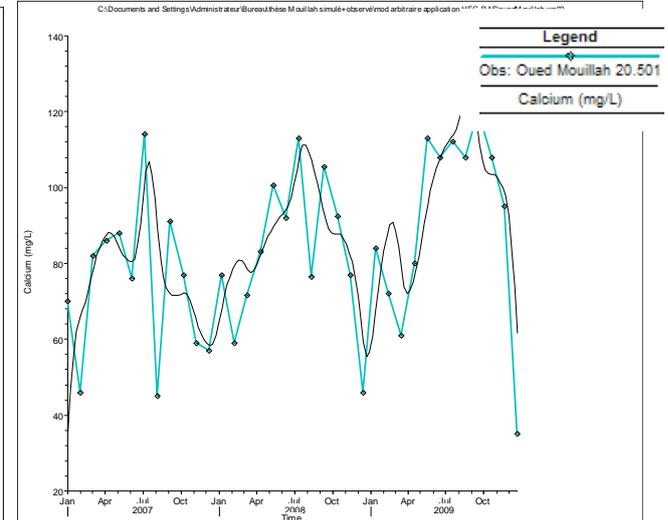
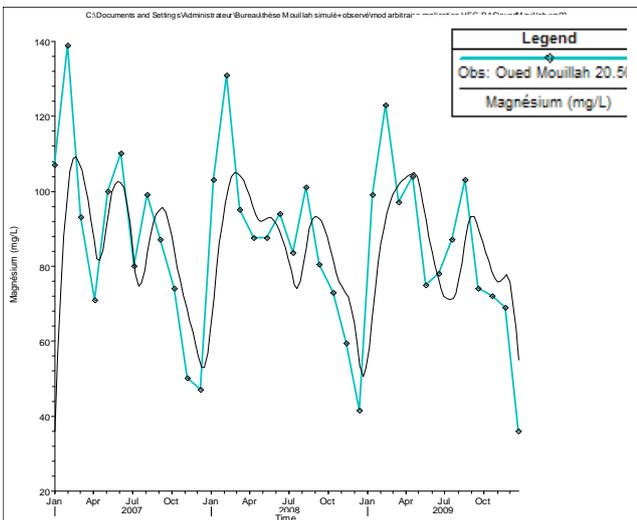
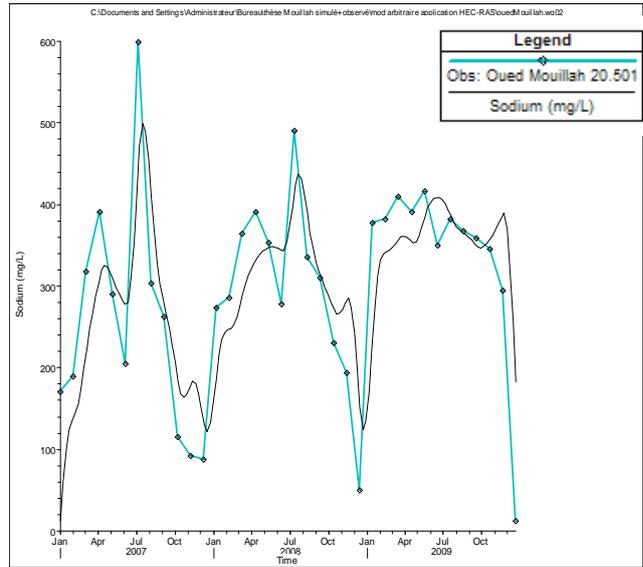
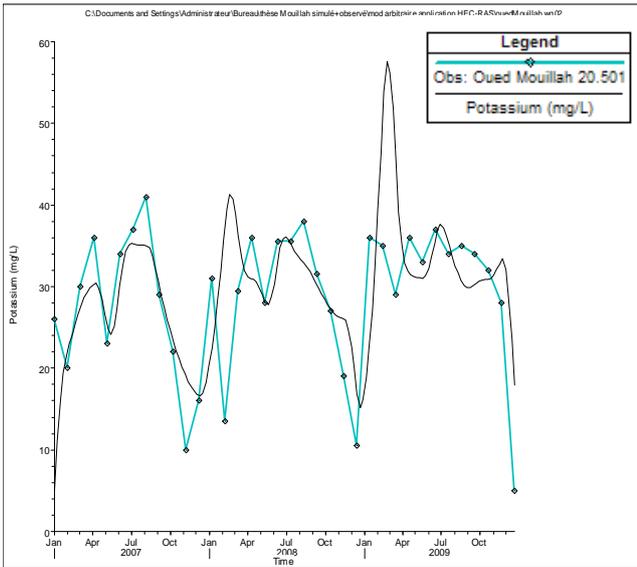
- Le tronçon amont de la diguette [23.990 à la frontière] : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}



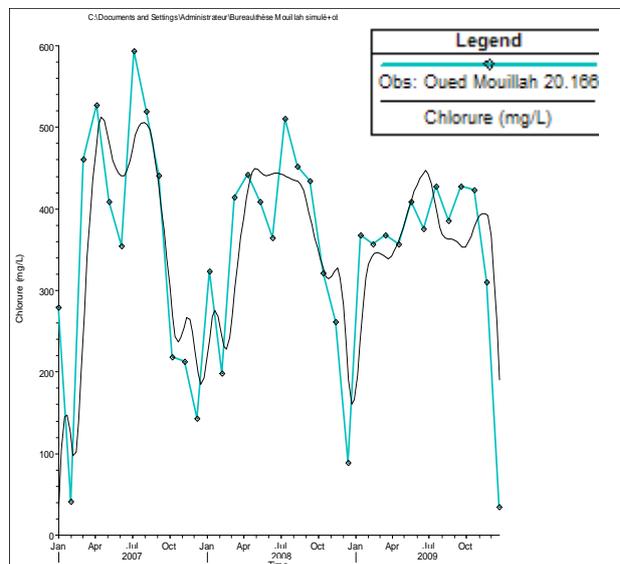
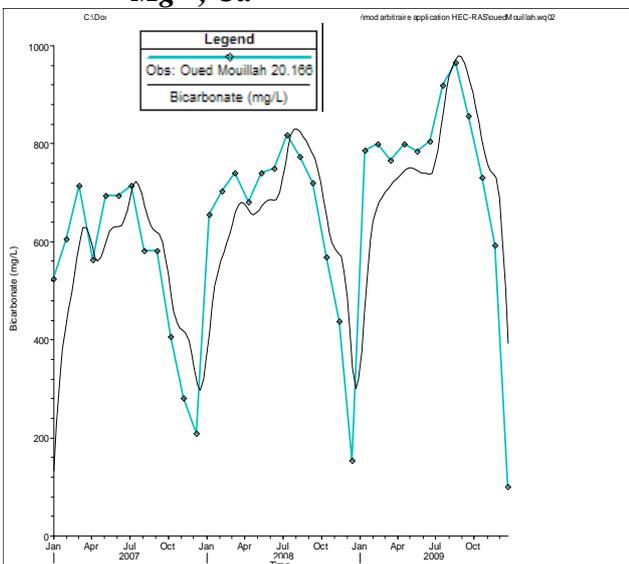


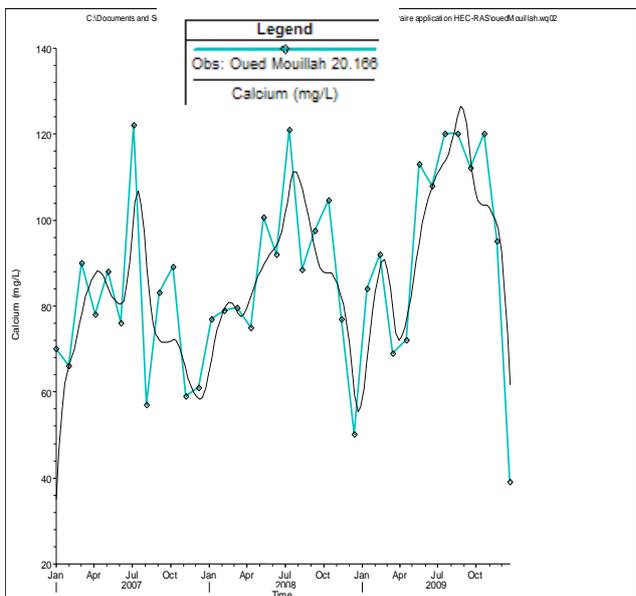
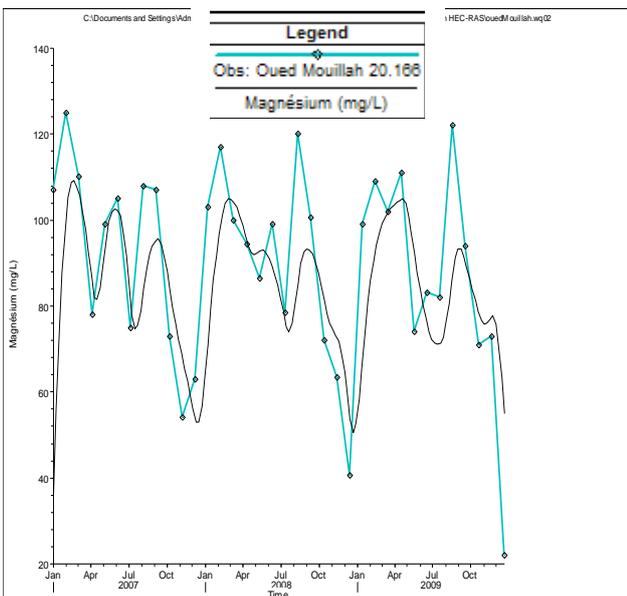
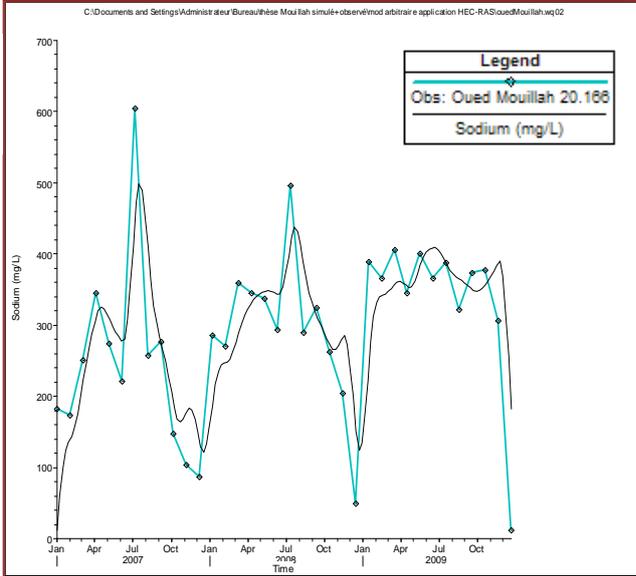
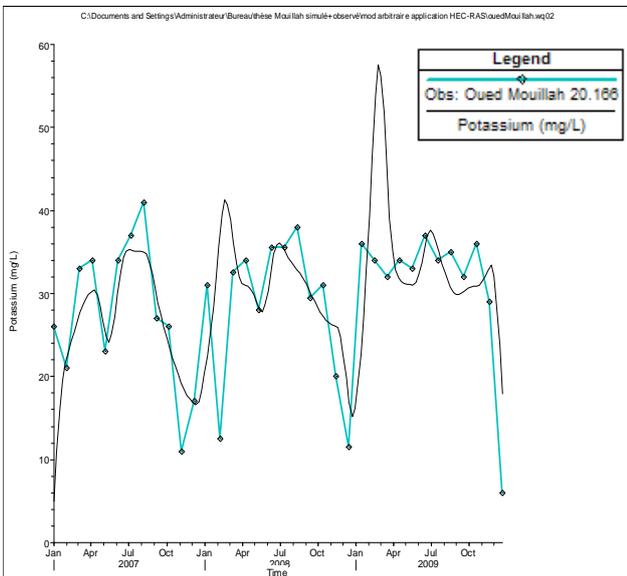
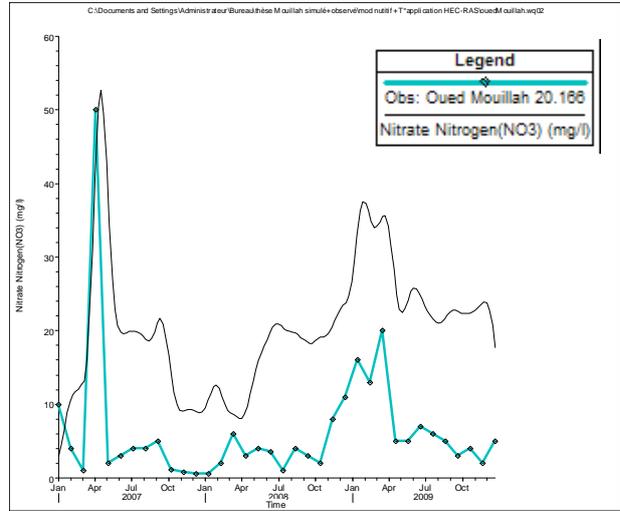
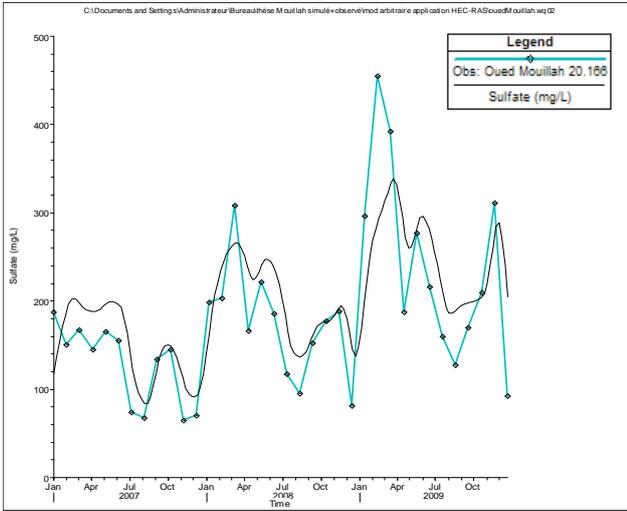
- Le tronçon lac de la diguette [20.501 à 20.166] : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}



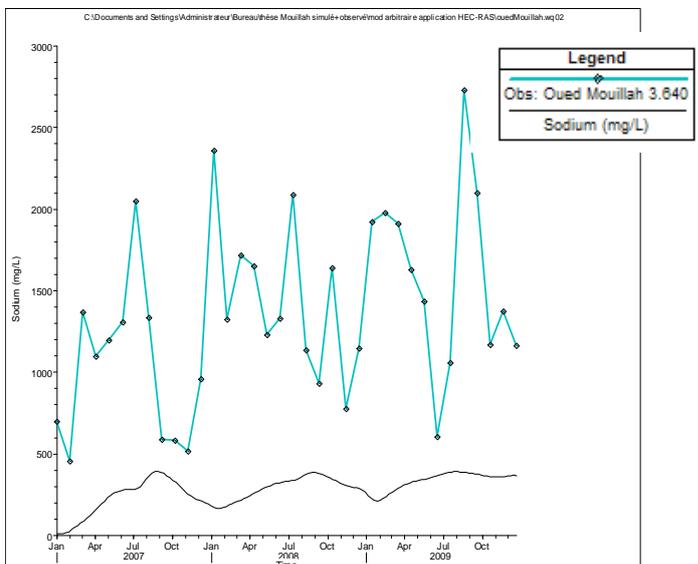
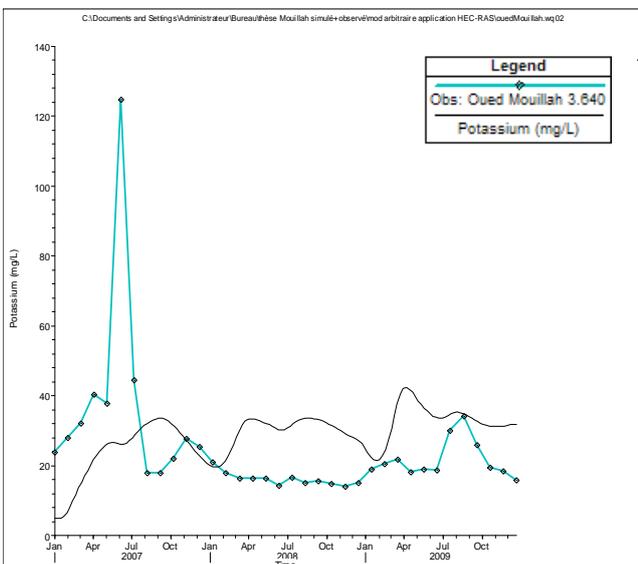
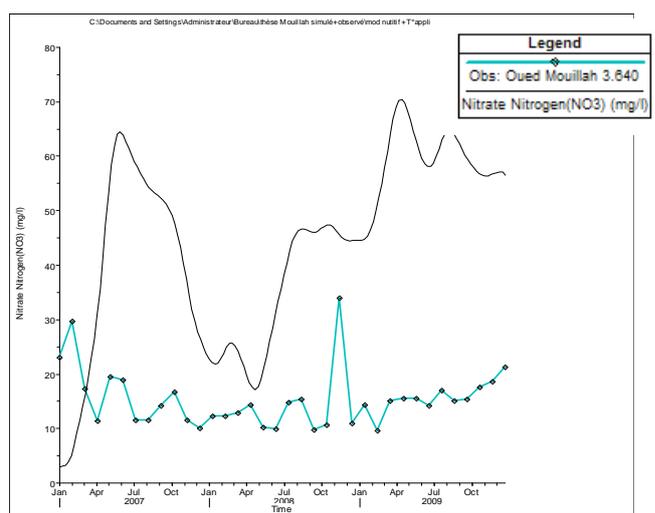
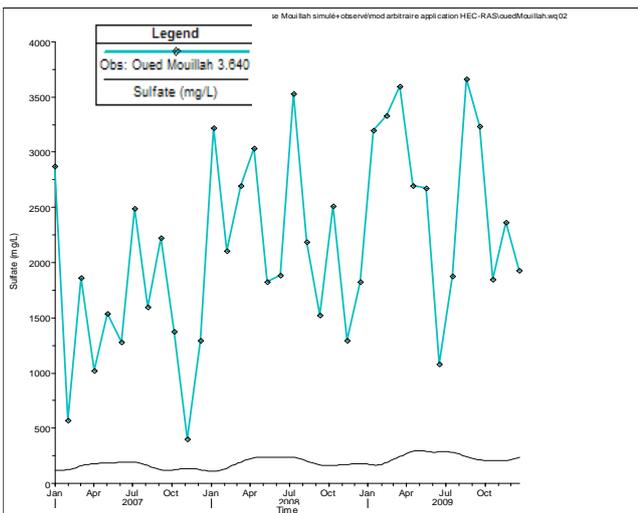
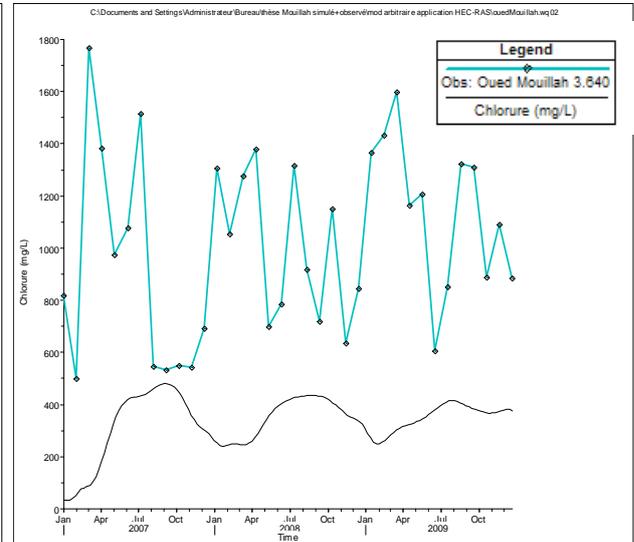
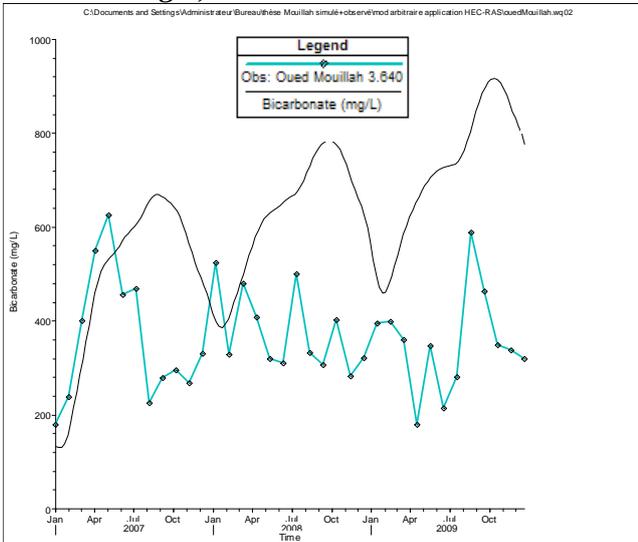


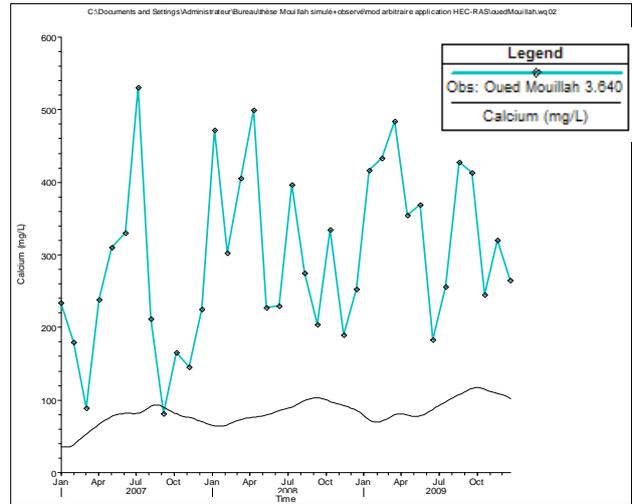
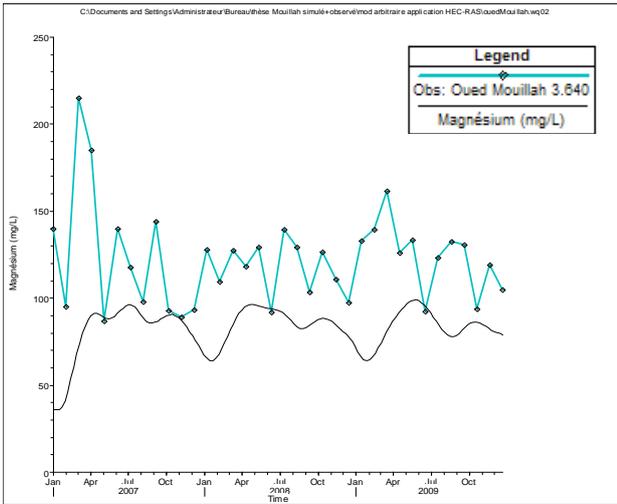
- Le tronçon aval de la diguette [20.166 à 19.770] : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}



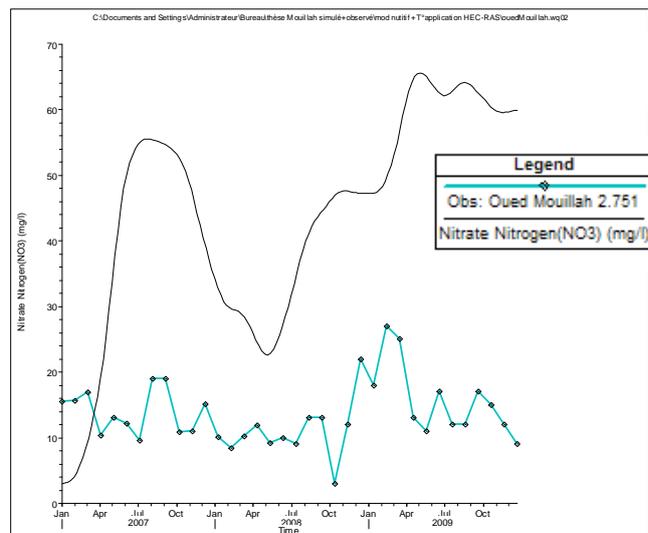
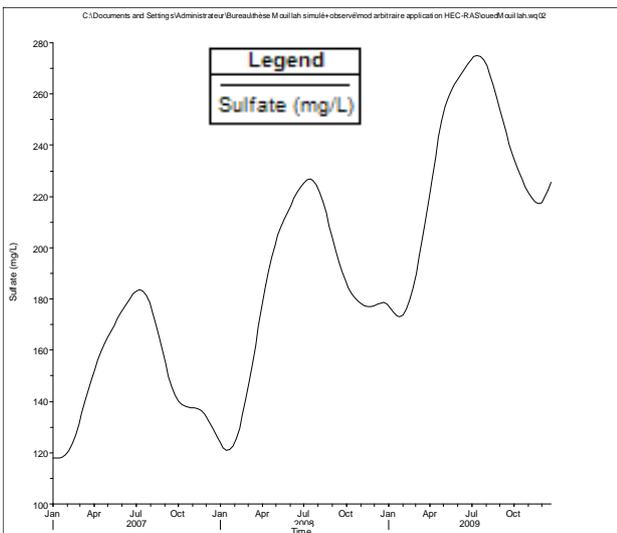
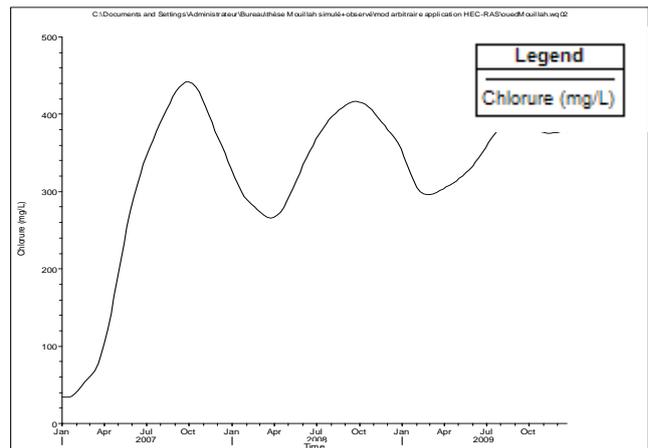
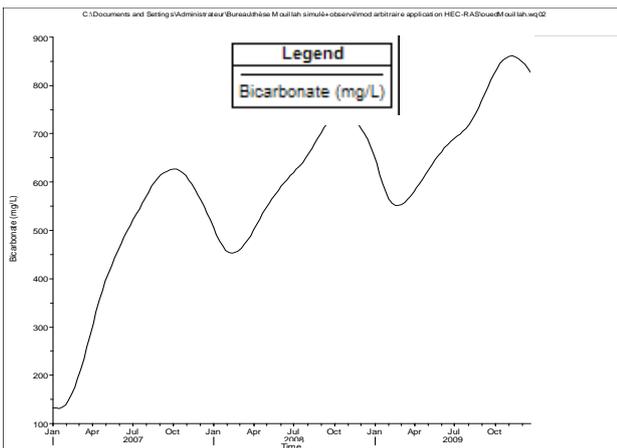


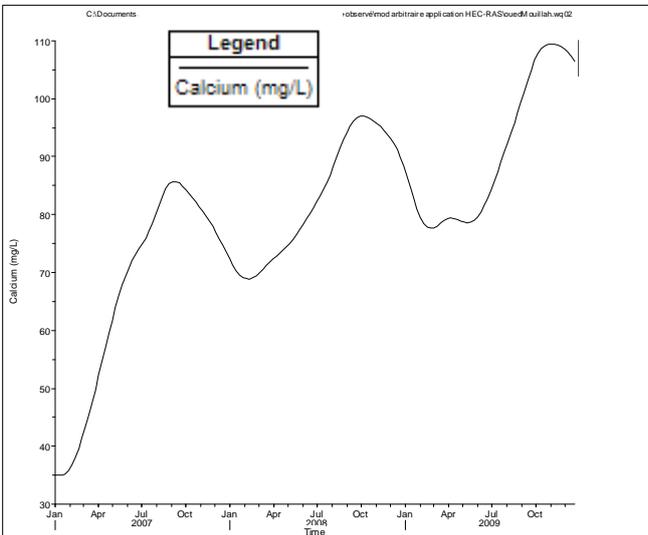
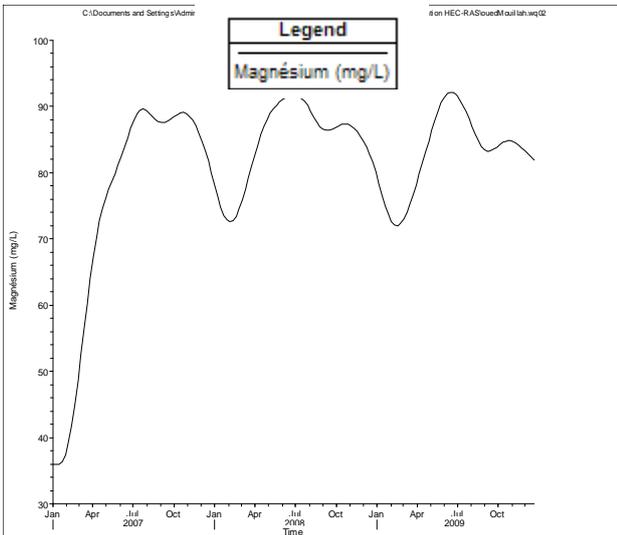
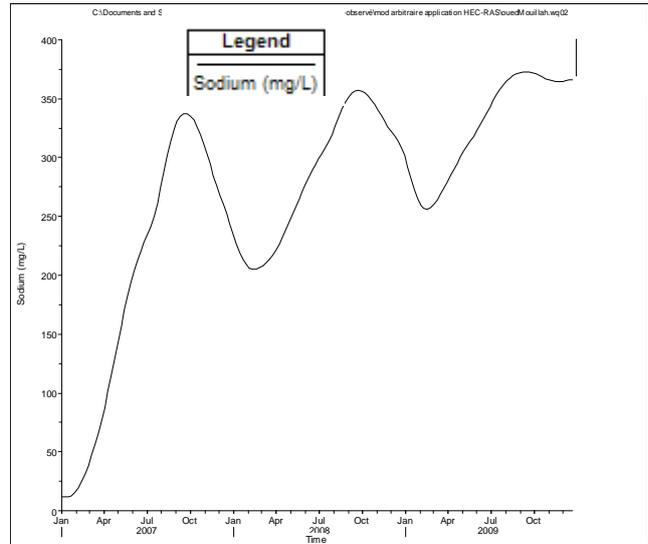
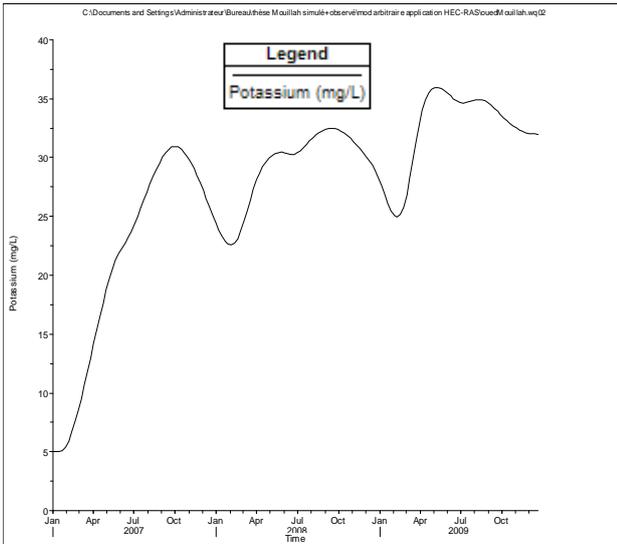
- Le tronçon d'Oued Ouerdeffou [3.640 à 3.310] : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}



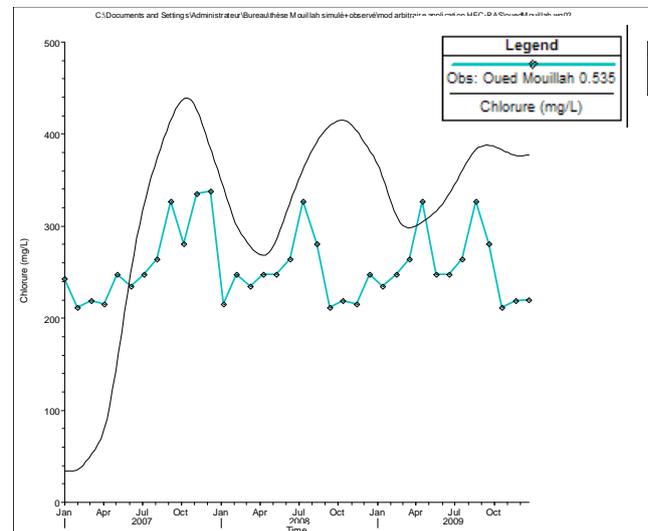
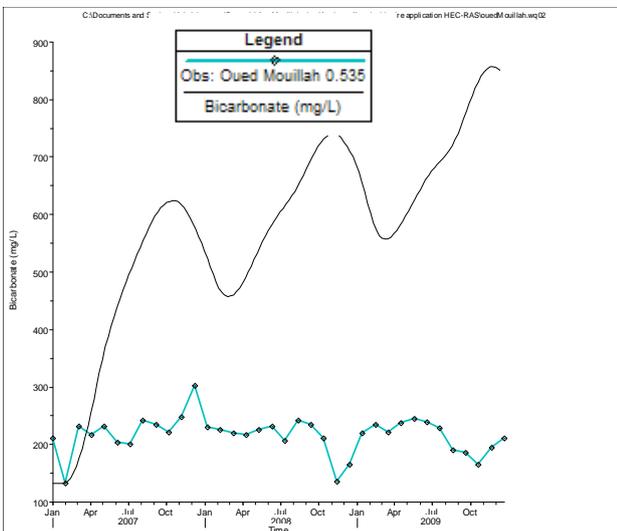


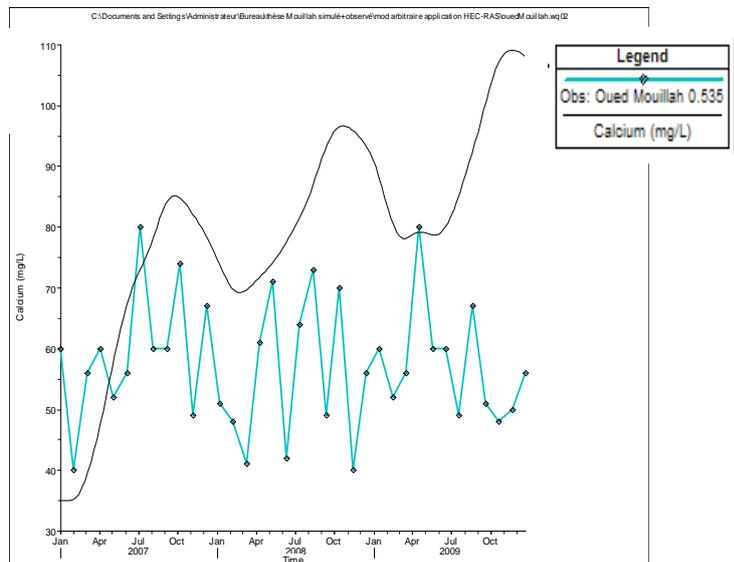
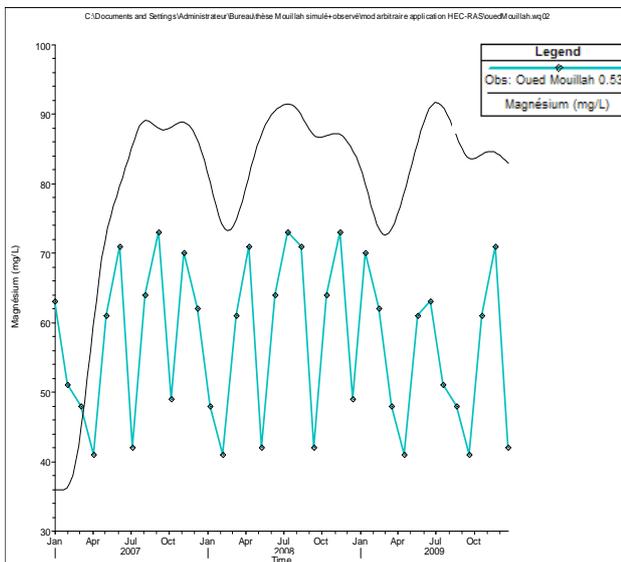
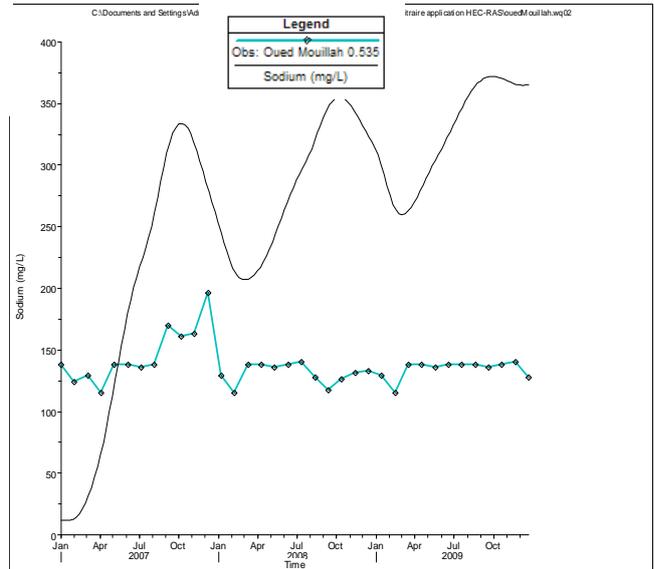
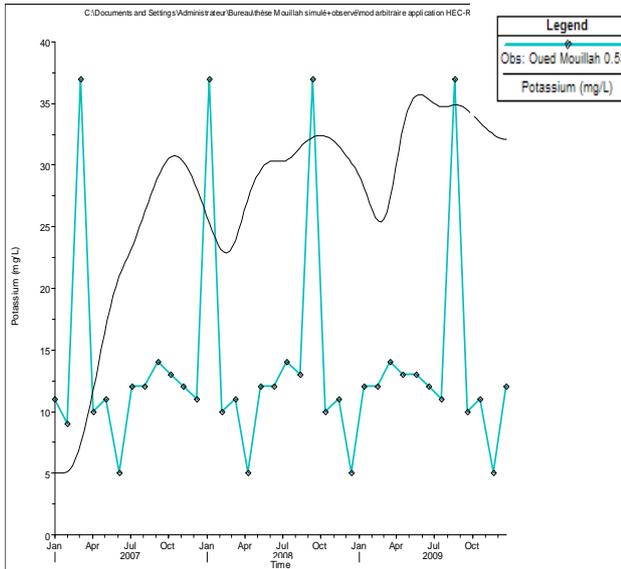
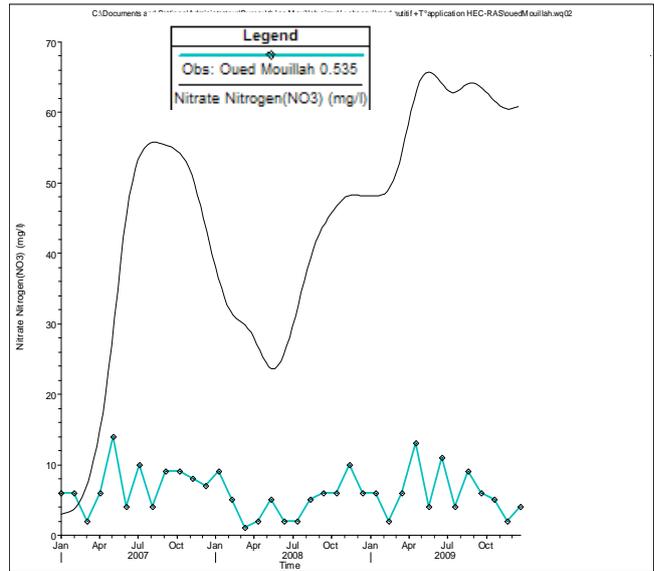
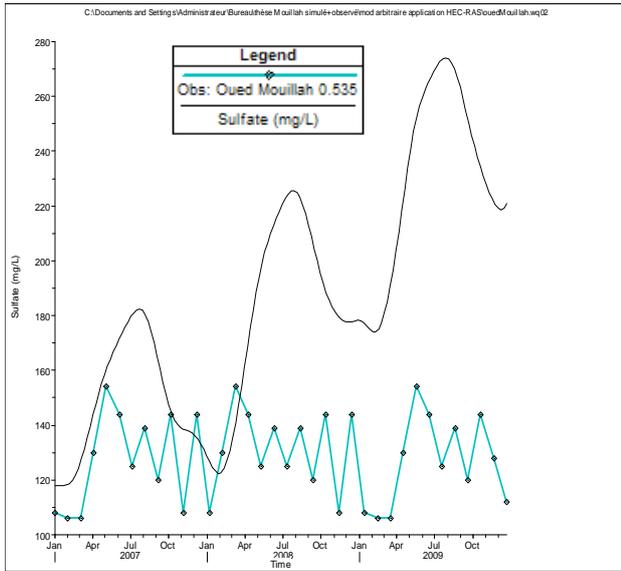
- Le tronçon sortie de la STEP [2.751 à 2.399] : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}



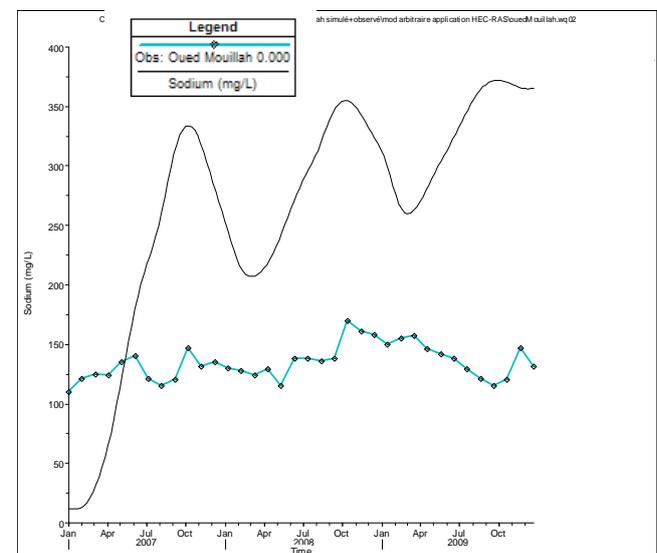
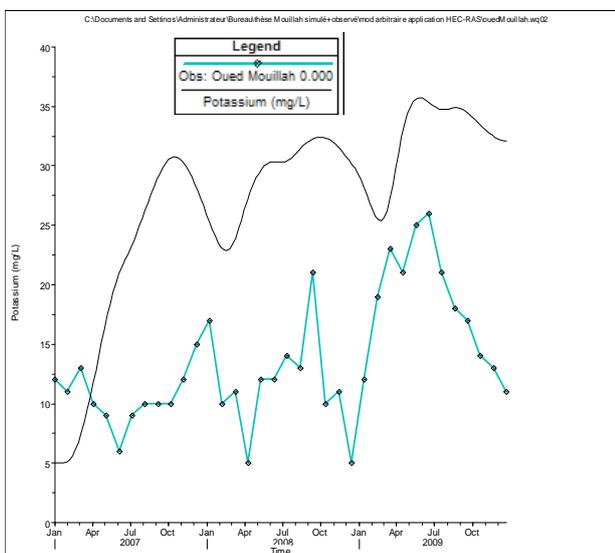
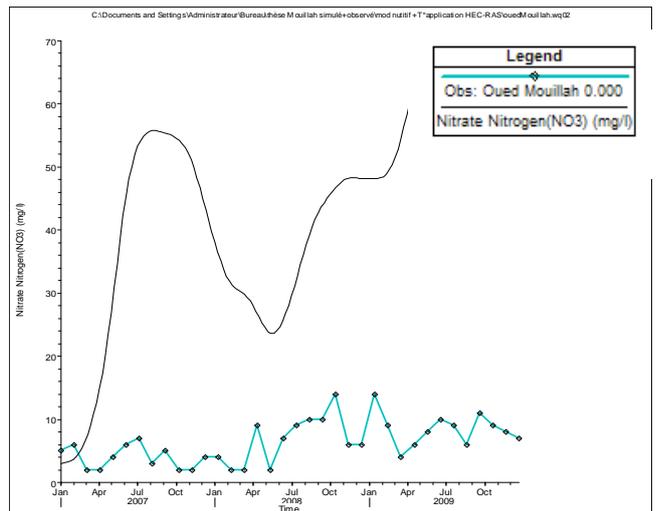
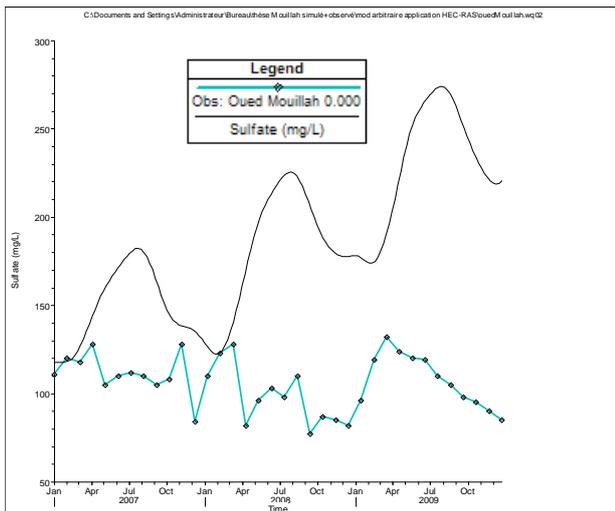
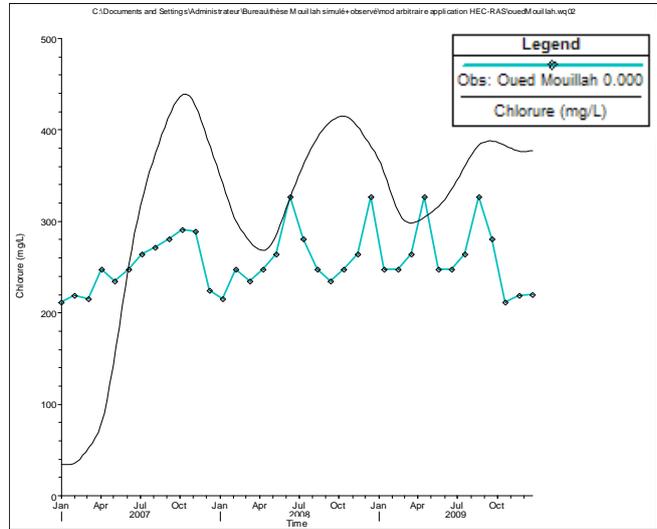
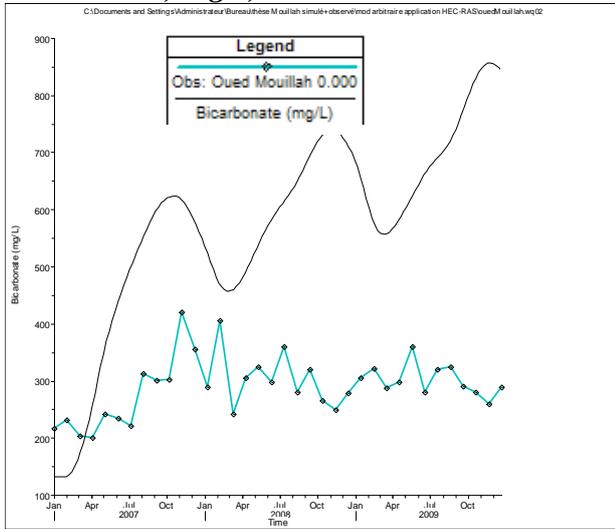


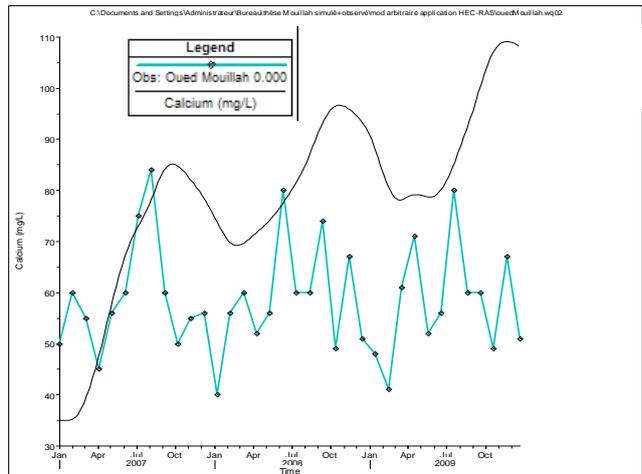
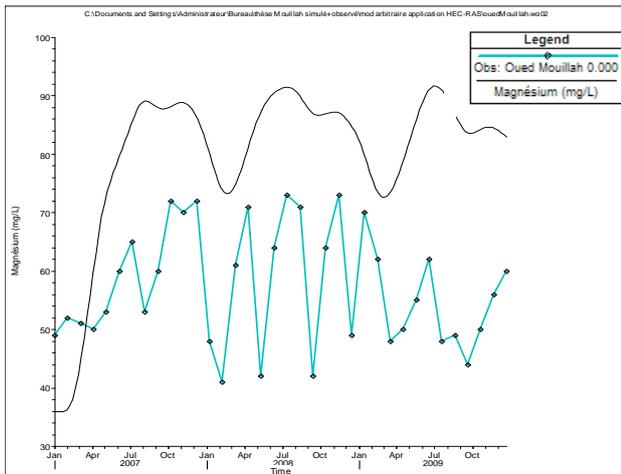
- Le tronçon cuvette du barrage [0.535 à 0.000] : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}





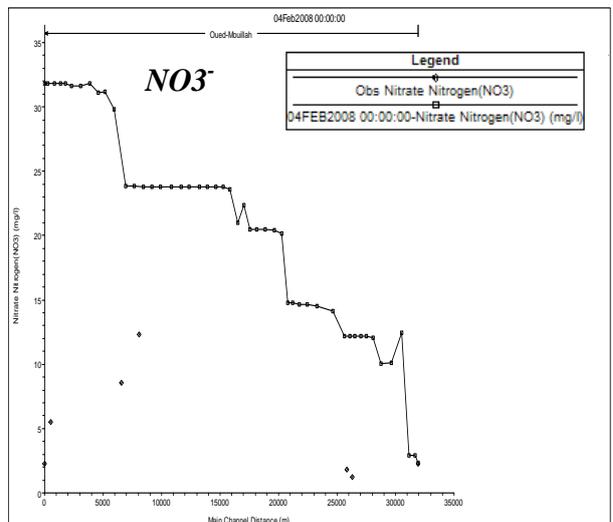
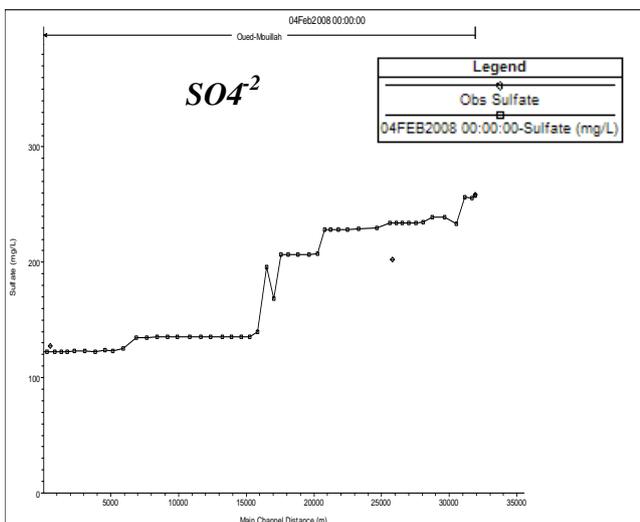
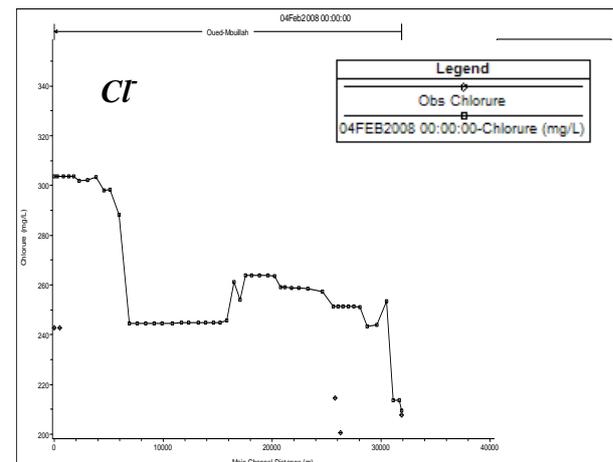
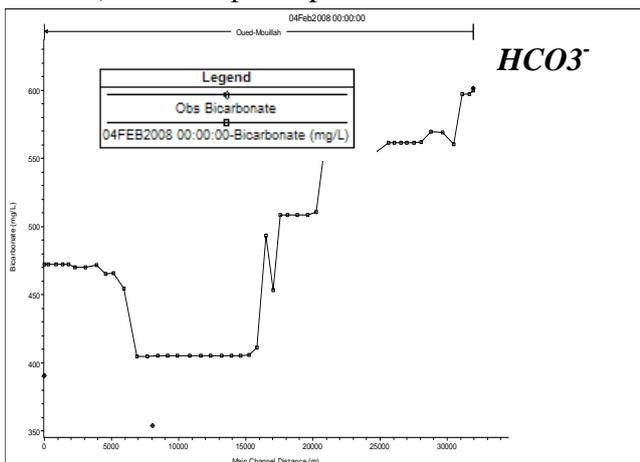
- Le tronçon aval du barrage [0.000 à l'aval du barrage] : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}

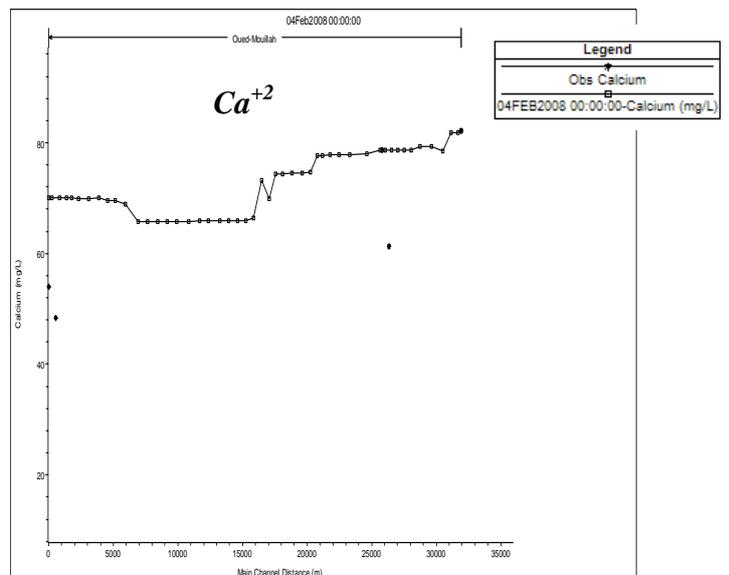
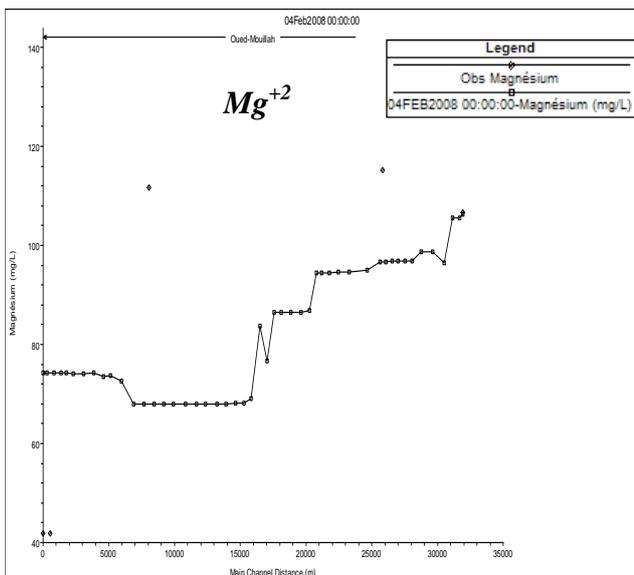
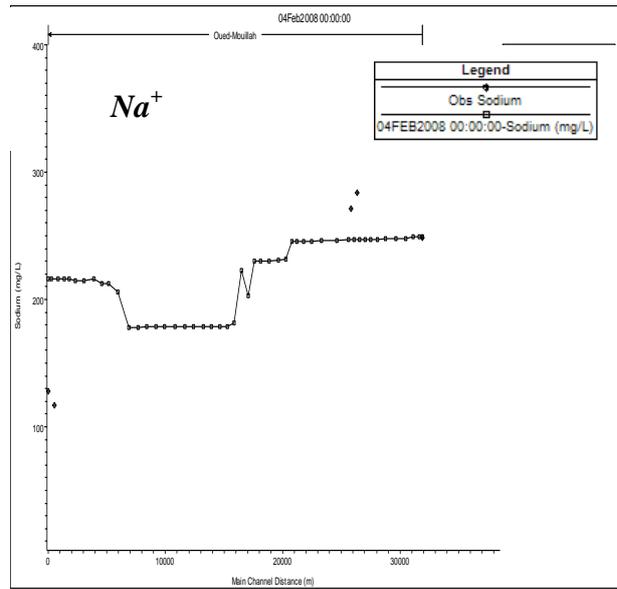
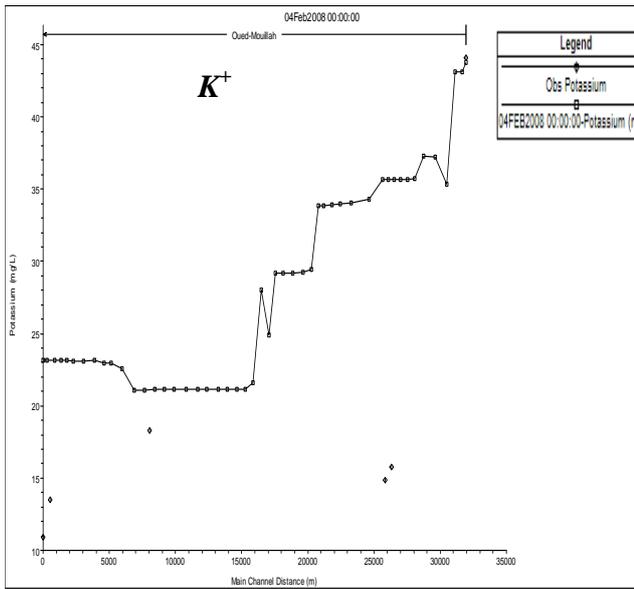




Annexe 21 : Modélisation des ions majeurs (Simulation dans l'espace)

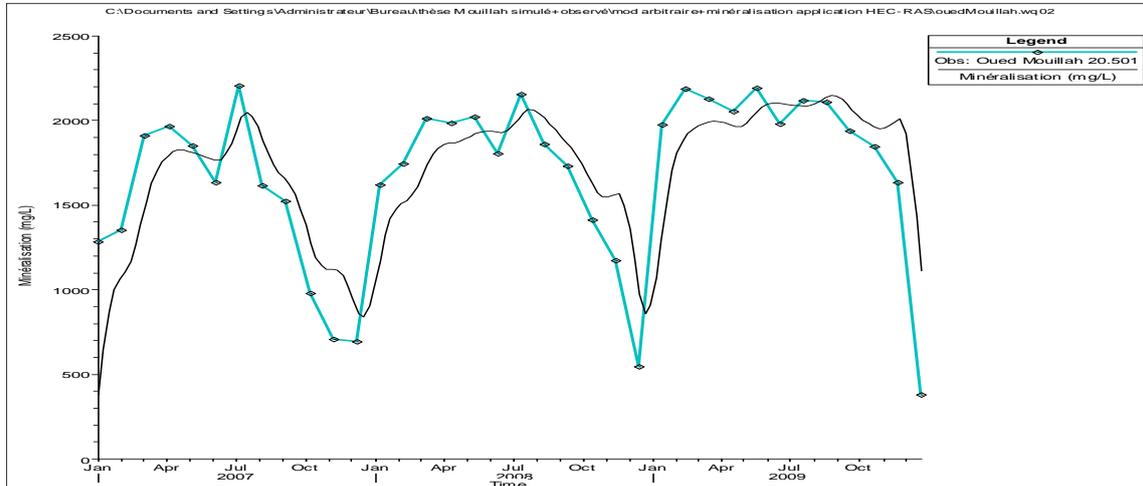
Graphes de propagation des ions majeurs (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) dans l'espace: pour le 04/02/2008



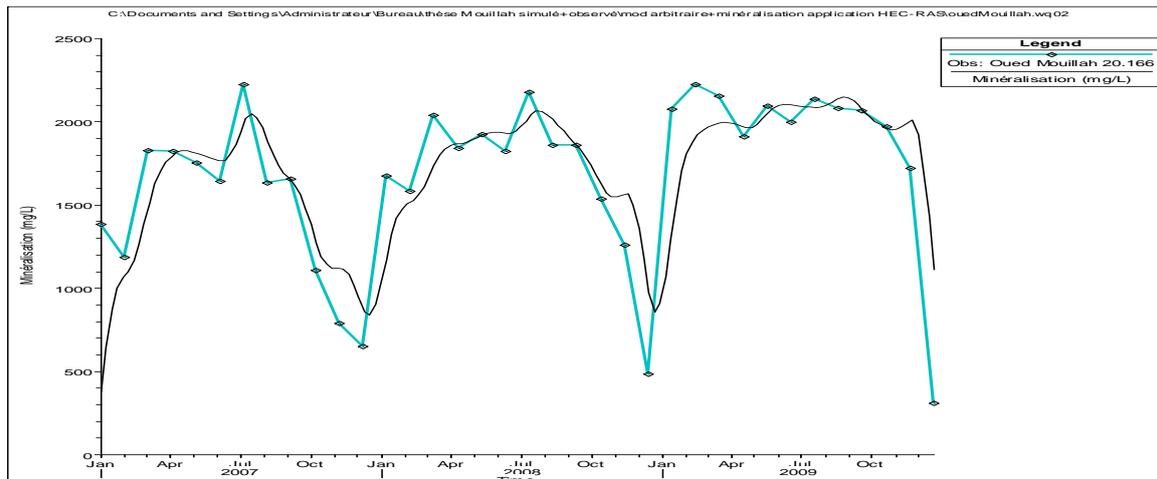


Annexe 22 : Modélisation de la minéralisation (Simulation dans le temps)

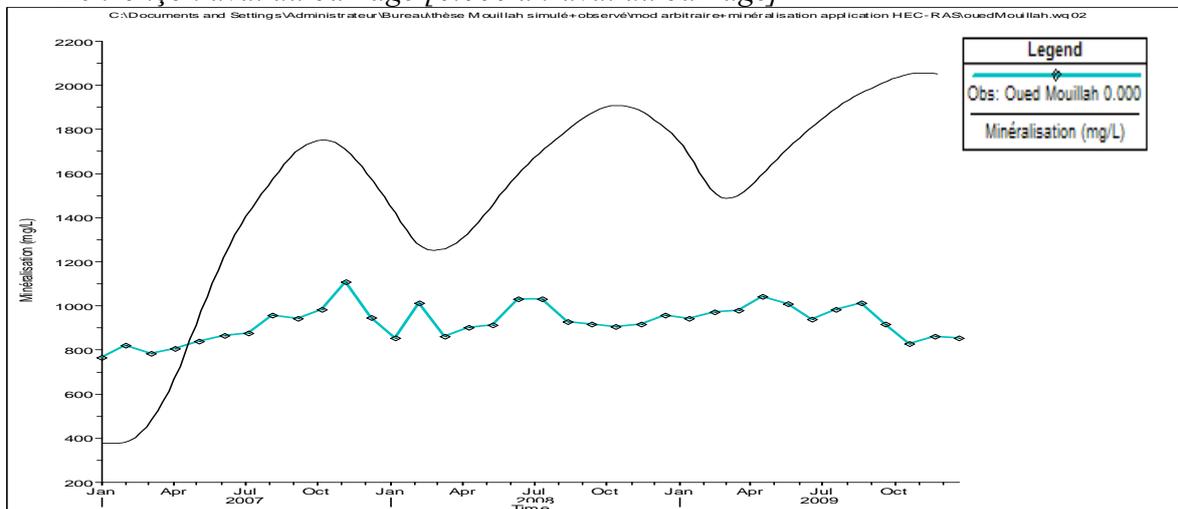
- *Le tronçon lac de la diguette [20.501 à 20.166]*



- *Le tronçon aval de la diguette [20.166 à 19.770]*

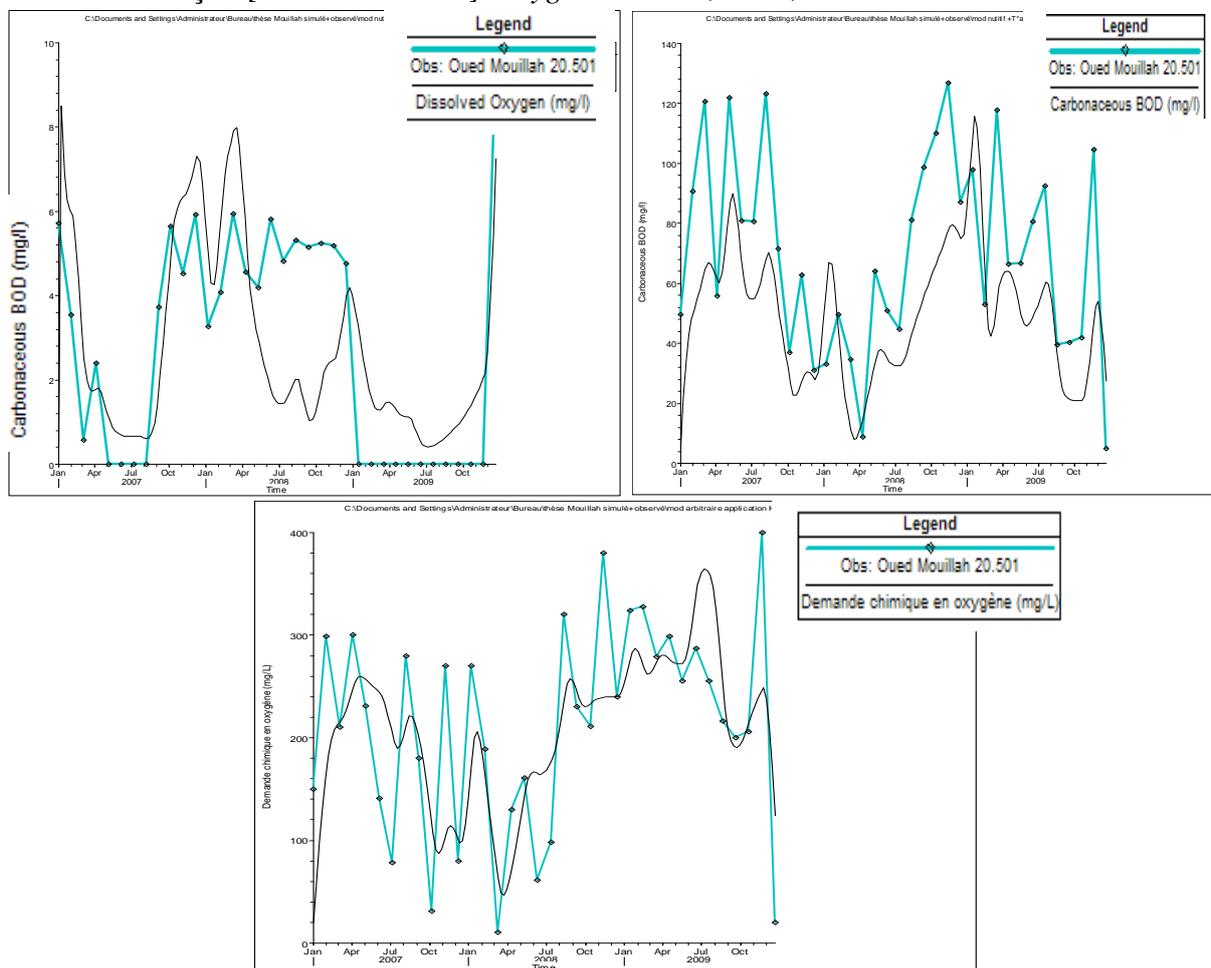


- *Le tronçon aval du barrage [0.000 à l'aval du barrage]*



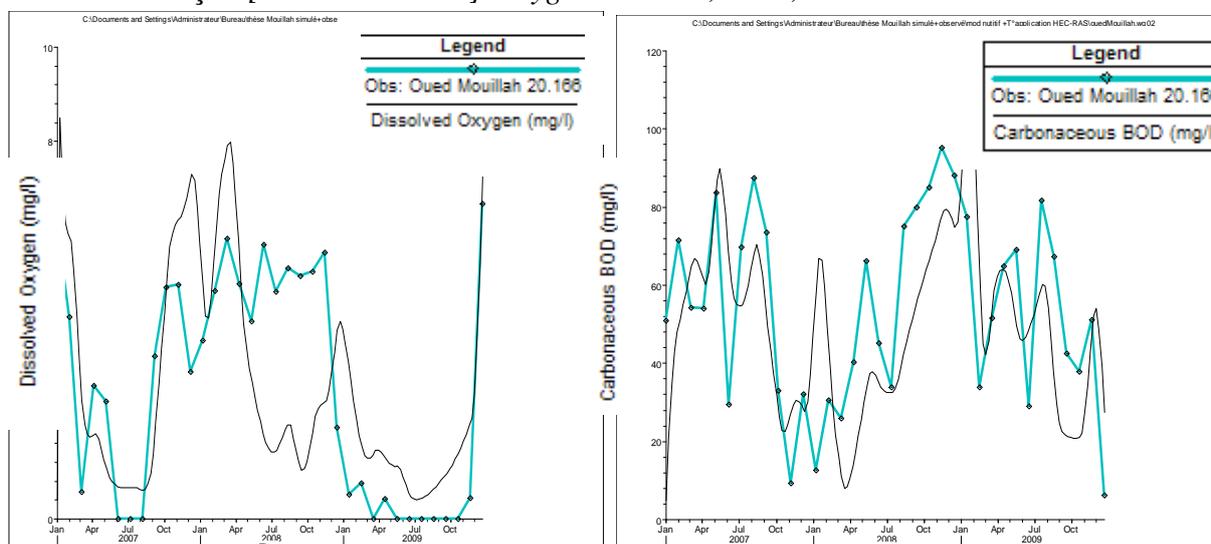
Annexe 23 : Modélisation de la pollution organique (Simulation dans le temps)

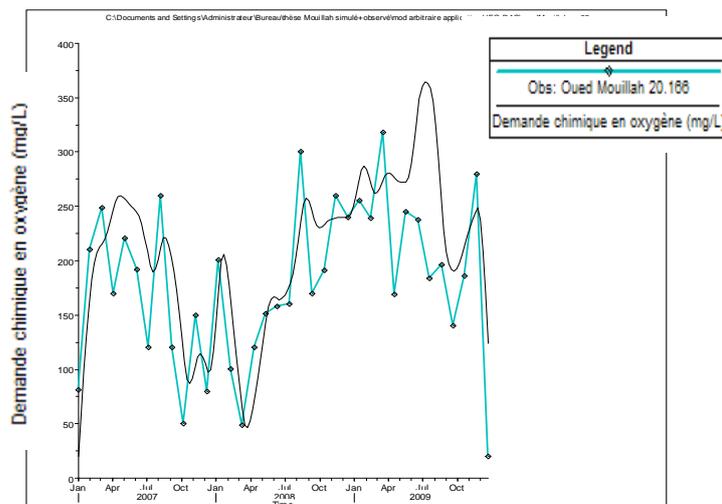
- Le tronçon [20.501 à 20.166]: oxygène dissous, DBO, DCO



La pollution organique au lac de la diguette est représentée par 24.2% de pollution organique biodégradable et 75.8 % de pollution organique non biodégradable.

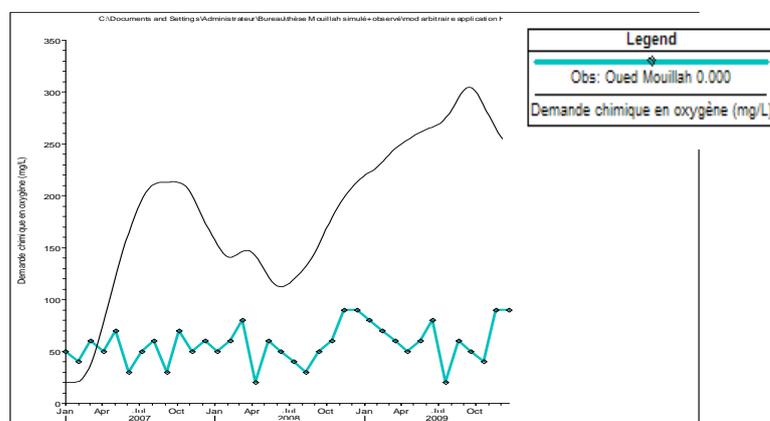
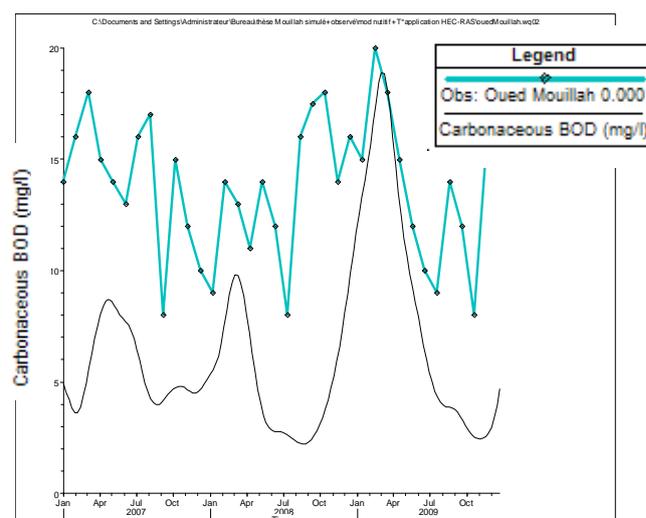
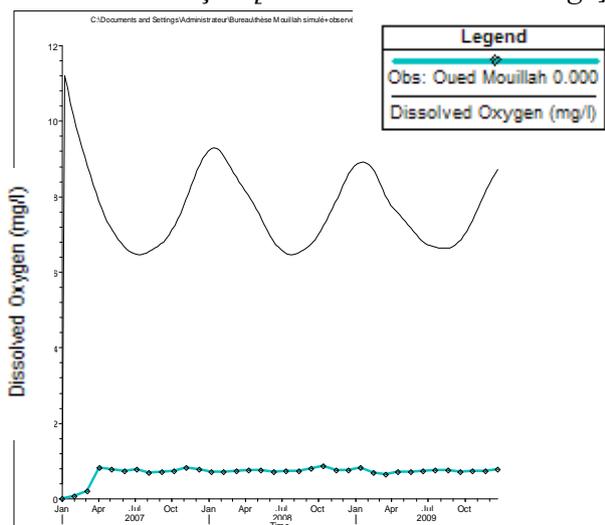
- Le tronçon [20.166 à 19.770]: oxygène dissous, DBO, DCO





La pollution organique à l'aval de la diguette est représentée par 24.1% de pollution organique biodégradable et 75.88 % de pollution organique non biodégradable.

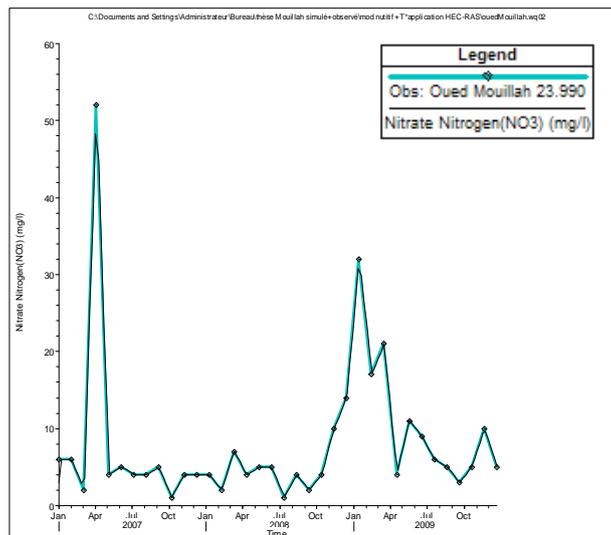
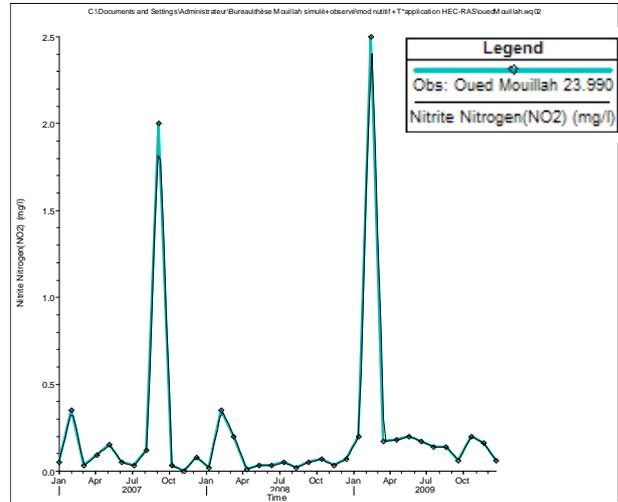
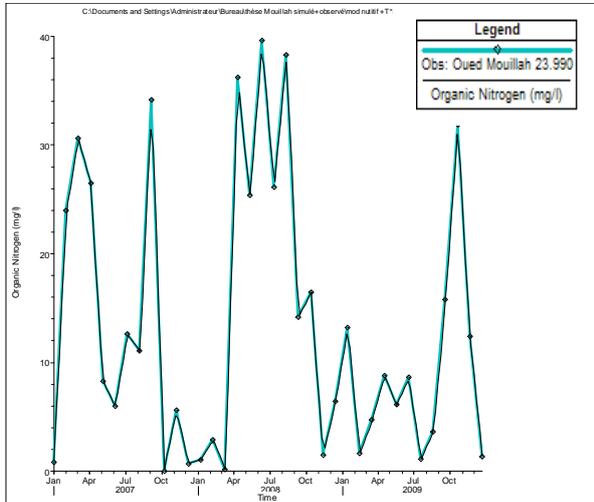
- *Le tronçon [0.000 à l'aval du barrage]: oxygène dissous, DBO, DCO*



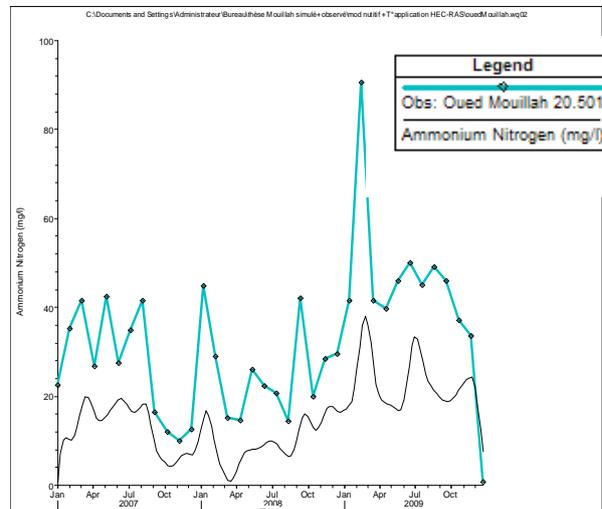
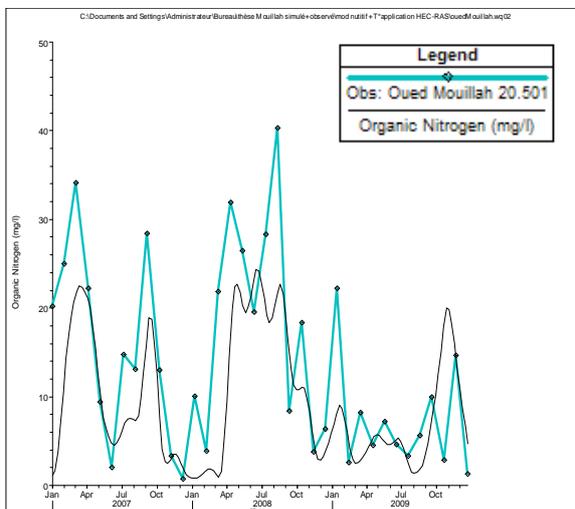
La pollution organique à l'aval du barrage Boughrara est représentée par 4.6% de pollution organique biodégradable et 95.3% de pollution organique non biodégradable.

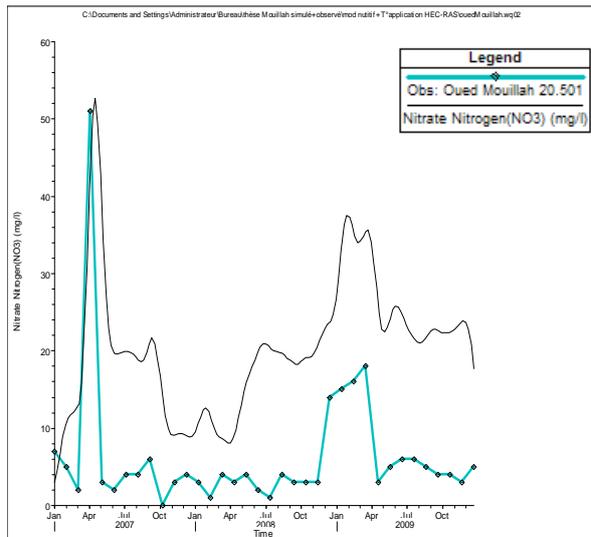
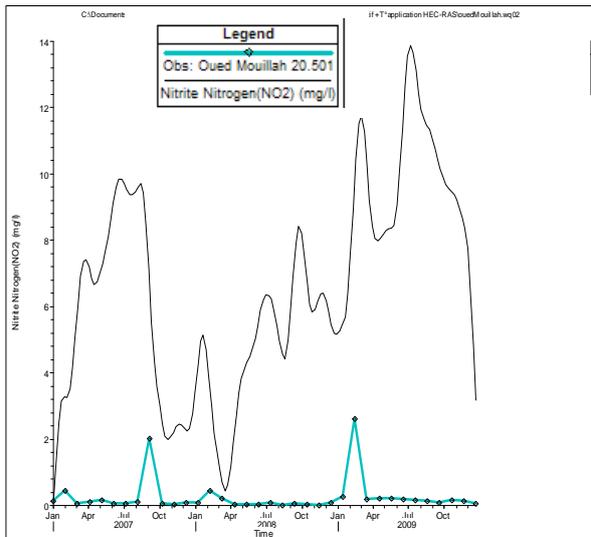
Annexe 24 : Modélisation des paramètres azotés (Simulation dans le temps)

• Le tronçon [23.990 à la frontière] : Org N, NO₂, NO₃

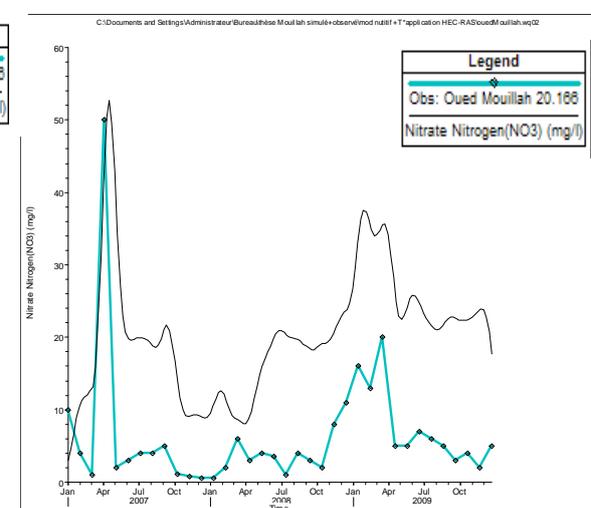
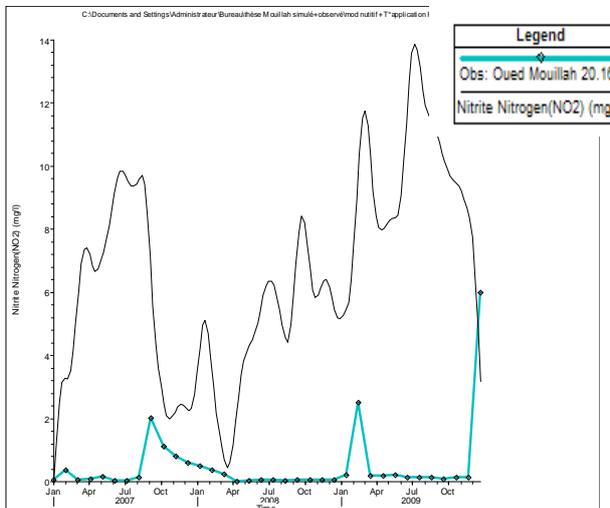
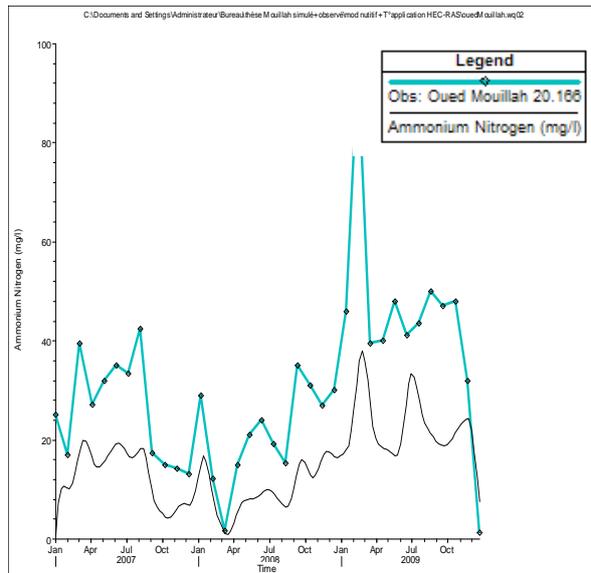
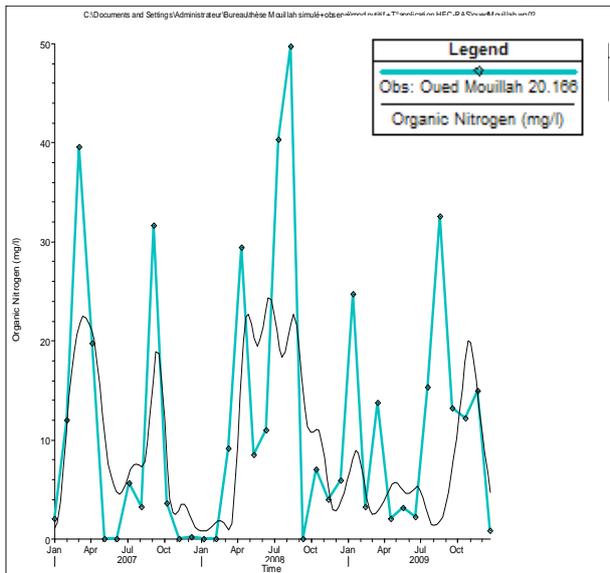


• Le tronçon [20.501 à 20.166] : Org N, NH₄, NO₂, NO₃

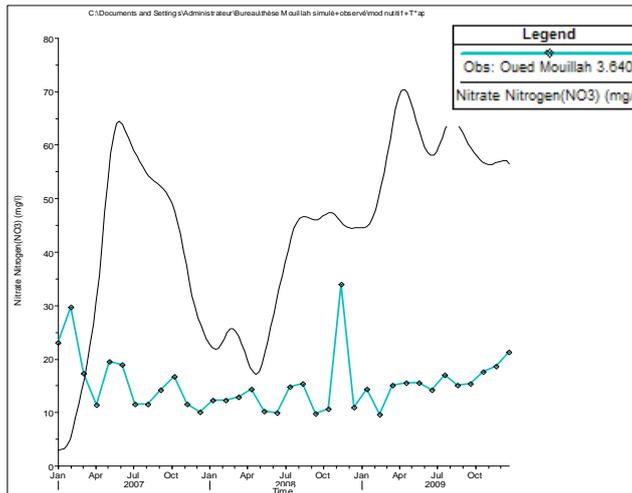
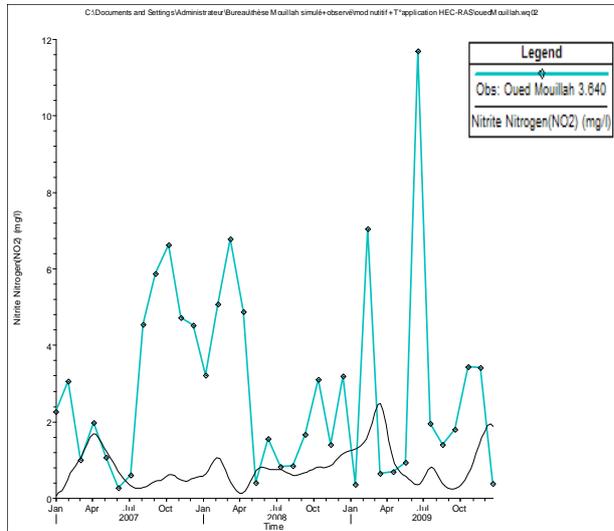
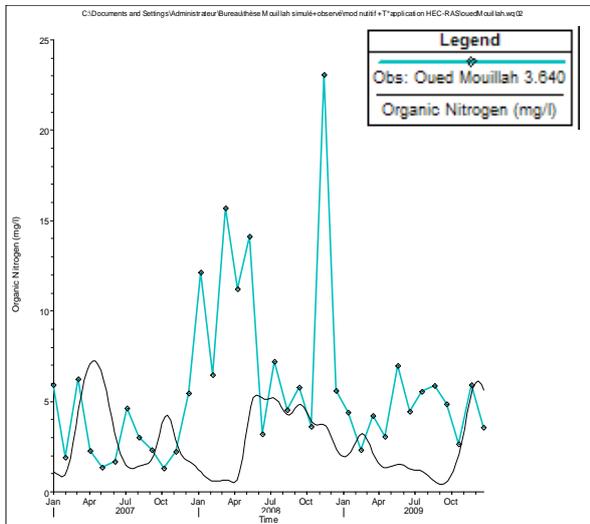




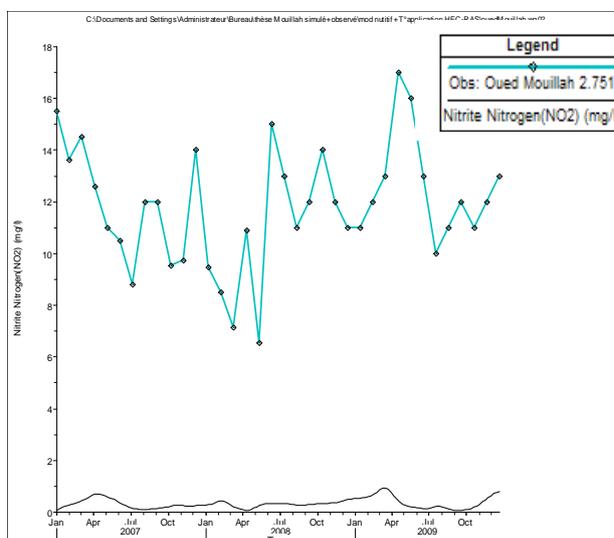
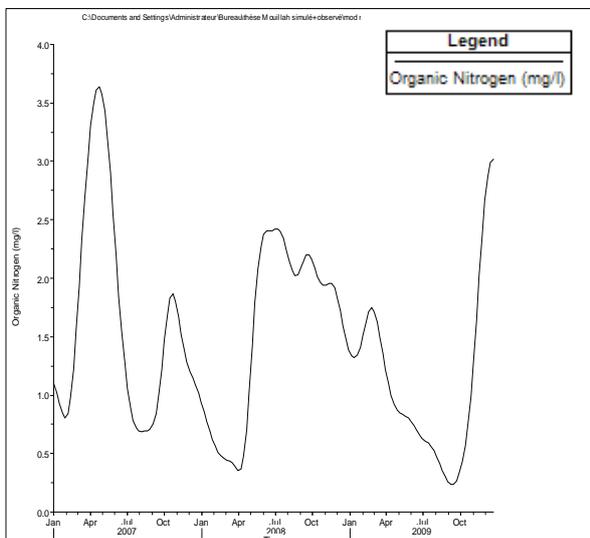
• *Le tronçon [20.166 à 19.770] : Org N, NH4, NO2, NO3*

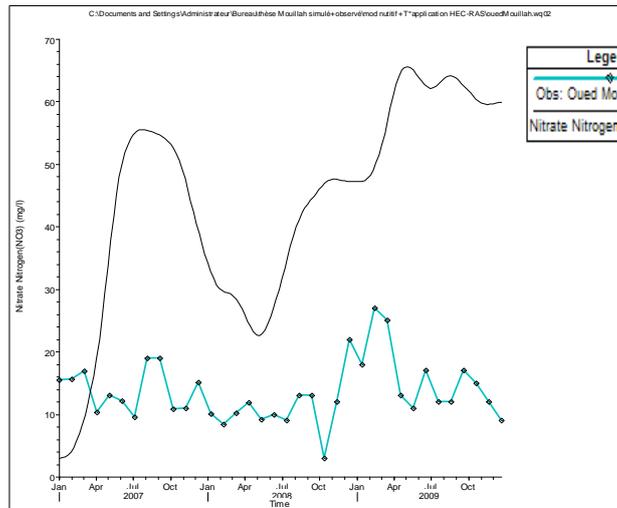


• *Le tronçon [3.640 à 3.310] : Org N, NO2, NO3*

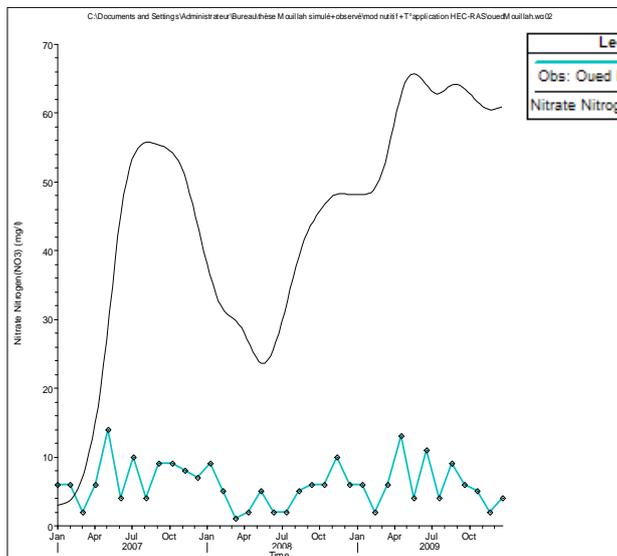
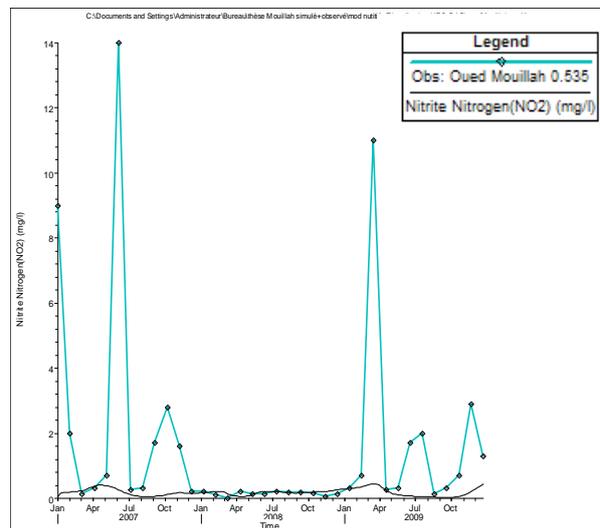
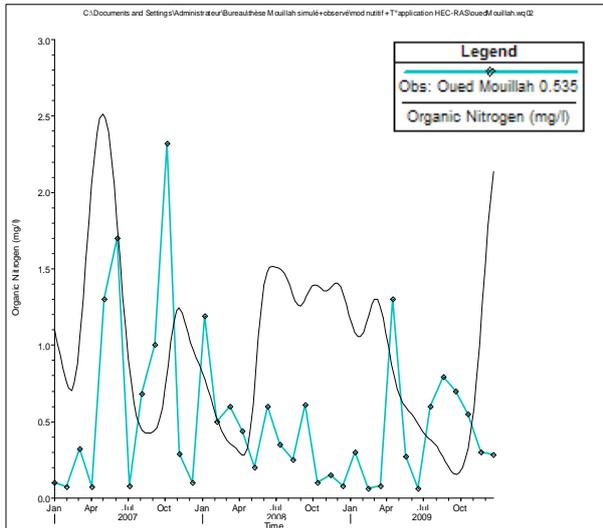


• *Le tronçon [2.751 à 2.399] : Org N, NO2, NO3*

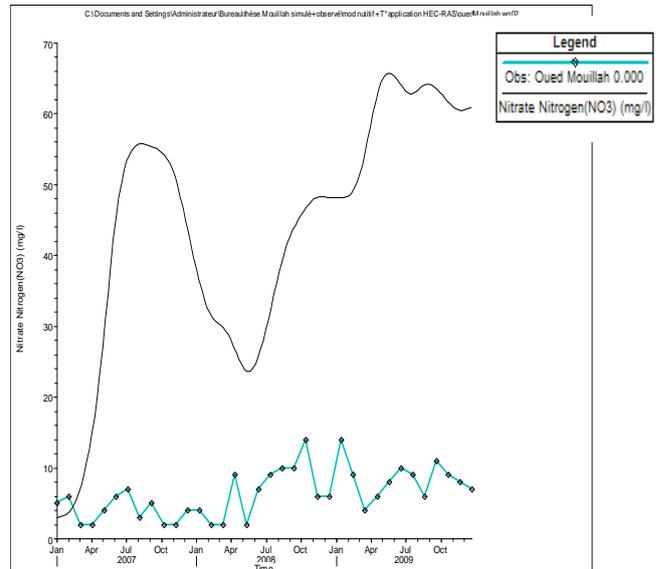
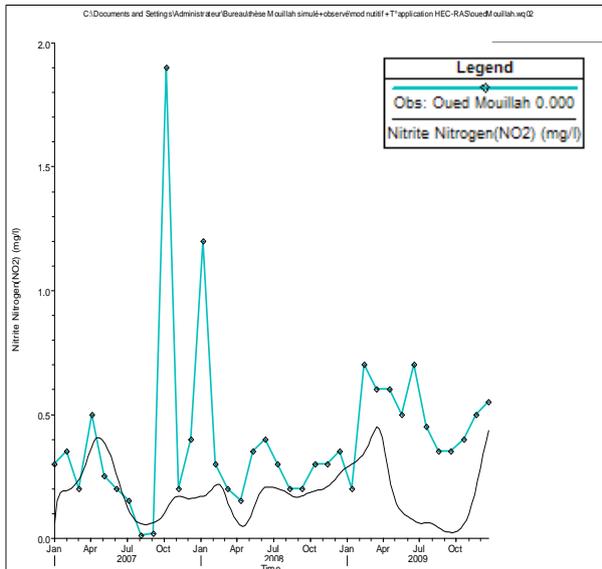
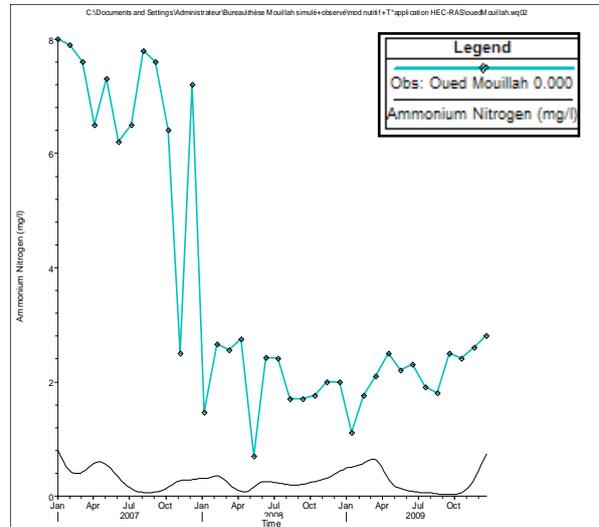
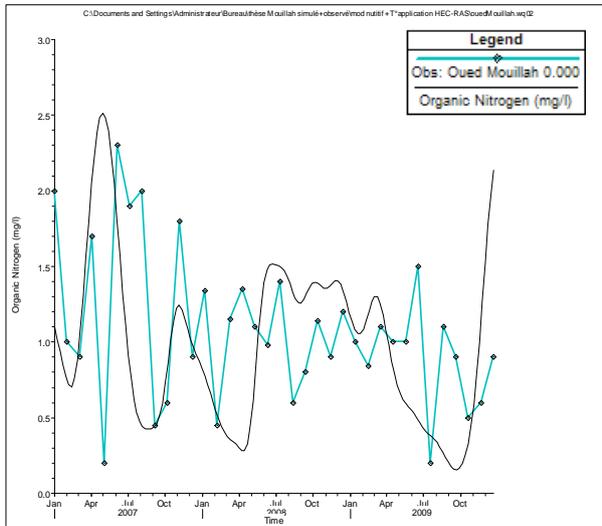




• *Le tronçon [0.535 à 0.000] : Org N, NO2, NO3*

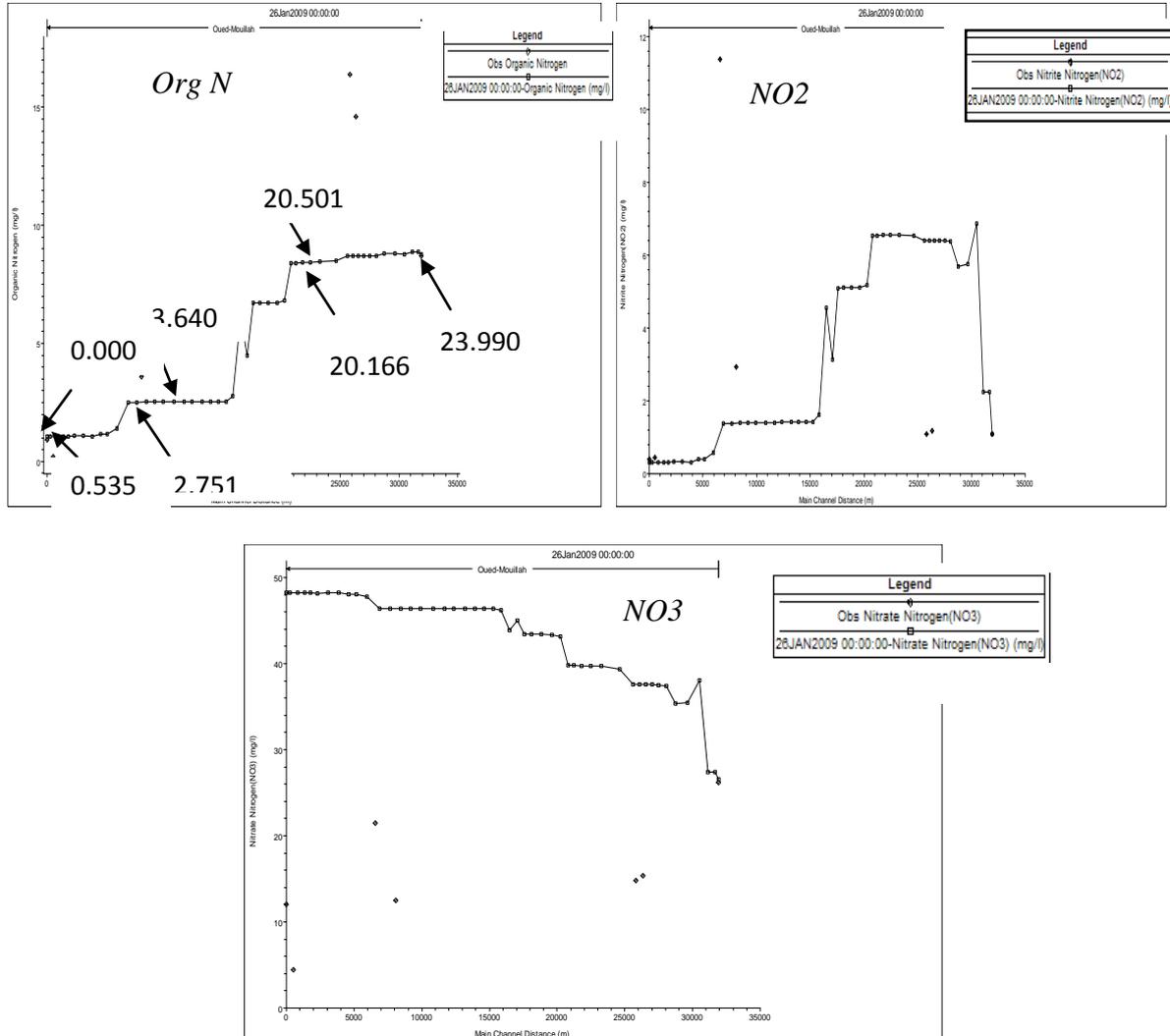


• *Le tronçon [0.000 à l'aval du barrage] : Org N, NH₄, NO₂, NO₃*



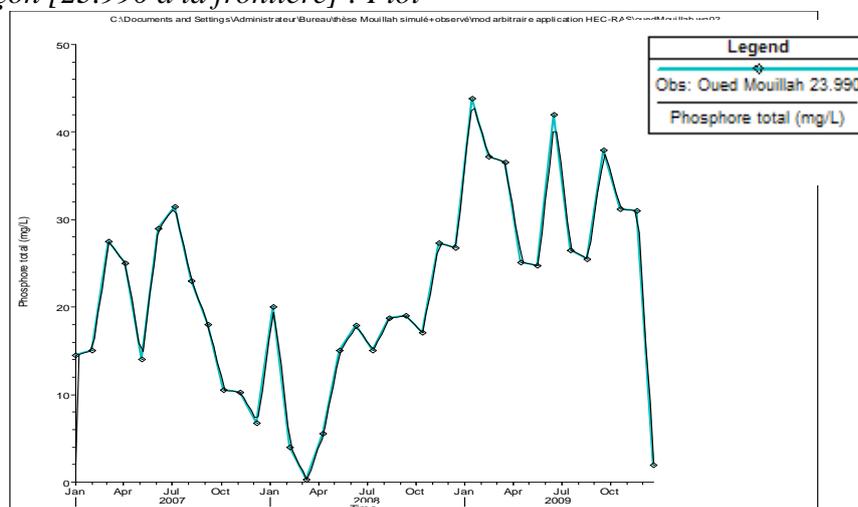
Annexe 25 : Modélisation des paramètres azotés (simulation dans l'espace)

- Graphes de propagation des composés azotés (*Org N*, *NO₂*, *NO₃*) dans l'espace: pour la date 26/01/2009

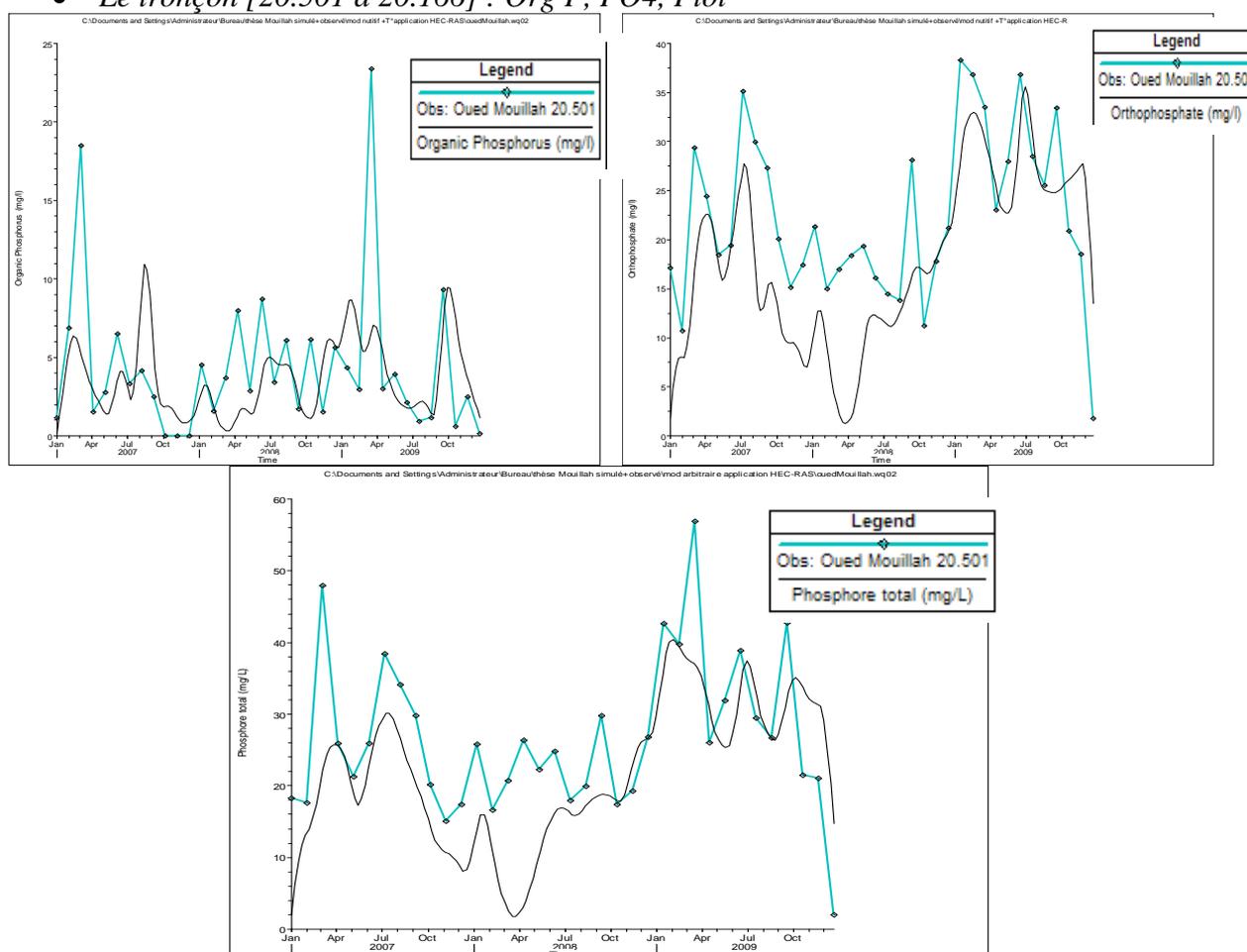


Annexe 26 : Modélisation des paramètres phosphatés (simulation dans le temps)

- Le tronçon [23.990 à la frontière] : Ptot

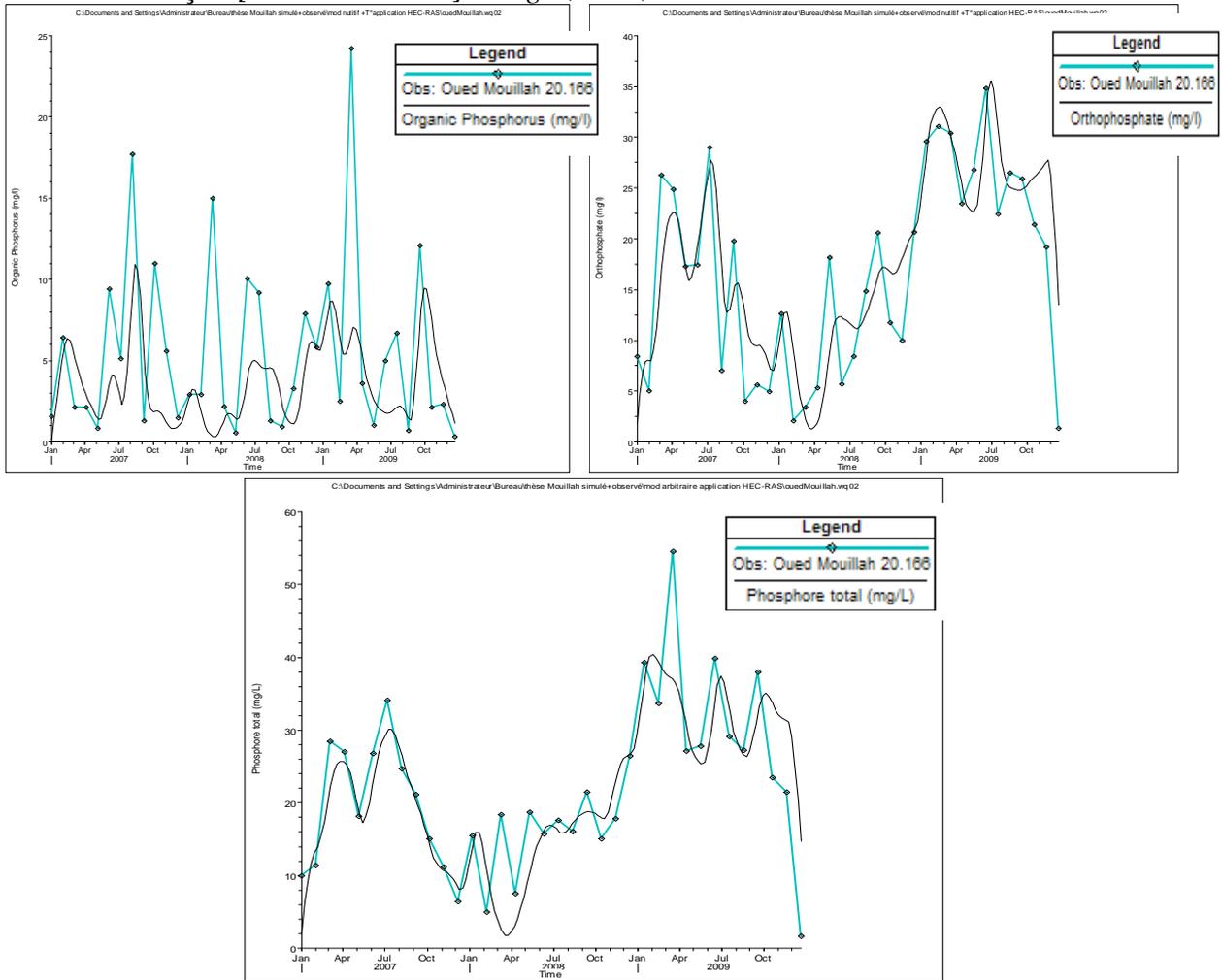


- Le tronçon [20.501 à 20.166] : Org P, PO4, Ptot



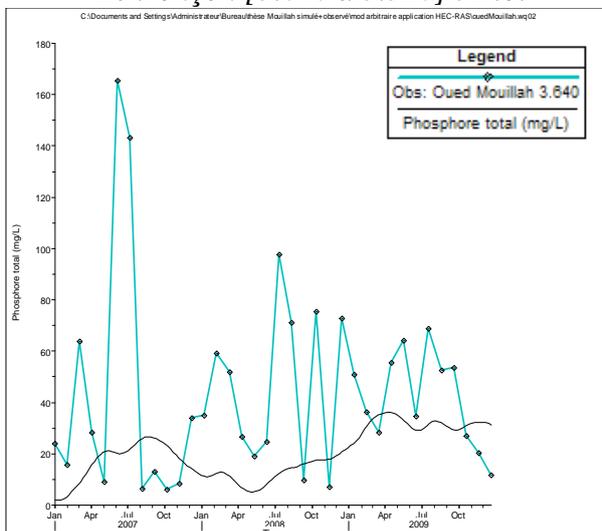
Au lac de la diguette, le phosphore total est représenté par 22% de phosphore organique et 79% d'orthophosphate.

● *Le tronçon [20.166 à 19.770] : Org P, PO4, Ptot*

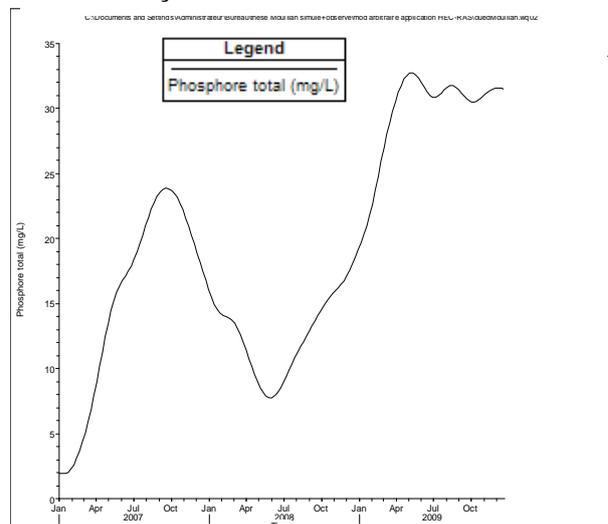


A l'aval de la diguette, le phosphore total est représenté par 18% de phosphore organique et 93% d'orthophosphate.

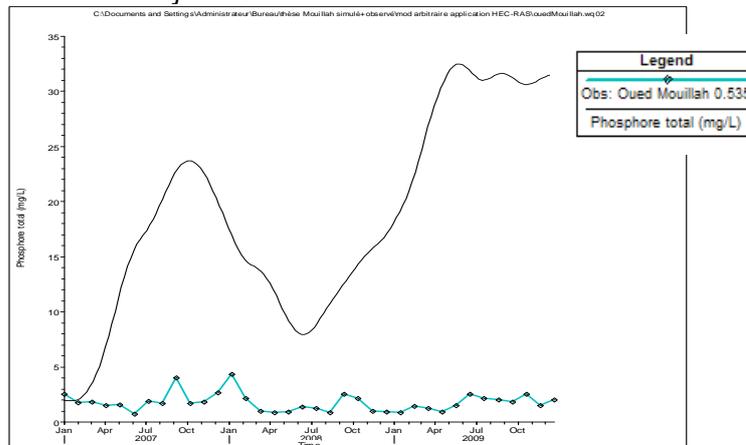
● *Le tronçon [3.640 à 3.310] : Ptot*



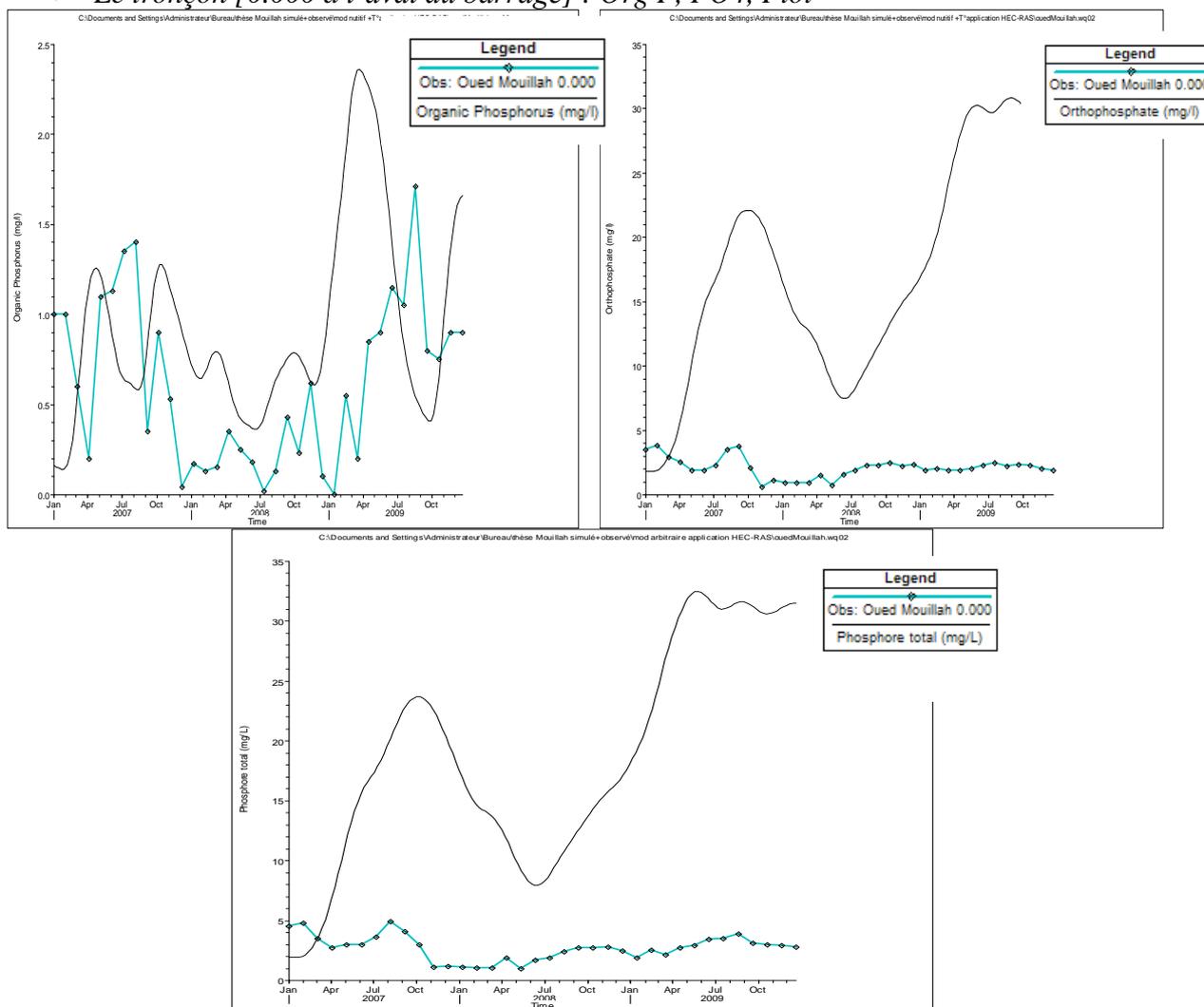
● *Le tronçon [2.751 à 2.399] : Ptot*



• *Le tronçon [0.535 à 0.000] : Ptot*



• *Le tronçon [0.000 à l'aval du barrage] : Org P, PO4, Ptot*



Le phosphore total à l'aval de barrage Boughrara est représenté par 5.7 % de phosphore organique et 93 % d'orthophosphate.