

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABÈS-SIDI BEL ABBES

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Laboratoire écodéveloppement des espaces

Thèse de doctorat en sciences

Spécialité : sciences de l'environnement

Option : eau et environnement

Thème :

**Etude hydrobiologique comparative des eaux des deux oueds
(Mekerra et Saida) à la traversée des zones urbaines des villes de
Sidi Bel Abbès et Saida : impact sur la santé et l'environnement.**

Présentée par : GUENFOUD Ahmed

Soutenue le 06 /02/2020

Devant le jury composé de :

Président : Mr. MOUEDDENE Kada	Professeur	université de Djilali Liabes –Sidi Bel Abbès
Examineur : Mr. BOURAS Djilali	Professeur	université d'Oran 1
Examineur : Mr. ZENASNI Mohamed Amine	MCA	université de Tlemcen
Directeur de thèse : Mr. BENYAHIA Mohamed	Professeur	université de Djilali Liabes –Sidi Bel Abbès

Année universitaire

2018-2019

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans mes études, m'a donné courage et patience pour surpasser tous les moments difficiles et qui m'a permis d'achever ce travail.

Il m'est agréable d'exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui ont manifesté de l'intérêt et m'ont permis de mener à bien ce travail et plus particulièrement mes très chers parents.

C'est sans doute à Monsieur le **professeur BENAYAHIA Mohamed**, directeur de cette thèse, que je tiens à lui exprimer tout mon respect et toute ma gratitude. Je le remercie vivement de m'avoir mis sur les rails de la recherche. Son aide, ses orientations, ses suggestions, ses conseils et ses critiques constructives, m'ont vraiment aidé à élaborer ce travail de recherche.

Je remercie vivement le **professeur MOUDDENE Kada**, d'avoir accepté de présider l'honorable jury.

J'exprime mes plus profonds remerciements au **professeur BOURAS Djilali**, de l'université d'Oran 1, pour avoir accepté de participer à ce jury.

Je remercie sincèrement le **Dr. ZENASNI Mohamed Amine**, maître de conférences "A" à l'université Aboubeker Belkaid de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce travail de doctorat.

Mes plus vifs remerciements vont plus particulièrement :

Aux personnels, enseignants du département de sciences de l'environnement et de la faculté des sciences de la nature et de la vie (SNV),

Aux personnels de tous les laboratoires qui m'ont aidé de réaliser les analyses relatives à ce travail,

Aux fonctionnaires de la direction des ressources en eau de la wilaya de Sidi Bel Abbés et de Saida,

Aux personnels de la direction de la planification et de l'aménagement du territoire des wilayas de Sidi Bel Abbés et de Saida,

A ceux qui m'ont donné l'aide sans rien attendre en retour,

Enfin, j'aimerais remercier tous mes amis et collègues de travail pour leur amitié, leur soutien, et tous ceux qui se sont intéressés à mon travail et à mon bien être.

Merci,

Résumé

Considérés comme les principaux cours d'eau du réseau hydrographique du bassin de la Mactaa, dans la région ouest des hauts plateaux en Algérie, les deux oueds, Mekerra et Saida, sont actuellement touchés par la pollution générée par les activités anthropiques, à l'exemple des rejets urbains, industriels et agricoles. Dans le but de cerner l'état de pollution de ces deux cours d'eau durant ces dernières années, notre travail a été axé sur la caractérisation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau dans les tronçons des deux villes, à savoir : Sidi Bel Abbès et Saida.

Les résultats obtenus décrivent de façon nette l'existence d'une pollution chimique et organique au niveau des stations étudiées dans les deux oueds, due à l'augmentation du calcium et magnésium, des chlorures, nitrates, nitrites et ortho phosphates, du DBO5 et de l'oxygène dissous. Exception faite pour les nitrates, au centre et à l'aval de la ville de Saida, où les valeurs des teneurs moyennes sont faibles, vraisemblablement dues à des phénomènes de transformation des nitrates en nitrites et la consommation des nitrates par les microorganismes.

L'évaluation de l'indice de pollution organique (IPO) vient confirmer qu'il y a une pollution organique forte, en amont, qui s'accroît lors du passage des eaux dans les zones urbaines des deux villes (IPO très fort).

Sur le plan bactériologique, les résultats obtenus montrent la présence d'une charge élevée en bactéries inductrices de contaminations fécales (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux), avec une légère importance pour l'oued Saida. Le rapport entre CF/SF montre qu'il y a une prédominance de la contamination d'origine humaine que celle animale.

Les germes mésophiles totaux sont aussi importants, particulièrement à 22°C. Pour les germes pathogènes, genre salmonelle, ils n'ont pas été détectés, et ce, en dépit de la présence d'une charge élevée en coliformes fécaux, qui peut être due au mode de survie de ces germes à l'état viable que cultivable. La détermination de l'indice de qualité microbiologique (IQM), pour chaque oued, a confirmé la dégradation de la qualité microbiologique en raison de la pollution fécale, avec une importance pour le site de Saida.

Ainsi, à la lumière des résultats obtenus des analyses des eaux des oueds, Mekerra et Saida, sur les deux plans physico-chimiques et bactériologiques, nous ont permis de conclure que la qualité de ces eaux est moyenne à mauvaise lors de leurs passages dans les milieux urbains et ne peuvent donc être utilisées qu'après un traitement préalable, afin de préserver l'environnement et protéger la santé publique des populations.

Mots clés : bassin Mactaa, Oueds Mekerra Saida, pollution, villes Sidi Bel Abbès et Saida, IPO, charge élevée bactéries, IQM, pollution fécale.

Abstract

Considered as the main stream of hydrographic network of Mactaa's basin, in the Highlands in west region of Algeria, both wadis, Mekerra and Saida, are presently affected by pollution generated by anthropogenic activities, as example of human, industrial and agricultural waste. In order to identify the pollution state of both streams during these last years, our work was focussed on characterization of physico-chemical and bacteriological parameters of water in stretches of both towns, which are : Sidi Bel Abbes and Saida.

Results obtained describe clearly existence of chemical and organic pollution at level of stations studied in both wadis, due to increase of calcium magnesium, chlorides, nitrates, nitrites and ortho phosphate, of DBO5 and dissolved oxygen. Except for nitrates, in the centre and downstream from the city of Saida where values of average contents are low, probably due to phenomena of nitrates and nitrites transformation and nitrates consumption by microorganisms.

Evaluation of organic pollution index (OPI) has just confirmed that there is a high organic pollution, upstream, which increases with high water passage towards urban areas of both cities (OPI).

On the bacteriological level, results obtained show presence of high load of inductive bacteria of faecal contamination (total coliforms, faecal coliforms and faecal streptococci with light importance for wadi Saida. The relationship between FC/FS shows that there is contamination predominance of human origin than of animal.

The total mesophilic germs are also significant, notably at 22°C. For pathogenic germs, like salmonella, they have not been detected, in spite of high load presence in faecal coliforms, which can be due to the survival mode of these germs at viable state than cultivable. Determination of microbiological quality index (MQI), for each wadi, confirms degradation of microbiological quality because of faecal pollution, with importance for Saida site.

So, in the light of the results obtained from water analyses of wadis Mekerra and Saida on the two physico-chemical and bacteriological levels, allowed us concluding that quality of these waters is medium to poor during their passage in urban environment and cannot be used only after pre-treatment, with the view of preserving the environment and to protect public health and population.

Key words: Mactaa's basin, wadis Mekerra Saida, pollution, town of Sidi Bel Abbes and Saida, OPI, high bacteria load, MQI, faecal pollution.

ملخص

يعتبر وادي مكرة و وادي سعيدة من بين أهم المجاري المائية للشبكة الهيدروغرافية لحوض المقطع في
الجهة الغربية من الهضاب العليا
بالجزائر. هذان الوديان يوجدان حاليا عرضة للتلوث الناجم عن أنشطة الإنسان المختلفة مثل النفايات الحضرية،
الصناعية و الفلاحية ، لهذا وفي إطار تقييم حالة التلوث على مستوى هذان الوديان خلال السنوات الأخيرة ،
قمنا بهذا العمل الذي يرتكز على تمييز المعايير الفيزيوكيميائية
و البكتيريولوجية للماء على مستوى المقاطع لكل من مدينة سيدي بلعباس و سعيدة.

باستثناء النترات في وسط وأسفل مدينة سعيدة أين كانت النتائج منخفضة مقارنة بالمعايير المعمول بها فإن أغلب
النتائج المتحصّل عليها

أثبتت وجود ثلوث كيميائي وعضوي في الوديان وهذا راجع إلى ارتفاع في تركيز كل من الكالسيوم والمغنسيوم ،
النترات ، النيتريتات ، الكلوريدات ، الفوسفات ، الأوكسجين المذاب
والطلب البيوكيميائي للأكسجين مدة 05 أيام . تقدير مؤشر التلوث العضوي (IPO) على مستوى الوديان أكد
وجود ثلوث عضوي قوي الذي يزداد خلال مرور المياه بالوسط الحضري لكل من مدينة سعيدة وسيدي بلعباس.

فيما يخص الجانب البكتيريولوجي ، أكدت النتائج المتحصّل عليها بوجود حمولة مرتفعة من البكتيريا الدالة على
وجود تلوث برازي
(القولونيات ، القولونيات البرازية ، المكورات العقدية) مع ارتفاع طفيف على مستوى واد سعيدة . العلاقة بين القولونية
البرازية والمكورات العقدية ، أكدت أن أصل التلوث البرازي يعود للإنسان أكثر من الحيوان .

بالنسبة للجراثيم معتدلة الحرارة خاصة في درجة حرارة 22 مئوية فهي كذلك مرتفعة،
لكن بالنسبة للجراثيم المرضية فإنه لم يتم اكتشافها.
تقييم مؤشر النوعية الميكروبيولوجية (IQM) أكد تدهور نوعية المياه من الجانب الميكروبيولوجي على مستوى كل
واد وهذا راجع إلى وجود تلوث برازي كبير.

في الأخير وعلى ضوء هذه النتائج فإننا نؤكد بأن مياه واد مكره وسعيدة ذو نوعية فيزيوكيميائية وبكتيريولوجية
متوسطة إلى سيئة أثبتت
مرورها بالوسط الحضري ، وعليه فإنه لا يمكن استعمالها إلا بعد معالجتها وهذا حتى نحمي البيئة
وكذلك الصحة العمومية للسكان.

الكلمات المفتاحية: حوض المقطع ، أودية مكره وسعيدة، تلوث ، مدينة سيدي بلعباس
وسعيدة، مؤشر التلوث العضوي ، حمولة مرتفعة من البكتيريا ، مؤشر النوعية الميكروبيولوجية ، تلوث برازي.

Liste des Tableaux

n°	Titre de tableau	Page
01	Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines	07
02	Principaux types de pollutions des eaux et leurs agents responsables	14
03	Répartition spatiale des eaux de surface du pays	17
04	Grille normative pour estimer la qualité générale des eaux superficielles	20
05	Répartition hypsométrique du bassin versant de l'oued Mekerra	27
06	Classification du relief d'O.R.S.T.O.N	30
07	Valeurs de températures, minimales, maximales et moyennes de la région de Sidi Bel Abbés (Période 1986-2004)	35
08	Classement du type de climat selon l'indice d'aridité de De Martonne	38
09	Fréquence moyenne mensuelle des gelées (période 1985-2005)	38
10	Récapitulation des principaux paramètres caractérisant le bassin versant d'oued Saïda	42
11	Températures moyennes, minimales et maximales de la région de Saida (1979 à 2007)	46
12	Classement du type de climat selon l'indice d'aridité de De Martonne	48
13	Vitesse moyenne des Vents de la région de Saida (période 1977-1986)	50
14	Variation annuelle de gelé et sirocco de la région de Saida de la période de 1985-2000	50
15	Principales activités industrielles installées dans la ville de Sidi Bel Abbés	59
16	Principales entreprises localisées dans la ville de Saida	61
17	Indices de pollutions organiques (IPO) des stations étudiées au niveau des deux oueds (Mekerra et Saida)	85
18	Origine de contamination fécale des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	92
19	Limites des classes pour l'IQM	93
20	Indice de contamination microbiologique des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	94
21	Dénombrement des microorganismes à essais multiples	128

Liste des figures

n°	Titre de figure	Page
01	Situation géographique du bassin versant de l'oued Mekerra	25
02	Courbe hypsométrique du bassin d'oued Mekerra	27
03	Précipitations moyennes mensuelles observées au niveau de la station Sidi Bel Abbés (1985 à 2004)	35
04	Histogrammes des températures mensuelles minimales, maximales et moyennes de la région de Sidi Bel Abbés (1985-2004)	36
05	Abaque pluviothermique d'Emberger de la région de sidi bel abbés	37
06	Localisation géographique du bassin versant de l'oued Saida	41
07	Histogramme des pluviométries moyennes mensuelles durant la période (1979- 2007)	45
08	Histogramme des Températures minimales, maximales et moyennes durant la période allant de 1979 à 2007	46
09	Diagramme Ombrothermique de la région de Saïda (période 1979-2007)	47
10	Climagramme pluviothermique d'Emberger de la région de Saïda	49
11	Localisation géographique de la ville de Sidi Bel Abbés	57
12	Situation géographique de la ville de Saïda	60
13	Photos des stations d'étude au niveau de l'oued Mekerra à la traversée de la ville de SBA	64
14	Photos des stations d'étude au niveau de l'oued Saida à la traversée de la ville de Saida	65
15	Valeurs moyennes des températures des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	72
16	Valeurs moyennes de Ph des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	73
17	Valeurs moyennes des conductivités des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	74
18	Valeurs moyennes en calciums (exprimées en mg/l) pour les eaux des deux sites (Mekerra et Saida)	75
19	Valeurs moyennes des magnésiums (exprimées en mg/l) pour les eaux des deux sites (Mekerra et Saida)	76
20	Valeurs moyennes des chlorures (exprimées en mg/l) pour les deux sites (Mekerra et Saida)	77
21	Valeurs moyennes des sulfates (exprimées en mg/l) dans les eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	78
22	Valeurs moyennes du résidu sec (exprimé en g/l) pour les eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	79
23	Valeurs moyennes (exprimés en mg/l) en nitrates des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	80
24	Valeurs moyennes des nitrites (exprimés en mg/l) des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	81
25	Valeurs moyennes des ions orthophosphates (exprimés en mg/l) pour les deux oueds	82

	(Mekerra et Saida)	
26	Valeurs moyennes d'oxygène dissous (exprimés en mg/l) des eaux des deux sites (Mekerra et Saida)	83
27	Valeurs moyennes de la demande biologique en oxygène (exprimés en mg/l) des deux sites (Mekerra et Saida)	84
28	Valeurs moyennes des germes mésophiles aérobies totaux (à 22°C et à 37°C) pour les eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	87
29	Histogrammes des valeurs moyennes des coliformes totaux des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	88
30	Histogrammes des valeurs moyennes des coliformes fécaux des eaux des oueds (Mekerra et Saida)	89
31	Valeurs moyennes des germes streptocoques fécaux des eaux des deux oueds (Mekerra et Saida)	90

Abréviations

AEP : Approvisionnement En Eau Potable

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydriques

BCPL : Bouillon Lactosé au Pourpre Bromocrésol

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène pendant Cinq jours

DD : Développement Durable

DSA : Direction des Services Agricoles

DHW : Direction de l'Hydraulique de la wilaya

IQM : Indice de Qualité Microbiologique

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

OMM. Organisation Mondiale Météorologique

ONU : Organisation des Nations Unies

ONS : Office National des Statistiques

PNDA : Plan National du Développement Agricole

PNUD : Pan des Nations Unis de Développement

STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées

UFC : Unité Formant de Colonies

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale 1

Chapitre I :

Généralités sur les ressources en eau superficielles état de connaissance en Algérie.... 4

I.1.Introduction	5
I.2.Définition des eaux superficielles	5
I.2.1.Origine et caractéristiques des eaux superficielles.....	6
I.2.2.Méthodes de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux superficielles	8
I.2.3.Principaux problèmes menaçants les eaux de surface.....	12
I.2.3.1.Pollution.....	13
I.2.3.2. Changements climatiques	14
I.4.Eaux de surface en Algérie.....	16
I.4.1. Potentialités par bassins hydrographiques.....	16
I.4.2 Mobilisation au profit des utilisateurs.....	17
I.4.3.Etat de lieux de la pollution de l'environnement et de l'eau.....	18
I.4.4 Grille qualitative de classification des cours d'eau.....	19
I.5. l'eau et la santé publique	21
I.6 .Conclusion	22

Chapitre II :

Présentation des deux bassins versants, Mekerra et Saida..... 23

II.1.Introduction.....	24
II.2.Bassin versant de l'oued Mekerra	24
II. 2.1. Localisation géographique.....	24
II. 2.2. Cadre morphométrique	25
II. 2.3. Cadre géologique.....	30
II. 2.4. Données climatiques	34

II. 2.5. Aperçu phyto-pédologique.....	39
II. 2.6. Hydrographie.....	39
II. 2.7. Aperçu hydrogéologique.....	40
II.3.Bassin versant de l’Oued Saida.....	40
II.3.1. Contexte géographique.....	40
II.3.2. Aspect morphologique.....	42
II.3.3. Cadre géologique.....	43
II.3.4. Cadre climatique.....	44
II.3.5.Aperçu phyto-pédologique.....	50
II.3.6.Hydrographie.....	51
II.3.7. Hydrogéologie.....	52
II .4.Conclusion.....	53

Chapitre III :

Matériels et Méthodes.....	55
III.1.Introduction.....	56
III.2.Description des deux zones d’étude.....	56
III.2.1. La ville de Sidi Bel Abbés.....	56
III.2.1.1.Localisation géographique.....	56
III.2.1. 2.Topographie de la région.....	57
III.2.1.3. Données socio-économiques.....	58
III.2.2.La ville de Saida.....	59
III.2.2.1. Localisation géographique.....	59
III.2.2.2.Cadre géomorphologique.....	60
III.2.2.3. Données socio-économiques.....	61
III.3.Choix et présentation des stations d’étude.....	62
III.4.Echantillonnage.....	66
III.5. Caractérisation physico-chimique.....	66
III.6.Caractérisation bactériologique.....	67
III.7.Conclusion.....	68

Chapitre IV :

Résultats et Discussion.....	70
IV.1. Introduction.....	71

IV.2. Etude des résultats d'analyses de qualité des eaux des deux oueds.....	71
IV.2.1. Qualité physico-chimique.....	71
IV.2.1.1. Présentation et discussion des résultats	71
IV.2.1.1.1. Température.....	71
IV.2.1.1.2. pH.....	72
IV.2.1.1.3. Conductivité électrique.....	73
IV.2.1.1.4. Calcium (Ca^{2+}).....	74
IV.2.1.1.5. Magnésium (Mg^{2+}).....	75
IV.2.1.1.6. Chlorures (Cl^-).....	76
IV.2.1.1.7. Sulfates (SO_4^{2-}).....	77
IV.2.1.1.8. Résidu sec (RS).....	78
IV.2.1.1.9. Nitrates (NO_3^-).....	79
IV.2.1.1.10. Nitrites (NO_2^-)	80
IV.2.1.1.11. Orthophosphates (PO_4^-).....	81
IV.2.1.1.12. Oxygène dissous.....	82
IV.2.1.1.13. Demande biologique en oxygène (DBO5).....	83
IV.2.1.2. Evaluation de l'indice de pollution organique (IPO)	84
IV.2.2. Qualité bactériologique	85
IV.2.2.1. Germes mésophiles aérobies totaux (GMAT).....	86
IV.2.2.2. Coliformes totaux (CT)	87
IV.2.2.3. Coliformes fécaux (CF).....	88
IV.2.2.4. Streptocoques Fécaux (SF).....	89
IV.2.2.5. Clostridium sulfito-réducteurs (CSR).....	90
IV.2.2.6. Salmonelles	91
IV.2.2.7. Origine de contamination fécale	91
IV.2.2.8. Evaluation de l'indice de qualité microbiologique (IQM).....	93
IV.3. Conclusion	94
Conclusion générale et recommandations	97

Références bibliographiques

Annexes

Introduction générale

Les ressources en eau, qu'elles que soient superficielles ou souterraines, ont un impact important dans le développement des activités socio-économiques et même environnementales d'un pays. Plusieurs régions sont actuellement confrontées par le manque d'eau, dont la banque mondiale fixe le seuil de rareté à 1000 m³/hab./an, tandis que le quart du seuil de confort est défini à 2000 m³/hab./an [01 ; 03].

Cette situation est devenue une des préoccupations majeures ces dernières années pour les autorités, dont le souci est d'assurer une ressource en eau pérenne et suffisante pour satisfaire les besoins des utilisateurs (population, agriculture et industrie) qui sont en forte croissance dans un contexte mondial marqué par le changement climatique (sécheresses prolongées) et ses conséquences sur les différents processus du cycle de l'eau. En effet, le problème de la pénurie de l'eau ne se limite pas à la quantité, mais porte également sur sa qualité qu'il doit aujourd'hui plus que jamais bien gérer [02].

En Algérie, le problème de la gestion de cette ressource rare, vitale et précieuse se pose, maintenant plus qu'hier, tant dans sa mobilisation et sa distribution, que de sa protection et sa préservation contre toutes sources et formes de dégradation [03].

Malgré la quantité d'eau couvrant notre planète est colossale, estimée à 1400 millions de km³, seulement 9000 km³ sous forme d'eau douce sont utilisés par l'homme pour tous usages confondus [03]. Si cette quantité est suffisante pour faire face aux futurs besoins de l'humanité, l'altération de la qualité de l'eau rend la part compatible avec les utilisations de plus en plus petites [05]. Toutefois, la qualité de l'eau est perturbée, voir dégradée souvent par des rejets polluants divers générés, généralement, par les activités anthropiques. Ces dernières sont à l'origine de la plupart des problèmes de pollution des eaux et également de l'environnement [06].

Beaucoup d'études, dans le monde et en Algérie, ont révélé que la qualité des eaux de surface a subi ces dernières années une grande détérioration en raison des contaminations diverses conduisant à des effets néfastes sur la faune et la flore [07]. A ceci s'ajoute la baisse des précipitations et, en général, les sécheresses récurrentes.

En fait, les activités industrielles, agricoles ou urbaines sont susceptibles de modifier les caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques des eaux et les rendre impropres à l'utilisation. C'est notamment le cas des zones urbaines et périurbaines, où les cours d'eau qui les traversent, au milieu ou à proximité, reçoivent à ciel ouvert les rejets de différentes sortes, dont les impacts se traduisent par un déséquilibre écologique du milieu, des aspects environnementales désagréables et également par des problèmes sanitaires souvent inquiétants [02 ; 08].

Dans ce sens, les Oueds, Mekerra et Saida, considèrent parmi les principaux chenaux du réseau hydrographique superficiel du grand bassin versant de la Macta dans l'ouest Algérien, dont la surface est de 14 389 km² [09]. Ces deux oueds participent au drainage d'une surface non négligeable de la Macta, environ 32% de la surface totale, et à l'alimentation des barrages Fergoug et Ouizert, dans la wilaya limitrophe de Mascara, qui sont actuellement exposés au risque de la pollution par divers déversements, où les eaux usées constituent la part importante dans la dégradation des milieux récepteurs. Ces dernières, et malgré les efforts du pouvoir public en terme de récupération et de recyclage, restent le problème majeur non seulement pour la dégradation de l'environnement, mais aussi pour la santé publique, où quelques cas des maladies d'origine hydrique sont enregistrées chaque année.

Ainsi, l'objectif principal de cette présente thèse est de faire un suivi spatio-temporel de la qualité des eaux de ces deux oueds, Mekerra et Saida, en mettant l'accent sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Ce travail est articulé sur quatre grands chapitres, en commençant tout d'abord par un aperçu général des ressources en eau superficielles, faisant l'objet du **premier chapitre**. Cet aperçu donnera suite à une présentation générale de l'état de connaissances sur les eaux superficielles ainsi que celles en Algérie.

Le **deuxième chapitre**, est consacré à l'étude des deux bassins versants des Oueds, *Mekerra* et *Saida*, en donnant la localisation géographique, les caractéristiques de la forme, le cadre climatique, la géologie, l'hydrographie et enfin l'hydrogéologie.

Dans le **troisième chapitre**, on va voir, premièrement, le cadre général des deux régions d'étude de Sidi Bel Abbés et Saida en mettant l'accent sur leur localisation géographique, leur cadre géomorphologique, ainsi que les données socio-économiques qui caractérisent chaque ville sus citée. En second lieu, on abordera les matériels et méthodes utilisées pour définir la qualité des

eaux des deux Oueds, *Mekerra et Saida*, à la traversée des deux villes de Sidi Bel Abbés et Saida, en déterminant les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques.

Le **quatrième chapitre** sera destiné à la présentation et discussion des résultats obtenus.

A la fin, ce travail se termine par une conclusion générale et une proposition de quelques recommandations pour une gestion durable de ces deux cours d'eau.

Chapitre I :

GENERALITES SUR LES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES ET ETAT DE CONNAISSANCE EN ALGERIE

I.1. Introduction

On est d'accord que notre planète terre est également appelée « *planète bleue* », car l'eau recouvre 72% des 510 millions Km² de la surface du globe. En effet, cet or bleu existe en quantité abondante et constante depuis des millénaires, dont le volume est estimé à 1400 millions de Km³. Même si la consommation en eau connaissait un accroissement remarquable au fil du temps, il serait donc impossible de consommer cette quantité phénoménale [10].

De fait, l'eau présente sur la terre n'est pas totalement (soit 100%) propre à la consommation. La plus grande partie, soit 97,5 %, est de nature salée, avec une salinité de 35g/l, et le reste, soit 2,5%, représentant 35 millions de Km³, est une eau douce [11]. Sur cette quantité d'eau douce, seule une faible proportion est représentée sous forme de cours d'eau et plans d'eau. Cette quantité, elle-même n'est pas stable ni dans le temps, ni dans l'espace. En réalité, les eaux de surface font partie du cycle naturel de l'eau, leur renouvellement se fait à partir des précipitations. Mais hélas, surtout ces dernières décennies, elles subissent des modifications sévères en termes de quantité et de qualité, dues à la réunion des activités humaines et les modifications globales de l'environnement.

Le rôle précieux et important de ces ressources en eau superficielles, avec celles souterraines, dans le développement socio-économique des nations nécessite désormais de donner l'attention particulière à cet or bleu à travers un plan de gestion adéquat et durable.

Le présent chapitre traite, d'une manière générale et succincte, les eaux de surface et donne ainsi un état de connaissance sur en Algérie.

I.2. Définition des eaux superficielles

On entend par eaux superficielles, ou encore appelé les eaux de surface douces, toutes les eaux circulantes et stockées (cours d'eau et plans d'eau) à la surface des continents de qualité douce, saumâtre ou salée. Certains auteurs ont écarté les plans artificiels, comme les barrages, de cette définition, car la fonction de ces derniers est bien souvent de retenir les eaux de crues pour qu'elles servent en période d'étiage [12].

D'après le glossaire de la commission européenne (1998) et l'office international de l'eau (2021), l'*eau de surface* désigne toute eau qui s'écoule ou qui stagne à la surface de l'écorce terrestre (lithosphère). Les eaux de surface regroupent ainsi :

- Hormis des eaux souterraines, toutes les eaux intérieures, cours d'eau, plans d'eau, canaux, réservoirs,

- Toutes les eaux littorales (côtières et de transition).

Avec son mouvement perpétuel, les eaux de surface rendent de nombreux services économiques et écologiques tels que : épuration de l'eau et son stockage, régulation des inondations, production de nourriture, refuge et conservation de la biodiversité, ainsi que des fonctions récréatives et loisirs, etc. Malheureusement, tous ces avantages sont actuellement menacés par la réunion de plusieurs facteurs tels que la croissance démographique, l'intensification des activités économiques et l'amélioration du niveau de vie, traduisant par une augmentation de la concurrence entre les utilisateurs pour cette ressource limitée. Cette problématique ne se limite pas à l'aspect quantitatif mais, également à l'aspect qualitatif [13].

I.3.Origine et caractéristiques des eaux superficielles

I.3.1.Origine

Avec une quantité de 0.01 % du volume global de l'hydrosphère, les eaux de surface ont pour origine soit des nappes profondes, dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière ; soit les eaux de ruissellement, provenant des précipitations. Ces eaux se regroupent dans des cours d'eau, caractérisées habituellement par une surface de contact eau-atmosphère, toujours en mouvement, et une vitesse de circulation appréciable.

Habituellement, elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles ou artificielles, caractérisées par une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable [14].

1.3.2. Caractéristiques

1.3.2.1. Le chimie de l'eau

Loin de toute perturbation, en particulier d'origine humaine, la qualité chimique naturelle des eaux revient globalement à un ensemble de processus géologiques, biologiques, hydrologiques et atmosphériques [15]. Les eaux de surface reçoivent en fait des apports de matières organiques et minérales provenant des différents terrains traversés dans les bassins versants. En effet, les principales sources de matières dissoutes ou en suspension sont l'altération des roches superficielles, le lessivage des sols organiques et les apports atmosphériques, océaniques ou fluviaux. D'autre part, les êtres vivants, animaux et végétaux, meurent sont aussi considérés comme une source des matières dissoutes ou particulières pour les hyposystèmes superficiels [15 ; 17].

En effet, dans tous ces processus, les propriétés physico-chimiques de l'eau jouent un rôle déterminant pour le fonctionnement des milieux aquatiques. L'aptitude de l'eau à solubiliser de nombreux produits implique qu'à l'état naturel, l'eau comprend des gaz, des substances

minérales, des matières organiques, des micro-organismes et même des particules en suspension [16].

En dehors de tout impact anthropique, la composition d'une eau découle du milieu naturel est très variable selon la lithologie d'où elle résulte et les éléments chimiques qu'elle est susceptible à mobiliser par les différentes réactions (dissolution, hydrolyse, etc.) [15]. Pour une eau de surface, par exemple en région granitique, les teneurs en sels se trouvent entre 30 à 40 mg/l, alors que, pour les eaux souterraines, elles sont couramment variées de 300 à 500 mg/l. L'intervention de l'homme à travers ses différentes activités domestiques, industrielles et agricoles peut modifier ces concentrations en sels et, en général, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau [17]. Globalement, les éléments de la qualité des eaux de surface varient à l'échelle spatiale (régions) et temporelle (périodes de l'année).

D'une façon générale, le tableau ci-dessous donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines.

Tableau 01 : Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines [17]

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES, sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante, en général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
CO₂ agressif	Généralement absent	Présent souvent en quantité
O₂ dissous	Variable (proche de la saturation dans les eaux propres / absent dans les eaux polluées)	Absent
H₂S	Absent	Présent
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux des pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Éléments vivants	Virus, bactéries, algues, protistes, etc. / Présence d'organismes pathogènes toujours possible	bactéries sulfito-réductrices et ferrobactéries surtout
Eutrophie	Possible, davantage si les eaux sont chaudes	Jamais

1.3.2.2. La biologie de l'eau : une biocénose diversifiée

Malgré leur faible surface occupée à l'échelle du globe (moins de 01% de l'hydrosphère), les milieux aquatiques superficiels continentaux renferment une diversité biologique riche [17]. En effet, La qualité biologique qui se caractérise chaque type de ces milieux est basée en principe sur une communauté de biocénose caractéristique. Les effets conjugués des différents facteurs tels que : climatiques, hydrologiques, géologiques, etc. qui agissent sur ces milieux ont un impact sur la nature et la structure de leurs peuplements. Toute perturbation importante de ces facteurs due en grande partie à l'intervention de l'homme (pollution, modification du régime hydrologique,..) et d'autres phénomènes naturels (sécheresses, inondations..) peut se manifester par une modification des peuplements de ces hydrosystèmes superficiels. Les espèces les plus exigeantes ou les plus fragiles, disparaissent ; alors que d'autres moins exigeantes, peuvent se maintenir et acclimater à ces modifications ou perturbations des facteurs abiotiques [19]. Ainsi, le recours vers l'utilisation de la biocénose comme de bon indicateur de la qualité de l'eau est un outil indispensable à la gestion des milieux dulcicoles, car il permet de détecter et évaluer toute perturbation chimique ou physique de ces milieux, due le plus souvent aux activités anthropiques, ayant pour résultat la dégradation d'habitats écologiques, et par conséquence, un changement de la composition de biologique [20].

En effet, la faune et la flore des eaux douces stagnantes et courantes sont très diversifiées et comportent habituellement des représentants de tous les groupes d'organismes vivants : virus, bactéries, champignons, algues, invertébrés, vertébrés, végétaux supérieurs, etc. [18]. A titre informatif, les hydrosystèmes dulcicoles abritent plus de 126 000 espèces dont environ 5000 espèces de poissons[18]. Globalement, elles sont réparties selon des zones écologiques bien définies dont les conditions abiotiques étaient favorables à leur développement. A titre d'exemple, on peut caractériser de point de vue longitudinale (c.-à-d. de l'amont vers l'aval) au sein des milieux lotiques, en particulier ceux de grande importance comme les fleuves, rivières, oueds, trois zonations essentielles, à savoir : *le crénon (niveau des sources)*, *le rhithron (correspondant aux cours d'eau supérieurs)* et *le potaman (cours d'eau moyens et inférieurs)* [18].

I.4. Méthodes de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux superficielles

La surveillance et le contrôle de l'état de la qualité des eaux superficielles, cours d'eau et plans d'eau, peut être effectuée par plusieurs méthodes dont les principales sont :

I.4.1. Méthodes chimiques

Les méthodes chimiques reposent en fait sur le prélèvement des échantillons d'eau suivant un calendrier régulier ou à moments différents, et selon des protocoles d'échantillonnage bien définis, et sur leurs analyses au laboratoire. Au niveau de ces dernières, différents paramètres peuvent être analysés, comme les éléments indésirables et toxiques, les composés azotés et phosphatés, les matières organiques, etc. [22].

Enfin, les résultats obtenus à travers les différentes méthodes d'analyses chimiques nécessitent une meilleure interprétation et synthèse. A cet effet, le recours vers l'utilisation des méthodes indiciaires est l'une des solutions la plus couramment utilisées. Ainsi, plusieurs indices ont été établis par différents auteurs, dont les plus fréquemment rencontrés sont :

❖ **Indice de pollution organique (IPO)** : Il est proposé par *Leclercq & Maquet* (1987), dont le principe de calcul réside dans la répartition des valeurs des paramètres chimiques liés à la pollution organique (Demande Biologique en Oxygène pendant cinq jours "DBO5", ammonium, nitrites et phosphates) en 5 classes ; puis de déterminer, à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre et d'en faire la moyenne afin de caractériser le degré de la pollution [23 ;24];

❖ **Indice Lisec-Index (Beckers et al., 1979)** : Il est fondé sur le même principe de la méthode de l'IPO, mais, dans ce cas, le calcul de la somme des valeurs de DBO5, ammonium, oxygène dissous % de saturation et phosphore total par rapport de la classe et non pas de la moyenne [25] ;

❖ **Classification des paramètres des pollutions par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE, 1986)** : C'est la même méthode que celle de l'IPO (répartition des valeurs en 5 classes), mais les paramètres ainsi que les classes prises en considération sont différents [25] .

Cependant, une analyse chimique est le seul procédé pour quantifier et préciser la nature d'un polluant minéral ou organique dans l'eau, sachant que la teneur de ces polluants présents dans l'eau fluctue dans l'espace et le temps. Par conséquent, une surveillance chimique continue de la qualité de l'eau nécessite d'augmenter le nombre de prélèvements d'échantillons ou utiliser des échantillonneurs automatiques [25 ; 22].

1.4.2. Méthodes bactériologiques

Le but principal des méthodes bactériologiques consiste de déterminer souvent, non pas des micro-organismes pathogènes, mais la présence dans l'eau des contaminants d'origines fécales qui peuvent influencer sur la qualité de l'eau en rendant impropre à toute utilisation (AEP, Baignade, Irrigation, Industrie, etc...). A cet effet, Le recours vers l'analyse bactériologique est

donc un outil obligatoire, car il permet de définir la pollution fécale de l'eau, ainsi que de contrôler l'efficacité des dispositifs de protection ou de traitement lors de l'utilisation [26].

En réalité, les bactéries d'origine fécale peuvent être distinguées en deux catégories : le premier, les bactéries d'habitat fécal, normal et exclusif, comme les *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux, dont leur présence dans les eaux confirme l'existence d'une contamination fécale. Le second correspond aux bactéries d'habitat différent « non exclusif », qui peuvent vivre aussi bien dans les matières fécales que dans un milieu extérieur. Pour cette catégorie, il existe essentiellement les *Clostridium Sulfito-réducteurs*. Ces derniers sont souvent utilisés comme des indicateurs anciens ou intermittentes de pollution fécale, Il y a également des bactériophages exclusifs (ou indicateurs phagiques) tels que les virus, qui peuvent renseigner sur la présence d'une contamination fécale à cause de leur capacité de persistance dans le milieu aquatique longtemps comme les bactéries fécales [26 ; 27].

Habituellement, les échantillons prélevés dans des flacons stériles doivent être réfrigérés pendant le transport et analyser dans un délai qui ne dépasse les 8 heures après l'accueil au niveau du laboratoire. Tout comme les indices chimiques cités précédemment, il existe d'une méthode indiciaire pour déterminer le niveau de contamination fécale des eaux de surface. Il s'agit de l'indice de la qualité microbiologique dont le principe de calcul sera abordé dans le chapitre IV [22].

1.4.3. Méthodes biologiques

Certaines activités humaines polluantes provoquent des perturbations dans les milieux aquatiques, comme les cours d'eau, en conduisant à l'altération de leur aspect naturel. Contrairement aux analyses physico-chimiques qui permettent de rechercher les causes des perturbations, la démarche biologique permette d'étudier les effets des différentes perturbations sur les organismes (faune ou flore) [28. 29].

La surveillance biologique est reconnue dans le monde, surtout aux États-Unis et en Europe, comme un outil essentiel et efficace pour contrôler et évaluer la qualité de l'eau de surface. Actuellement, la bio-surveillance occupe une place de plus en plus importante dans la mise en œuvre des programmes et plans de gestion des hydrosystèmes continentaux [30].

En effet, les méthodes d'évaluation de la qualité biologique reposent sur le principe de l'utilisation et l'analyse (composition et abondance) d'indicateurs biologiques dans les milieux aquatiques.

Par définition, un *bio-indicateur* est un ensemble, soit d'une espèce, soit d'un groupe d'espèces, qui peut renseigner sur les modifications qui peuvent toucher ces milieux aquatiques sur le plan biotique ou abiotique et, donc, sur les variations de différents facteurs des milieux par rapport à des conditions de références correspondant à l'état naturel [31]. Selon la nature de l'influence (positive ou négative), ces modifications peuvent faire diminuer ou augmenter le niveau de la population du bio-indicateur [22]. Par exemple, certains organismes vivants pourront être sensibles à des variations de certains paramètres du milieu comme le pH, la température, les nutriments (composés minéraux ou matière organique), etc, ce qui permettra à ces organismes d'être susceptibles en réagissant, positivement ou négativement, à ces modifications abiotiques. Par conséquent, ces espèces peuvent ainsi utiliser comme des témoins sur les éventuelles perturbations (pollution) dans le milieu [26].

Au cours de l'utilisation des méthodes biologiques, il existe plusieurs types de bio-indicateurs comme les diatomées, les macro-invertébrés benthiques et les poissons, etc. Ces méthodes biologiques sont en plein développement au cours des dernières décennies, en vue du nombre et de la variété des indicateurs existants [22].

La même chose que les méthodes précédentes, et vu le nombre important d'espèces indicatrices, différents indices biologiques ont été établis dont le but est de définir l'état sanitaire du milieu à travers l'évaluation de la qualité des biocénoses qui s'y développent. Parmi ces différents indices utilisés dans les milieux aquatiques continentaux et qui font références, on peut citer :

1.4.3.1. Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

Cet indice, qui est le plus ancien utilisé, permet d'apprécier et la qualité biologique de l'eau courante et son évolution (observer d'éventuelles perturbations) au cours du temps et de l'espace d'un site dont la profondeur n'excède pas un mètre pour la majorité des stations étudiées [32].

Il est basé sur le prélèvement et l'analyse des espèces bio-indicatrices comme la macrofaune benthiques (peuplements des macro-invertébrés) inféodés au substrat en prenant en considération un certain nombre de paramètres tels que : la richesse en macro invertébrés, la diversité des taxons présents, et l'absence ou la présence de certains taxons plus particulièrement sensibles (indicateurs) à la présence de pollution aussi bien organique que chimique ou à toute perturbation naturelle ou artificielle [20,21 ,22]. Globalement, l'analyse faunistique retient en particulier 38 taxons ; constituant 9 groupes faunistiques indicateurs numérotés de 1 à 9 [21,22].

1.4.3.2. Indice Biologique Diatomée (IBD)

Cet indice est fondé sur l'utilisation et l'analyse du peuplement de diatomées pour évaluer la qualité d'un cours d'eau. Il est calculé en fonction de la tolérance ou de la sensibilité de chaque espèce aux pollutions, et donc lié seulement aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Le calcul de cet indice se fait par l'inventaire de diversité des diatomées d'un site, sur l'abondance relative des espèces dans cette inventaire, et également sur l'identification des espèces pollu-sensibles. L'IBD est applicable à tous les cours d'eau (hors zones salées ou saumâtres) [21 ,22].

1.4.3.3. Indice Poisson Rivière (IPR)

L'IPR consiste à utiliser la population piscicole pour définir l'état qualificatif d'un cours d'eau, suite à des actions réalisées ou des causes indirectes (altérations de régimes d'écoulements, etc.). Cet indice prend en considération de la différence existante entre, d'une part, une communauté-type de référence attendue ou supposée en l'absence de perturbation et, d'autre part, celle réellement observée. En fonction de la présence ou de l'abondance d'espèces caractéristiques, l'indice permet de définir 5 classes de perturbation ou qualité. En effet, l'évaluation et le suivi de la qualité écologique des cours d'eaux, à partir de ce compartiment biologique à été reconnues, surtout durant la période de 1996 à 2000 [19, 21].

I.5. Principaux problèmes menaçants les eaux superficielles

Les différentes menaces qui touchent aujourd'hui les ressources en eau résultent toutes principalement des activités anthropiques, dont les conséquences de ces dernières sur les processus hydrologiques peuvent s'observaient sur toutes les phases du cycle de l'eau. Elles peuvent concernées la quantité comme la qualité [33].

A titre d'exemple, certaines activités humaines interviennent directement sur les cours d'eau ou ses abords immédiats et leurs conséquences sont limitées à ce même espace. D'autres peuvent être intervenir sur un espace plus large, mais bien circonscrit, et c'est le cas pour des changements localisés dans les pratiques culturelles. Enfin, d'autres aussi sont aptes de toucher toute une région, comme par exemple, la création de grands barrages et de réseaux d'irrigation associés ou encore le défrichement des forêts [33]..

En effet, un même type d'activité humaine peut avoir des répercussions à différents niveaux du cycle hydrologique. Par exemple, Le boisement peut, dans certains cas, à la fois diminuer les débits et modifier la répartition annuelle des écoulements. L'irrigation diminue l'écoulement annuel mais augmente les pluies, donc les écoulements là où cette pluie tombera [33].

D'une façon générale, les actions anthropiques conduisent dans la plupart des temps à des effets néfastes sur les hydrosystèmes et surtout celles superficielles, et ce, à cause de diverses menaces issues de celles-là, dont chacune d'elles a un impact qui lui est propre [34].

1.5.2.1. Pollution

La fausse impression que l'eau est abondante et inépuisable sur la terre conduit souvent à l'utiliser d'une manière irrationnelle (gaspillage) dans les différents usages quotidiens. De plus, les besoins en eau à la surface du globe subissent actuellement un formidable accroissement avec le développement économique et démographique et même écologique des pays. Cette consommation accrue, en fait, est accompagnée d'une augmentation considérable des rejets ménagers, agricoles ou industriels et, donc, de la pollution. Les conséquences de cette dernière sont multiples et variées dans les agglomérations, les zones touristiques, comme au niveau des terres agricoles. Il n'y pas si longtemps, les lacs, les cours d'eau et les fosses marines étaient considérés comme des poubelles, puis la période du retraitement des eaux est intervenue, avec la réalisation des stations d'épuration. Mais cet avantage, malheureusement, n'est pas à la disposition de tous les pays du monde, notamment les pays en voie de développement, à cause de leur coût élevé de réalisation [16].

Dans le monde, la première cause de mortalité est due à la mauvaise qualité de l'eau, et ce revient, à l'insuffisance et à l'insalubrité de cette ressource en eau indispensable à la vie qui provoque la mort d'environ 06 enfants par minute dans le monde. Les maladies hydriques sont donc la première cause de mortalité, sans oublier, bien sûr, les effets graveurs de risques naturels comme les sécheresses et les inondations. Environ 2, 3 milliards d'habitants ont des maladies liées à l'eau et 12 millions meurent par manque d'eau salubre [04].

La pollution, par différentes natures et formes, peut causer un dommage aux écosystèmes que représentent les milieux aquatiques. En général, les polluants qui peuvent être rencontrés dans les eaux tant superficiels que souterraines sont essentiellement : les matières organiques et minérales, et les micro-organismes pathogènes rejetés et transportés avec les eaux usées, les engrais et les pesticides provenant de lessivage des terres agricoles, les métaux lourds libérés par les activités minières et industrielles et enfin les polluants provenant de la pollution atmosphérique (retombés atmosphériques) [34].

Le tableau, ci-après, résume les différentes formes de pollution des eaux et leurs agents responsables.

Tableau 02 : Principaux types de pollutions des eaux et leurs agents responsables [35].

Type de pollution	Nature physico-chimique	Source ou agent causale
Physiques : - Pollution thermique.	Rejet d'eau chaude	Centrales électriques
- Pollution radioactive	Radio-isotope	Installations nucléaires
Chimique : - Pollution par les engrais.	Nitrite, phosphates	Agriculture, lessives
Pollution par éléments toxiques	Cadmium, mercure, plomb, aluminium, arsenic, etc.	Industrie agriculture, combustions (pluie, acides)
Pollution par pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides	Agriculture (industrie, transport)
Pollution par les détersifs	Agent tensio-actif	Effluents domestiques industriels
Pollution par hydrocarbures	Pétrole brut et ses dérivés (Carburants et autres produits raffinés)	Industrie pétrolière, transport, chaufferies industrielle
Pollution par les composés organochlorés	PBC, insecticides, solvants chlorés	Industrie, agriculture
Pollution par les divers autres composés organiques de synthèse	Très nombreuses molécules 120.000	Industries, usages dispersifs en particulier domestiques pour certains
Pollution microbiologique	Bactéries entériques champignons	Effluents urbains, élevage, abattoir. Secteur agroalimentaire, en général

1.5.2.2. Changements climatiques

L'une des plus importantes préoccupations environnementales auxquelles le monde entier fait face aujourd'hui est le réchauffement global de notre planète « terre », qui se traduit par des dérèglements climatiques, auxquels les scientifiques ont donné le nom de *changements climatiques*. Suivant la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques (homologuée en 1992) que ces derniers sont attribués directement ou indirectement au facteur anthropique en altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat, observée au cours de périodes comparables" [34].

En fait, l'exploitation de combustibles fossiles et la modification de la couverture terrestre sont les principales activités humaines qui affectent négativement la concentration des constituants de l'atmosphère ou des caractéristiques de la surface terrestre, qui absorbent ou dispersent l'énergie rayonnante. Les concentrations globales de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote dans l'atmosphère ont considérablement augmenté depuis 1950, du fait de l'intervention humaine, et dépassent aujourd'hui de loin les valeurs pré-industrielles fournies par l'étude des carottes glaciaires qui s'étend sur plusieurs milliers d'années [36].

D'après ZELLA (2010), et à titre d'information, la concentration en CO₂ de l'atmosphère est au plus haut niveau depuis 650 000 ans, avec une augmentation en un siècle de 35 %. Par conséquent, ces modifications en concentrations de gaz à effet de serre (GES) et notamment le CO₂, ont conduit à l'augmentation globale de la température de la surface du globe au cours du

siècle dernier [37]. L'accroissement de celle-ci a eu des conséquences sur les hydrosystèmes, en particulier, ceux de surface (lacs, cours d'eau, étangs, marais, etc.). Ces écosystèmes d'eau douce ont présenté des changements sur le plan physico-chimique de l'eau, ce qui répercuter évidemment sur la qualité biologique de ces milieux aquatiques (modification dans la composition des espèces, l'abondance d'organismes et la productivité, ainsi que des variations phénologiques, dont une migration plus précoce de certaines espèces animales sensibles, comme les poissons). Le réchauffement a également été la cause d'une stratification accélérée et prolongée de nombreux plans d'eau, en particulier, ceux profonds (comme les lacs), avec des diminutions de la concentration en nutriments dans les couches superficielles et un appauvrissement prolongé en oxygène des couches profondes, en conduisant au phénomène de l'eutrophisation [39].

En réalité, l'importance de l'eau, comme l'un des principaux facteurs des trois piliers (l'économie, la question sociale et l'environnement) du développement durable, fait que les scientifiques et les gestionnaires de l'environnement s'inquiètent désormais des répercussions négatives de ces dérèglements climatiques sur le cycle de l'eau, la quantité et également la qualité de la ressource en eau [39]. Dans ce sens, le continent africain se classe au premier rang le plus concerné par la question de l'impact des fluctuations climatiques, en particulier la sécheresse prolongée et récurrente, sur les ressources en eau [41].

Au fait, Les risques engendrés par le changement du climat ont des formes très variées, et ce, selon les régions. Tandis que certaines zones seront submergées sous l'eau, celles-ci viendront à manquer malheureusement dans d'autres. A cet égard, les inondations dans certains pays deviendront de plus en plus fréquentes, alors que l'intensité des périodes de sécheresse augmenteront dans les pays qui souffrent déjà du manque d'eau. A titre d'exemple, la sécheresse intense et persistante, observée en Algérie au cours des trente dernières années est caractérisée par un déficit pluviométrique remarquable est évalué à 30% (50%, seulement pendant la période 2001-2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des réseaux hydrographiques, conduisant à des conséquences souvent sévères sur les différentes activités socio-économiques et même écologiques du pays [42, 43]. D'autres pays et régions doivent se préparer à subir des catastrophes climatiques extrêmes, tels que tempêtes, glissements de terrains et avalanches. Des domaines vitaux (villes entières, des réseaux routiers et des pôles économiques,...) pourraient ainsi être menacés [43].

Donc, la manière de faire face aux changements climatiques, de plus en plus considérables, devrait par conséquent constituer une des préoccupations majeures et urgentes des plans ou stratégies de développement durable dans les pays concernés [43].

I.6. Eaux de surface en Algérie

I.6.1. Potentialités par bassins hydrographiques

l'Algérie, qui caractérise par un climat aride à semi aride affectant la grande partie du pays, se situe au rang des pays déficitaires en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la Banque mondiale à $1.000 \text{ m}^3/\text{hab./an}$. Elle est estimée à 600 m^3 , en 2006, et ne sera que de 500 m^3 , en 2020 [44].

C'est le Nord du pays qui dispose de la presque totalité des ressources en eau renouvelables, dont l'apport principal en eau est constitué des eaux superficielles. Ces dernières, qui représentent les deux tiers des potentialités du pays, couvrent environ 4% de la superficie du territoire.

En effet, l'apport total en eau de pluie dans le Nord algérien a été estimé pour la première fois d'une étude présentée lors du congrès de géologie à Alger en 1952, à environ 65 milliards de m^3 . De cette quantité, une grande proportion ruisselle à la surface des terres, soit environ 15 milliards de m^3/an , les 50 milliards de m^3 restant se partagent entre l'infiltration, vers les nappes souterraines, et l'évaporation, dans l'atmosphère (BOUZIANI, 2000 in KERKEB, 2011).

Le développement des méthodes de recherche en hydrogéologie (comme les méthodes de prospection géophysique) ainsi que la multiplication des stations de mesures, réparties les cinq grands bassins hydrographique du pays, ont permis au Ministère de l'hydraulique (actuellement ministère des ressources en eau) d'avoir de nouvelles estimations à partir de l'année 1987. Selon ces estimations, les potentialités hydriques s'estiment à $16,3.10^9 \text{ m}^3$, réparties entre les régions Nord, pour environs $9,8.10^9 \text{ m}^3$ d'eau superficielle et $1,5.10^9 \text{ m}^3$ d'eau souterraine, et le Sahara septentrional, avec 5.10^9 m^3 d'eau souterraine [45].

D'autres nouvelles prévisions sur les ressources en eau en Algérie ont montré qu'elles pouvaient s'élever à environ $19,1.10^9 \text{ m}^3$, dont $6,7.10^9 \text{ m}^3$ seraient sous forme d'eaux souterraines, soit 30%, et $12,4.10^9 \text{ m}^3$ en eaux de surface (70%) [45].

En prenant en considération de la sécheresse de ces dernières décennies qui frappe le pays, les estimations des potentialités ont été revues à la baisse, et seraient plutôt de 17,2 milliards de m^3/an , dont 10,2 milliards de m^3/an , en écoulements superficiels, et 07 milliards en ressources souterraines [46] .

La répartition de cette potentialité hydrique, surtout celle superficielle, sur les cinq bassins hydrographiques (tableau n° 03) regroupant 17 bassins versants du territoire national, révèle que les deux bassins Constantinois-Seybousse-Mellegue et Algérois-Hodna-Soumam, représentant environ 69 % des ressources en eau de surface totale et sont les plus arrosés par rapport aux autres bassins.

Tableau 03 : Répartition spatiale des eaux de surface du pays [46].

Bassins hydrographiques	Bassins versants	Superficie en km ²	Eaux superficielles
Oranie - Chott Chergui	Côtiers oranais	77 169	1,4 × 10 ⁹ m ³
	Macta		
	Tafna		
	Hauts plateaux oranais		
Chélif - Zahrez	Chélif	56 227	1.5 × 10 ⁹ m ³
	Zahrez		
Algérois - Hodna - Soummam	Côtiers Algérois	47 431	3.4 × 10 ⁹ m ³
	Isser		
	Soummam		
	Chott Hodna		
Constantinois - Seybouse - Mellegue	Côtiers Constantinois	44 348	3.7 × 10 ⁹ m ³
	Kébir Rhumel		
	Medjerdah		
	Seybouse		
	Hauts Plateaux Constantinois		
Sahara	Sahara	2 018 054	0.2 × 10 ⁹ m ³
	Chott Melrhir		

1.6.2. Mobilisation au profil des utilisateurs

Vu les contraintes climatiques, géographiques, géologiques, et ainsi que la situation économique, il paraît qu'il est difficile de préciser un chiffre de potentialités mobilisables en eau superficielle, bien que des études perspectives réalisées sur le problème de l'eau en Algérie, notamment celle de l'Institut National des Etudes Statistiques (INESG) estiment qu'environ 50 % de l'écoulement peuvent être mobilisés. En prenant en considération cette hypothèse, il est donc possible de bénéficier de 6,2 milliards m³ d'eau superficielle et de se concentrer, au Nord, de 02 milliards m³ d'eau souterraine. A cela, il faut ajouter 05 milliards m³ relatifs aux volumes exploitables des nappes fossiles du Sahara. Selon ces données d'analyse, on peut remarquer que les potentialités globales mobilisables ne dépassent pas les 13,2 milliards m³ d'eau, ce qui offre un volume annuel de 412 m³ à chaque citoyen pour toute utilisation (domestique, agricole et industriel) [04]. Ce chiffre, qui est en réalité théorique, est un indicateur d'une situation de grave pénurie d'eau, qui peut constituer à l'avenir un frein pour tout développement socio-économique du pays. Par conséquent, le recours vers la gestion durable de l'eau du point de vue de la quantité et de la qualité est une recommandation à prendre au sérieux.

Selon REMINI (2007), les ressources superficielles mobilisées en Algérie annuellement par les 114 barrages (grands et petits) en exploitation, sont évaluées à 5,2×10⁹ m³ et permettant de réguler un volume annuel de 2,5×10⁹ de m³, pour les différents utilisateurs (population, agriculture et industrie). En 2010, avec la réception de nouveaux barrages comme celui de

Koudiat Asserdoun, deuxième grand barrage du pays dont la capacité est estimée à 640 millions de m³, la capacité totale de stockage est augmentée d'environ 07 milliards de m³ et devra passer à 09 milliards en m³, en 2014 [48].

Mais, cette capacité de stockage en fait est toujours menacée de diminution à cause du phénomène d'envasement qui est un résultat directe de l'érosion et de la sédimentation, sachant que les pertes annuelles des eaux dans les barrages ont été estimées à environs 20 millions de m³ dues à l'envasement [49]. A ceci s'ajoute la pollution et l'eutrophisation et également les sécheresses sévères en raison des changements climatiques. A titre de comparaison, avec un nombre de 34 barrages, le Maroc retient environ 11Km³ d'écoulements superficiels [38].

1.6.3. Etat des lieux de la pollution de l'environnement et de l'eau

L'homme à travers ses activités, que ce soit dans le passé ou dans le temps actuel, libère dans la nature des produits et des substances potentiellement dangereuses, appelées contaminants ou polluants. Ces derniers, qui sont des sources diverses (industrielles, agricoles, domestiques, laboratoires...), sont rejetés vers les écosystèmes (terrestres ou aquatiques), souvent, sans traitement, ni contrôle préalable. Leur présence dans les eaux continentales revêt l'un des aspects les plus alarmants de la dégradation de l'environnement [50].

En Algérie, la situation de l'environnement est devenue ces dernières décennies très préoccupant. Elle est lié non seulement à l'extension du tissu urbain et à l'expansion des surfaces agricoles irriguées à cause de l'application de différents programmes de développement comme PNDA, FNRDA, etc., mais aussi à la présence des unités industrielles en générant une situation caractérisée par une inévitable augmentation des rejets liquides et solides. Cet état inquiétant a entraîné des problèmes d'environnement se traduisant manifestement par la pollution des eaux essentiellement superficielles. Beaucoup d'oueds, qui normalement canalisent les eaux de ruissellement et les eaux émergées des nappes vers les barrages, servent aux rejets liquides domestiques ou industriels provenant des agglomérations et des industries situées en amont des barrages et parfois comme lieu de dépôt pour les déchets solides industriels [51]. Cette constatation a été confirmée auparavant par une étude réalisée par l'ANRH, en 1997, où elle a montré que plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués (Tafna, Mekerra, Chellif, Soummam et Seybousse) [52].

Une deuxième étude durant l'année 2000, révèle que plusieurs barrages (comme le barrage Ouizert, à Mascara) sont pollués. Cette situation critique de l'environnement, en particulier, la pollution des eaux de surface, due en réalité aux divers déversements en nature et en proportion différente.

En effet, les rejets d'eau non contrôlés des industries, des eaux usées, le rejet direct des eaux usées en milieu naturels (cours d'eau, lacs, etc.) à cause de l'absence ou l'arrêt de fonctionnement des stations d'épuration, la contamination des eaux par des rejets accidentels, l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture, sont à l'origine de la pollution qui atteint par moment un stade critique, avec l'occurrence de graves épidémies [52].

Les eaux usées constituent donc la première manifestation de la pollution des cours d'eau. Les concentrations en certains éléments comme les chlorures, nitrates, phosphates, etc., ont dépassé la capacité épuratrice naturelle de ces réceptacles de déchets. L'Algérie produit annuellement un volume de 820 km³ d'eaux usées, où environ 250 km³, soit 30 %, ont fait l'objet de la récupération et du traitement, le reste est rejeté dans le milieu naturel en conduisant souvent à des conséquences multiples et variées sur la santé publique, comme sur les écosystèmes.

De plus, les rejets industriels sont encore un vrai problème pour l'environnement et également aux ressources en eau, en Algérie, où la production a été estimée annuellement à 1 240 000 t/an, dont 40 % sont considérés comme toxiques et dangereux [53].

Enfin, au vu de cette situation difficile, toutes les acteurs économiques et sociaux concernés de la protection de l'environnement sont conscientes de devoir mener une intervention urgente dans le cadre d'une politique environnementale concertée et durable.

1.6.4. Grille qualitative de classification des cours d'eau

Le contrôle et l'évaluation des eaux de surface visent essentiellement à définir leur aptitude à la production d'eau potable et / ou leur aptitude aux autres usages (loisirs et sports aquatiques, irrigation, abreuvement et aquaculture). A cet effet, et afin d'apprécier la qualité des cours d'eau et d'autres eaux de surface, plusieurs outils d'évaluation de la qualité sont utilisés, comme la grille simplifiée (ou la grille de 1971, simplifiée) ou le système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau).

En Algérie, la qualité de l'eau des oueds est évaluée à l'aide d'un réseau de surveillance installé depuis 1984 et géré par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Cette dernière, définit la qualité générale de l'eau à partir d'une grille à double entrée (classe de qualité / paramètres mesurés). Ce système d'évaluation, appelé SIQUEAU, comporte quatre (04) classes, à savoir :

- **Classe I** : signifie une eau de bonne qualité, utilisée sans exigence particulière, elle est représentée graphiquement par la couleur bleue.

- **Classe II** : Eau de qualité moyenne, utilisée après un simple traitement, représentée en vert.
- **Classe III** : Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé, elle est représentée en jaune.
- **Classe IV** : Polluée, ne peut être utilisée qu'après un traitement spécifique et très onéreux. elle est représentée en rouge [54].

Les valeurs correspondantes à chaque classe, sont illustrées dans le tableau, ci-dessous :

Tableau n°04 : Grille normative pour estimer la qualité générale des eaux superficielles [54] .

Paramètres	Unité de mesure	Qualité			
		Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
a-Qualité minérale					
Minéralisation	mg/l	300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600
Calcium (Ca⁺²)	mg/l	40-100	100-200	200-300	> 300
Magnésium (Mg⁺²)	mg/l	30	30-100	100-150	> 150
Chlorures (Cl)	mg/l	10-150	150-300	300-500	> 500
Sulfates (SO₄⁻²)	mg/l	50-200	200-300	300-400	> 400
b-Qualité organique					
Oxygène dissous	%	> 100	100-50	50-30	< 30
DBO₅	mg/l	5	5-10	10-15	> 15
DCO	mg/l	20	20-40	40-50	> 50
c-Composés azotés					
NH₄	mg/l	0- 0.01	0.01- 0.1	0,1- 3	> 3
NO₂⁻	mg/l	0- 0.01	0.01- 0.1	0,1- 3	> 3
NO₃⁻	mg/l	0-10	10- 20	20- 40	> 40
d-Composés phosphorés					
PO₄²⁻	mg/l	0-0.01	0.01- 0.1	0,1- 3	> 3
e- Eléments toxiques et indésirables					
Fe	mg/l	0- 0.5	0,5- 1	1-2	> 2
Mn	mg/l	0- 0.1	0,1- 0.3	0,3- 1	> 1
Cr	mg/l	0	0-0,05	0,05-0,5	> 0,5
Cu	mg/l	0-0,02	0,02-0.05	0,05-1	> 1
Zn	mg/l	0	0-0,5	0,5-1	> 1
Cd	mg/l	0	0	0-0,01	>0,01
Pb	mg/l	0	0	0-0,05	>0,05
CN	mg/l	0	0	0-0,02	0,02-0,05
Phénols	mg/l	0-0,002	0,002-0,02	0,02-1	>1
Détergents	mg/l	0-0,3	0,5	0,5-3	>3
pH	-	6,5-8,5	6,5-8,5	<6,5->8,5	<6,5->8,5
MES	mg/l	0-30	30-75	75-100	> 100
T	°C	25	25-30	30-35	>35

1.7. L'eau et la santé publique

Les activités anthropiques domestiques, industrielles et agricoles libèrent souvent dans le milieu naturel des produits et des substances potentiellement dangereux. Leur présence dans les eaux continentales constitue une menace réelle pour la dégradation de l'environnement et également pour la santé publique [50]. En effet, la mauvaise qualité de l'eau est la première cause de mortalité dans le monde. D'après ZELLA (2007), environ 2,3 milliards d'habitants ont des maladies liées à l'eau et 12 millions de personnes meurent par manque d'eau salubre. En réalité, une maladie à transmission hydrique (MTH) est le résultat de manifestations pathologiques d'origine bactérienne, parasitaire ou virale dans le mode de contamination de l'eau.

En Algérie, les MTH représentent à elles seules : 30-33% de l'ensemble des maladies à déclaration obligatoire [55 ; 56]. Dans ce sens, et malgré les efforts en termes d'amélioration de cadre de vie et d'hygiène des populations, certains MTH persistent comme la *fièvre typhoïde*, la *dysenterie*, l'*hépatite virale de type « A »*... A titre d'information, les maladies à transmission hydrique enregistrées en 2015 sont réparties entre l'hépatite virale « A » (HVA) avec 17,2%, la dysenterie avec 2,0% et enfin la fièvre typhoïde avec 1,2% [55]. Actuellement, 80% des maladies qui affectent la population dans le monde, en particulier celle des pays en voie de développement, sont liées aux agents infectieux hydriques. [57 ; 58].

De ce fait, l'utilisation fréquente des milieux aquatiques, en particulier les cours d'eau, comme un moyen de dilution des effluents urbains, présente de graves conséquences sur la santé publique et également sur l'environnement. Il semble que la pollution par des matières organiques permette à de nombreuses espèces pathogènes de se multiplier dans des proportions énormes [59].

En 2015, l'organisation mondiale de la santé (OMS) a estimé que plus de deux milliards de personnes dans le monde ne disposent pas de systèmes sanitaires adéquats. Parmi elles, 946 millions pratiquent la défécation en plein air [60].

Pour les pays développés, le problème d'effluents domestiques a été réglé à travers la réalisation de stations de récupération et de traitement, en conduisant à la réduction ou l'élimination de pollution. Par contre, dans les pays en voie de développement le problème persiste, et ce, malgré les efforts consacrés dans certains de ces pays, à l'exemple de l'Algérie, dans le secteur de l'assainissement et de traitement des eaux usées.

Enfin, vu l'importance que constitue l'eau pour notre santé, il est nécessaire désormais de veiller à l'adoption des politiques et des mesures de prévention et de protection de l'environnement, en

particulier ses ressources en eau et sols afin d'avoir une vie saine et productive menée en harmonie avec la nature (Premier principe du DD).

I.8. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons décrit d'une manière générale les ressources en eau superficielles et donné un aperçu sur celles-ci en Algérie.

Bien que les eaux de surface sont en petite quantité (0,01%) par rapport aux eaux souterraines (0,6%) , toutefois elles rendent de nombreux services économiques et écologiques multiples, telle que : épuration de l'eau, stockage, régulation des inondations, production de nourriture, conservation de la biodiversité ainsi que des fonctions récréatives, etc. Leurs origines proviennent soit des nappes d'eau souterraine, profondes, soit des eaux de ruissellements à partir des précipitations. La surveillance et le contrôle de la qualité celles-ci sont généralement effectuées par des méthodes physico-chimiques et biologiques.

Cependant, la pollution engendrée par les différentes activités anthropiques constitue la menace la plus importante des ressources en eau de surface, en conduisant généralement à des répercussions néfastes sur la faune et la flore. A ceci s'ajoute le problème des changements climatiques.

En Algérie, les eaux de surface sont réparties sur cinq (05) grands bassins hydrographiques, représentent la part dominante des potentialités hydriques, avec plus de 70 %. Actuellement, elles contribuent en grande partie à la satisfaction des besoins en eau potable, agricole et industrielle. Malheureusement, la dégradation qualitative de ces ressources en eau a été observée dans plusieurs régions du pays et constitue, en premier lieu, un problème de santé public et, dans un second lieu, une problématique environnementale préoccupante.

Chapitre II :

PRESENTATION DES DEUX BASSINS VERSANTS : MEKERRA ET SAIDA

II.1.Introduction

Les oueds, comme les rivières, fleuves, sont des cours d'eau qui drainent les eaux de pluies et des sources émergées de leurs bassins versants, sous l'effet de gravité, vers la section la plus basse de ces cours d'eau appelée "exutoire".

En effet, le BV représente l'unité fondamentale de gestion du territoire d'un point de vue hydrologique, écologique et géomorphologique. Il est aussi le cadre analytique à considérer pour toute prise de décision en matière d'aménagement [61].

Ce chapitre a pour objectif de présenter les deux bassins versants, relatifs aux Oueds Mekerra et Saida en s'intéressant particulièrement à leur localisation géographique, leurs caractéristiques morphométriques et géologiques, le cadre climatique et phytopédologique et qui se termine par l'hydrographie et l'hydrogéologie des deux bassins.

II.2. Bassin versant de l'oued Mekerra

II.2.1. Localisation géographique

Situé au Nord-ouest de l'Algérie, le bassin versant de l'Oued Mekerra ((figure n° 01) fait partie du grand bassin de la Macta (répertorié par le code n° 11 selon l'ANRH). Il est localisé entre la latitude 34°31'- 35°21' Nord et la longitude 1°16'- 0°58' Ouest, et orienté du sud (en amont, 1097 m à Ras El Ma) au nord (en aval, 500m, de la ville de Sidi Bel Abbés) [62].

En effet, ce bassin se trouve composé de trois (03) sous-bassins, à savoir :

- **La haute mekerra** : Comprise entre la région de Ras El Ma et celle de Sidi Ali Benyoub, et forme une vallée encaissée, de pente assez accentuée ;
- **La moyenne mekerra** : Regroupe les régions qui s'étendent de Sidi Ali Benyoub jusqu'à la ville de Sidi Bel Abbés ;
- **La basse mekerra** : Correspond à toute la partie du bassin située en aval de la ville de Sidi Bel Abbés [63].

l'Oued Mekerra est un cours d'eau, long de 125 km, a un apport annuel de 25 à 60 millions de m³, soit 42 millions m³/an en moyenne, en période pluvieuse. Il prend sa source au niveau du Djebel Timizine, au Sud-est de Ras El Ma, et traverse la ville de Sidi Bel Abbés en aval, où il conflue avec oued Sarno formant oued Mebtouh, qui alimente en eau le barrage Cheurfa de la wilaya de Mascara, devenant par la suite oued Sig, en aval du barrage de cette commune, avant de terminer son trajectoire dans les marais de la Macta, près de la Méditerranée [62].

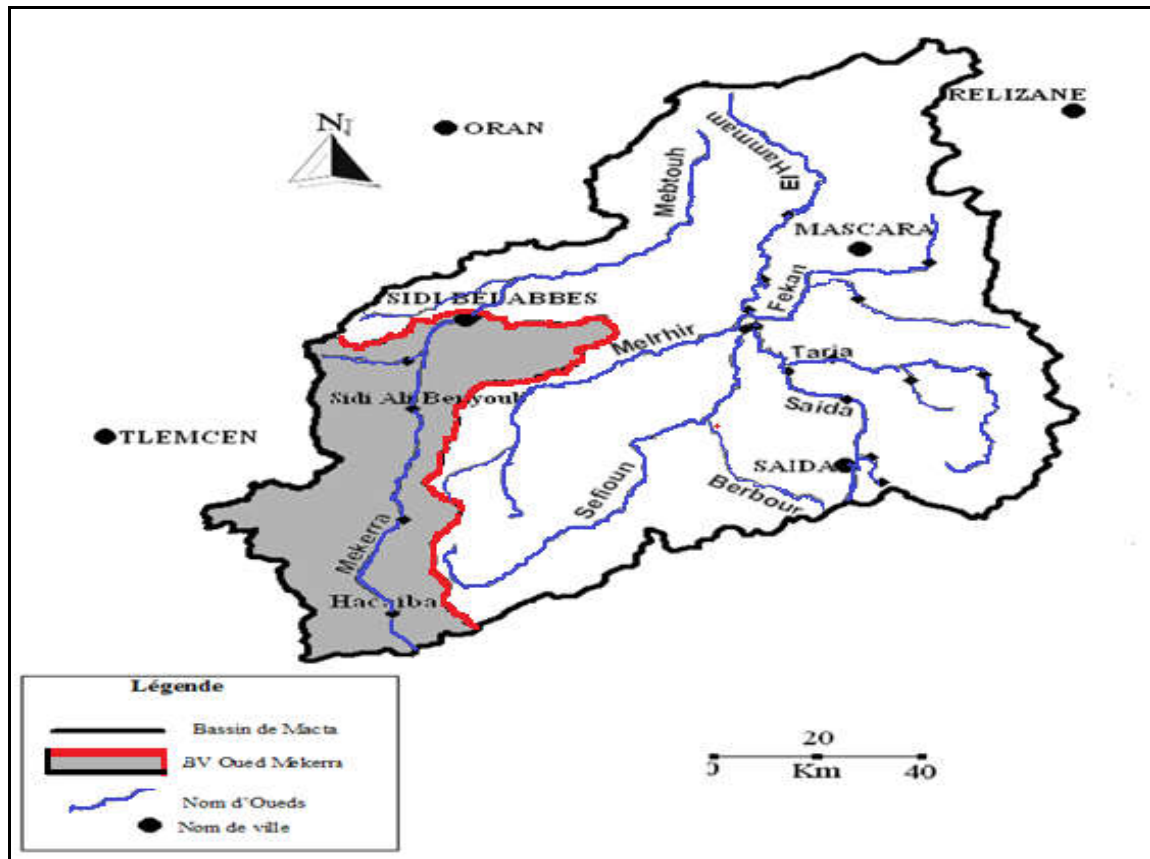


Figure n° 01 : Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mekerra [65].

II 2.2. Cadre morphométrique

II.2.2.1. Caractéristiques de la forme

II.2.2.1.1. Surface et périmètre

La surface et le périmètre sont les premiers et les caractéristiques géométriques les plus importantes d'un bassin versant à déterminer. Ces dernières sont le fondement de calculs hydrologiques. Elles sont définies à partir soit d'une carte topographique, soit d'un modèle numérique d'un terrain (MNT) [03]. Ainsi, et sur la base de travaux antérieurs (CHERIF et *al.*, 2009 ; BOUREK, 2010), le bassin versant de l'Oued Mekerra s'étend sur une superficie (A) de 4102 km², pour un périmètre (p) de 353 km.

II.2.2.1.2. Indice de compacité de Graveillus (Kc)

Cet indice, qui caractérise la forme de bassin, a été proposé pour la première fois en 1914 par Graveillus . Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Il s'écrit par la formule suivante [66] :

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots (a)$$

Où :

- **Kc** : Indice ou coefficient de compacité de Graveillus
- **P** : périmètre du BV en km ; 353 km, pour le bassin versant d’oued Mekerra
- **A** : Surface du BV en km² ; 4102 km², pour le bassin versant d’oued Mekerra.

Donc, l’application de la formule (a) pour le cas de ce bassin, en prenant en considération les valeurs de la surface et du périmètre citées précédemment, donne un indice de compacité de valeur $Kc = 1.54$, ce qui traduit que le bassin est de forme allongée. Cette dernière favorise généralement les faibles débits de pointe de crue, à cause du retard de l’acheminement de l’eau à l’exutoire.

II.1.2.1.2. Rectangle équivalent

La transformation géométrique du bassin réel donne évidemment une forme rectangulaire dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre ou le même coefficient de compacité du bassin en question [66]. A partir de ce dernier (selon BOUREK, 2010), il est possible, suivant la méthode de Roche (1963), d’établir un rectangle représentatif (équivalent) du bassin versant de l’Oued Mekerra, dont les paramètres sont :

* **Longueur (L) :**

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (b)$$

* **Largeur (l) :**

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (c)$$

Par conséquent, l’application des relations (b) et (c) permet de déterminer les longueurs du rectangle équivalent, avec : $L = 149,07$ km et $l = 27.05$ km.

II.2.2.2. Etude du relief

Le relief est un facteur essentiel qui permet de déterminer en grande partie l’aptitude au ruissellement des terrains, l’infiltration et l’évaporation. C’est un élément capital dans l’étude du comportement hydrologique d’un bassin versant [66 ; 63].

En général, le relief d’un BV se détermine au moyen de différentes méthodes tels que :

II.2.2.2.1. Courbe hypsométrique

Donnant une vue synthétique de la pente du bassin, et donc du relief, la courbe hypsométrique représente en fait la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou en-dessous), et de l'altitude représentée en ordonnée. Elle donne ainsi le pourcentage de la superficie du bassin versant situé au-dessus d'une altitude donnée [67].

A partir des travaux antérieurs (BENSALEM, 2009 ; BOUREK, 2010), la répartition de surface par tranche d'altitude du bassin versant de l'Oued Mekerra sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 05 : Répartition hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mekerra.

Altitude en m	Surface (km ²)	S (%)	S cumulées (km ²)	S cumulées (%)
<500	74,37	2,48	3000	100
500-700	327,19	10,91	2925,63	97,52
700-900	549,02	18,3	2598,44	86,61
900-1100	854,9	28,5	2049,42	68,31
1100-1300	1067,72	35,59	1194,52	39,82
1300-1500	124,08	4,14	126,8	4,23
1500-1700	2,72	0,09	2,72	0,09
>1700	0	0	0	0

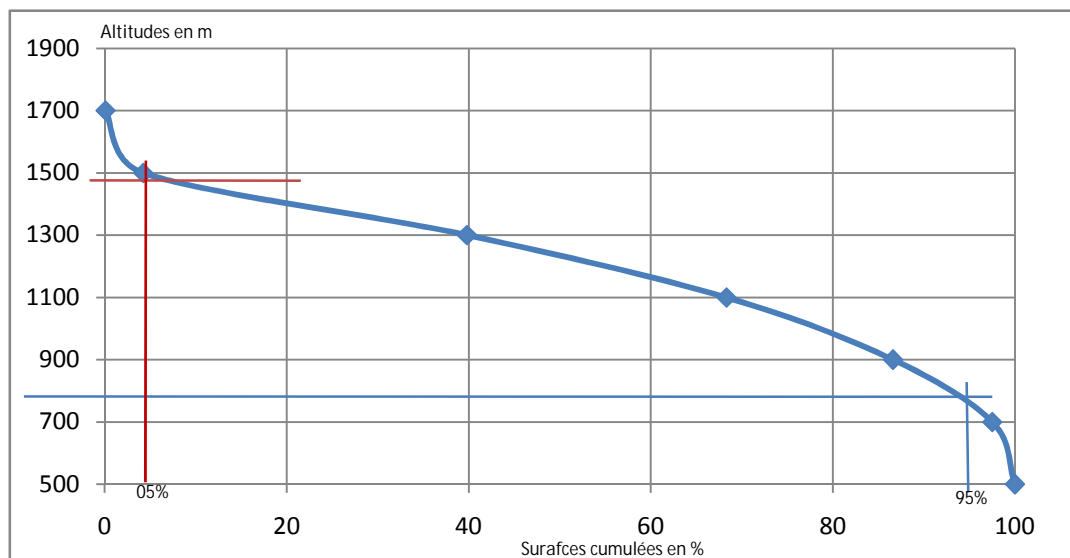


Figure n° 02 : Courbe hypsométrique du bassin d'Oued Mekerra

L'allure de la courbe hypsométrique, présentée dans la figure n° 02, donne une vue sur la répartition des altitudes au niveau du bassin versant de l'Oued Mekerra où l'on observe que les altitudes supérieures à 1500 m sont peut étendues. Par contre, la tranche d'altitudes comprises

entre 700-900 m couvre plus de 90 % de la surface du bassin. En fait, la forme de la courbe est caractéristique d'un bassin à l'état de jeunesse allant vers l'équilibre.

II.2.2.2.2. Différents types d'altitudes

Les différents types d'altitudes d'un bassin versant (maximales, minimales et moyennes) sont obtenus soit à partir de la courbe hypsométrique ou de la carte topographique. Ainsi :

- L'altitude maximale du bassin versant de l'oued Mekerra égale à ; $H_{max} = 1700$ m, Alors que l'altitude minimale du bassin est égale à ; $H_{min} = 500$ m .D'après BENSALÉM (2009), le point le plus bas se trouve au niveau de la ville de Sidi Bel Abbés à 437 m d'altitude, par contre le point le plus élevé se trouve à Djebel Ouargla (1714m).
- Concernant l'altitude moyenne, elle est obtenue par la relation suivante [61]:

$$H_{moy} = \sum_{i=1}^n \frac{(HiSi)}{S} \dots\dots\dots(d)$$

où :

- H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant
- Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m)
- Si : surface partielle comprise entre deux courbes de niveau (Km^2)
- S : surface totale du bassin versant (Km^2)

Suite aux travaux antérieurs (BENSALÉM, 2009 ; BOUREK, 2010), l'application de relation (d) révèle que l'altitude moyenne du bassin versant de l'Oued Mekerra est égale à ; $H_{moy} = 960$ m.

II.2.2.2.3. Indices de pentes

La détermination des indices de pentes a pour but de caractériser les pentes du bassin versant et de permettre leur classification. En effet, Il existe plusieurs méthodes pour calculer ces indices. Parmi ces derniers, on a :

• Indice de pente globale

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global (I_g). Ce dernier est calculé à partir de la courbe hypsométrique. Il est donné par la relation suivante [03] :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots(e)$$

Avec :

- I_g : indice de pente global
- D : dénivelée (m)

- **L**: Longueur du rectangle équivalent en km, avec L du BV d'Oued Mekerra est égale à 149,07 km
- **H_{5%}** : la valeur de 5%, correspondant à l'abscisse de la courbe hypsométrique (H_{5%}= 1480)
- **H_{95%}** : la valeur de 95%, correspondant à l'abscisse de la courbe hypsométrique présentée dans la figure n°02 (H_{95%}= 780m).

Par conséquent, l'application de la relation (e) nous permet de déterminer la pente globale du bassin versant de l'Oued Mekarra qui est égale à : $I_g = 4,69$ m/km.

• **Indice de pente de Roche**

L'indice de pente de Roche sert à déterminer la pente moyenne à partir des données du bassin versant, il tient compte du facteur de ruissellement et de l'influence du facteur de pente sur le régime hydrologique du bassin [68 ; 03].

Pour calculer cet indice, il y a une formule introduite par ROCHE :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n X_i \sqrt{Bi(a_i - a_{i-1})} \dots\dots\dots (f)$$

Avec :

- **L** : longueur du rectangle équivalent (km)
- **Bi** : fraction de la surface totale du bassin, comprise entre les côtes a_i et a_{i-1} ; fraction donnée par le tableau hypsométrique
- **Xi** : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent
- **a_i - a_{i-1}** : dénivelée entre deux courbes de niveau voisines (m).

En s'en rapportant au travail antérieur de BOUREK (2010), l'application de la relation (f) montre que l'indice de pente de Roche du bassin versant de l'Oued Mekerra égale à : $I_p = 5,19$.

• **Indice de pente moyen**

C'est le rapport entre la dénivelée totale et la longueur du rectangle équivalent du bassin. Selon BOUREK (2010) et YLES (2014) , Il est déterminé par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \dots\dots\dots (g)$$

Où :

- **D** : dénivelée totale du bassin (D=H_{max}-H_{min}=1714- 437=1277m)
- **L** : longueur du rectangle équivalent, L= 149,07 km.

Donc, l'application de la formule (g) donne que l'indice moyen est égal à : $I_{moy} = 08,56\%$.

En effet, la forme allongée du bassin, la faiblesse de la pente surtout au niveau de moyenne Mekerra (1,12 %), la fragilité du sol, et l'irrégularité du couvert végétal sont souvent de facteurs qui favorisent l'érosion et la sédimentation dans la plaine de Sidi Bel Abbés [63].

II.2.2.2.4. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique (Ds), permet d'utiliser la classification d'O.R.S.T.O.N (tableau n° 06) pour définir le type du relief d'un bassin versant. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$Ds = I_g \cdot \sqrt{A} \dots\dots\dots (h)$$

Où :

- **I_g** : indice de pente global du bassin,
- **A** : superficie du bassin versant.

Tableau n° 06 : Classification du relief d'O.R.S.T.O.N [70].

R 1	Relief très faible	0 <Ds< 10 m
R 2	Relief faible	10m <Ds< 25m
R 3	Relief assez faible	25m <Ds< 50m
R 4	Relief modéré	50m <Ds< 100m
R 5	Relief assez fort	100m <Ds< 250m
R6	Relief fort	250m <Ds< 500m
R7	Relief très fort	500m <Ds< 750m

Ainsi, l'application de la formule (h) permet de classer relief de type très fort (R7), avec Ds=548,59m.

II.2.3. Cadre géologique

La région de Sidi Bel Abbés appartient à l'unité géologique des plateaux algériens, composée de terrains dont l'éventail va du Trias au Pliocène.

Pour le bassin de l'Oued Mekerra, sa position géographique lui donne l'aspect d'une dépression remblayée par des formations quaternaires et plio-quaternaires. Limité au Nord et à l'Est, par des terrains post-crétacé, au Sud, par des terrains jurassique et crétacé [60] [71].

Dans l'ensemble, les caractères géologiques essentiels à considérer pour un bassin versant sont la lithologie et la structure tectonique.

II.2.3.1. Etude lithostratigraphique

Telle qu'elle se présente en affleurement et en sondage, la succession stratigraphique dans la région de Sidi Bel Abbés peut se résumer comme suit, de bas en haut :

II.2.3.1.1. Le Mésozoïque

Les formations de cette période géologique affleurent au niveau des mots de Tessala au Nord du bassin et dans la zone des hauts plateaux dans sa partie Sud. Le Mésozoïque est composé essentiellement des formations d'âge de Crétacé et Jurassique [63] :

- **Le Trias**

Des affleurements ont été observés aux environs de la localité de Zerouala et à la ville de Sidi Bel Abbés. En effet, le Trias est composé d'argiles et de marne bariolées, multicolores, associées à du gypse, des dolomies brêchiques, des cargneules, des ophites et des gabbros. [60][72].

- **L'Oxfordien** affleure spécialement au Sud-ouest de la plaine en se présentant sous forme de grès, à passées argileuses, alternant avec quelques niveaux dolomitiques ou calcaires.

- **Le Kimméridgien inférieur et moyen** : cette formation est constituée par un ensemble de dolomies cristallines bien karstifiées, à fissures et intercalations calcaires et marneuses. Affleurant au Sud-ouest de la plaine, sur une épaisseur d'environ 500m, Le Kimméridgien infér. et moy. forme en fait le massif de Sidi Ali Benyoub [71].

- Apparaissant dans les environs d'Ain Tellout, le **Kimméridgien supérieur** est formé dans son ensemble par une alternance de marnes grises vertes et de calcaire variés, souvent gréseux, en bancs massifs à la base de la série [71].

- **Le Portlandien** : avec une épaisseur d'environ 200 m , Il est formé par des grès blancs, des marnes verdâtres, des calcaires argileux et graveleux, affleurant largement dans la région qui s'étend entre Sidi Ali Benyoub et Ain Tellout (région de Tlemcen) [71].

- **Le Berriasien-Valanginien** : Cet ensemble monotone, de 120 m de marnes vertes et jaunes et de calcaires graveleux. Il appartient à la formation des calcaires de Remailia. On l'observe dans les deux parties de la plaine (S-E et S-W), avec une épaisseur de 110m à 140m [71] [72].

- **L'Hauterivien (Membre des calcaires de Remailia)** : Il affleure sous forme d'une épaisse formation de 150 m au Sud-est du bassin versant. Il est représenté par le calcaire graveleux, gréseux, à trace de coquilles, de grès, alternance de calcaire variés, et d'un ensemble marneux à bancs calcaire.

- **Le Barrémien** affleure légèrement au sud de la forêt de Belarbi. C'est une formation puissante constituée principalement de grès roux, d'argiles gréseuses et de calcaires graveleux [72].

- **l'Aptien** : Il affleure au Sud de la commune de Belarbi, à la faveur d'un horst. Il est constitué de calcaires microcristallins ou à rognons et de grès, appelés calcaires de Zygone. Cette formation a une épaisseur d'environ 150 m [72 ; 66].

- **Le Crétacé moyenne et supérieur**

Cette formation allochtone affleure au Nord-ouest du bassin versant d'Oued Makerra sous forme de marnes salifères, avec la présence de quelques bancs de calcaires [71] [72].

II.2.3.1.2. Le Cénozoïque

Les terrains du Cénozoïque occupant le BV d'Oued Mekerra sont représentés par les formations suivantes :

- **l'Eocène** : Il affleure à l'ouest de Sidi Ali Boussidi et dans le Djebel Tignemar, Cette formation appartient aux nappes de charriage et il est constitué par un calcaire gris-bleu. .
- **l'Oligo-miocène** : Cette formation constitué l'essentiel des nappes de Tessala. elle est composée de marnes grisées avec quelques bancs métriques de grès à grains fins et ciment calcaire. Elle affleure au Nord du bassin versant [71] [72].
- **le Miocène** : il se divise en deux formations, à savoir :
 - **Marin** : Affleurant au Nord Est de la plaine de S.B.A, dans la forêt de Louza. Il est constitué de grès, de marnes quelquefois à gypse [71] ;
 - **Continental** : Il est formé des dépôts d'environ 300m de marnes grises, à bancs de grès et lentilles de galets, plus ou moins cimentés constituant ainsi le Djebel Ténira et les Djebels de Caïd Belarbi, au sud [71].

- **Le Pliocène**

Il est formé de grès et sable fin, alternant avec des limons rouges, avec un conglomérat à la base. On note également, le dépôt de quelques bancs peu épais de calcaires lacustres [71].

II.2.3.1.3. Le Plio- quaternaire

Il s'agit d'un remplissage très hétérogène composé de graviers et galets, formant des lentilles plus ou moins cimentées, et inégalement réparties, sous une couverture de marnes rouges. Les formations peuvent être attribuées au Plio-Quaternaire sont [71 ; 72] :

- **Les conglomérats des chenaux aquifères** formés de galets hétérométriques, le plus souvent reliés par un ciment argilo-carbonaté, occupent les anciennes vallées des oueds Mekerra et Lamtar ;
- **Le complexe argilo-gréseux** se trouve essentiellement au Sud et à l'Est de la plaine ;
- **Les dépôts alluvionnaire des plateaux** sont composés de dépôts caillouteux et limoneux, parfois grésosableux, avec des intercalations de lentilles et même des bancs

de poudingues, à gros éléments. Ils affleurent dans plaine de SBA, en particulier dans sa partie S-W ;

- **Les conglomérats des hauts plateaux** sont ferrugineux et sont constitués d'éléments dolomitiques ou calcaires hétérométriques, comportant un peu de lentilles localisées au Sud de la plaine et dans les vallées alluviales de Sidi Ali Benyoub [71. 72].

II.2.3.1.4. Le Quaternaire

Considéré parmi les principaux réservoirs d'eau souterraine dans le bassin et la région de Sidi Bel Abbés en général, le Quaternaire se distingue par les terrains suivants :

- Limons, argiles et sables, d'une épaisseur allant jusqu'à 10 m, dans le centre et la partie Nord de la plaine de Sidi Bel Abbés ;
- Alluvions et conglomérats des terrasses, en bordure des Oueds ;
- Principalement en bordure des massifs calcaires, il y a des croûtes calcaires,
- Prés d'Oued Mimoun, on trouve des travertins ;
- Alluvions, plus ou moins cimentés, et conglomérats des "chenaux aquifères", principalement déposés près de Sidi Bel Abbés [71 ; 66 ; 73].

II.2.3.2. Tectonique

Les études antérieures hydrogéologiques réalisées sur la région de Sidi Bel Abbés montrent la présence deux styles tectoniques différents :

- Au Nord, l'Oligo-miocène, représenté par son front des lambeaux de calcaire éocène, recouvrait, par les phénomènes de charriage, des terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur. Ceux-ci reposent sur le Miocène moyen marin anté-nappe ;
- Au Sud, les terrains calcaires plus ou moins plastiques et légèrement ondulés, donnent un style tectonique cassant très prononcé. En effet, ce massif se fracture en deux directions principales du fait des accidents verticaux et subverticaux et les déformations au niveau du socle [71 ;72;73] :
 - ☞ WSW-ENE : accidents effondrant, en marches d'escalier, dans le substratum jurassico-crétacé dans la plaine de Sidi Bel Abbés ;
 - ☞ ESE-WNW : accidents obliques, délimitant des panneaux en horst et graben [71 ; 72 ; 73].

Par ailleurs, et selon toujours le travail de SADEK(2006), BENSALÉM(2009) ainsi que MOKADMI(2012), OTMANE (2015), l'activité tectonique récente est marquée par la présence :

- ▶ Des déformations au niveau du Miocène,
- ▶ D'une faille, dont le rejet peut atteindre 10 m au contact Pliocène continental – Plio-quaternaire,

► D'une faille à faible rejet au niveau des conglomérats quaternaires des terrasses de l'Oued Tissaf.

II.2.4. Données climatiques

C'est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée. La nature du climat joue un rôle capital pour ajuster et équilibrer les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux [74]. Aussi, la bonne connaissance des conditions climatiques et ses caractéristiques d'une zone d'étude donnée est importante pour la compréhension du comportement hydrologique des cours d'eau, ainsi que l'évolution de leur qualité [75].

La région de Sidi Bel Abbés, son climat est caractérisé dans son ensemble par une pluviométrie faible, très irrégulière et par des variations thermiques très importantes, imposant une amplitude entravant souvent le développement des espèces végétales sensibles.

Afin de donner un aperçu sur le climat de la zone d'étude, notamment la pluviométrie et la température, nous nous sommes basés sur les données de la station la plus fiable de la ville de Sidi Bel Abbés. Elle est située à la limite nord du bassin.

II.2.4.1. Précipitations

D'après BLINDA (2007), les précipitations jouent un rôle très important dans l'alimentation des cours d'eau et des nappes souterraines. En plus, elle participe avec d'autres facteurs dans le contrôle et la modification de plusieurs paramètres biotiques et abiotiques des hydrosystèmes. Dans certaines conditions, les précipitations peuvent agir négativement sur l'équilibre et la stabilité du milieu lotique ou lentique .

En régime climatique méditerranéen, on distingue deux origines principales de précipitations :

- Les précipitations frontales de convergence, dues à l'opposition des grandes masses d'air polaires et tropicales. Elles sont en partie responsables des chutes de neige en altitude ;
- Les précipitations de convection, dues à l'ascension rapide des masses d'air chaud tropical provoquant ainsi une situation instable orageuse et des averses très violentes [77].

Pour la région de Sidi Bel Abbés, les données pluviométriques mensuelles pour la période allant de 1985 à 2004 (figure 03), montre que le mois de janvier est le plus pluvieux, avec 44,78 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 2,03mm. La moyenne annuelle des précipitations pour cette période d'étude est de 300,06 mm. La valeur maximale est observée durant l'année 1996 (425,2 mm).

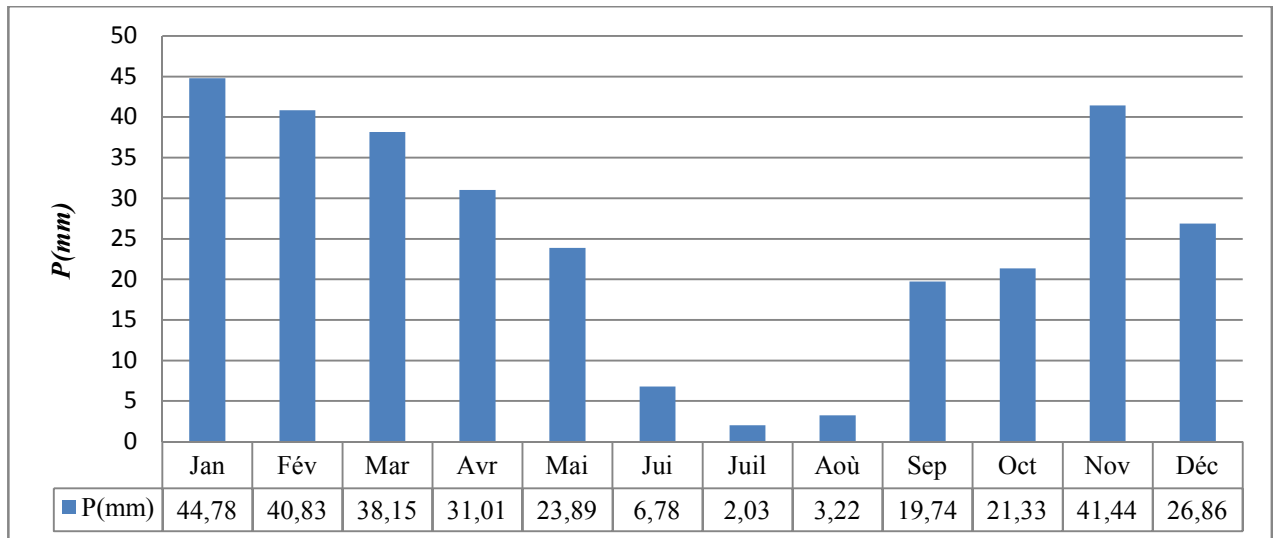


Figure n° 03 : Précipitations moyennes mensuelles observées au niveau de la station Sidi Bel Abbés (1985 à 2004) [78].

De plus, et sur la base des données des moyennes mensuelles des précipitations de cette période d'étude, le régime saisonnier calculé de la région de Sidi Bel Abbés est du type HPAE, avec l'Hiver (37,48 %), le printemps (31,01 %), l'automne (27,49 %) et l'été (4,01%).

II.2.4.2. Températures

Les températures représentent un facteur important dans la détermination des types de climat d'une région. Ces températures sont caractérisées par des observations moyennes, minimales et maximales, reflétant ainsi les fluctuations annuelles et saisonnières des précipitations atmosphériques.

A cet effet, on s'est intéressé dans l'étude des températures relevées dans la station de Sidi Bel Abbés pendant toujours la période allant 1985 à 2004 (Tab.07).

Tableau n° 07 : Valeurs des températures minimales, maximales et moyennes de la région de Sidi Bel Abbés entre 1985 -2004 [78].

MOIS	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Août
Min °C	14,12	11,77	7,33	3,7	3,63	3,95	5,39	6,6	10,44	14,47	14,64	18,23
Max °C	30,3	25,29	19,14	16,17	14,98	15,72	18,97	20,75	25,14	30,51	34,47	35,09
Moy °C	22,5	18,37	13,2	10,47	9,16	10,12	12,1	14,15	17,73	22,51	24,95	26,6

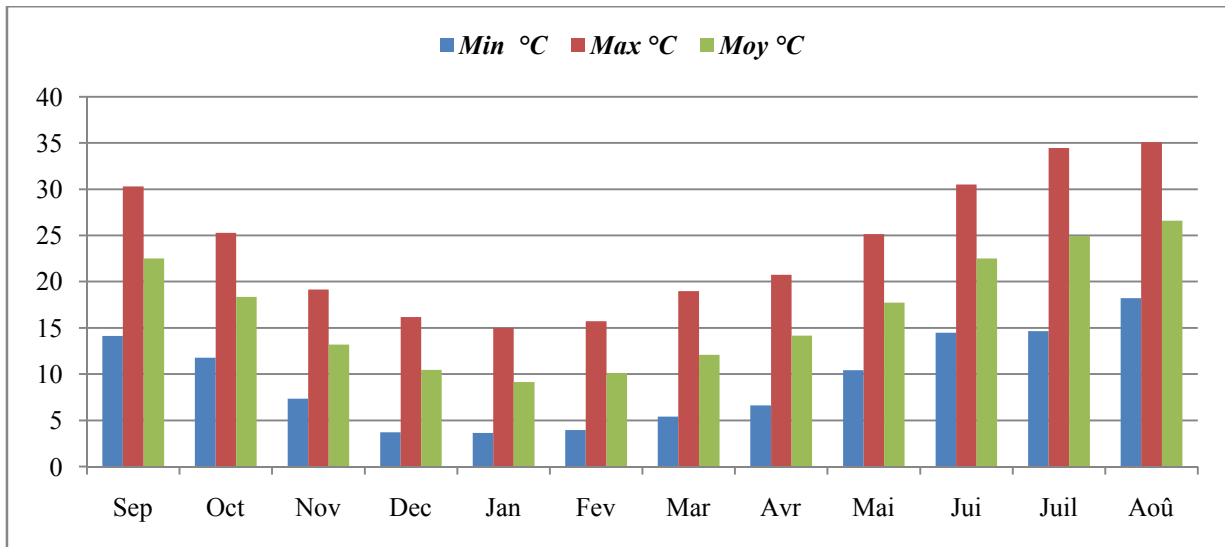


Figure n° 04 : Histogramme des températures mensuelles minimales, maximales et moyennes de la région de Sidi Bel Abbés (1985-2004) .

A partir du tableau n° 07 et la figure n° 04, ci-dessus, on peut ressortir les remarques suivantes :

- L'évolution des Températures moyennes, minimales et maximales, est similaire durant la période d'observation, soit 18 années ;
- Les températures moyennes enregistrées durant la période 1986-2004, montrent un maximum de 26,60°C, au mois d'Août, et un minimum de 9,16 °C, au mois de Janvier ;
- Le minimum des moyennes mensuelles des températures minimales, enregistré au mois de Janvier, est de 3,63 °C, et le maximum est de 35,09 °C, enregistré au mois d'Août.

II.2.4.3. Synthèse climatique

- **Climagramme pluviothermique d'Emberger**

Le botaniste EMBERGER (1930), a proposé un quotient pluviothermique (Q_2) qui permet de situer la station dans l'étage bioclimatique convenable où il fait intervenir le total des précipitations annuelles (P), la moyenne des maxima des mois les plus chauds (M) et la moyenne des minima des mois les plus froids (m).

$$Q_2 = (2000 P) / (M^2 - m^2) \dots\dots\dots (I)$$

Avec :

- **Q₂** : Quotient pluviothermique
- **P** : Précipitation moyenne annuelle, en mm
- **M** : Moyenne des maxima des mois les plus chauds, en degrés absolus K° ($T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,2$)
- **m** : Moyenne des minima des mois les plus froids, en K° ($T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,2$)

Donc, l'application de la formule (I) donne : $Q_2 = 32,46$, qui permet de situer la plaine de Sidi Bel Abbés dans un étage bioclimatique semi-aride inférieur, à hiver tempéré (figure n°05, ci-après).

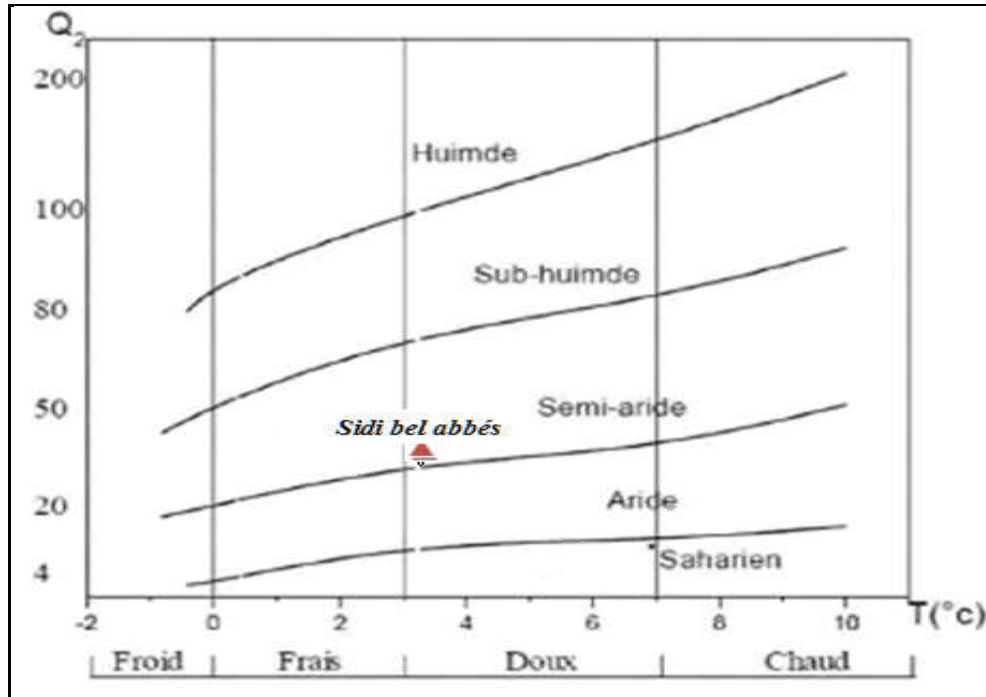


Figure n° 05 : Abaque pluviothermique d'Emberger de la région de Sidi Bel Abbés pour la période allant de 1985-2004.

• **Indice d'aridité de Demartone (1923)**

En se basant sur les données pluviométriques et celles des températures durant la même période, on peut déterminer le type de climat de la région étudiée par le calcul de l'indice d'aridité De Martone (1923), qui correspond au rapport entre la moyenne annuelle des précipitations (P, en mm) et la moyenne annuelle des températures (T, en °C), à savoir :

$$I = P / (T+10) \dots \dots \dots (J)$$

Où :

- **I** : indice d'aridité de De Martone
- **P** : précipitations moyennes annuelles (P= 298,76 mm)
- **T** : température moyenne annuelle T = 16,68 °C.

l'Application de la formule (J) montre que l'indice d'aridité De Demartone est égal à : I = 11,19. La projection de cette valeur sur le tableau, ci-dessous, donne que la région de Sidi Bel Abbés est caractérisée par un climat semi-aride.

Tableau n° 08 : Classement du type de climat selon l'indice d'aridité de De Martonne [79].

Indice d'aridité (I)	Type de climat
$20 < I < 30$	Tempéré
$10 < I < 20$	Semi-aride
$7,5 < I < 10$	Steppique
$7 < I < 7,5$	Désertique
$I < 7$	Hyper-aride

II.2.4.4. Autres paramètres climatiques

• Vents

Se sont des courants, résultants d'un gradient de pression dans son ensemble, de masses d'air. La vitesse des vents dans la région de Sidi Bel Abbés varie de 21 m/s à 30 m/s, avec une moyenne de 25,25 m/s. D'après les études effectuées dans la région, les directions des vents sont :

- Les vents du Nord-ouest, dominants dans la région, soufflent de 10 à 15 jours/mois, pendant toute l'année ;
- Les vents du Nord, sont fréquents sur toute l'année (4 à 5 jours/mois), les vents plus violents apparaissent entre Octobre et Mars ;
- Les vents de l'Ouest, s'observent en hiver (7 à 10 jours/mois) ;
- Les vents du Nord-est, apparaissent surtout en été (7 à 8 jours/mois) [78].

• Gelée et sirocco

Pour la gelée, la période critique se situe entre les mois de Décembre et de Février et se distingue par une fréquence inquiétante en période printanière, au moment où la végétation est en période de floraison. La fréquence mensuelle moyenne des gelées est présentée dans le tableau n° 09, ci-contre :

Tableau n° 09 : Fréquence moyenne mensuelle des gelées (période 1985-2005) [78].

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	juil.	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne mensuelle	11	8,85	4,09	1,66	00	00	00	00	00	0,09	2,19	7,9

Concernant le sirocco, qui est un vent très sec et très chaud soufflant du Sahara vers le littoral, il dure près d'une semaine annuellement dans la région semi-aride de l'ouest algérien et n'atteint au maximum qu'une quinzaine de jours, en Juillet et Août. Les dernières années, il a une tendance de se manifester d'une manière plus importante. Il souffle environ une vingtaine de jours par an, principalement en Juillet et Août, quelquefois dès le mois d'avril et atteint au maximum vingt cinq jours [77].

II.2.5. Aperçu phyto-pédologique

II. 2.5.1. Couvert végétal

La couverture végétale dans le bassin de l'Oued Mekerra est développée de manière irrégulière. On trouve à l'aval de la ville de Ras El Ma des terrains couverts d'Alfa, alors que vers le Nord, les terrains sont réservés aux broussailles. Dans la région de Sidi Ali Benyoub, où elle cède la place aux céréalicultures et arboricultures (vignes, agrumes, etc.). Enfin, près de 20 % de la superficie du bassin est couverte de forêt, ce qui donne une impression que la couverture forestière n'assure qu'une faible protection envers le phénomène d'érosion dans le BV [80].

II.2.5.2. Pédologie

En général, les principaux types de sols rencontrés dans le bassin se présentent comme suit :

- ❖ **Sols alluviaux** : localisés essentiellement dans les vallées, surtout dans celle de l'Oued Mekerra, et la plus part de ces sols sont profonds, occupent environ 30% de la plaine de Sidi Bel Abbés et sont utilisés par la céréaliculture, les cultures maraichères et l'arboriculture,. L'extension du tissu urbain s'est fait sur ces sols et agit négativement sur la surface agricole utile (SAU) ;
- ❖ **Sols à croûte calcaire ou rendzines** : ils se localisent dans la majeure partie des hautes plaines steppiques, on les retrouve également dans les alluviaux des plus anciennes terrasses de la plaine de Sidi Bel Abbés. Ils ont été occupés par le vignoble, mais actuellement et après l'arrachage de plus de 90% de la vigne, ces sols sont utilisés pour la céréaliculture et ne donnent que de très faibles rendements, entre 4 et 7 quintaux par hectare ;
- ❖ **Sols calcaires** : c'est l'espace privilégié pour les formations forestières qui couvrent plus de 200 000 ha. Ils se rencontrent presque dans la majeure partie de la wilaya de Sidi Bel Abbés, sauf dans les hautes plaines steppiques ;
- ❖ **Sols bruns rougeâtres** : de texture sablonneuse, ils colonisent les surfaces plates, occupées par les cultures annuelles où domine la céréaliculture [81].

II.6. Hydrographie

La wilaya de Sidi Bel Abbés dispose d'un réseau hydrographique assez important, représenté par des chaâbats et des cours d'eau qui sont presque tous à sec pendant les périodes chaudes. La principale artère de ce chevelu hydrographique, qui traverse la plaine de Sidi Bel Abbés en passant par le chef-lieu de la wilaya, est drainé par un bassin versant d'une superficie de 3000 km², représentée par l'Oued Mekerra qui prend sa source au niveau du Djebel Timizine ;

au Sud-est de Ras El Ma [60]. Cet Oued, en fait, est alimenté par des précipitations et par des sources (comme celle d'Ain – Skhouana) où l'écoulement annuel peut atteindre 42 millions de m³ en moyenne [78].

D'après OTMANE (2015), les principaux affluents d'Oued Mekerra sont : Oued Touifza, O.Tadjmount, O. Faid Et Taga , O. Mzi , O. Sekhana, O. El Khetoua , O. Ras El Ouidiane, O. Farat ez ziet, O. Smar, O. Tissaf et O. Mellah .

II.7. Aperçu hydrogéologique

Compte tenu de la diversité des formations géologiques et des structures géologiques, ainsi que de l'importance de l'alimentation des nappes, on trouve différents types de systèmes aquifères dans le bassin.

Les principaux aquifères, de grande à faible importance, ont été reconnus dans des formations plus ou moins récents au niveau de la région de Sidi Bel Abbés, qui fait partie, totalement ou partiellement, du bassin. Il s'agit des nappes suivantes :

- La nappe alluviale plio-quadernaire, de Sidi Bel Abbés
- La nappe de grès pliocène, de la forêt de Tenira
- La nappe des calcaires éocènes, de Sidi Ali Boussidi
- La nappe des calcaires et dolomies de zygine (aptien), de la forêt domaniale de Belarbi
- La nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacé, des monts de Sidi Ali Benyoub.

En fait, les nappes de Sidi Ali Benyoub, Sidi Ali Boussidi et Tenira présentent des horizons perméables, qui sont en communications hydrauliques, au moins partielle, directe ou indirecte, avec la nappe plio-quadernaire. Les potentialités en eau, de cette dernière, sont estimées à plus de 40 millions de m³ annuellement et sa qualité est relativement médiocre. De plus, en l'absence d'une gestion correcte cette nappe subit une surexploitation préjudiciable à son équilibre [82].

II.3. Bassin versant de l'Oued Saida

II.3.1. Contexte géographique

L'Oued Saida (figure 06) est l'un des principaux cours d'eau dans la région ouest des hauts plateaux en Algérie, qui prend sa source au Sud de la commune d'Ain El Hadjar, à environ 03 km, où il se trouve une grande source, s'appelée "Ain Tebouda". A l'exception de sa partie au Nord qui est de direction (SE-NW), il est orienté Sud- Nord [83, 104].

L'Oued Saida était auparavant un lieu de détente et de loisirs. Il s'écoulait en abondance à cause de la présence de plusieurs sources d'eau Karstiques, Vieux Saida,

Ain El Baida, etc., qui participent à l'écoulement de ce cours d'eau [84]. Mais, aujourd'hui, la sécheresse et la variation climatique en général qu'à frappé la région de Saïda ces dernières décennies, ont eu des impacts négatifs sur les ressources en eau tant superficiels que souterraine.

Son Bassin, couvrant une superficie de 517.8 km² pour un périmètre de 104 km, est fait partie du grand bassin versant de la Macta qui s'étend en Nord-ouest de l'Algérie [67]. L'altitude des crêtes du bassin varie entre 520 m et 1150 m, culminant à plus de 1238 m au Djebel d'El-Hassa, au Sud-ouest de Saïda. Il est coïncé entre les sous-bassins de l'Oued Hounet et Berbour à l'est, le sous-bassin de Fergoug au Nord et à l'ouest par le sous-bassin de l'Oued Taria [03]. Globalement, Il forme une limite naturelle entre les monts de Daïa et ceux de Saïda. C'est un domaine de hauts plateaux, formant l'avant pays de la chaîne alpine d'Algérie [104].

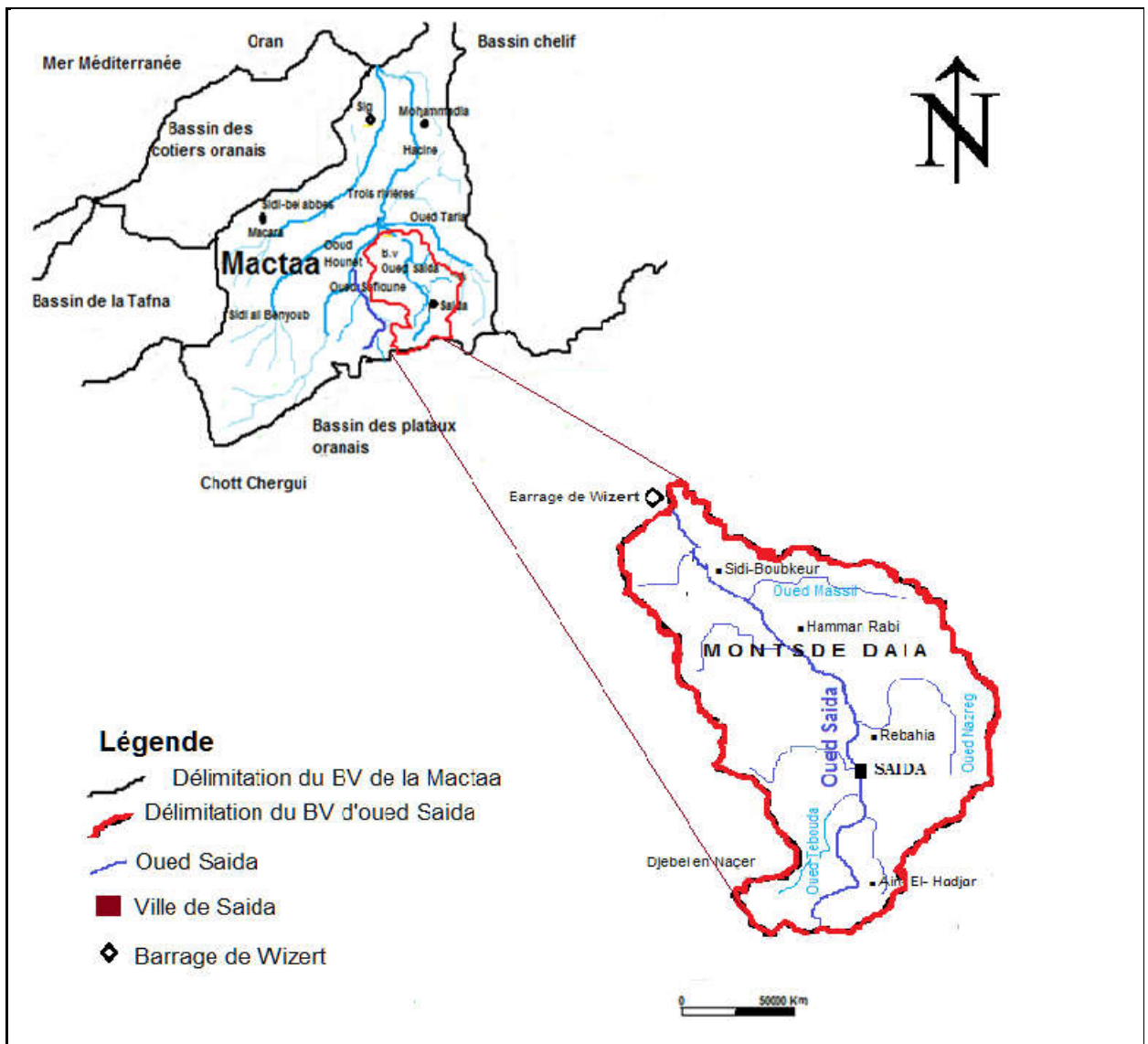


Figure n°06 : Localisation géographique du bassin versant de l'Oued Saïda [03]
(carte modifiée).

II .3.2. Aspect morphologique

La réponse hydrologique d'un bassin versant, et surtout, le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage, dépend vigoureusement de leurs caractéristiques physiographiques [84]. Parmi ces dernières, on peut citer, la taille du bassin (sa surface), sa forme, sa pente et son orientation. A ces facteurs, s'ajoutent encore la géologie, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique (densité, forme). Ces facteurs peuvent déterminer aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques [17].

Sur la base des documents consultés auprès de la direction des ressources en eau de la wilaya de Saida (DRE, 2010), les principaux paramètres morphométriques caractérisant le bassin versant de l'oued Saida sont résumés dans le tableau, ci-dessous :

Tableau n° 10 : Récapitulation des principaux paramètres caractérisant le bassin versant de l'Oued Saïda [77].

Paramètres	Résultats	Unité
Surface (S)	517,8	Km ²
Périmètre (P)	104	Km
Coefficient de compacité (K _C)	1,28	-
Longueur (L)	38,8	Km
Largeur (l)	13, 14	Km
Altitude moyenne (H _{moy})	847,07	m
Pente globale (I _g)	1,34	%
Pente de Roche (I _p)	0,35	%
Pente moyenne (I _{moy})	0,16	%
Densité (D _d)	3,13	Km/Km ²
Fréquence (F _s)	3,96	1/Km

Il ressort de ces données, du tableau ci-dessus, que le bassin versant de l'Oued Saida est de forme moyennement allongée, où l'indice de compacité ou le coefficient de Gravellius (Kc) est un peu supérieur de 1. La topographie est marquée par une pente moyenne assez importante, ce qui favorise un drainage efficace du bassin. Le relief est également caractérisé par une altitude minimale relativement élevée par rapport aux zones limitrophes du bassin.

II.3.1.3. Cadre géologique

La région de Saida se situe sur les hauts plateaux qui forment une unité géomorphologique appartient au domaine atlasique, elle est limitée au Nord par l'Atlas Tellien et au Sud par l'Atlas Saharien [77].

En effet, le bassin versant d'Oued Saida fait partie d'un plateau qui se caractérise par une géologie complexe et diversifiée. Cette dernière est constituée principalement des terrains secondaires, en particulier, de grès jurassique et crétacé, à dureté variable suivant le degré de consolidation, de même que des couches calcaires, marneuses ou dolomitiques.

Dans les dépressions ainsi que les vallées (comme la vallée d'Oued Saida), il existe des terrains d'origine continentale (fluviales et éoliens), d'âge Tertiaire, souvent indifférenciés (Mio-Pliocène) et Quaternaire, de manière étendue [86 ; 87]. Une formation plus ou moins épaisse, de strates rougeâtres, sablo-argileuse, d'âge Tertiaire, où un recouvrement de croûte calcaire y est rencontré de façon variable. Cet encroûtement représente ainsi une fossilisation de la surface topographique constituée principalement par des alluvions tertiaires continentales [87 ; 88] .

En effet, la succession stratigraphique et lithologique est représentée par des formations allant du Primaire au Quaternaire avec, toutefois, des lacunes stratigraphiques, de même que des variations latérales de faciès et d'épaisseurs [87].

II.3.1.3.2. Tectonique

D'après ELMI et BENEST (1978), les plissements de la chaîne tellienne qui forme le socle de la région de Saida ont résulté de mouvements verticaux du socle paléozoïque, ce qui a provoqué d'importantes fractures. Ces mouvements tectoniques sont aussi responsables de la formation des dômes ou horsts (le plus important est celui de Tiffrit) et des différents fossés d'effondrement (grabens).

De plus, certains ensembles d'effondrements au niveau des blocs dolomitiques de la couverture mésozoïque ont été observés, principalement dans le fossé de la vallée de Saida d'axe N-S, le relatif affaissement de la région située entre la ligne tectonique Saida-Oum Djerane-Tiffrit et l'axe du djebel Sidi Youssef [90].

Ces différents mouvements de surrection ont engendré une tectonique cassante à la région. Les directions privilégiées sont approximativement SW-NE à NNE-SSW. Les accidents tectoniques sont subverticaux pour la plupart des cas. Le tracé de l'Oued de Saida épouse d'ailleurs celui d'une faille longitudinale [87, 90].

Globalement, l'ensemble de la région est donc formé d'un plateau pourvu de deux axes principaux tectoniques, riches en failles, formant un plexus au centre. Les formations sont en général inclinées et orientées vers le Nord et vers le Sud, à partir de l'axe du Djebel Sidi Youssef. Le système de failles du plateau est en communication avec le réseau de failles de la zone effondrée de la vallée de Saida, au niveau de la région de Nazereg (Rebahia actuellement) [87 ; 03].

En fin, cette tectonique assez développée accentue le taux d'infiltration des eaux souterraines qui vont suivre ce réseau de cassures. Par ailleurs, le système de fracturation très développé est en grande partie à l'origine du développement du karst caractérisant la zone de Saida [03].

II.3.1.4. Cadre climatique

Le climat peut se définir comme un ensemble fluctuant de facteurs météorologiques physiques, chimiques et biologiques caractérisant principalement l'atmosphère d'un milieu [76].

Pour la région de Saïda, le climat est conditionné par plusieurs facteurs :

- L'altitude, comme indiqué précédemment, qui apporte des températures froides, en hiver, et chaudes, en été, en raison d'un fort ensoleillement ;
- La localisation géographique à l'intérieur des terres, loin de la mer, donc un effet très faible de l'influence méditerranéenne ;
- Les faibles précipitations, qui résultent de l'effet de barrière que constitue l'Atlas Tellien [91].

II.3.1.4.1. Précipitations

Dans la région de Saida, la répartition mensuelle de la pluviométrie montre que les mois les plus humides, en hiver et au printemps, renferment plus de 70% du total inter annuel, avec un maximum au mois de Mars (45 mm), et que les mois secs, moins de 3%, se situent en été, avec des précipitations non significatives [91].

Le tableau intégré par la figure ci-dessous, montre que la hauteur moyenne des pluies est relativement assez faible dans la région. Elle n'excède qu'exceptionnellement les 400 mm par an.

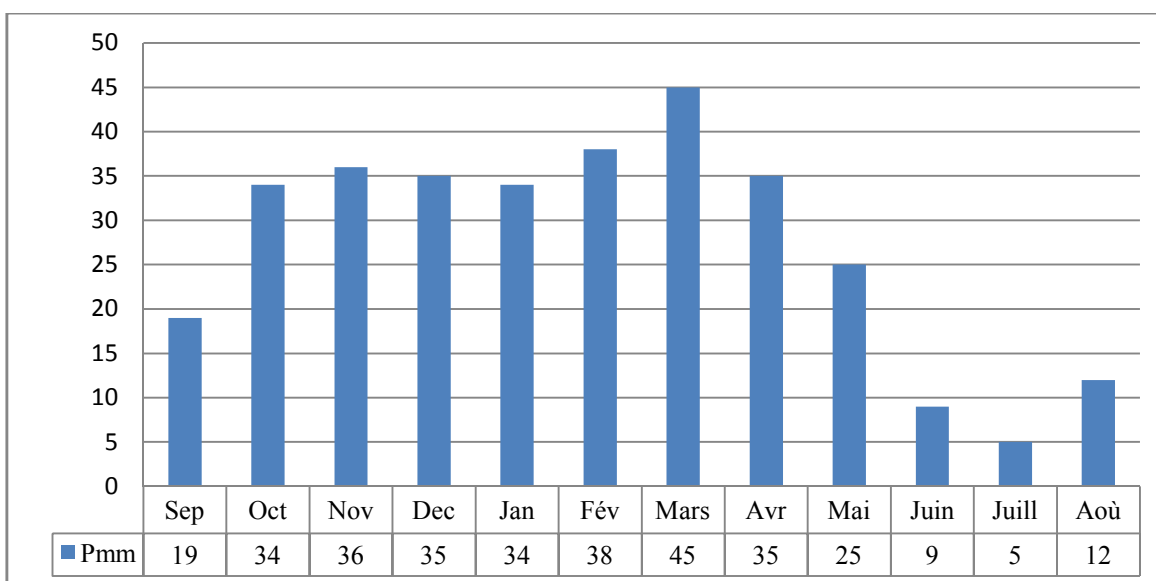


Figure n° 07 : Histogramme des pluviométries moyennes mensuelles durant la période (1979-2007) [91].

En comparaison de ces données pluviométriques moyennes (Fig.07) avec celles des années s'étendant entre 1913 et 1938, on observe qu'il y a une différence négative de l'ordre de 109 mm. Cette différence a été également soulignée par plusieurs auteurs, où ils confirment une fluctuation climatique et une nette tendance à l'aridité.

Concernant la variation saisonnière des pluies, les données de la figure n° 07 indiquent que la saison pluvieuse s'étale, pour l'ensemble de la wilaya, de Septembre à Mai, soit neuf (09) mois, avec un maximum au printemps et l'hiver, où la zone reçoit plus de 64 %. Les minima étant enregistrés en été, ainsi qu'une sécheresse estivale caractéristique essentielle du climat méditerranéen. Cette répartition spatiale et même temporelle des précipitations conditionne, pour une grande part, l'évolution de la végétation et des caractéristiques édaphiques des sols et les processus hydrologique et hydrogéologique de la région.

II.3.1.4.2. Températures

La connaissance des températures dans une région ainsi que la maîtrise de leurs variations sont autant d'éléments fondamentaux qui conditionnent les potentialités hydriques, particulièrement par l'effet de l'évapotranspiration en matière de bilan de l'eau.

Selon les données fournies par la direction des services agricoles de la wilaya de Saida (DSA), pour la période allant de 1979-2007 (Tab.11 et Fig.08), les températures dans la région sont irrégulières et variables, avec des minimas relatifs en hiver, et l'absolu en janvier et février, avec des valeurs moyennes avoisinant 8,5°C et 9°C ; le maximum étant situé en juillet et août, avec une température moyenne, sensiblement élevée, de 26,8°C.

Tableau n° 11 : Températures moyennes, minimales et maximales de la région de Saida (1979-2007) [92].

MOIS	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Min °C	15,2	10,9	7,4	4,2	3,6	2,9	5,1	6,6	9,9	14,2	17,7	18,3
Max °C	30,3	23,9	18,4	14,5	13,4	15,1	17,9	20,4	25,2	31	35,7	35,3
Moy °C	22,75	17,4	12,9	9,35	8,5	9	11,5	13,5	17,55	22,6	26,7	26,8

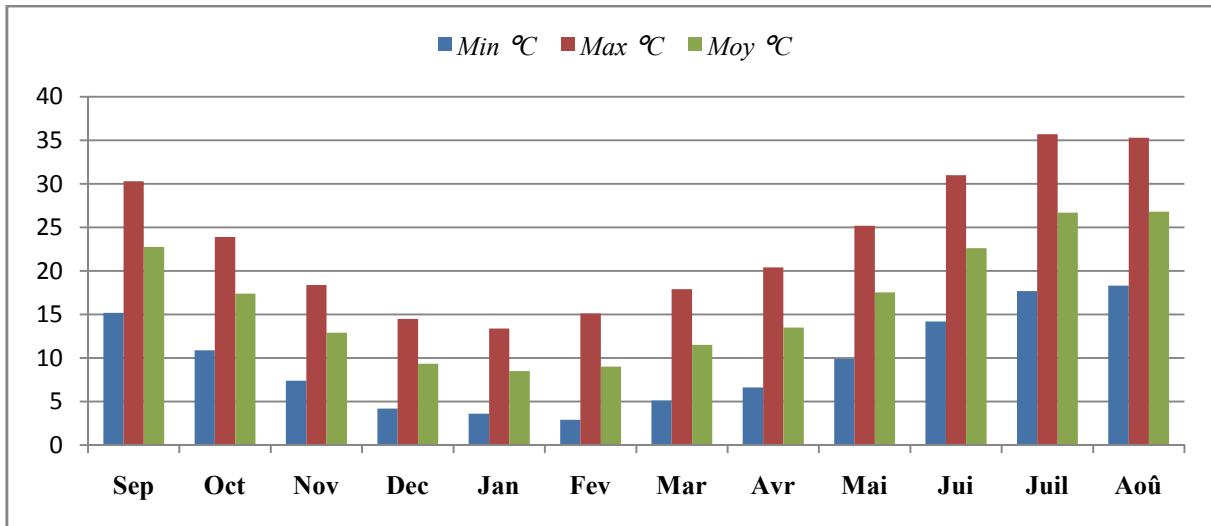


Figure n°08: Histogramme des Températures minimales, maximales et moyennes durant la période allant de 1979 à 2007.

II.3.1.4.3. Indices climatiques

- **Indice xérothermique de Gaussen**

Selon ANSER(2012), cet indice permet de faire la distinction entre les mois secs et les mois humides. Il associe les moyennes mensuelles des pluies, en mm, et des températures, en Celsius, et s'écrit de la manière suivante : $P \leq 2 T$. Un mois considéré sec, si P est inférieur à 2 T. Il est considéré comme humide, si P est supérieur à 2 T.

L'illustration de cet indice se fait souvent par un diagramme appelé «Diagramme ombrothermique de GAUSSEN». Il permet de faire la différenciation entre deux périodes, humides et sèches.

En prenant en compte les données climatiques, précipitations et températures, de la région de Saida, l'indice de GAUSSEN nous a permis de définir deux périodes climatiques (figure n° 09), qui sont :

- ✓ **La période humide**, qui s'étend du mois d'octobre au mois d'avril. La moyenne mensuelle des précipitations la plus élevée correspond à celle du mois de mars, avec 45 mm ;
- ✓ **La période sèche**, qui coïncide avec la période estivale où les précipitations sont faibles et qui s'étend du mois de mai jusqu'à la fin du mois de octobre.

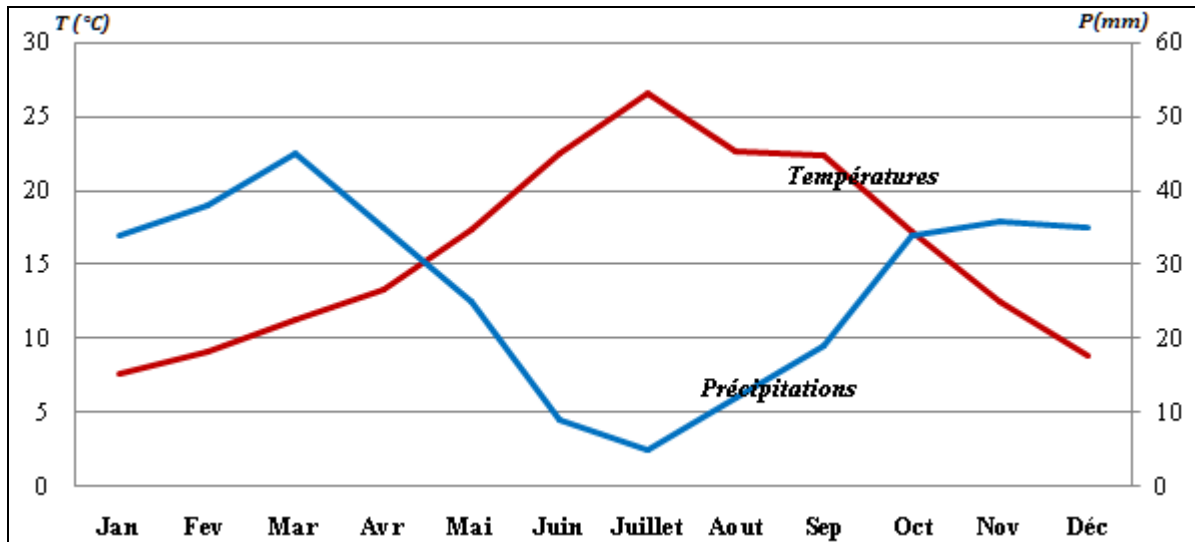


Figure n° 09 : Diagramme Ombrothermique de la région de Saïda (période 1979-2007).

• Indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité annuel de De Martonne (1923) définit cinq zones climatiques (tableau n° 12) en fonction des précipitations moyennes et des températures moyennes. Il s'exprime par la formule suivante :

$$I = P / (T+10) \dots \dots \dots (h)$$

Avec :

- **I** : Indice d'aridité de De Martonne
- **P** : Précipitations moyennes annuelle (mm)
- **T** : Température moyenne annuelle (°C).

De l'application de cet indice (formule (h)) sur la région de Saida, on obtient I=12,32. La projection de cette valeur sur le tableau descriptif du type de climat montre que la région étudiée se localise dans la zone caractérisée par un climat semi-aride.

Tableau n° 12: Classement du type de climat selon l'indice d'aridité de De Martonne.

Indice d'aridité (I)	Type de climat
$20 < I < 30$	Tempéré
$10 < I < 20$	Semi-aride
$7,5 < I < 10$	Steppique
$7 < I < 7,5$	Désertique
$I < 7$	Hyper-aride

• **Quotient pluviométrique d'Emberger**

Appelé aussi l'indice pluviométrique d'Emberger, permet de situer une station sur le diagramme d'Emberger, sur lequel sont définis les domaines et sous domaines bioclimatiques, appelés aussi étages et sous étages bioclimatiques. Selon ANSER (2012), cet indice s'exprime de la manière suivante :

$$Q = (2000 P) / \left(\frac{M + m}{2} \right) (M - m) \dots\dots\dots (k)$$

Où :

- **Q** : est le quotient pluviométrique
- **P** : est le total pluviométrique annuel en mm
- **M** : est la moyenne thermique des maxima du mois le plus chaud en Kelvin
- **m** : est la moyenne thermique des minima du mois le plus froid en Kelvin.

Les valeurs de Q et de m, permettent de situer la région étudiée sur le climagramme d'Emberger.

En effet, le Quotient pluviométrique nous aide à déterminer l'étage bioclimatique (aride, semi-aride, subhumide, humide et hyper humide), tandis que la valeur de m détermine le sous étage (à hiver froid, frais, doux ou chaud) [78].

Ainsi, et sur la base des données des précipitations et des températures, on estime que le quotient d'Emberger est égal à 34.08, ce qui permet de situer la région de Saïda à l'étage bioclimatique semi-aride (Figure n° 10).

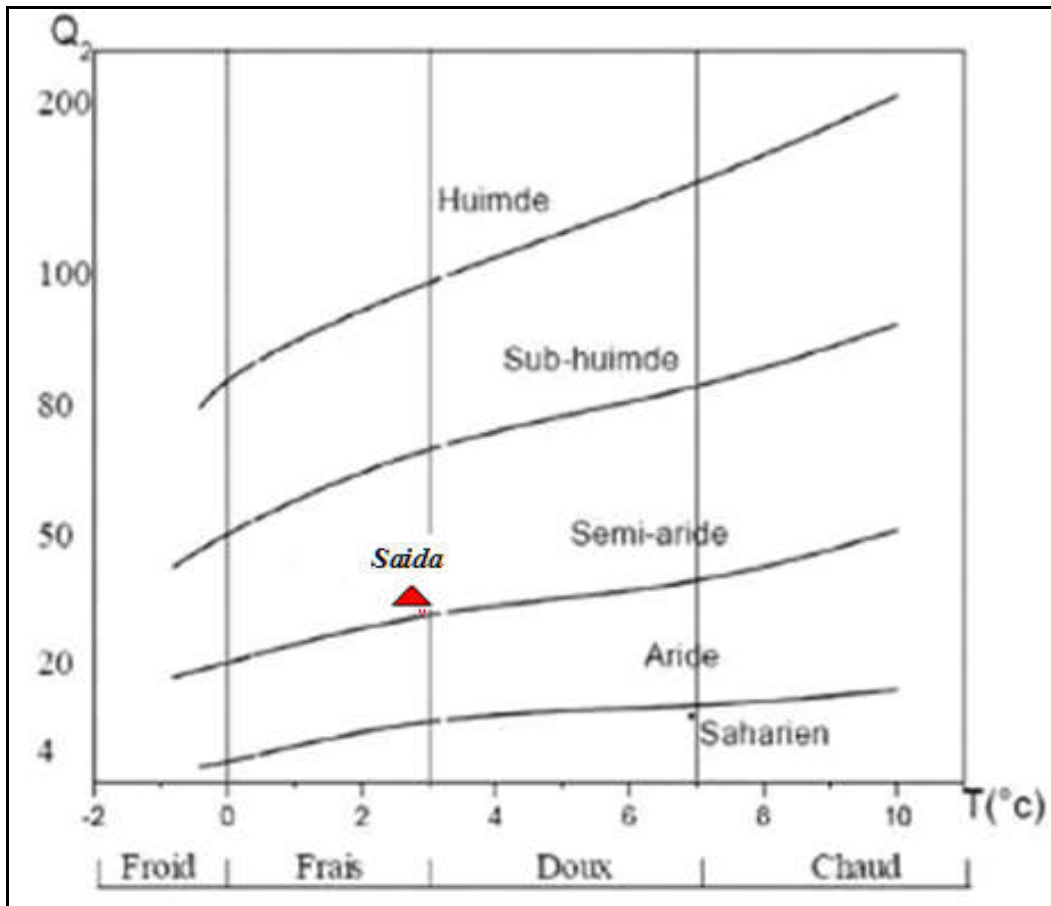


Figure n° 10 : Climagramme pluviothermique d'Emberger de la région de Saïda pour la période (1979-2007).

II.3.1.4.4. Autres paramètres climatiques

- Vents

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. La connaissance de sa force et sa direction dans l'espace et dans le temps s'avère nécessaire dans la formation des nuages et leurs déplacements. Les températures ainsi que les potentialités d'évapotranspiration sont également liées aux mouvements de l'air qui conditionnent les variations du bilan hydrique à l'échelle des valeurs moyennes mensuelles et annuelles [91]. Il nous permet également d'expliquer certains phénomènes environnementaux comme l'érosion et l'ensablement des terres, dispersion et transport des polluants [93].

Les relevés des vitesses des vents de la région de Saïda pour la période allant de 1977 à 1986 (Tab.13) montrent que les vents sont presque faibles et atteignent leur vitesse maximale pendant les mois de février, mars et août. Leurs directions sont généralement Ouest, Nord-ouest et Sud-ouest, avec une dominance à ce dernier [91].

Tableau n° 13: Vitesse moyenne des vents de la région de Saida (période 1977-1986) [91].

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse km/h	21,85	25,4	25,7	23,2	23 ,6	22,1	21,8	26,1	19,8	22,0	22,4	22,8

- **Gelé et sirocco**

Les autres paramètres climatiques qui peuvent être influencés par le climat de la région étudiée sont présentés dans le tableau, ci-dessous :

Tableau n° 14: Variation annuelle de gelé et sirocco de la région de Saida de la période de 1985-2000 [70].

Année	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Gelé	25	24	35	20	18	52	49	35
Sirocco	14	8	8	4	5	2	0	8
Année	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Gelé	38	26	8	35	32	38	58	71
Sirocco	19	4	22	17	18	24	25	2

Les données relatives au paramètre de gelée, présentés dans le tableau n°14 ci-dessus, montrent que ce dernier semble instable pour la majorité des années, avec un nombre qui ne dépasse pas la valeur seuil de 38 jours/an, ce qui correspond à une moyenne maximale d'environ 03j/mois. Ce phénomène est observé généralement durant les mois de Décembre, Janvier, Février et Mars. Par contre, des valeurs marquantes ont été observées pendant les années 1990, 1991, 1999 et 2000, avec un nombre oscillant entre 49 et 71jours/an.

De plus, les données mentionnées dans le tableau n°15, ci-dessus, relatives au sirocco, révèlent que ce phénomène climatique a atteint son maximum pendant les années 1995, 1998 et 1999. Par contre, le reste des années il ne dépasse guère les 18 jours/an. C'est presque la même valeur que celle déterminée par SELTZER, pour la période de 1913-1938, où le nombre de jours moyen annuel de sirocco est de 16 à 19 jours [95].

II.3.1.5.Aperçu phyto-pédologique

II.3.1.5.1. Couvert végétal

La région de Saida renferme l'un des grands potentiels forestiers de l'Ouest algérien, avec les deux wilayas de Tlemcen et Sidi Bel Abbés. En effet, son patrimoine forestier s'étend sur une superficie globale de 156 401 ha, dont 411 ha se trouvent dans la commune de Saida, toutes

formations végétales confondues, soit un taux de couverture de 23.50%. A cela, il faut ajouter une zone steppique de 120 000 ha, dont les nappes alfatières, potentiellement exploitables, représentent environ 30 000 ha destinés aux besoins industriels et artisanaux [45]. Cette superficie a subi malheureusement ces dernières années une dégradation inquiétante, due essentiellement aux facteurs anthropiques (incendies, coupes illicites, etc. ...).

Les principales essences forestières présentes dans le bassin versant d'Oued Saida sont : le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), qui est l'espèce prédominante ; le Chêne vert (*Quercus ilex*) ; le Genévrier oxycédre (*Juniperus oxycedrus*) ; la Garigue de thuya ou le thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata*) ; les lentisques (*Pistacia lentiscus*) ; l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*).

De ce fait, la wilaya de Saïda est caractérisée par trois grands ensembles écologiques, assez distincts constituant les centres d'intérêt en matière de développement forestier. Il s'agit de :

- ☞ la zone écologique du chêne vert (chênaie d'El Hassasna)
- ☞ la pineraie de Saida
- ☞ la zone steppique [76].

II.3.1.5.2. Aperçu pédologique

Le sol est l'un des facteurs qui agit de différentes manières sur le régime d'écoulement d'un cours d'eau. Généralement, les sols sont dépendants de la morphologie topographique de la région. Pour le cas de Saida, on distingue les types des sols suivants :

- ☞ **Versants:** ils sont occupés par des sols minéraux bruts, contenant très peu d'éléments friables provenant de sols bruns calcaires ou rouges fersialitiques, ainsi que par des sols à dominance argileuse, peu calcaires et iso humiques, sur les versants à formation argilo-gréseuse ;
- ☞ **Dépressions et cuvettes :** ce sont les sols calcimagnésiques qui dominent ces deux endroits. Ils se caractérisent dans leurs horizons superficiels par la présence d'une forte proportion de sable ;
- ☞ **Plateaux :** Ils sont recouverts par des sols assez diversifiés, formant une mosaïque où se distinguent des sols calcimagnésiques, minéraux bruts, fersialitiques et bruns calcaires ;
- ☞ **Terrasses et plaines alluviales :** sols peu évolués, d'apport alluvial ou colluvial, localement hydromorphes et des sols bruns calcaires [77: 104].

II.3.1.6. Hydrographie

Le réseau hydrographique est un ensemble des cours d'eau, naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent au drainage d'une surface topographique donnée, appelée communément Bassin versant. Il représente certainement une des caractéristiques essentielles du

bassin. Il peut donc prendre une multitude de formes (arborescentes ou dendritiques, rectangulaires, treillis ...) [68 ; 03]. Ainsi, la différence du réseau hydrographique d'un bassin à l'autre dépend en fait à plusieurs facteurs qui agissent en interaction. Les plus principaux sont :

- ✓ le climat, influencé sur la densité du réseau hydrographique ;
- ✓ la géologie par sa nature lithologique ainsi que structurale, agit sur la forme du réseau ;
- ✓ les activités anthropique dans différents domaines (comme l'agriculture, l'aménagement, l'hydraulique..) peuvent changer le réseau hydrographique en influençant sur son tracé. [69].

Dans la région de Saida, le sol est entaillé par de nombreuses vallées traversées par des cours d'eau, dont le plus important est l'oued de Saïda, drainant un bassin versant qui est caractérisé par un chevelu hydrographique, plus ou moins dense, qui influence sur le temps de concentration à l'exutoire. De nombreux affluents contribuent, surtout en période pluviale, à l'écoulement de l'Oued Saida dont les plus importants sont Oued Nazreg, Oued Massif, Oued Tebouda (voir la fig.08) [94 ; 03]. De plus, Plusieurs sources d'eau d'origine karstiques comme : Vieux Saida, Ain El Baida .., etc.), participent au maintien de l'écoulement de ce cours d'eau, surtout en période d'étiage, ce qui montre l'intérêt de celui-ci sur le développement de la région [84].

II.3.1.7. Hydrogéologie

II.3.7.1. Réservoirs potentiels

D'après les études antérieures de Clair (1952) et de Pitaud (1973) (citée par BENCHERKI et *al.*, 2008 et DAHMANE , 2016), différents réservoirs souterrains peuvent être énumérer , qui se rencontrent fréquemment dans des formations litho-stratigraphiques homogènes (les grés lusitanien) ou s'intègrent dans une formation à lithologie différente des bancs gréseux du Callovo-Oxfordien.

Hormis la partie nord-ouest de la région étudiée, où la nature des aquifères est gréseuse, l'ensemble du territoire est caractérisé par un réservoir, généralement artésien. Plusieurs sources d'eau, dont les plus importantes sont Ain El Hadjar , Ain Soltane , etc , sont à l'origine de la résurgence des nappes souterraines .

III.3.7.2. Description sommaire des principaux aquifères

La synthèse géologique de la région, affirmée par une description lithologique et structurale, a permis d'en définir les différentes aquifères suivantes :

- **Aquifère du jurassique inférieur** : alimentant différents sources comme : Ain Tiffrit, Ain Soltane, Ain Manaa, etc. cet aquifère, de nature dolomitique très perméable, est repose sur un

substratum schisteux et subhorizontal. une partie de l'eau s'infiltré à travers les fissures et réapparaît à Hammam Rabi [96] ;

- **Aquifère du bajocien-bathonien** : constituant le réservoir essentiel d'eau pour la ville de Saida ; avec un potentiel de l'ordre de 38.50 à 50 hm³/an, cet aquifère karstique couvrant une superficie de 2246km²[90].Il est libre, mais il devient captif dans certains compartiments lorsqu'il est surmonté par le Callovo-oxfordien (argilo-gréseux), dont les roches constituent son toit [96] ;
- **Aquifère du callovo-oxfordien** : ce réservoir, peu aquifère où les débits mobilisés n'excèdent pas 2litres /seconde, est formé par les bancs de grés. Seuls les bancs en contact avec le bajocien-bathonien qui sont prés de la zone faillée peuvent offrir des débits intéressants [96 ; 104] ;
- **Aquifère du kimméridgien** : Le réservoir associé à cet aquifère est de nature dolomitique. Il se retrouve à Sidi Boubekeur [96] ;
- **Aquifères du crétacé** : Deux réservoirs représentant le crétacé, dont le premier est du Sénonien, alors que le deuxième est du Barrémien. les forages qui ont été réalisés pour capter ce dernier réservoir au nord-ouest de la ville de Saida ont donné des débits excédant 30l/s [96] ;
- **Aquifère plio-quaternaire** : Bien que les atterrissements du tertiaire et du quaternaire, qui comblent les dépressions sont d'origine diverses, mais ils forment une seule unité hydrogéologique. Cet aquifère est considéré en fait comme l'une des nappes importantes dans la région, draine parfois les eaux des massifs qui les bordent [96 ; 104].

II.4.Conclusion

Les deux bassins versants des Oueds, *Mekerra et Saida*, font partie du grand bassin de la Macta qui s'étend au nord-ouest de l'Algérie. Occupant environ 32% de la surface totale, ces deux cours d'eau sont les principales artères du réseau hydrographique superficiel du grand bassin de la Macta.

L'étude morphométrique des deux bassins a permis de déduire que le premier bassin versant de Mekerra s'étend sur une superficie de 4102 km², pour un périmètre de 353 km, prend forme allongée (Kc=1.54). La topographie du bassin montre que 90% de sa surface est d'altitude comprise entre 500-700 m.

Pour le second bassin de Saida, la superficie est de 517.8 km², pour un périmètre de 104 km. Il prend la même forme que le premier bassin (forme allongée avec Kc >1), ce qui donne une idée

sur un faible débit de pointe. A l'exception de certaines crêtes, où l'altitude peut atteindre 1150 m, l'ensemble du bassin a une altitude moyenne de 804 m.

Concernant le cadre climatique, les deux bassins versants se situent sous l'influence d'un climat méditerranéen semi-aride qui se caractérise par un été chaud et sec, et un hiver froids, dont les valeurs moyennes de précipitations oscillent entre 300 mm à 400 mm, respectivement.

Le bassin d'alimentation de la Mekerra, est le résultat de drainage d'un réseau hydrographique peu développé constituant de petits cours d'eau et affluents. Tous ces oueds, qui sont tous presque secs en été, viennent se jeter dans l'Oued Mekerra, le plus important cours d'eau dans le bassin avec une longueur de 126 km. Par contre, le bassin d'oued Saida drainé par un chevelu hydrographique plus ou moins dense, influence sur le temps de concentration à l'exutoire. Egalement, de nombreux affluents contribuent à l'écoulement, surtout en période pluviale.

Vu la géologie complexe et diversifiée, les deux bassins, Mekerra et Saida, renferment des unités hydrologiques variées dont les plus importantes sont celles d'âge plio-quaternaire et quaternaire. Ces dernières sont actuellement les plus sollicitées pour tous usages confondus (domestique, agricole et industrielle).

Pour le cadre phyto-pédologique, les deux bassins se caractérisent par des formations végétales irrégulières, de l'amont à l'aval de chaque bassin. Par contre, les sols sont différenciés, qui semble être due à la topographie, au couvert végétal de chaque région, d'une part, et aux caractéristiques structurales et texturales, d'autre part.

Chapitre III :

MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. Introduction

Il est sans doute que la qualité des eaux de surface est déterminée par les quantités de substances organiques et minérales et sa teneur en micro-organismes vivants qu'elle a entraînés. D'après KEDDARI (2015), elle est influencée par divers facteurs, tels que les paramètres climatiques, les couches lithologiques traversées, les échanges entre aquifères et les eaux de surface, et par les activités anthropiques. Ces dernières ont un effet important sur la composition biochimique des eaux de surface.

Le présent chapitre donne , en premier lieu , un aperçu sur le contexte générale des deux zones d'étude (villes de Sidi Bel Abbés et Saida) et en second lieu , expose les matériels et méthodes utilisés pour caractériser la qualité des eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, à la traversée des zones urbaines des villes citées précédemment , et ce, par un suivi spatio-temporel, de plusieurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques .

III.2. Description des deux zones d'étude

III.2. 1.La ville de Sidi Bel Abbés

III.2.1 .1.Localisation géographique

La wilaya de Sidi Bel Abbés, occupe une position de carrefour dans l'ouest algérien, située à 75 km, au sud d'Oran, et à près de 90 km, à l'est de Tlemcen. Elle s'étend sur une superficie de 9150,63 km² [97].Elle constitue l'épicentre de l'espace régional ouest du pays dont les complémentarités économiques, les interactions et les échanges sont réels avec les wilayates limitrophes dans pour un développement régional intégré.

En effet, la ville de Sidi Bel Abbés, chef-lieu de cette wilaya depuis 1974, est localisée au centre d'une vaste plaine comprise entre djebel Tessala, au nord, et les monts de Dhaya, au sud, sur une altitude moyenne de 740 m. Administrativement, elle est délimitée (Fig. 11), par les communes de :

- Sidi Brahim et Ain El Berd, au nord ;
- Sidi Lahcen, à l'ouest ;
- Sidi Ali Ben Youb, au sud ;
- Tilmouni, à l'Est [98].

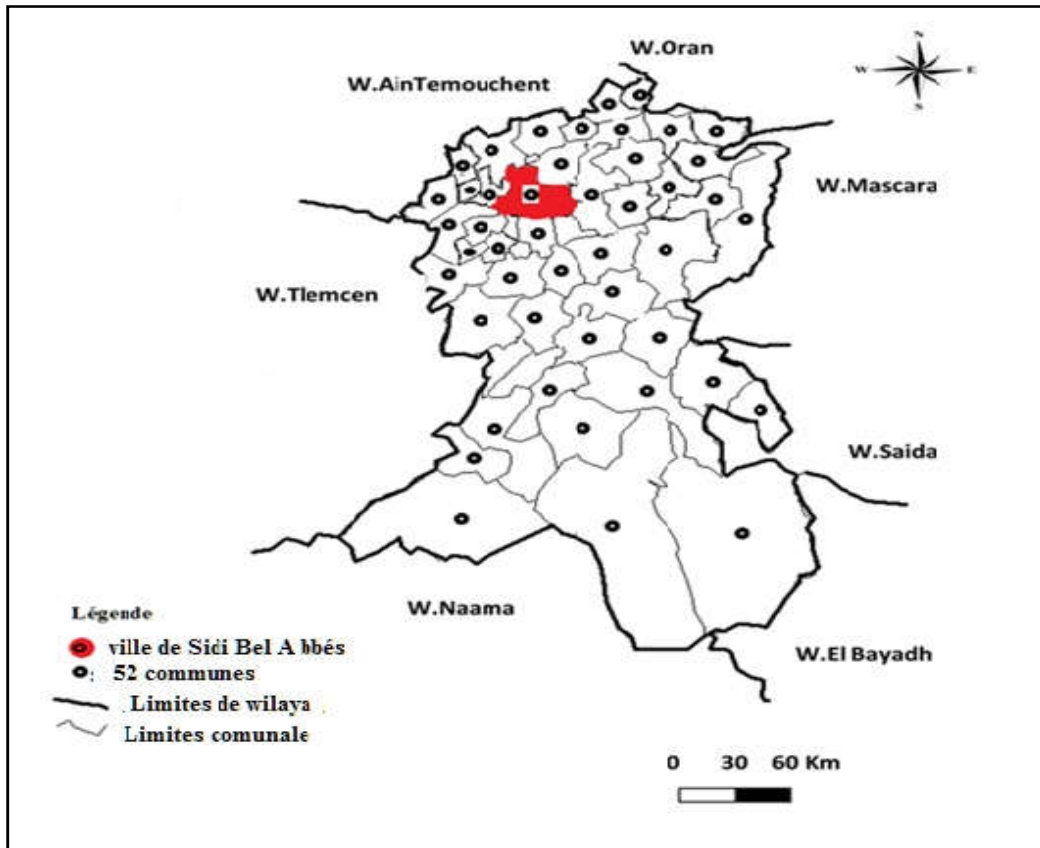


Figure n° 11 : Localisation géographique de la ville de Sidi Bel Abbés [77] (carte modifiée).

III.2.1.2. Topographie de la région

La wilaya de Sidi Bel Abbés appartient à un espace géographique caractérisant par la présence de trois (03) grands ensembles naturels distincts, à savoir :

❖ La zone montagneuse

Occupant une superficie de 2250.37 km², soit 24.59 % de la superficie totale de la wilaya, elle est formée au nord par les monts *de Tessala-Beni Chougrane*, qui occupent environ 38.40% de la superficie totale montagneuse. C'est une zone fortement érodée, déboisée et envahie par des cultures annuelles, essentiellement de la céréaliculture. Cette zone regroupe les communes de : Ain Kada, Sidi Yagoub, Tessala, Sehal, Ain Thrid, Boudjebha El Bordj, Ain Aden, Ain El Berd, Makedra et Sidi Hamadouche.

Par contre, les monts *de Dhaya* occupent la partie centrale de la wilaya en s'étendant sur une superficie de 1386,16 km². Ils sont fortement boisés et représentent environ 40% du couvert forestier de la wilaya. Cinq communes se concentrent dans cet espace topographique. Il s'agit de : Merine, Tafessour, Taoudmout, Oued Taourira, Dhaya [100].

❖ Les zones de plaines

Coincées entre les deux formations montagneuses, citées précédemment, elles s'étendent sur une superficie de 3 239.44 km², soit un peu plus du 1/3 de la surface totale de la wilaya. Elles sont

représentées par la plaine de Sidi Bel Abbés, de 2102.85 km², et les hautes plaines de Telagh, de 1136.59 km², où est localisé un potentiel irrigable important (environ 60 000 ha) pour la wilaya. C'est la haute plaine tellienne insérée entre les formations géomorphologiques (l'Atlas plissé au nord et l'Atlas tabulaire au sud), avec une altitude oscillant entre 400 et 720 mètres. Vingt cinq communes occupent le territoire de ces deux zones, à savoir : Sidi Bel Abbés, Ben Badis, Lamtar, Chetouane, Bedrabine , Hassi Zahana, Sidi Ali Boussidi, Sidi Dahou, Sidi Khaled, Sidi Lahcen, Amarnas, Sidi Brahim, Mostefa Ben Brahim, Belarbi, Tilmouni, Zerouala, Boukhanefis, Tabia, Sidi Ali Benyoub, Sfisef, Telagh, Teghalimet, Tenira, Oued Sefioune, M'Cid, Hassi Dahou, Benchaiba, Moulay Slissen, Mezaourou, El Hçaiba, Ain Tindamine [100].

❖ La zone steppique

C'est une vaste plaine quaternaire à relief relativement plat, avec des parcours très fragiles au regard de la dégradation de la nappe alfatière et d'autres formations steppiques. Elle est concentrée dans le sud de la wilaya et occupant une superficie de 3660.82 km², soit 40% de la surface totale. Six communes occupent ce territoire, qui sont : Ras El Ma, Redjem Demmouche, Oued Sebaâ, Sidi Chaib, Bir El H'Mam, Marhoum [101].

III.2.1.3. Données socio-économiques

Classée dix neuvième ville du pays en matière de superficie, Sidi Bel Abbés est devenue une métropole régionale non seulement de par sa position stratégique en tant que carrefour vis-à-vis de sa wilaya, mais aussi pour les wilayas limitrophes.

Cette région est connue par ses grandes unités industrielles (comme ENIE, CMA) et agricole. La population qui se trouve sur la zone d'étude atteint 221 348 habitants en 2011, soit 35.03% de la population totale, et occupe une superficie d'environ 69.74 km², avec une densité moyenne de 3.17 hab./km² [101].

Le tissu industriel est en essor progressif dans la région dont la majorité des industries sont concentrées au niveau de chef lieu de la wilaya de Sidi Bel Abbés. Il est réparti sur une superficie d'environ 435 ha. Quinze principales unités industrielles à caractère public et privé sont actuellement en service, dont le nombre de travailleurs a atteint, jusqu'à l'année 2011, environs 4043.

Le tableau suivant récapitule les principales activités industrielles présentes au niveau de la ville de SBA dont la plupart des unités sont installées dans la rive droite d'Oued Mekerra.

Tableau 15 : Principales activités industrielles installées dans la ville de Sidi Bel Abbés [102].

Entreprises	Principaux produits	Statut juridique	Effectifs employés
ENIE	Equipements électroniques domestiques	SPA	1 050
FAMAGE	Machinisme	SPA	56
CMA	Machinisme agricole	SPA	479
BTPH	bétons prêts à l'emploi	SPA	1900
FILALE GIPLAIT Lait	Lait et produits laitiers	SPA	175
FROMALAIT lait	lait	EURL	/
KCA	Régulateurs de tension, Centrales	SPA	96
CONDIPAD	Conditionnement sucre en morceaux	EURL	42

A propos de l'agriculture, elle est observée sur l'ensemble de la plaine, avec une très grande variété de cultures céréalières, maraîchères et arboricoles, sans oublier la production animale qu'est ainsi une activité intéressante dans la région.

En ce qui concerne le tourisme, la wilaya de Sidi Bel Abbés dispose de qualifications touristiques, à l'exemple du lac Sidi M'hamed, sites historiques, forêts récréatives (Ténira, Louza), etc., qui lui permettent d'être une zone d'attraction touristique. Cette réalité a été renforcée par les différents investissements dans le domaine notamment en matière d'infrastructures d'accueil [96].

III.2. 2.La ville de Saïda

III.2.2.1. Localisation géographique

Elle constitue un domaine de hauts plateaux, formant l'avant-pays de la chaîne Alpine d'Algérie. La wilaya de Saïda s'étend sur une superficie totale d'environ 6631 km². Elle est distante de 450 km, au nord de la ville de Béchar, et à une certaine de kilomètres à vol d'oiseau de la mer [95] .

La ville de Saïda, chef-lieu de cette wilaya, est un grand centre urbain qui est réparti sur une superficie de 75.80 km². Administrativement, elle est limitée par les communes de (Fig.12) :

- Ouled Khaled, au Nord ;
- El Hassasna, à l'Est ;
- Doui Thabet, à l'Ouest ;
- Ain El Hadjar, au Sud [103].

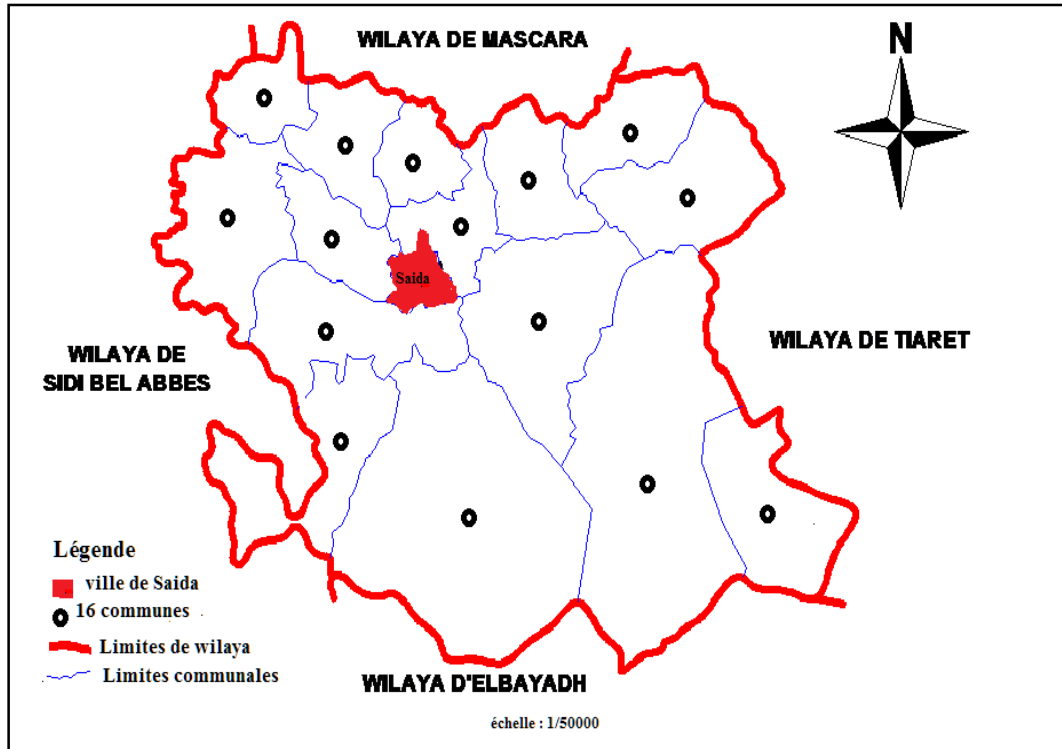


Figure n° 12 : Situation géographique de la ville de Saïda [103] (carte modifiée).

III.2.2.2. Cadre géomorphologique

D'ensemble, le territoire de la wilaya de Saïda s'étend sur deux domaines structuraux bien distincts : un domaine atlasique tellien (monts de Saïda) au Nord, et un domaine des hautes plaines steppiques au Sud. Cette extension géographique a permis à cette région d'occuper une position stratégique en jouant un rôle de liaison entre les wilayas steppiques au sud et les wilayas telliennes au nord [91].

En fait, les traits fondamentaux de ces grands ensembles naturels de la wilaya se retrouvent dans la configuration du relief et de ses composantes structurales, et dans l'influence du climat et ses conséquences sur les terres et les ressources en eau .

➤ Les monts de Saïda

Ils font partie de la chaîne, qui va des monts de Tlemcen jusqu'aux derniers contreforts de l'Ouarsenis, qui constitue une unité géographique homogène appelée « Massifs de Tlemcen-Dhaya et Saïda », couvrant plus des 3/4 de la superficie de la wilaya, soit 12 communes (Saïda, Doui Thabet, Ain El Hadjar, Ouled Khaled, Moulay Larbi, Youb, Hounet, Sidi Amar, Sidi Boubekour, El Hassasna, Ouled Brahim, Ain Soltane). En effet, ce sont des montagnes boisées, avec la présence de dépressions peu accidentées et des vallées étroites. Ces monts, relativement élevés qui culminent à 1 321 m (Djebel Sidi Youcef), sont ainsi entrecoupés de dépressions et de vallées peu larges. De plus, la morphologie du relief de douze communes citées, précédemment,

caractérise généralement par la présence des versants aux pentes fortes sur des formations peu résistantes, avec une couverture végétale très disséminée [91].

➤ **Les hautes plaines steppiques**

Elles couvrent à peine quatre communes, qui sont : El Maâmoura, Sidi Ahmed, Ain Skhouna, Tircine, sur les seize communes que compte la wilaya. D'une topographie monotone de plaines, marquée par la présence des dépressions occupées par des eaux stagnantes salées, dans des sebkhas et daïas, ce qui témoignent de l'endoréisme de la zone. Ces hautes plaines constituent des milieux sensibles et fragiles par la prédominance du substrat calcaire, relativement encroûté, et les bas-fonds argilo-limoneux (MATE, 2009 in KAFI, 2011).

III.2.2.3. Données socio-économiques

La région de Saida dispose, comme Sidi Bel Abbés, de potentialités économiques diversifiées. Elles sont perceptibles à travers un tissu urbain en plein extension, une industrie plus ou moins décente, un tourisme diversifié et une agriculture en développement et modernisation.

Selon les données de la monographie de la wilaya de Saïda, pour l'année 2009, la ville de Saida comptait environ 130.805 habitants, pour une superficie de 75.80 km², soit 1.72 hab./km². Pour un taux d'accroissement annuel moyen de 1.7%, la population de la wilaya devait atteindre 344.455 hab., en 2010, dont 132.826 hab. au niveau du chef-lieu [105].

En termes d'activités industrielles, la ville de Saida possède une zone d'activités introduite par le programme spécial de 1972. Cette zone s'étend actuellement sur une superficie d'environ 24800 m² [106]. Malheureusement, certaines industries génèrent des polluants qui peuvent porter des atteintes pour l'environnement et les ressources en eau en particulier.

En fonction des activités, les principales entreprises installées au niveau de la ville sont récapitulées dans le tableau, ci-après :

Tableau 16 : Principales entreprises localisées dans la ville de Saida [106].

Entreprises	Localisation	Type de produits fabriqués	Effectifs employés
GIPLAIT	ZI Saida	Produits Laitiers	68
E.N.A.V.A	ZI Saida	Abrasifs	99
E.M.S.S	ZI Saida	Eau minérale	/
EX. ECOTEX	ZI Saida	Article vestimentaire	97
ENAD	ZI Saida	Produits d'entretiens	58
NAFTAL	ZI Saida	B 13 et P 15	/
ERIAD	ZI Saida	Semoule	98

Concernant l'agriculture, elle constitue aussi une activité non négligeable dans la région. La surface des terres labourables représente 0.69 %, soit 1508 ha, dont la grande partie est réservée à la céréaliculture, vu la fertilité de son sol. Le maraichage et l'arboriculture sont également

pratiqués, surtout, à proximité de l'oued Saida, là où il y a une possibilité d'avoir une source d'eau saine pour l'irrigation. Le domaine de l'élevage est aussi présent dans les activités agricoles de la région.

L'existence de quelques repères touristiques comme les sites naturelles pittoresques, ses sources minérales connues à travers tout le pays, sa zone steppique éblouissante et ses sites archéologiques, dont certains sont préhistoriques, ont permis à la ville de Saida d'être une zone d'attraction pour les touristes, sachant que l'infrastructure hôtelière existante à travers la wilaya de Saïda est d'une capacité d'accueil de 527 lits [107].

III.3. Choix et présentation des stations d'étude

Les stations d'échantillonnage ont été choisies sur les deux sites de Mekerra et de Saida, et plus précisément dans les tançons passant par les deux villes de SBA et Saida, de manière à nous permettre de répondre à l'objectif de notre étude. Ainsi, en prenant en considération un certain nombre d'éléments, notamment, la représentativité des deux oueds pour bien les cerner spatialement, l'importance de la zone (présence d'urbanisation, de végétation..) et l'accessibilité, trois stations pour chaque site (figures n°13, n°14 et annexes n°01, n°02), couvrant une distance de plus de 05 km, ont été retenues. Elles se présentent, de l'amont vers l'aval pour chaque Oued, comme suit :

❖ Oued Mekerra :

- **Station (M1)** : Située à l'entrée Sud de la ville de Sidi Bel Abbés (Fig. n° 13 et anex.n° 01). Cette station reçoit plus de rejets de la ville de Sidi Bel Abbés, surtout en période pluvieuse, en provenance des communes situées en amont du bassin de l'Oued Mekerra ;
- **Station (M2)** : localisée au centre ville (Fig. n° 13 et anex.n° 01), en aval de plus ancien quartier, se nommé Hai Graba. Cette station est soumise principalement aux rejets d'eaux usées ;
- **Station (M3)** : se trouve à la sortie de la ville de Sidi Bel Abbés (Fig. n° 13 et anex.n° 01), près de la station d'épuration (STEP). Cette station est sujette à une pollution d'origine domestique (eaux usées, déchets ménagers, etc..).

❖ Oued Saida :

- **Station (S1)** : Elle est située à l'entrée sud de la ville de Saida (Fig. n° 14 et anex.n°02), dans une forêt récréative de ToutA. Elle reçoit essentiellement

les eaux épurées issues de la station d'Ain El Hadjar localisée à l'amont de Bassin versant d'Oued Saida. A ceci, s'ajoutent, les apports provenant des précipitations, de l'importante source dans la région (source de Tebouda, avec un débit peut atteindre de 30l/s dans les conditions normales) ainsi que celles des sources karstiques existantes dans son chemin ;

➤ **Station (S2) :** Elle se trouve au niveau du centre ville (Fig. n° 14 et anex.n°02), dans une zone urbaine particulièrement dense, et recevant les eaux usées domestique et les déchets solides (déchets ménagers, déchets des chantiers, etc.) ;

➤ **Station (S3) :** Elle est localisée à la sortie de la ville de Saida (Fig. n° 14 et anex.n°02), près de la commune de Rebahia. Renfermant sur sa rive gauche des installations industrielle et recevant des eaux usées domestiques provenant surtout des habitations à proximités de l'Oued Saida.



Photo illustre la station M1 (Amont de la ville de SBA)



Photo illustre la station M2 (au centre de la ville de SBA)



Photo illustre la station M3 (Aval de la ville de SBA)

Figure n°13: Photos des stations d'étude au niveau d'Oued Mekerra à la traversée de la ville de SBA.



Photo 01 représente la station S1(Amont de la ville de Saida)



Photo 02 représente la station S2 (au centre ville de Saida)



Photo 03 représente la station S3 (Aval de la ville de Saida, près de la STEP)

Figure n°14 : Photos des stations d'étude au niveau d'Oued Saida à la traversée de la ville de Saida

III.4. Echantillonnage

Après la localisation des stations d'étude au niveau les deux Oueds, Mekerra et Saida, les échantillons d'eau ont été prélevés aux mois de juin 2011, juillet 2012 et mars 2013, pour les analyses physico-chimiques. Par contre, les analyses bactériologiques ont été effectuées pendant les mois d'avril 2011, septembre 2012 et juillet 2013.

Les échantillons ont été mis dans des flacons en polyéthylène et en verre réservés spécialement pour les paramètres bactériologiques, de capacité allant de 250 ml à 1 litre, préalablement lavés à l'eau distillée et transportés à basse température (4°C) dans des glacières portatives, afin de limiter toute modification d'origine biologique.

III.5. Caractérisation physico-chimique

III.5.1. Mesures in situ

Le potentiel hydrogène (pH) et la température ont été mesurés in situ, moyennant, respectivement, un pH-mètre et un thermomètre à mercure gradué jusqu'au 100 de degrés Celsius. Par contre, la conductivité et l'oxygène dissous ont été déterminés au niveau du laboratoire.

III.5.2. Dosages et mesures au laboratoire

Les échantillons prélevés et transférés aux laboratoires du centre de mesure en chimie de l'université de Sidi Bel abbés, de contrôle de qualité de Saida, de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Saida, ont été soumis à des analyses physico-chimiques pour la détermination des éléments suivants : Calcium (Ca^{++}), Magnésium (Mg^{+2}), Chlorures (Cl^-), Nitrates (NO_3^{2-}), Nitrites (NO_2^-), Sulfates (SO_4^{2-}), Orthophosphates (PO_4^{3-}), Résidu sec (RS), et la demande biologique en oxygène pendant cinq jours (DBO5) a été effectuée au laboratoire de l'environnement de la wilaya de Saida. Le dosage et la mesure de ces différents éléments ont été effectués selon les méthodes décrites par Rodier (1978 et 2009) et certaines méthodes ISO comme dans le cas de la DBO5 (Méthode 3815 (2003)).

La méthode titrimétrique à l'EDTA permet de doser rapidement les ions de calcium et magnésium .Elle est approprié à la plupart des types d'eaux.

Les chlorures ont été dosés avec le nitrate d'argent, selon la méthode de Mohr, après ajout d'un indicateur coloré qui est le chromate de potassium.

Le dosage des sulfates est basé sur la réaction, en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorure de baryum, qui conduit quantitativement à la formation de sulfate de baryum, sel très peu soluble et puis évalués gravimétriquement .

Concernant les résidus secs, La méthode de mesure de leur teneur consiste à évaporée à 105 °C dans une capsule tarée une quantité d'eau filtrée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

Pour le DBO5, la méthode instrumentale permet de suivre automatiquement son évolution au cours de l'oxydation des matières organiques contenues dans l'eau. L'échantillon d'eau est introduit des flacons ambrés maintenues dans une enceinte thermostatée, il est mis à incuber en présence d'air à une température de 20°C, les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par l'oxygène en provenance du volume d'air situé au dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique formé est piégé par l'hydroxyde de potassium. En effet, chaque flacon est muni d'un manomètre qui enregistre la dépression provoquée par la consommation d'O₂ et fixation de CO₂. Ainsi la valeur de DBO5 (mg/l) = la valeur lue X Facteur. Pratiquement, la prise d'essai dépend de la charge de l'échantillon (origine, couleur, odeur, matière en suspension, etc.).

Concernant le dosage des nitrates, des nitrites et les ortho phosphates, l'évaluation a été faite par la méthode spectrométrique dont la lecture a été effectuée à la longueur d'onde de 420 nm et 435 pour les deux éléments premiers respectivement ; par contre, le troisième élément, l'évaluation a été réalisée au spectromètre à la longueur d'onde de 690nm.

III.6. Caractérisation bactériologique

Les analyses bactériologiques ont portées sur les germes indicateurs de pollution, qui regroupent les bactéries des contaminations fécales, comme les : Coliformes Totaux (CT), Coliformes Fécaux (CF), Streptocoques fécaux (SF), Germes Aérobie Mésophile Totaux (GMAT), à 22°C et 37°C, et certains germes pathogènes, les salmonelles. Faute de moyen nous empêcher de faire les analyses selon la même fréquence de celle des analyses physico-chimiques. L'opération d'échantillonnage a été effectuée durant les mois de mars 2011, septembre 2012 et mai 2013.

Le dénombrement des GMAT a été effectué par l'ensemencement en surface en boîtes de Pétri, sur milieu de culture (TGEA) et pour diverses dilutions, la lecture a eu lieu après 48 heures d'incubation, à 37°C, ou après 72 heures d'incubation, à 22°C. Les boîtes contenant des colonies qui apparaissent bien distinctes sont retenir pour le comptage. Le nombre de colonies comptées (N) multiplié par l'inverse du rapportée de dilution "d" (d : le taux de dilution de la première dilution retenue). Les résultats obtenus de GMAT à 22°C et à 37°C sont exprimés en UFC par ml.

A propos des coliformes totaux et fécaux (ou thermo-tolérants), ils ont été réalisés par l'ensemencement en milieu liquide (BCPL et Schubert respectivement) pour détermination du

nombre le plus probable "NPP", ainsi que par la même méthode pour les streptocoques (milieu Rothe puis Litsky pour confirmation). La quantification de la densité bactérienne se fait à partir de réponses positives observées (apparition d'un trouble du milieu et virage du couleur) pour une ou plusieurs dilutions successives de la suspension bactérienne originelle dans des milieux de cultures liquides. Un système d'ensemencement de trois tubes (essais multiples) à été utilisé pour chaque dilution. Les résultats de dénombrement sont exprimés en nombre de germe par 100ml.

Pour les Clostridium sulfito-réducteurs, fautes de réactifs en quantités suffisantes, des essais ont été réalisés afin de déterminer une contamination récente ou intermittente causée par la présence de ces espèces microbiologiques. Après l'ensemencement en milieu nutritif (VF), les échantillons sont incubés à une température de 37°C, pendant 24 heures. Considérer comme un résultat d'une spore de bactérie de CSR, toute colonie noire entouré par halo noir. Les résultats sont exprimés en nombre de spores par 20 ml d'eau à analyser.

Concernant les germes pathogènes, genre salmonelles, la recherche sur ces dernières a été faite selon les phases suivantes : le préenrichissement, l'enrichissement en milieu sélectif (bouillon de sélénite de sodium, avec l'incubation à 37°C / 24 heures) puis l'isolement et l'identification.

Globalement, Les méthodes utilisées dans l'évaluation de la qualité bactériologique sont celles préconisées par Rodier (1978 et 2009).

Les analyses ont été réalisées dans des laboratoires spécialisés, à l'instar de : Laboratoire ADE de Saida, laboratoire privé spécialisé en qualité/Sidi Bel Abbés, Bureau d'hygiène/Saida, laboratoire GIPLAIT-saida.

III.7.Conclusion

Au terme de ce troisième chapitre, on peut conclure par les points suivants :

- Les deux villes de Sidi Bel Abbés et Saida occupent des positions stratégiques qui leurs permet de jouer un rôle important dans le développement du pays ne seulement sur le plan régional, mais également sur le plan national. Cet avantage peut être argumenté par la présence d'un espace naturel diversifié.
- La population dans les deux régions a connu une croissance ces dernières années avec taux moyen annuel qui dépasse 1,5 %, et ce revient à l'amélioration des conditions de vie (santé, hygiène, nourriture, éducation, habitats, etc),
- Les potentialités agro-sylvi-pastorale que possèdent les deux régions représentent des qualifications réelles pour un développement agricole durable.

- Le secteur industriel est considéré ainsi comme un moteur du développement socio-économique pour les deux régions du fait de l'existence des zones d'activités industrielles réparties sur des grandes superficies.
- le tourisme aussi peut être une armature pour le développement des deux villes si les différentes potentialités touristiques disponibles sont bien exploitées.
- En fin, le suivi et l'évaluation de la qualité des eaux des deux oueds, *Mekerra et Saida*, sur les deux plans (physico-chimiques et bactériologiques) sont effectuées selon des protocoles d'échantillonnage et méthodes d'analyses conformes aux normes nationales et internationales, et selon des références bien définies (Rodier et ISO).

Chapitre IV :
RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'exposition et l'analyse des différents résultats obtenus durant les trois périodes d'échantillonnage. Ainsi, des méthodes indiciaires seront utilisées afin de mettre une synthèse sur la qualité globale des eaux et son évolution spatio-temporelle dans les deux cours d'eau étudiés. Ces indices permettront également d'apprécier le degré de la pollution et de définir les origines des polluants.

IV.2. Etude des résultats d'analyses de qualité des eaux des deux oueds

IV.2.1. Qualité physico-chimique

IV.2.1.1. Présentation et discussion des résultats

Les données, sur le plan physique et chimique, donnent sans doute des indications sur la qualité de l'eau, qui sont fréquemment assujetties à des variations tant spatiales que temporelles par les activités humaines qui modifient les caractéristiques de l'eau [107]. A cet effet, les différents paramètres physico-chimiques déterminés pour les eaux des deux oueds, sont :

IV.2.1.1.1. Température

La température est un facteur physique qui joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes (aquatiques et terrestres). Elle détermine grandement la répartition de biocénose et influence l'activité physique des êtres vivants. Elle a aussi un effet sur l'évolution et la transformation dans le milieu aquatique de nombreux facteurs chimiques comme l'oxygène dissous qu'est le facteur le plus indispensable aux organismes aquatiques [111].

Généralement, les variations de la température de l'eau sont tributaires des variations de la température atmosphérique ambiante et qui dépend elle aussi des variations saisonnières [76].

Les relevés thermiques enregistrés au niveau des deux oueds, Mekerra et Saida, à la traversée des villes de Sidi bel Abbés et Saida, représentent des températures saisonnières dont les plus élevées sont enregistrées durant les mois juin 2011 et juillet 2012, alors que les plus basses sont observées au mois d'avril 2013. Cependant, la variation spatiale des températures moyennes (figures n°15) oscillent de l'amont vers l'aval, pour chaque oued, avec des valeurs peu élevées aux stations intermédiaires (M1 : 22.03°C et S1 : 21.83°C). Cette différence, en termes de températures, peut être due à la morphologie, la nature du sol traversé de chaque station, au type du rejet, l'hydrologie (modification du régime), la température ambiante et le rayonnement solaire, l'agitation ou la stagnation, et le couvert végétal de ces deux cours d'eau.

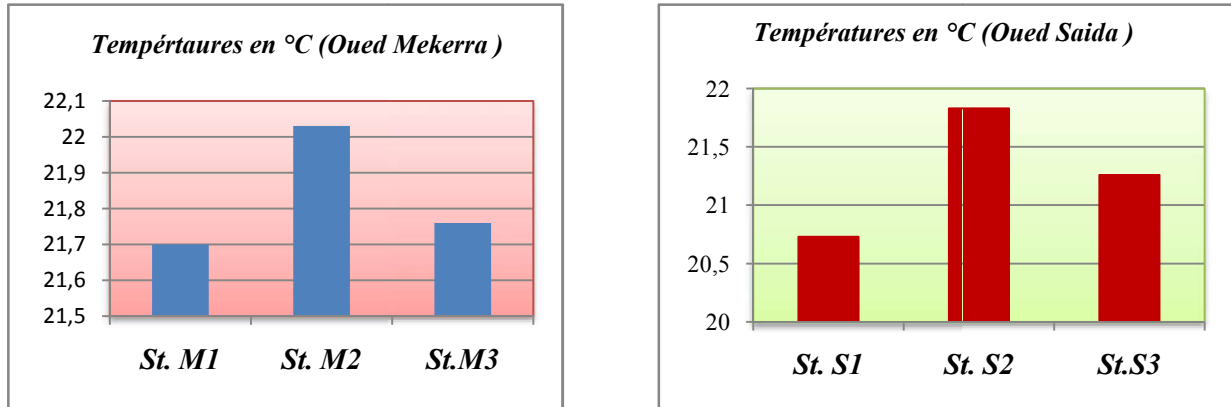


Figure n°15 : Valeurs moyennes des températures des eaux des deux Oueds Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.2. pH

Le potentiel d'hydrogène (pH) exprime l'alcalinité ou l'acidité de l'eau et utilisé comme un facteur essentiel dans l'appréciation de la qualité de l'eau [68]. En fait, il dépend de facteurs multiples tels que l'oxygène dissous, le gaz carbonique et le taux de la matière organique. Ainsi une chute de pH se manifeste souvent par l'augmentation de la teneur en CO₂, la diminution de la teneur en O₂ et également l'accroissement de la teneur en matières organiques.

Dans les eaux superficielles, le pH est déterminé, en partie, par la nature géologique des terrains traversés. Il est également influencé par les précipitations acides, l'activité biologique et certains rejets industriels. Les valeurs du critère de qualité pour l'eau brute d'approvisionnement, se situent entre 6.5 et 8.5, et, entre 6.5 et 9.0, pour la protection de la vie aquatique. D'une manière générale, en hydrobiologie, le pH ne considérait jamais comme un facteur limitant sauf dans certaines situations exceptionnelles, bien entendu [111].

Pour les échantillons prélevés, les valeurs observées du pH (figure n°16), de l'amont vers l'aval, montrent que les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, sont dans la fourchette de la norme de l'agence nationale des ressources hydrique algérienne (2009) qu'est de 6,5 à 8.5. Pour les eaux de l'Oued Saida, la comparaison de ces résultats avec celles des travaux de HACHEMAOUI, 2007 et HALIMI et al. 2009 réalisés antérieurement montrent une légère diminution, 7.5 à 9.

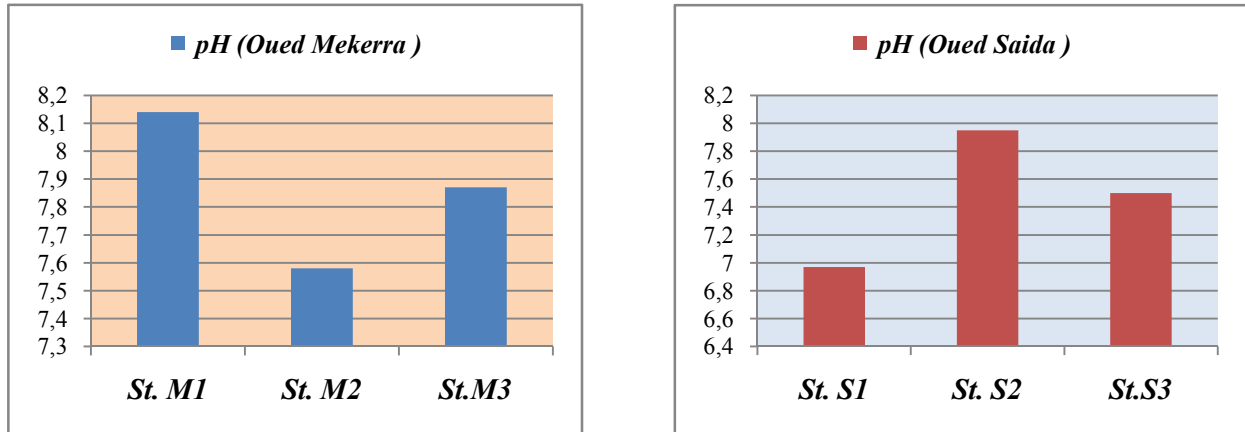


Figure n° 16 : Valeurs moyennes du pH des eaux des deux oueds Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.3. Conductivité électrique

Elle donne une idée sur le degré de minéralisation globale des eaux superficielles ou souterraines. Des températures élevées agissent sur la mobilité des sels en influençant évidemment la valeur de la conductivité électrique.

En effet, les eaux naturelles jouent un rôle de solvant d'un nombre considérable de sels qui, en solution, sont plus ou moins complètement dissociés en ions. Les types de pollutions domestiques industrielles et agricoles modifient fréquemment les concentrations naturelles de différents éléments de l'eau, une modification de la conductivité permet ainsi de prendre en considération ces pollutions [108]. En effet, une conductivité élevée s'interprète soit par des pH anormaux, soit le plus souvent par une salinité élevée [76].

De l'analyse des résultats de l'évolution pour les deux sites, on note des variations spatio-temporelles de la conductivité électrique similaires à celles de la salinité. On peut éventuellement déduire qu'au niveau de chaque station la conductivité suit proportionnellement les mêmes fluctuations que la salinité.

Pour l'Oued Mekerra, les moyennes de la conductivité mesurées au niveau des stations M1, M2 et M3 sont importantes, et varient entre 2074 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la station M1, 2063 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour M2 et 2351 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de M3 (figure n°17), qui semblent être dues à la nature des eaux usées qui les véhiculent.

L'évolution de la conductivité au niveau des stations S1, S2 et S3, est variable et leurs moyennes oscillent entre 1118 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1632 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figure n°17). Elle est importante, avec un maximum dans S3 qui est de l'ordre de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enregistré au mois de juillet 2012.

Selon les normes algériennes des eaux superficielles, les résultats des analyses des valeurs moyennes des trois (03) périodes de prélèvements, pour la conductivité de l'eau, sont de bonne qualité, dans la station S1 (conductivité entre 750 et 1300 $\mu\text{s/cm}$) et de qualité moyenne, dans les stations S2, S3 (conductivité entre 1300 et 2700 $\mu\text{s/cm}$) pour l'Oued Saida. Par contre, la conductivité des eaux de l'Oued Mekerra est de moyenne qualité dans les trois (03) stations M1, M2 et M3 (conductivité entre 1300 et 2700 $\mu\text{s/cm}$).

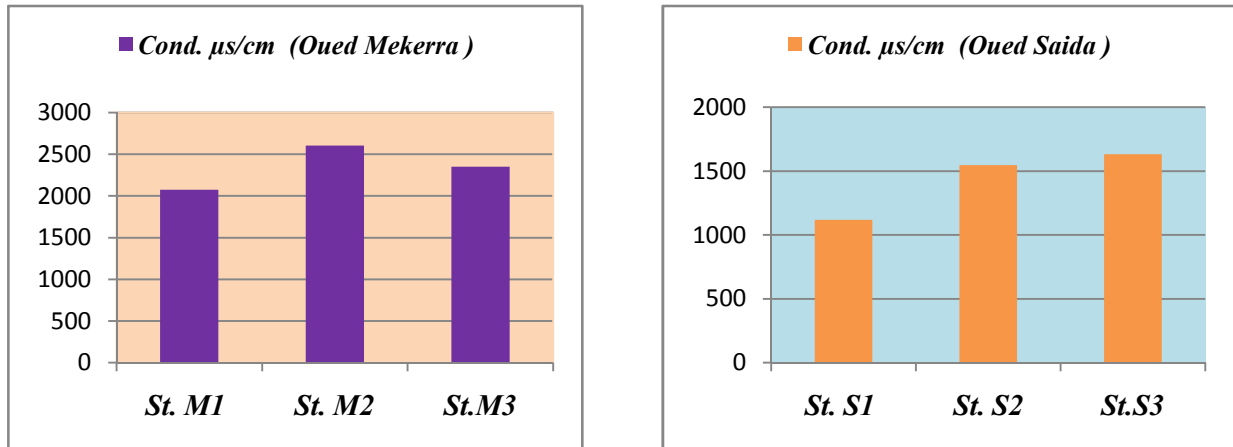


Figure n° 17 : Valeurs moyennes des conductivités des eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida.

IV.7.1.1.4. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium fait partie du groupe des éléments alcalino-terreux grandement répandu dans la nature, et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates, surtout à l'état d'hydrogène-carbonaté et en quantité moindre sous forme de sulfate et de chlorure. Il est le composant principal de la dureté de l'eau (ou titre hydrométrique), et l'élément dominant des eaux naturelles [112].

Les résultats obtenus des analyses des eaux montrent, pour le premier site (Oued Mekerra), que les concentrations en Ca^{++} (figure n°18) suivent une évolution progressive, de l'amont vers l'aval, avec des valeurs moyennes de 201.16 mg/l, pour la station M1, 259.02 mg/l, pour M2, et M3, avec 277.49 mg/l. Cette augmentation peut être due, en grande partie, aux rejets des eaux usées issues de la commune de Sidi Bel Abbés.

Pour le deuxième site (Oued Saida), les analyses révèlent que les teneurs en calcium sont importantes (Figure n°18), et progressent ainsi de l'amont vers l'aval, avec des valeurs moyennes qui varient entre 108.01 mg/l (S1), 146.87 mg/l (S2) et enfin 150,35 mg/l en station S3. Cette évolution est expliquée par l'effet des terrains traversés (présence des dolomies et calcaires). A ceci, s'ajoute le déversement de rejets solides et liquides, tels que : eaux usées, rejets de construction du bâtiment riche en chaux.

La comparaison de ces résultats avec les normes de qualité des eaux de surface édictée par l'ANRH (voir tab.04), montrent que les eaux des deux sites se localisent dans la fourchette des eaux de moyenne qualité (stations amont) aux eaux de mauvaise qualité (stations centres et aval) par rapport au paramètre de calcium.

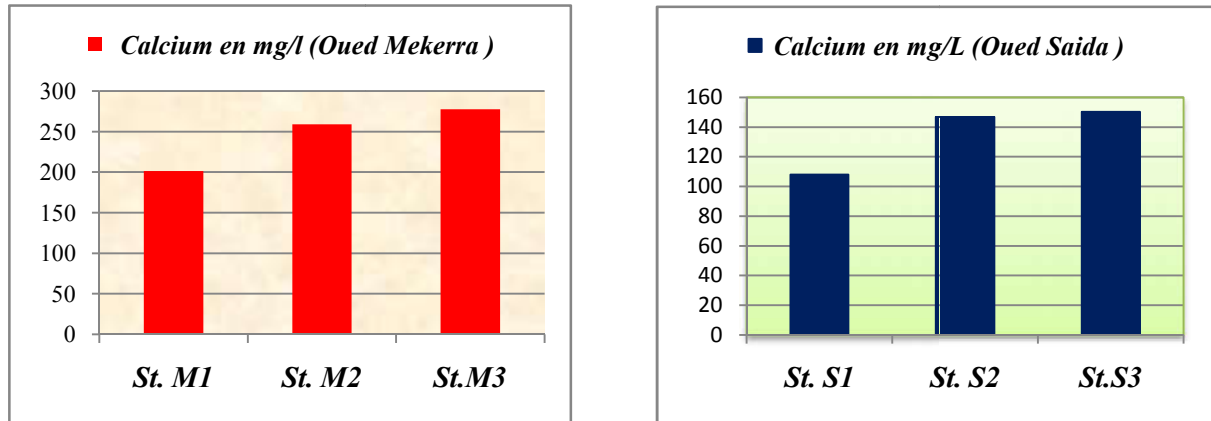


Figure n°18: Valeurs moyennes en calcium (exprimées en mg/l) pour les eaux des deux sites, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.5. Magnésium (Mg^{2+})

C'est un élément du groupe des métaux alcalino-terreux, il constitue un composant significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend grandement des terrains traversés. Il résulte, comme les ions calcium, de la dissolution des formations sédimentaires carbonatées riches en magnésium (dolomie $CaMg(CO_3)_2$). Il dépasse rarement les 15 mg/l dans les eaux naturelles, par contre dans les eaux minérales, il peut largement dépasser cette valeur [112].

Pour les eaux de l'Oued Mekerra, les teneurs en magnésium observées au niveau des trois stations sont importantes (Figure n°19), avec une dominance dans M2, avec 92.35 mg/l, en moyenne par rapport au M1 (74,66 mg/l) et M3 (60,43 mg/l). Une valeur plus élevée a été enregistrée durant le mois d'avril 2013, avec 114.21mg/l. Elle est le résultat des pluies tombées pendant ce mois, en conduisant au drainage du bassin versant de l'Oued Mekerra.

Pour les eaux de l'Oued Saida, les résultats obtenus décèlent (Figure n°19) des valeurs moyennes variant entre 77mg/l en S3, 90,74 mg/l en S1 à 99, 63 mg/l dans la station S3. L'augmentation de Mg^{2+} , surtout au niveau de S2, peut être expliquée par, évidemment, la nature du terrain traversé (présence de dolomies) [90].

La présence des ions de calcium et de magnésium, en teneurs importantes, reflètent logiquement une dureté élevée où elle est dépassée 200mg/l (soit 20 °f) pour certains prélèvements.

Globalement, les résultats observés pour les deux sites (Mekerra et Saida) montrent que les eaux de ces derniers sont classées dans la catégorie des eaux de moyenne qualité par rapport au paramètre de magnésium (la norme algérienne est de 30 mg/l).

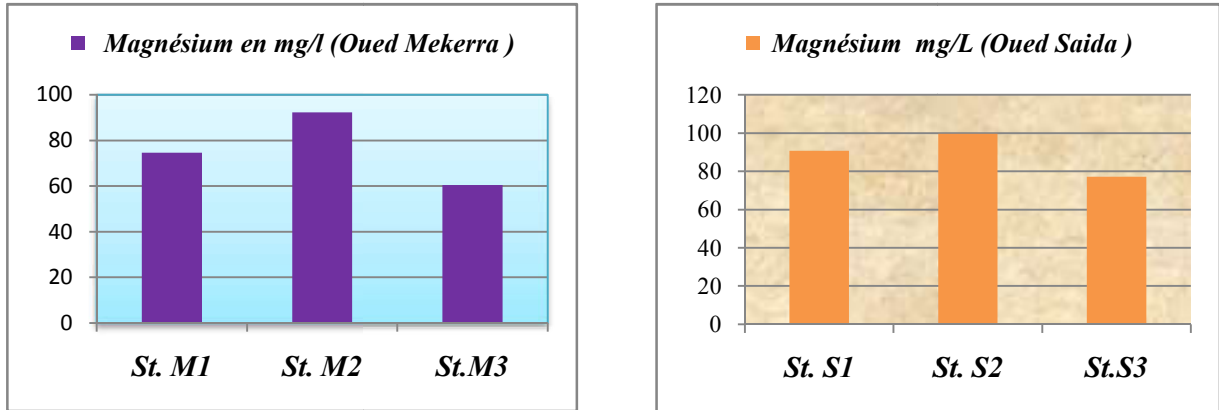


Figure n° 19 : Valeurs moyennes du magnésium (exprimées en mg/l) pour les eaux des deux sites, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.6. Chlorures (Cl⁻)

Constituant un bon indicateur de la pollution chimique, l'ion de 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 [50].

De plus fortes valeurs sont enregistrées pour les eaux de l'Oued Mekerra (Figure n°20), surtout pendant la période de basse eau (juin 2011 et juillet 2012, avec des valeurs qui dépassent les 700 mg/l). Dans l'ensemble, les teneurs moyennes en Cl⁻, pour les trois stations étudiées, oscillent entre 549.25 mg/l (M1), 654.02 mg/l (M2) et une augmentation en M3 (704.71 mg/l). Ces fortes teneurs en Cl⁻, semblent être dues aux rejets des eaux usées chargées en détergents provenant de la ville de Sidi Bel Abbés.

Pour le site de l'Oued Saida, les résultats des analyses obtenus pendant la chronologie d'expérimentation indiquent que la teneur en Cl⁻ suit généralement un chemin progressif, de l'amont vers l'aval de la ville (Figure n° 20), avec des valeurs moyennes variant entre 175,49 mg/l en S1, 266,61mg/l en S2 et enfin 246, 99 mg/l en S3. Les chlorures, qui dépassent les normes algériennes autorisées pour les eaux de surface (10-150 mg/l), sont l'un des éléments le plus dominant des sels solubles dans les eaux de l'Oued Saida, qui peut être dû aux rejets des eaux usées.

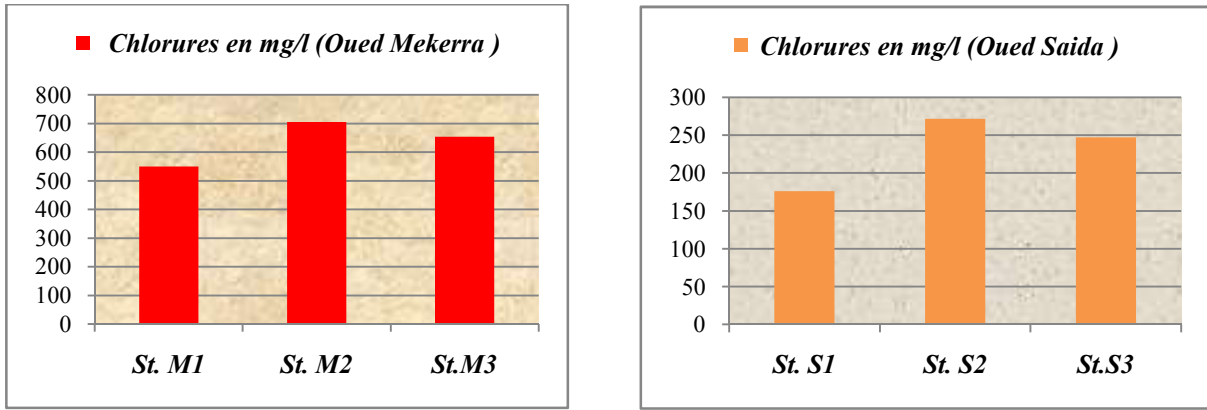


Figure n°20 : Valeurs moyennes des chlorures (exprimées en mg/l) pour les deux sites, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.7. Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates (SO_4^{2-}) peuvent se rencontrer dans presque toutes les eaux naturelles superficielles ou souterraines. Leurs sources sont multiples. Ils peuvent provenir de l'oxydation des minerais de sulfites (H_2SO_3), des espèces sulfurées dans les eaux météoriques, la présence de schistes, ou aussi peuvent avoir une origine anthropique (déchets industriels par exemple) [113].

Les résultats relatifs à cet élément pour les eaux d'Oued Mekerra (figure n°21), pendant les trois périodes de prélèvement, décèlent des valeurs moyennes importantes essentiellement dans les stations M1, avec 219.32 mg/l, et M2, avec 219.22 mg/l, en dépassant les normes de l'ANRH, 50-200 mg/l.

Concernant les eaux de l'Oued Saida, les teneurs en SO_4^{2-} exhibent des valeurs importantes dans les stations étudiées, surtout en S2, avec 243.75 mg/l en moyenne, et en S3, avec 303.07 mg/l en moyenne, qui est l'aval de cet écosystème lotique (Figure n° 21).

La présence des ions SO_4^{2-} dans les eaux des deux oueds, en teneurs élevées, en dépassant les normes autorisées citées en dessus, peut être due en grande partie aux eaux usées, sans oublier évidemment le facteur naturel (terrains traversés).

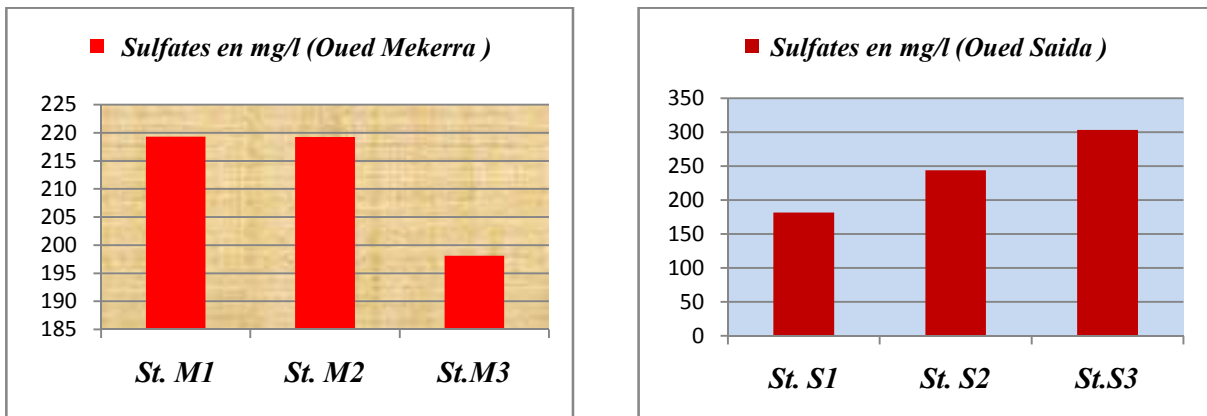


Figure n° 21 : Valeurs moyennes des sulfates (exprimées en mg/l) dans les eaux des deux oueds, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.8. Résidu sec (RS)

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu sec total ; la mesure après filtration correspond aux matières dissoutes. Ces valeurs peuvent être recoupées à partir de la conductivité et permettent d'apprécier la minéralisation de l'eau [27].

Les résultats de la figure n°22, montrent que les résidus secs pour les eaux de l'Oued Mekerra durant les trois périodes de prélèvement sont importants, avec des valeurs moyennes, variant entre 1.804 g/l (M1), 1.250 g/l (M2) et 2.173 g/l (M3). Ce paramètre chimique a marqué une valeur exceptionnelle pendant la campagne de juin 2011, où il a atteint 2.610 g/l (soit 2610 mg/l) au niveau M3. Malgré la minéralisation déterminée par pesée de l'extrait sec (ou résidu sec) est importante, mais elle n'est pas absolument identique à celle calculée à partir de la conductivité, surtout pour les deux stations (amont et médiane). Cette différence peut être expliquée par l'évaporation de l'eau à des températures élevées (105°C), en conduisant à des transformations de la structure de certains sels dissous [27].

Pour le cas de l'Oued Saida, les résultats observés des résidus secs (figure n°22) suivent un gradient croissant, de l'amont vers l'aval de la ville. Les valeurs moyennes sont de l'ordre de 0.99g/l et 1.395g/l. Ces valeurs révèlent, en général, qu'il y a une relation étroite entre la conductivité et la minéralisation.

Dans l'ensemble, les résultats observés pour les deux Oueds, Mekarra et Saida, permettent de déduire que leurs eaux sont de 2^{ème} classe (normes ANRH, 2009) par rapport à la minéralisation.

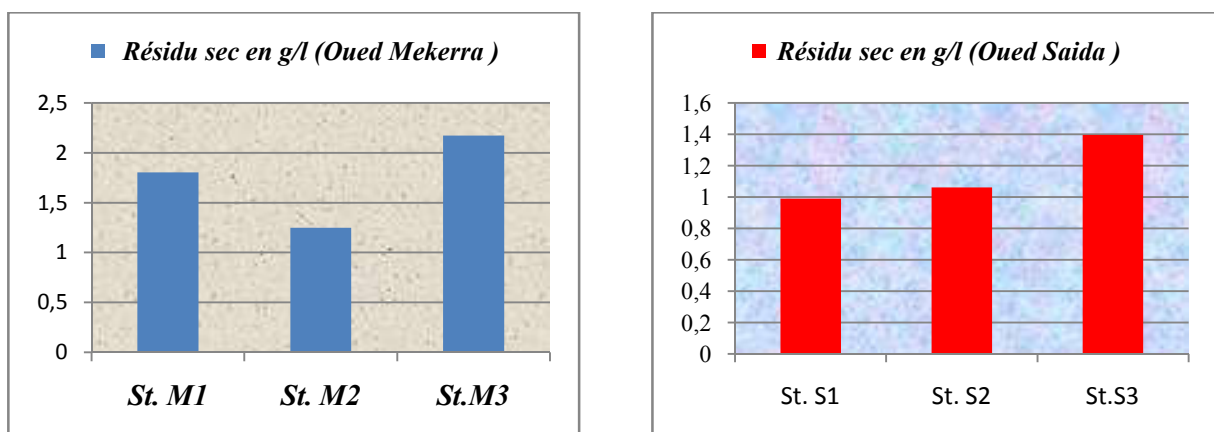


Figure n° 22: Valeurs moyennes du résidu sec (exprimé en g/l) pour les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.9. Nitrates (NO_3^-)

Le nitrate représente la forme la plus stable et finale de l'oxydation de l'azote organique [111]. Sous l'effet des microorganismes, en particulier les bactéries, via des processus biologiques naturels, il peut être réduit en nitrite, qui est la forme la plus toxique pour la santé humaine. Il est présent à l'état naturel partout dans tous les écosystèmes. Il entre dans la composition des engrais chimiques ainsi que naturels (fumiers). C'est un composé facilement entraîné par les eaux de pluie, de drainage, de ruissellement ou d'infiltration vers les milieux aquatiques [115].

Pour le site de l'Oued Mekerra, les résultats obtenus (figure n° 23) expliquent que les teneurs en NO_3^- sont variables dans les stations étudiées, avec une importance dans la station M2, avec 43.29mg/l en moyenne par rapport de M1 (35,26 mg/l en moyenne) et M3 (30,72 mg/l en moyenne). Cependant, une valeur plus exceptionnelle a été enregistrée au niveau de l'Oued Mekerra, pendant la campagne de juillet 2011 où elle atteint 101.32 mg/l. Ces valeurs importantes en NO_3^- peuvent être dues essentiellement aux rejets domestiques. Comparées, aux limites algériennes fixées pour les eaux de surface (voir tab.04 de Chap. I), les eaux de l'oued Mekerra sont classées généralement dans la classe III (Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé) par rapport aux nitrates.

Concernant les eaux de l'Oued Saida, les résultats obtenus (Figure n°23) montrent que les teneurs en NO_3^- suivent un gradient décroissant de l'amont vers l'aval, avec une faible valeur en S2. Elle est de l'ordre de 38.50 mg/l en moyenne au niveau S1, ceci peut être justifié par l'action anthropique, notamment l'agriculture qui domine à proximité de l'Oued et à la présence d'une forêt récréative (Touta), de 1.13mg/l et 2.06 mg/l en moyenne au niveau de S2 et S1, respectivement. Cette importante diminution en NO_3^- au niveau de ces dernières stations peut être expliquée par la transformation des nitrates en nitrites, à l'action des micro-organismes (autoépuration est active) et à l'occupation du sol. La même chose pour l'Oued Mekerra, où une valeur exceptionnelle de nitrates a été enregistrée au mois de juillet 2011, avec 65.57mg/l en S1. Globalement, la qualité des eaux de cet oued est de classe I, par rapport à ce paramètre chimique.

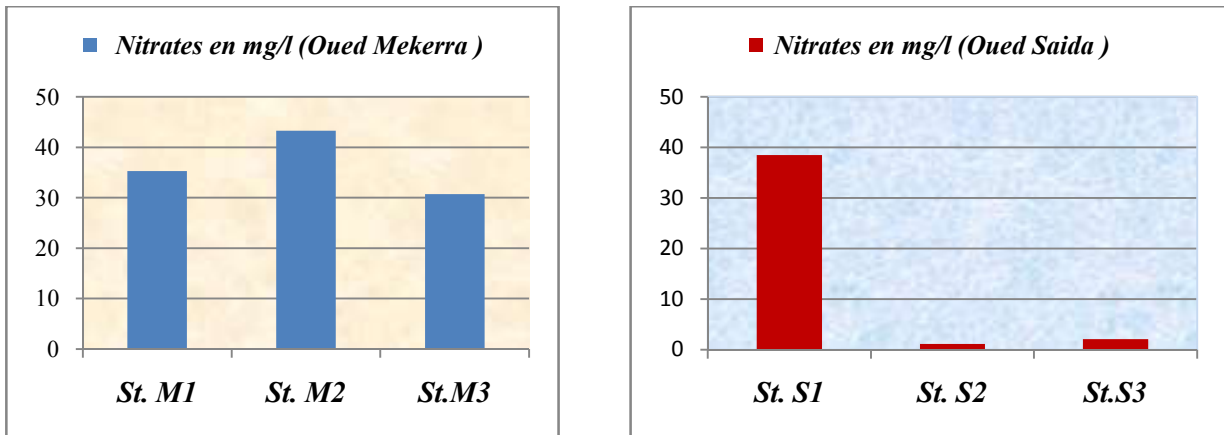


Figure n° 23 : Valeurs moyennes (exprimés en mg/l) en nitrates des eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.10. Nitrites (NO_2^-)

Ce sont les sels de l'acide nitreux, dont ce dernier est instable, de formule HNO_2 . Les nitrites proviennent de la réduction des nitrates. Ils représentent un indicateur important de pollution des eaux, même en faible concentration [68].

A la lecture de la figure n° 24, les échantillons d'eaux de l'Oued Mekerra, analysés, renferment des teneurs importantes en nitrites dont les valeurs moyennes varient entre 0.72 mg NO_2^- /l, au niveau de M1, et de 1,5 mg NO_2^- /l, à la M3. Le maximum est de 2.11 mg NO_2^- /l, enregistré à la M2. Cet enrichissement des eaux en nitrates peut être dû, en grande partie, au déversement des eaux usées brutes, surtout au centre ville de Sidi Bel Abbés où il y a le plus ancien quartier se nommé Haï GRABA.

Quant aux eaux de l'Oued Saida, les résultats obtenus des nitrates (Figure n°24) montrent qu'ils suivent un gradient croissant, de l'amont à l'aval de la ville de Saida. Leurs valeurs moyennes oscillent entre 0.54 mg/l, au niveau de S1, à 0.77 mg/l et 1,12mg/l, en S2 et S3, respectivement. Cette évolution en NO_2^- est due à l'existence des déchets, surtout de nature organique, dans la trajectoire de l'oued, et également aux rejets des eaux usées.

Comparée aux normes guides de l'ANRH (2009) mentionnées dans le premier chapitre (tab.04) de ce travail, les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, sont de mauvaise qualité (Classe III), en fonction de leurs teneurs en nitrites.

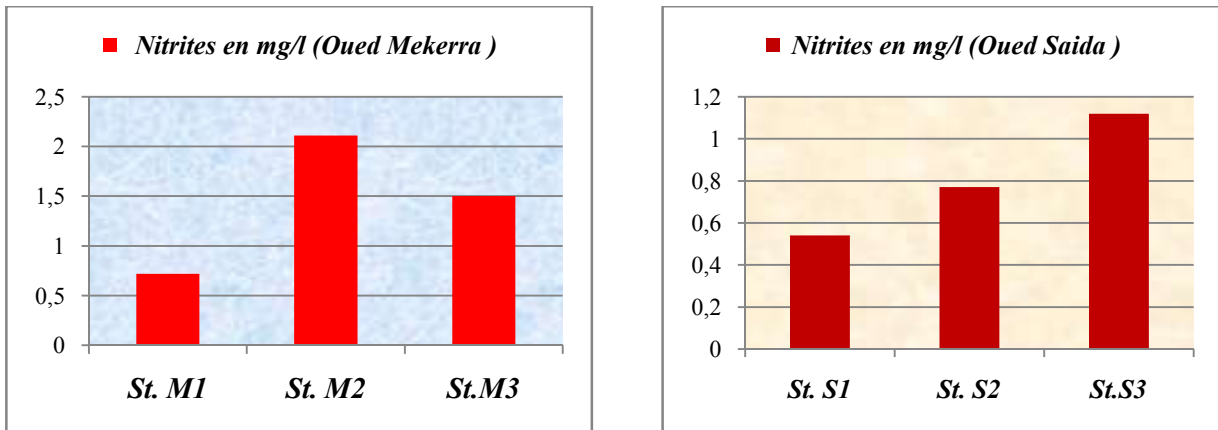


Figure n° 24: Valeurs moyennes des nitrites (exprimées en mg/l) des eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.11. Orthophosphates (PO_4^-)

Dans les eaux naturelles, le phosphore se trouve principalement sous la forme de phosphates. Différentes formes de phosphates existent dans l'environnement, comme les orthophosphates ou «phosphore réactif», les phosphates hydrolysables et les phosphates organiques. Généralement, la présence du phosphore dans les eaux naturelles vient principalement de sources anthropiques (domestique, industrielle et agricole) [27].

Les résultats des analyses pour les échantillons prélevés des eaux deux oueds relative au PO_4^- , sont présentés dans de la figure n° 25. D'après cette figure, on constate pour le premier site de l'Oued Mekerra que les ions PO_4^- sont importants en amont et en aval, avec une légère diminution au centre ville, avec 0.33mg/l en M2. Les valeurs moyennes varient de 1.49 mg/l, à la station M1, et 0.73 mg/l, en M2. Il a été enregistré à la station M1 pendant le mois de juin 2011, une valeur maximale égale à 3.76 mg/l. Globalement, les teneurs en orthophosphates sont assez élevées par rapport aux normes de l'ANRH (2009) citées dans le tableau 04. Cette augmentation en PO_4^- , est peut être due à la pollution générée par les effluents domestiques, à laquelle s'ajoute l'impact de l'agriculture et le lessivage des terres agricoles riches en fertilisants phosphatés pendant les précipitations.

Pour les eaux de l'Oued Saida, les résultats obtenus (figure n° 25) au niveau des trois stations (S1=0.57mg/l ; S2=1.13 mg/l ; S3=2.06 mg/l) montrent que les ions PO_4^- évoluent d'une manière progressive de l'amont vers l'aval (figure n°25). Cette augmentation est due, vraisemblablement, à la diversité des sources des ions orthophosphates (agricole, domestique et industrielle).

En se référant aux normes algériennes des eaux de surface (ANRH, 2009), les eaux de l’oued Saida dans le tronçon de la ville de Saida sont classées dans la catégorie de mauvaise qualité, par rapport au paramètre orthophosphates (PO_4^-).

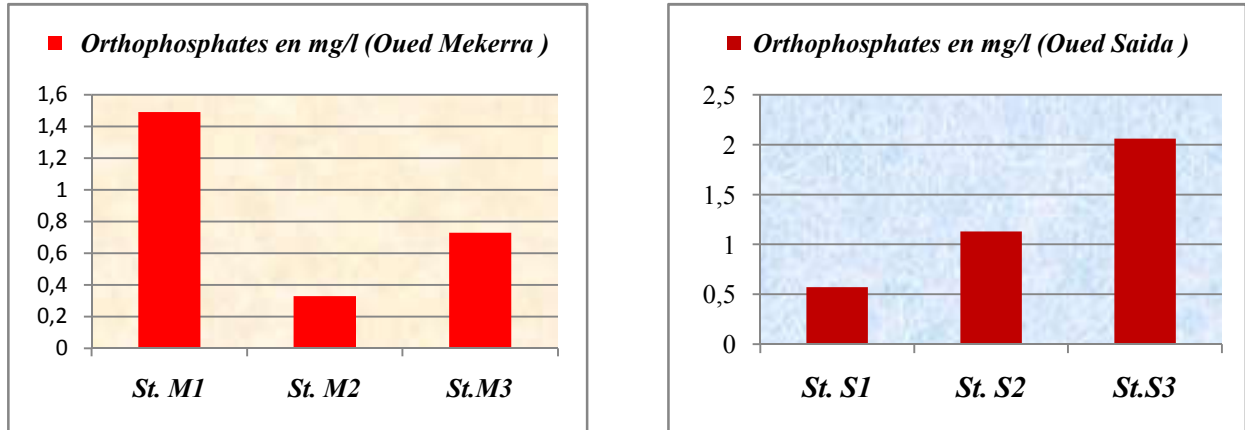


Figure n° 25 : Valeurs moyennes des ions orthophosphates (exprimées en mg/l) pour les deux Oueds, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.12. Oxygène dissous

L’oxygène dissous (O_2) est un élément chimique très important de l’eau car il conditionne l’état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des zoocénoses aquatiques. Il joue ainsi un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l’autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée essentiellement par la respiration des organismes, par l’activité photosynthétique de la flore, par l’oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges atmosphère -eau [116].

Concernant le site de l’Oued Mekerra, les résultats obtenus (figure n°26) révèlent une légère augmentation, surtout en M2, avec 5.85mg/l mg par rapport en M1 (5,26 mg/l) et M3 (5,35 mg/l), de la consommation d’oxygène dissous par la matière organique. Cette situation se traduit donc par un déficit en O_2 dans les trois stations. Les raisons responsables de ce manque en oxygène dissous peuvent être dues aux polluants organiques, dont les eaux usées constituent la part dominante dans ce cas.

Pour le deuxième site, l’Oued Saida, l’ensemble des prélèvements effectués pendant la chronologie, citée précédemment, montrent que les valeurs moyennes de l’oxygène dissous de ses eaux (Figure n° 26) augmentent de S1, avec 4.41mg/l, en S2, avec 12.7mg/l, en passant par S3, avec 5,55mg/l. Ce déficit en oxygène dissous peut être justifié par les différents déversements chargés en matières organiques (eaux usées, déchets ménagers, débit végétaux, fumier des animaux, etc.) tout au long de l’oued, et qui permette de consommer davantage d’ O_2 .

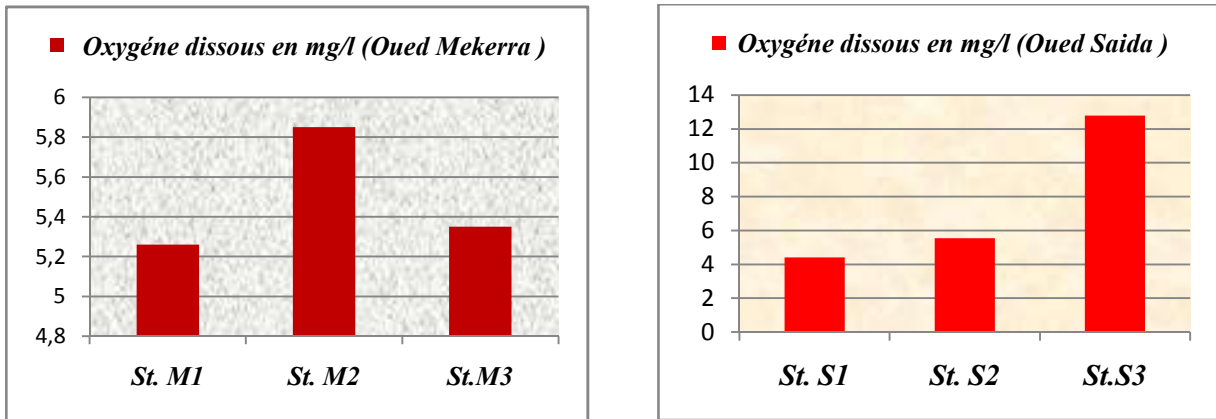


Figure n°26 : Valeurs moyennes d'oxygène dissous (exprimées en mg/l) des eaux des deux sites, Mekerra et Saida.

IV.2.1.1.13. Demande biologique en oxygène (DBO5)

Elle représente un bon indicateur de la pollution organique des milieux aquatiques et également de l'eutrophisation. Elle désigne la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau. Dans ce sens, environ 70% des composés organiques existés dans les eaux domestiques, sont généralement dégradés après 5 jours, et la dégradation est pratiquement complète au bout de 20 jours (processus d'autoépuration). En réalité, plus la DBO est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée [117].

Pour les eaux de l'Oued Mekerra, les valeurs moyennes de la DBO5 révèlent des variations au niveau des stations étudiées. Le maximum est de 67 mg/l, enregistré à la station M2. Les deux autres stations marquent également des teneurs non négligeables et presque semblables, avec 41.66 mg/l, en M1 et 21mg/l, en M3. Globalement, cette importance en DBO5 peut être due à la pollution organique provenant de diverses sources (eaux usées, déchets solides, etc.).

Concernant la DBO5 pour les eaux de l'Oued Saida, les résultats obtenus (Figure n°27) montrent qu'ils connaissent des variations spatio-temporelles importantes, dont les valeurs moyennes varient entre 7.33mg/l, au niveau de S1, et 290 mg/l et 211mg/l, aux stations S2 et S3, respectivement. Cette augmentation en DBO5, surtout en S2 et S3, serait due à l'effet de différents rejets (urbains et industriels) déversés au sens d'écoulement de l'oued Saida. A ceci s'ajoute l'apport, par moment, d'une charge polluante organique charriée au moment des crues, où la valeur de la DBO5 atteint 461 mg/l, en S2, pendant le mois d'avril 2012. En effet, l'évolution de ce paramètre pour les deux sites, qui dépasse totalement la norme autorisée qu'est de 05 mg /l pour une eau de classe I (voir tableau n°04), rappelle celle observée pour l'oxygène dissous, mais dans le sens inverse.

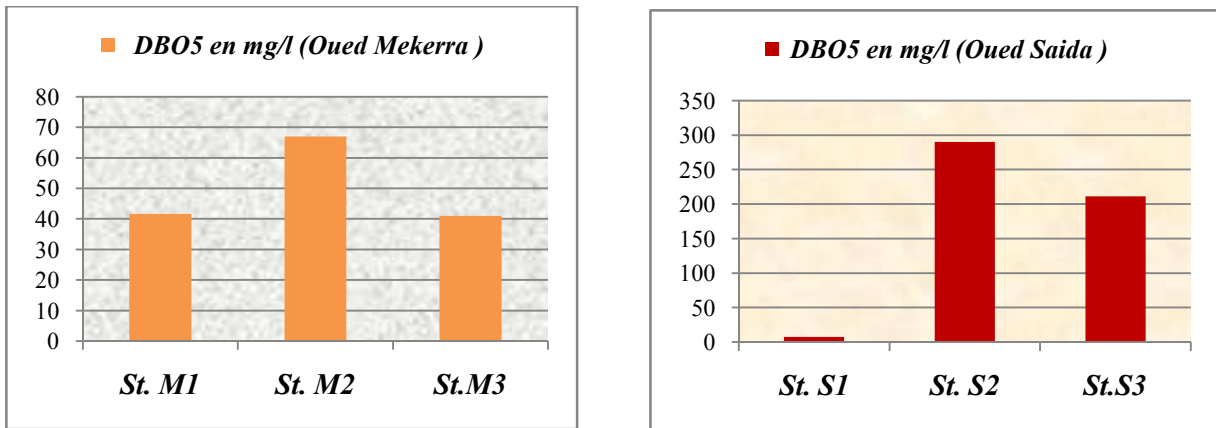


Figure n° 27 : Valeurs moyennes de la demande biologique en oxygène (exprimées en mg/l) des deux sites, Mekerra et Saida.

IV.2.1.2. Évaluation de l'indice de pollution organique (IPO)

En effet, la qualité physico-chimique des eaux superficielles est évaluée sur la base des principales altérations suivantes :

- **Les matières organiques et oxydables** : Il s'agit de matières organiques carbonatés ou azotés susceptibles de consommer d'oxygène des milieux aquatiques superficiels ;
- **Les matières azotées** (hors nitrates) dont l'effet est la prolifération des végétaux aquatiques comme les algues. Cette catégorie d'altération rassemble les nitrites et les autres formes intermédiaires de l'azote tels que l'ammonium et l'azote Kjeldhal ;
- **Les nitrates** qui sont à la fois des nutriments pour la croissance des végétaux et un obstacle pour la production d'eau potable ;
- **Les matières phosphorées** qui sont des nutriments essentiels pour le développement des végétaux et qui sont considérées comme le moteur du phénomène de l'eutrophisation des eaux superficielles continentaux. En effet, on distingue principalement les phosphates inorganique (comme orthophosphates assimilables par les plantes) et organique ;
- **Les métaux** qui sont considérés comme toxiques pour les êtres vivants et les poussins en particulier [76].

A partir des résultats des paramètres chimiques, discutés précédemment, l'évaluation de la qualité globale des eaux se fait habituellement par des indices calculés via des paramètres liés directement à la pollution. Dans ce sens, plusieurs indices de détermination de pollution organique ont été établis par plusieurs auteurs. Selon toujours BLINDA (2007), les premiers indices ont proposé dans les années quatre-vingts. Il s'agit d'une méthode de calcul d'un indice variant de 1 à 5, et qui permet d'attribuer à cinq (05) niveaux (ou classes) la pollution.

Dans ce travail, on s'est intéressé au calcul de l'indice de pollution organique (IPO), établi par Leclercq et Maquet (1987), dont le principe est expliqué dans le chapitre I. Les paramètres chimiques pris en considération pour les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, sont ceux de (DBO₅, PO₄³⁻, NO₂⁻).

Le tableau, ci-dessous, récapitule les valeurs de l'IPO des eaux de chaque station pour chaque oued et leurs classes correspondantes.

Tableau n°17 : Indices de pollutions organiques (IPO) des stations étudiées au niveau des deux Oueds, Mekerra et Saida.

Oueds	Stations étudiées pour chaque site	IPO de chaque Station étudiée	Classe de qualité de pollution de chaque station
Oued Mekerra	M1	1	Pollution organique très forte
	M2	1,33	Pollution organique très forte
	M3	1,33	Pollution organique très forte
Oued Saida	S1	2	pollution organique forte
	S2	1	pollution organique très forte
	S3	1	Pollution organique très forte

IPO= moyenne des numéros des classes des 03 paramètres :
 IPO= 5,0 – 4,6 : pollution organique nulle.
 IPO= 4,5 – 4,0 : pollution organique faible.
 IPO= 3,9 – 3,0 : pollution organique modérée.
 IPO= 2,9 – 2,0 : pollution organique forte.
 IPO= 1,9 – 1,0 : pollution organique très forte

D'après le tableau n°16, ci-dessus, on constate que les eaux de l'Oued Mekerra se caractérisent par une pollution organique très forte depuis l'amont jusqu'à l'aval de la ville de Sidi Bel Abbés. Par contre, la pollution organique des eaux de l'Oued Saida augmente depuis l'amont (PO forte) et s'accroît lors du passage dans le milieu urbain de la ville de Saida jusqu'à l'aval (pollution organique très forte).

IV.2.2. Qualité bactériologique

Les analyses microbiologiques sont des méthodes de surveillance qui nous permettent de montrer les espèces microbiologiques, tels que : les bactéries, virus, protozoaires, etc., introduites, directement ou indirectement, dans les eaux, et qui peuvent entraîner des perturbations environnementales et évidemment des risques sanitaires sur les populations. Habituellement, la pollution bactériologique de l'eau est évaluée à travers la recherche et le dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale dont la présence en nombre élevé indique une pollution d'origine fécale et renseigner également sur la présence des espèces microbiennes de nature pathogènes [118].

Ainsi, les différents résultats bactériologiques obtenus pour les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, se présentent comme suit :

IV.2.2.1. Germes mésophiles aérobies totaux (GMAT)

La flore mésophile aérobie totale est l'ensemble des micro-organismes, tels que les bactéries, les moisissures et les levures, aptes à se développer ou se multiplier à l'air aux températures oscillent entre 20 °C (les germes saprophytes) et 37 °C (les germes dits "pathogènes") [119 ; 121].

La séparation entre ces deux types de germes provient au fait évident, qu'à 20 °C on favorise le développement des germes spécifiques de l'eau, par contre, à 37°C on sélectionne les micro-organismes proviennent de l'homme ou aux des animaux à sang chaud, de leurs sécrétion, de leurs flores naturelles et en particuliers les matières fécales [121]. Ainsi, Elles peuvent être des micro-organismes pathogènes ou d'altération [119]. En effet, les GMAT sont utilisés comme indicateur de pollution ou hygiénique des milieux aquatiques [120]. A propos de ce travail, la détermination de ces germes a été réalisée aux températures de 22°C et 37°C.

Pour les eaux de l'Oued Mekerra, les résultats de recherche des germes mésophiles aérobies totaux, à 22°C et à 37°C (Figure n°28), montrent que ces germes évoluent en général en sens croissant de l'amont vers l'aval de la ville de Sidi Bel Abbés, à l'exception de la station M2 où le GMAT, à 22°C, connaît une diminution, avec 2.34×10^4 ufc/100ml, par rapport aux autres stations, avec 4.64×10^4 ufc/100ml, au niveau M1, et 4.04×10^4 ufc/100ml, en M3.

A 37°C, la valeur moyenne la plus élevée a été observé à la station M3, avec 1.13×10^5 ufc/100ml ; par contre, la moins importante a été remarqué à la station M1, avec une valeur de 3.35×10^3 ufc/100ml.

Pour le deuxième site, Oued Saida, les germes mésophiles aérobies totaux à 22°C et 37°C, montrent que ceux-ci se développent en suivant un gradient croissant de l'amont vers l'aval de la ville de Saida. A 37°C (Figure n°28), la valeur moyenne minimale est enregistrée au niveau de S1, avec une concentration de 1.98×10^2 ufc/100 ml, tandis que les valeurs les plus importantes sont enregistrées au niveau de S2, avec 4.67×10^5 ufc/100ml, et S2, avec 7.47 ufc/100ml). A 22°C (Figure n°27), la concentration des germes mésophiles aérobies totaux varie entre 3.98×10^4 ufc/100ml, en S1, à 2.08×10^5 ufc/100 ml et 1.11×10^6 ufc/100ml, en S2 et S3, respectivement.

En effet, ces résultats observés pour les deux Oueds, Mekerra et Saida, révèlent que les germes totaux à 22°C sont majoritairement plus élevés que ceux dénombrés à 37°C, dus probablement au fait que les bactéries autochtones sont les groupes dominants de la population totale même dans les cours d'eau pollués [118].

Généralement, à 37°C, les germes totaux sont des bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) [120].

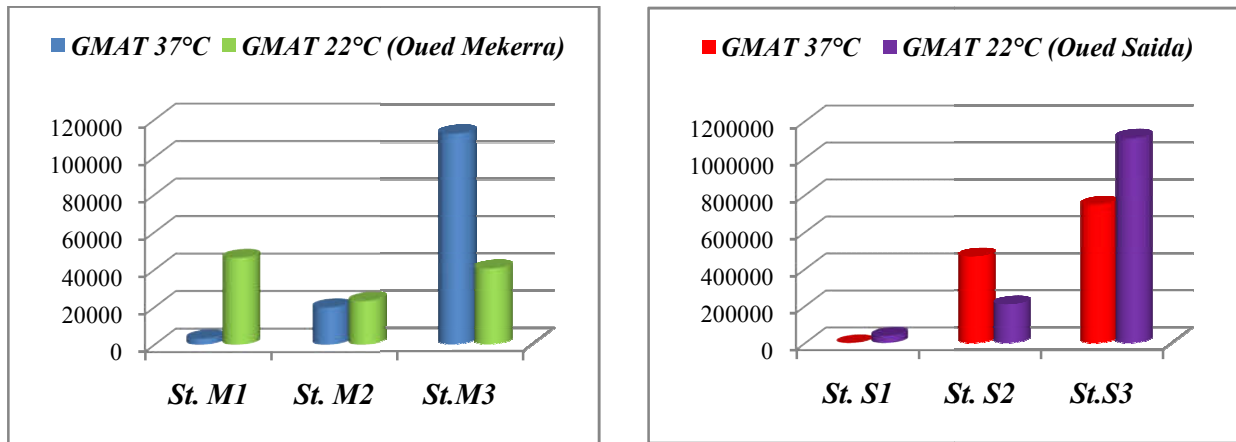


Figure n° 28 : Valeurs moyennes des germes mésophiles aérobies totaux à 22°C et 37°C pour les eaux d'Oued Mekerra et Oued Saida.

IV.2.2.2. Coliformes totaux (CT)

Les coliformes sont des bacilles à gram positif, non sporulés, oxydase, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de se multiplier en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface ayant des propriétés équivalents et capables fermenter, avec production d'acide et de gaz en 48 h à une température de 35°C- 37°C. Le groupe des coliformes comprend, traditionnellement, un nombre qui dépasse la cinquantaine [121].

Considérant comme des bactéries inductrices de contamination fécale, les résultats de recherche de coliformes totaux dans les eaux d'Oued Mekerra indiquent une fluctuation dans l'espace et dans le temps, et ceci peut être probablement liée au climat et à la pollution. Globalement, les concentrations en CT les plus importantes en CT (Fig.29) se sont observées au centre ville ($7,33 \times 10^2$ /100ml en moyenne) et en aval au niveau de la station M3 ($5,03 \times 10^3$ /100ml en moyenne).

Pour les eaux d'Oued Saida, les résultats observés (Fig.29) montrent une évolution spatio-temporelle de l'amont vers l'aval de la ville avec une accentuation au niveau S1 et S2. Ceci est dû au rejet domestique, au lessivage des sols agricoles chargés en matière organique d'origine animale, et au déversement direct des fumiers d'élevage. Les valeurs des coliformes totaux (CT) (Fig.28) oscillent entre $1,62 \times 10^3$ /100ml en moyenne au niveau S1 à $2,91 \times 10^5$ /100 ml et $5,64 \times 10^5$ /100ml en moyenne au niveau S2 et S3 respectivement.

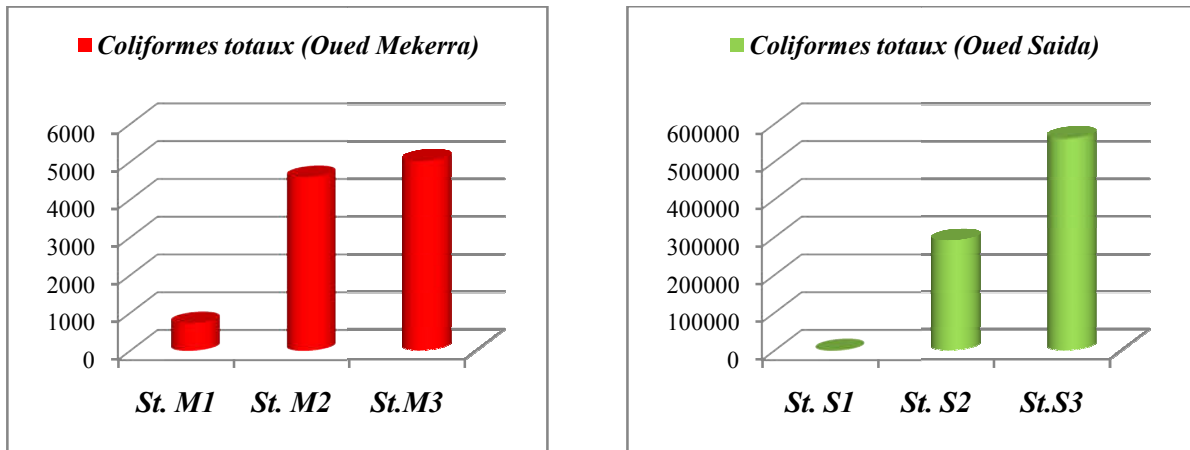


Figure n° 29 : Valeurs moyennes des coliformes totaux des eaux des Oueds, Mekerra et Saida.

IV.2.2.3. Coliformes fécaux (CF)

Représentant un sous-ensemble du groupe des coliformes totaux, les coliformes fécaux peuvent être distingué en deux catégories ; d'origine fécale et d'habitat différents [121].

En effet, au cours des analyses de la qualité de l'eau, les CF utilisent comme substitut la présence d'*Escherichia coli*. Cette dernière est considérée comme étant plus spécifique aux matières fécales (humaines ou animales) que les autres coliformes. De plus, vu que les analyses portant sur *E. Coli* étaient souvent difficiles à effectuer, le recours vers la détection des coliformes thermo-tolérants (CTT) est une technique couramment utilisée dans les analyses bactériologiques. Ils se distinguent des coliformes totaux par leur capacité à tolérer des températures d'incubation élevées durant la culture [122].

Par définition, les coliformes thermo-tolérants (ou thermo-résistants) regroupent les coliformes fécaux capables de produire du gaz dans les 24 heures, à 44°C. Ce groupe thermotrophe comprend des membres des genres tels que : *E-coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter* [122]. Leur existence dans l'eau révèle non seulement une contamination récente par des matières fécales, mais aussi la présence possible d'autres micro-organismes (bactéries, virus, protozoaires) potentiellement pathogènes.

Pour les résultats d'analyses, relatifs à ce genre de bactéries pour le site de l'Oued Mekerra, ils montrent que ces dernières (figure n° 30) évoluent suivant un gradient croissant de l'amont vers l'aval, les valeurs moyennes obtenues oscillent entre $2.33 \times 10^2/100\text{ml}$, à la station M1 ; $4.50 \times 10^2/100\text{ml}$, à la station M2, et $5.33 \times 10^2/100\text{ml}$, en M3. Cette concentration élevée en CF est due à diverses raisons, notamment : les eaux usées, eaux de ruissellement, déchets des animaux, etc.

Quant aux eaux de l'Oued Saïda, les résultats obtenus pendant les trois périodes de prélèvement exhibent une évolution spatiale rappelant celle observée pour les coliformes totaux. Les valeurs moyennes enregistrées (Figure n° 30) sont importantes, surtout en S2 avec $2 \times 10^3/100\text{ml}$, et S3, avec $6.46 \times 10^4/100\text{ml}$, qui confirment la contamination fécale des eaux de l'oued Saïda.

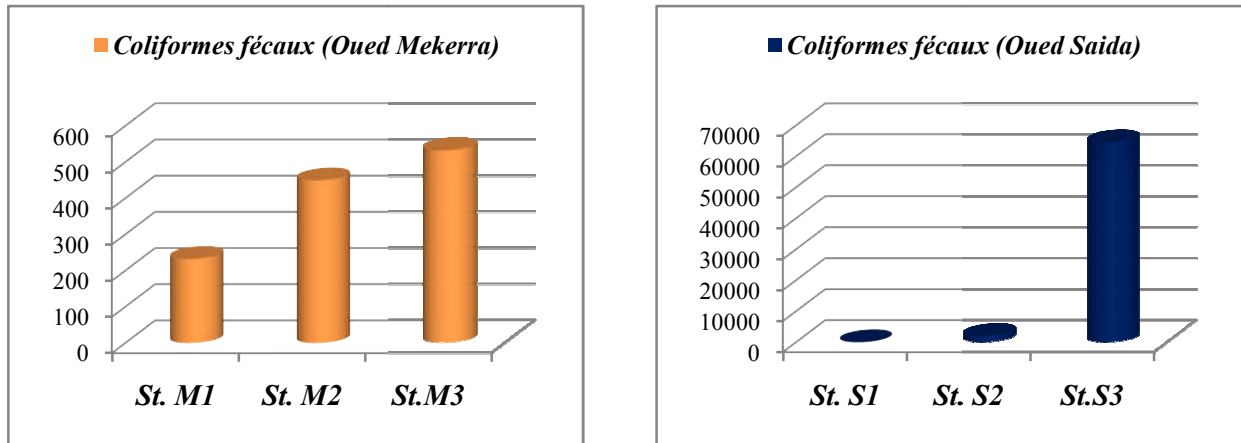


Figure n° 30 : Valeurs moyennes des coliformes fécaux des eaux des Oueds Mekerra et Saïda.

IV.2.2.4. Streptocoques Fécaux (SF)

Responsables sur des nombreuses infections humaines, les streptocoques fécaux, une appellation générale donnait dans l'ancienne nomenclature, regroupent un ensemble des streptocoques caractérisant par la présence de la substance (acide teichoïque) antigénique spécifique du groupe D de Lancefield, c'est-à-dire essentiellement : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, *Streptococcus bovis*, *S. suis* et *S. equinus*. Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris en compte comme des indicateurs de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal d'origine humaine ou animale certaine. Actuellement, on parle recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux [26 ; 123].

Les résultats de l'expérimentation, relatifs aux streptocoques fécaux pour les eaux des deux Oueds, montrent une répartition spatio-temporelle qui, dans l'ensemble, suit un gradient croissant de l'amont vers l'aval de chaque ville, Sidi Bel Abbés et Saïda.

Pour les eaux de l'Oued Mekerra, les charges en SF les plus implorantes sont celles enregistrées au niveau de la station M2, avec une valeur moyenne de $10^2/100\text{ml}$, et dans M3, avec $1,2 \times 10^2/100\text{ml}$ (Figure n° 31). A l'exception d'une absence totale en SF, observée durant la période du mois de mars 2011 dans les trois stations, qui peut être liée au genre de l'espèce de streptocoque et également à l'influence du milieu.

La recherche des SF dans les trois stations étudiées au niveau de l'Oued Saïda, montre et confirme une pollution fécale d'origine humaine et animale. Les résultats les plus marqués sont

ceux observés au niveau de S2, avec $1.36 \times 10^5/50\text{ml}$ en moyenne, et en S3, avec $5.33 \times 10^5/50\text{ml}$ en moyenne (Figure n° 31).

Dans l'ensemble, la concentration des SF est la plus faible en comparaison avec celle des CT et des CF au niveau des stations étudiées dans les deux oueds. Selon l'étude de EL EDDOULI et *al.*, (2009), la faible concentration en SF est due généralement au taux de mortalité plus rapide chez les SF et probablement plus influencée par les facteurs abiotiques du milieu naturel.

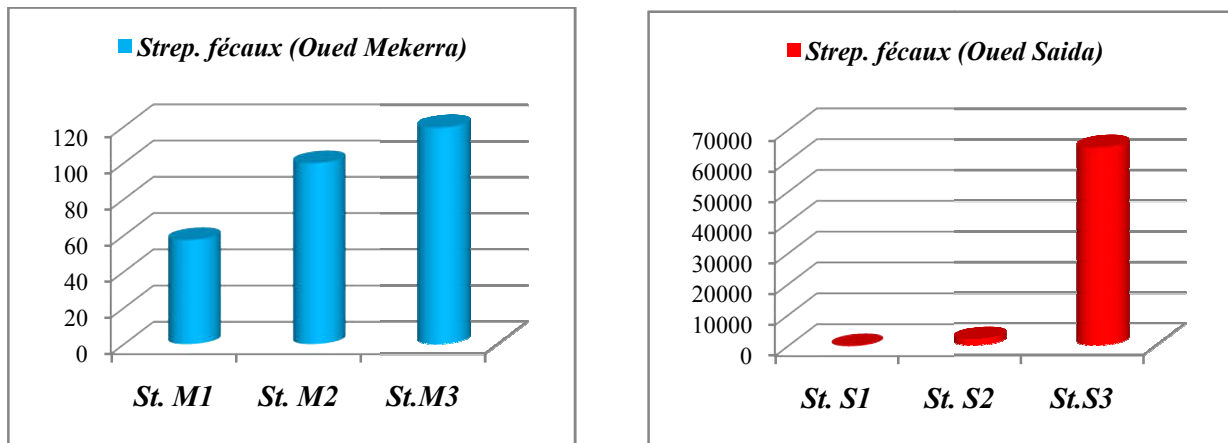


Figure n° 31: Valeurs moyennes des germes streptocoques fécaux des eaux des Oueds Mekerra et Saida.

IV.2.2.5. Clostridium sulfito-réducteurs (CSR)

Considérées parmi les paramètres retenues pour l'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau, les *Clostridium sulfito-réducteurs* sont des formes résistantes des bactéries anaérobies (qui n'ont pas besoin d'oxygène pour survivre). Les principaux réservoirs de ces micro-organismes sont les sols, rivières, les systèmes digestifs des animaux, ainsi que les matières fécales, mais en plus petites quantités par rapport aux coliformes fécaux comme les *E.coli*. En outre, les *Clostridium sulfito-réducteurs* sont des germes capables de se reproduire et de se maintenir très longtemps dans l'eau sous une forme de spore, beaucoup plus résistante qu'une forme végétative [124].

L'ensemble des essais relatifs à la recherche de CSR dans les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, révèlent l'existence de ce genre de germes avec des valeurs non négligeables, 10-20germes /20ml, voire indénombrable pour certains échantillons. En effet, si les bactéries CSR peuvent être certainement des germes fécaux, elles sont ainsi une composante de la flore tellurique. Par conséquent, aucune spécificité d'origine fécale ne peut pas être conférée à leur mise en exergue [26].

Donc, il est essentiel, dans un tel angle d'explication, de focaliser seulement sur la recherche des espèces pouvant considérées comme témoins caractéristiques de contamination fécale (c.-à-d. d'origine fécale), c'est le cas en particulier de *Clostridium perfringens*. Ces dernières sont des bâtonnets anaérobies, gram (+), sporulant et qui réduisent les sulfites en sulfures en 24 à 48 heures. Elles survivent dans les sédiments, ce qui permet de déceler une pollution ancienne ou intermittente [26 ; 125].

IV.2.2.6. Salmonelles

Bien qu'elles soient considérées en général comme des germes pathogènes, les salmonelles, qui appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*, ont une virulence et une pathogénèse variant beaucoup (fièvres, typhoïdes, gastro-entérites ...). Ces microorganismes peuvent être rencontrés dans plusieurs hôtes naturels, à savoir ; la population humaine, les animaux domestiques, les volailles et le bétail, ainsi que les animaux sauvages, y compris les oiseaux communs [26,126]. Ainsi, et en tant que porteurs asymptomatiques, les salmonelles peuvent être présentes dans les selles de l'homme et des animaux même si ces derniers sont en bonne santé. Elles peuvent également être observées dans les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer [26].

Les quelques essais de recherche sur ce genre d'espèces pathogènes dans les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, ont aboutit à des résultats négatifs en dépit de la présence d'une charge élevée de bactéries indicatrices de contamination fécale. Selon l'étude de BOULKACEM et al., (2007), l'existence probable de ces germes se trouvent à l'état viable et non cultivable, et que les méthodes classiques utilisées ne permettent pas de détecter ces bactéries survivant à cet état, ceci remettrait en question la fiabilité de ces méthodes pour la protection de l'environnement et la santé.

IV.2.2.7. Origine de contamination fécale

L'origine de la pollution fécale est réalisée au rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF), lorsque ce rapport est supérieur à 4, la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées). Lorsqu'il est inférieur à 0,7, l'origine animale, notamment le bétail en particulier les moutons, semble jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau [05].

Le rapport entre les valeurs moyennes des coliformes fécaux et streptocoques fécaux des échantillons analysés des eaux de l'Oued Mekerra, montrent que les bactéries proviennent de contamination fécale, pendant les trois périodes de prélèvement, sont entièrement d'origine

humaine, ce qui confirme que les eaux usées sont la grande menace de ces eaux. Par contre, les résultats relatifs à l'Oued Saida, révèlent que les bactéries indicatrices de contamination fécales sont en grande partie d'origine humaine. Le tableau n° 17, ci-dessous, présente le rapport CF/SF pour les eaux des deux oueds.

Tableau n° 18: Origine des contaminations fécales des eaux des Oueds, Mekerra et Saida.

Site d'étude	Stations	Rapport CF /SF	Origine
Oued Mekerra	Période de mars 2011		
	Station (M1)	00	-
	Station (M2)	100	Humaine
	Station (M3)	00	-
	Période de septembre 2012		
	Station (M1)	02	Mixte à prédominance humaine
	Station (M2)	5,33	Humaine
	Station (M3)	7,33	Humaine
	Période de mai 2013		
	Station (M1)	4,04	Humaine
	Station (M2)	4,5	Humaine
	Station (M3)	4,44	Humaine
Oued Saida	Période de mars 2011		
	Station (S1)	0,30	Animale
	Station (S2)	60	Humaine
	Station (S3)	209,5	Humaine
	Période de septembre 2012		
	Station (S1)	7	Humaine
	Station (S2)	00	-
	Station (S3)	2,72	Mixte à prédominance humaine
	Période de mai 2013		
	Station (S1)	00	-
	Station (S2)	00	-
	Station (S3)	0,09	Humaine
<p><i>CF/SF < 0,7 Principalement ou entièrement d'origine animale, CF/SF compris entre 0,7 et 1 Mixte à prédominance animale, CF/SF compris entre 1 et 2 Origine incertaine, CF/SF compris entre 2 et 4 Mixte à prédominance humaine, CF/SF > 4 Source entièrement humaine (Borrego et Romero ,1982 in Hamid Bou Saad et al. ,2007) .</i></p>			

IV.2.2.8. Evaluation de l'indice de qualité microbiologique (IQM)

De même manière que les analyses chimiques, il est possible de déterminer pour les cours d'eau un indice de contamination microbiologique (IQM) en prenant en compte le dénombrement réalisé sur différents germes bactériologiques dont les principaux, généralement responsables sur la pollution organique, sont les bactéries totales, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. Le calcul de cet indice c'est surtout pour évaluer le degré de contamination fécale des cours d'eau.

La méthode de calcul d'IQM consiste de répartir les valeurs des éléments polluants (CT, CF et SF) en cinq (05) classes (Tableau n°18, ci-dessous), puis de déterminer, à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre, puis d'en faire la moyenne (Tableau n° 20) [127].

Tableau n°19 : Limites des classes pour l'IQM [127].

Classes	Bactéries Totales/ml	Coliformes fécaux/ml	Streptocoques fécaux/ml
5	< 2 000	< 100	< 5
4	2 000 – 9 000	100 – 500	5 – 10
3	9 000 – 45 000	500 – 2 500	10 – 50
2	45 000 – 360 000	2 500 – 20 000	50 – 500
1	> 360 000	> 20 000	> 500

Après le calcul de l'IQM pour les deux oueds, dont les résultats sont donnés dans le tableau n°19 ci-dessous, on peut déduire que les eaux des deux oueds sont exposées à une contamination fécale, mais non pas de la même importance :

- Pour l'**Oued Mekerra**, le calcul de l'indice de contamination microbiologique montre que les eaux subissent une pollution fécale faible à modérée, lors de leur passage dans la ville de Sidi Bel Abbés ;
- Pour les eaux de l'**Oued Saida**, les valeurs obtenues de l'IQM exhibent à la présence d'une pollution fécale croissant de l'amont à l'aval de la ville de Saida, et qui revient principalement à la présence des points noirs de rejet des eaux usées.

La différence en degré de contamination fécale entre les deux sites peut être due à l'introduction de désinfectants chimiques (la chaux), surtout en périodes chaudes, pour le site de Mekerra .

Tableau n°20 : Indice de contamination microbiologique des eaux des Oueds, Mekerra et Saida

Oueds	Stations étudiées pour chaque site	IQM de chaque Station étudiée	Classe de contamination fécale de chaque station
Oued Mekerra	M1	3,66	Faible
	M2	3,33	Modérée
	M3	3,33	Modérée
Oued Saida	S1	4	Faible
	S2	2,33	Forte
	S3	01	Très forte

IQM= moyenne des numéros des classes des 03 paramètres :
IQM= 4,3 – 5,0 : Contamination fécale nulle.
IQM= 3,5 – 4,2 : contamination fécale faible.
IQM= 2,7 – 3,4 : Contamination fécale modérée.
IQM= 1,9 – 2,6 : Contamination fécale forte.
IQM= 1,0 – 1,8 : Contamination fécale très forte

IV.4. Conclusion

Au terme de ce dernier chapitre de la présente étude, des résultats d'analyses ont été obtenus pour les eaux des deux Oueds, Mekerra et Saida, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

- Le suivi spatio-temporel des principaux paramètres de la qualité physico-chimique des eaux des deux oueds montre de façon nette l'existence d'une pollution chimique et organique au niveau des stations étudiées, due à l'augmentation des chlorures, nitrates, nitrites, ortho phosphates, demande biologique en oxygène et l'oxygène dissous ;
- L'évaluation de la pollution organique a confirmé cette dégradation qualitative des eaux des deux oueds, où l'IPO calculé atteint des seuils inquiétantes (très fort) pour l'ensemble des stations étudiées, ce qui permet de classer leurs eaux dans la catégorie de moyenne à mauvaise qualité, exigeant donc un traitement, souvent, efficace avant leur utilisation, dans l'irrigation, en particulier ;
- Sur le plan bactériologique, les résultats obtenus pour les eaux des deux oueds montrent dans l'ensemble la présence d'une charge élevée en bactéries inductrices de contamination fécales (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux). Le rapport entre CF/SF montre qu'il y a une prédominance de la contamination d'origine humaine que celle animale. De plus, la recherche des autres germes, comme les germes mésophiles totaux, sont aussi importants surtout à 22°C. En ce qui concerne le CSR, les essais exhibent leur présence dans les eaux des oueds, avec des nombres non négligeables. Pour les germes pathogènes, genres salmonelles, n'ont pas été détectés pour les deux sites ;

➤ Le calcul de l'indice de qualité microbiologique (IQM) montre que les eaux des deux oueds sont exposées à une contamination fécale, mais pas de la même importance.

CONCLUSION GENERALE
ET
RECOMMANDATIONS

Conclusion générale et recommandations

Du fait de leur précarité et de leur fragilité, voire de leur irrégularité spatio-temporel, les ressources en eau nécessitent aujourd'hui une attention très particulière sur le plan tant quantitatif que qualitatif afin de maintenir leurs valeurs économiques, sociales et écologiques.

Dans ce sens, les deux Oueds, Mekerra et Saida, sont considérés parmi les principales artères du réseau hydrographique dans la région ouest des hauts plateaux qui peuvent fournir, surtout dans les périodes pluvieuses, de nombreux services pour les régions qui les traversent, à l'instar des zones urbaines des villes de Sidi Bel Abbés et Saida. Malheureusement, ces deux cours d'eau sont actuellement exposés aux agressions multiples dont la pollution représente la cause principale, ce qui mettra en danger la santé publique et également l'environnement.

En effet, les deux bassins versants de la Mekerra et Saida appartiennent au grand bassin de la Mactaa, le premier bassin versant s'étend sur une superficie de 4102 km², pour un périmètre de 353 km, par contre, le second bassin de Saida s'occupe d'une superficie de 517,8 km², avec un périmètre de 104 km. Ils prennent la même forme (forme allongée avec $K_c > 1$), avec un relief qui est relativement élevé (altitude moyenne 500m-800m), à l'exception des crêtes où l'altitude dépasse les 1100 m.

En ce qui concerne le cadre climatique, les deux bassins versants se trouvent sous l'influence d'un climat méditerranéen semi-aride qui se caractérise par un été chaud et sec, et un hiver frais, dont les valeurs moyennes des précipitations oscillent entre 300 mm à 400 mm, respectivement.

De plus, les deux bassins disposent d'un réseau hydrographique plus ou moins dense où les émissaires sont les deux oueds, objet de cette étude. Dans le détail, l'examen des données hydrogéologiques a révélé l'existence d'aquifères variés, dont les plus importants sont ceux d'âge plio-quadernaire et quadernaire. Ces derniers sont actuellement les plus sollicités pour tous usages confondus, domestiques, agricoles et industriels.

Pour l'aspect phyto-pédologique, les deux bassins se caractérisent par des formations végétales irrégulières, de l'amont à l'aval de chaque bassin. Par contre, les sols sont différenciés, en raison de la topographie, du couvert végétal de chaque région, ça d'une part, et les caractéristiques structurales et texturales, d'autre part.

L'étude de la qualité, menée sur les eaux des deux oueds présentés précédemment, nous a permis d'arriver à confirmer que l'état des leurs eaux se dégradent depuis l'amont, en s'accroissant lors de leurs passages dans les milieux urbains, à cause de divers rejets qui se déversent quotidiennement, où les eaux usées représentent la grande part.

Sur ce plan de la qualité, le suivi spatio-temporel des principaux paramètres physico-chimiques des eaux des deux oueds a montré de manière nette et globale l'existence d'une pollution chimique et organique au niveau des stations étudiées due à l'augmentation des chlorures, nitrates, nitrites, ortho phosphates, demande biologique en oxygène et de l'oxygène dissous. La comparaison de ces résultats avec les normes classent les eaux des deux oueds dans la catégorie de moyenne à mauvaise qualité, qui exige un traitement avant leur utilisation. Cette dégradation a été confirmée par l'évaluation de l'IPO, où ce dernier augmente depuis l'amont de chaque ville et s'accroît lors des passages en milieux urbains.

Sur le plan bactériologique, les résultats de recherche des bactéries indicatrices de la contamination fécale (CT, CF et SF) et la distribution spatio-temporelle de ces micro-organismes a reflété une pollution fécale élevée, avec importance pour le site de Saida. Mais, dans les deux sites l'origine de cette contamination est en grande partie humaine (rapport CF/SF>4).

De plus, la recherche des germes mésophiles totaux montrent une présence importante surtout à 22°C, que celle à 37°C. Pour les essais effectués sur CSR, ils décèlent une présence dans les eaux des oueds, avec des nombres non négligeables. Pour ce qui est des germes pathogènes, genre salmonelles, les résultats sont négatifs en dépit de la présence d'une charge élevée en coliformes, qui peut s'expliquer par l'existence probable de ces germes à l'état viable et non cultivable.

La même chose pour la qualité chimique, l'évaluation de l'indice de qualité microbiologique confirme que les eaux des deux oueds subissent une contamination fécale provenant en grande partie des déversements des eaux usées des deux villes, Sidi Bel Abbés et Saida.

A la lumière de ces résultats, nous recommandons un certain nombre d'actions dans le cadre d'une gestion durable, en vue de préserver et réhabiliter ces deux sites, *Mekerra* et *Saida* :

- Effectuer une surveillance permanente des eaux des deux oueds à travers un programme d'échantillonnage régulier ;
- Réhabiliter les réseaux d'assainissement et lutter contre les points noirs de déversement des eaux usées dans les deux oueds ;

- Interdire le rejet des déchets solides, notamment les ordures ménagères, les résidus de construction, etc. ;
- Activer le processus de récupération et de traitement des eaux usées non seulement au sein des deux villes, Sidi Bel Abbés et Saida, mais aussi à l'échelle de l'ensemble des bassins versants des deux oueds ;
- Réglementer l'utilisation des fertilisants agricoles, azotés et phosphorés, ainsi que les produits phytosanitaires dans l'agriculture pratiquée dans les deux bassins versants ;
- Réhabilitation des lits et des berges des canaux conçus principalement pour l'évacuation des eaux pluviales à l'extérieur du milieu urbaine, en particulier pour le site de Saida. Pour ce dernier, à titre d'information, un grand projet de réaménagement a été confié à une entreprise chinoise dont l'objet final du projet est de réhabiliter le canal ;
- Réalisation des accès aux deux oueds pour faciliter le nettoyage et la surveillance ;
- Procéder à la désinfection des eaux des deux sites par la chaux (technique de chaulage), surtout en période d'étiage ;
- Aménagement au sein des bassins versants : outre la pollution, le problème de dégradation de la qualité des eaux de surface semble être dû principalement à l'envasement à cause du phénomène de l'érosion des bassins versants. Ainsi, les dispositifs anti-érosifs tels que : les banquettes à rétention, le reboisement ou la revégétalisation des versants et des sommets des montagnes... sont nécessaires pour faire face à ce problème ;
- Réactivation des processus législatifs et réglementaires, notamment les textes relatifs à la protection de l'eau et de l'environnement ;
- Participation de tous les acteurs de l'eau dans la gestion intégrée des ressources en eau, en vue de leur protection et de leur restauration ;
- Sensibilisation des populations envers la préservation des ressources naturelles, notamment l'eau, afin de concrétiser le concept du développement durable : « répond aux besoins des générations actuelles sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (rapport de Brundtland - Nations Unies – 1987[128]).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [01]–MALIKI S B., 2006 : Politique de l'eau en Algérie ; les modèles marchands face à la pauvreté, Les Cahiers du MECAS, N° 2, Mars 2006.
- [02]– REMINI B., 2010 : la problématique de l'eau en Algérie du Nord, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46
- [03]–YLES F, 2014 : hydrologie et transport solide dans le bassin versant de l'oued Saida ; modélisation et pluie-débit et débit-liquide et transport solide, Thèse de doctorat, Université de Aboubekr Bel Kaid –Tlemcen, pp 07-08-26.
- [04] –ZELLA L., 2007 : L'eau ; pénurie ou incurie, livre, office des publications universitaires, pp 12-65-66.
- [05]–BOU SAAD H. et al. 2007 : Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (Rivière Nahar Ibrahim, Liban), *revue sciences de l'eau* 20(4) (2007)341-352.
- [06]–EL ADDOULI J., CHAHLAOUI A., BERRAHOU A., CHAFI A. et ENNABILI A. ,2009 : Qualité physico-chimique et biologique de l'oued Ouislane au sein de la ville de Meknès (centre - nord du Maroc). *Revue de l'Association Forum du Nord du Maroc*. N° double (4-5), 46-58 (2009).
- [07]–BOUDOUKHA A. ,et al , 2014 :Impact du changement climatique et de l'activité anthropique sur la qualité des eaux du barrage Ain Zada (Algérie) , *International Journal for Environment and Global Climate Change* , Vol 2, Issue 3, 2014.
- [08]–BENGHERBIA B., HAMAIDI F., ZAHRAOUI R., HAMAIDI M S ET MEGATELI S. , 2014 : Impacts des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'oued Beni AZA (Blida-Algérie) , *Lebanese Science Journal*, Vol. 15, No. 2, 2014.
- [09]–MEILHAC A., 1993 : Mise en œuvre d'un système d'information géographique des ressources en eau et en sol, mission d'évaluation, BRGM, 23p.
- [10]–ANDREANI YB. et al. ,2004 : Eau, ressources et menaces, document de synthèse .Disponible sur le site : <https://www.emse.fr/fr/transfert/site/publications/eau.pdf>
- [11] –ZELLA L. et SMADHI D., 2010 : l'eau : état des lieux des potentialités et des prélèvements, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 69-80
- [12]–LAURAENT F. et DUPONT N, 2011 ; l'eau dans le milieu, doucement pédagogique. Disponible sur le site : ved.univ-lemans.fr/docs/Grain-1.pdf
- [13]–TANDJIR L., 2012 : Les eaux et leurs effets subtils sur l'environnement, livre, Office des publications universitaires, p25.

- [14]–KASRI A., 2008 : Rapport sur l'état de pollution dans la wilaya de Saida, ANRH Saida, 27p
- [15]–NGARAM N., 2011 : Contribution à l'étude analytique des polluants (en particulier de type métaux lourds) dans les eaux du fleuve Chari lors de sa traversée de la ville de N'Djamena. Thèse de doctorat, université de LYON 1, disponible sur le lien : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01163894/document>.
- [16]–DEFRANCESCHI M. 1996 :L'eau dans tous ses états, ellipses /édition marketing S.A, pp 68-69-75-76
- [17]–DEGREMONT, 1989 : Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, Tome1, Paris : p5.
- [18]–FOUR B., 2017 : Effet des étangs de barrage à vocation piscicole sur le fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin dans des contextes environnementaux différents (cas : des étangs de plaine en Lorraine) , thèse de doctorat , université de Lorraine . Disponible sur le site : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2017_0009_FOUR.pdf.
- [19]–HUBERT P., 1984 : Une Introduction a la gestion de l'eau, édition marketing, paris, p 22.
- [20]–GENIN B., CHAUVIN Ch., MENARD F., 2003 : Cours d'eau et indices biologiques ; pollution –Méthodes –IBGN, 2^{ème} édition, Edit. Eduragri, pp70-82.
- [21]– AGENCE DE L'EAU DE SAINE- NOREMANDIE, 2014 : les écosystèmes aquatiques , document de synthèse , disponible sur le site : www.eau-seine-normandie.fr (consulté en 2016)
- [22]–DAPHNE T., 2008 : utilisation des macro-invertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, pp: 09-10-11-12. Disponible sur le site : https://www.agrireseau.net/.../utilisation_macroinvertebres_qualite_eau.
- [23]–BAHROUN S .et KHERICI B H. , 2011 : Evaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région D'El Tarf (nord-est algérien) , *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp. 171-178
- [24]–ADJE D D., GNOHOSSOU P M., AKODOGBO H H., GOUISSI M, ABAH S K. et OKOYA G J. ,2019 : évaluation de la pollution organique de la rivière Okedama dans la Commune de Parakou, *Afrique SCIENCE 15(4) (2019) 299 – 305*, disponible sur le site : <http://www.afriquescience.net> .
- [25]–LECLERCQ L., 2001 : Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique. Disponible site : www.inforef.be/projets/eureau/.../introduction.htm .
- [26]–RODIER .J. J. et al. ,2009 : L'analyse de l'Eau., 9^{ème} édition, Dunod, Paris. 1526 p.

- [27]–**HARTARD C., 2017** : Les bactériophages ARN F-spécifiques comme indicateurs du danger viral lié à la pollution fécale des matrices hydriques et alimentaires, thèse de doctorat, université de Lorraine, 184p. Disponible sur le site : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01768003/file/DDOC_T_2017_0152_HARTARD.pdf.
- [28]–**SANDRA K. et al, 2005** : Qualité biologique des cours d'eau du bassin versant lémanique, Rapp.Comm.int.Prot.eaux.lémancont pollut, campagne 2004, 2005,117-129.
- [29]–**BENOIT-CHABOT V., 2014** : les facteurs de sélection des Bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques ; élaboration d'un outil d'aide à la décision , maîtrise en environnement , université de Sherbrook . Disponible sur le site : <https://www.usherbrooke.ca>.
- [30]–**JULIE M., et LYNE P. ,2013** : Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec ; Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, Bibliothèque et archives nationales du Québec .pp 01- Disponible sur le site : www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/.../surveillance/benthiques.pdf.
- [31]–**NGOAY-KOSSY J C, ZEBAZE TOGOUET S H, WANGO S P, BOLEVANE OUANTINAM S F, TCHAKONTE S et PISCART Ch., 2018** : Bio-indicateurs des milieux aquatiques lotiques en république centrafricaine ; macro-invertébrés benthiques et pression anthropique du cours d'eau NGUITTO , *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 73 (4), 2018 : 603-616 . Disponible sur site : www.researchgate.net/publication/ (consulté le mois d'avril 2020).
- [32]–**HOUCHINE S. ,2011** : Recherche sur la faunistique et l'écologie des macro- invertébrées des cours d'eau de Kabylie, mémoire de magister, université de Mouloud Maamri- Tizi Ouzou (Algérie), 116 p.
- [33]–**CLAUDE C. et al. , 2003** : Les eaux courantes, édition belin, paris, pp115-116-117,
- [34]–**ORGANISATION DES NATIONS UNIS « ONU », 2006** : Changements climatiques, document de synthèse.
- [35]–**RAMADE F., 1992** : Précis d'écotoxicologie, Ed. Masson ,300p.
- [36]–**ORGANISATION MONDIALE METEOROLOGIQUE « OMM »,2006** : évolution du climat et désertification, document de synthèse. Disponible sur le site : <http://www.wmo.int/> .
- [37]– **DUCHARNE A., et al., 2003** : influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la seine, *revue Vertigo*, vol 4, N°3, décembre 2003. Disponible sur le lien : www.researchgate.net (consulté 2020) .
- [38]–**ZELLA L., 2010** : cas d'eaux, livre, OPU, p128.
- [39]–**TIMINA J et BERTIN M., 2008** : vulnérabilité des ressources en eau face au changement climatique en alsace, synthèse de l'état des lieux de connaissances, Drealasace –région Alsace, p08.

- [40]–**CABALLERO Y. et NOILHAN J., 2003** : étude de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin Adour Garonne. Agence de l'Eau Adour Garonne, Toulouse, France. Disponible sur le site : oai.eau-adour-garonne.fr/oai-documents/50511/GED_00000000.pdf.
- [41]–**KANOHIN F et al., 2009** : Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide: cas de la région de Daoukro en Côte D'ivoire , *European Journal of Scientific Research* , ISSN 1450-216X Vol.26 No.2 (2009). Disponible sur le site : www.researchgate.net .
- [42]–**PROGRAMME DES NATIONS UNIES DU DEVELOPPEMENT (PNUD), 2009** : Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie, Rapport de synthèse, 17 p. Disponible sur le site : www.undpcc.org/docs/.../Algerie_Rapport_national_eau_adaptation.pdf.
- [43]–**BIRAMA D. et al. ,2007** : Elaboration de stratégie d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques, document inédit, 61p.
- [44]–**AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRIQUES « ANRH », 2011** ; Diagnostic des potentialités hydriques à l'échelle synoptique, Effet de la variabilité climatique, ORAN, document inédit.
- [45]–**KERKEB A., 2011** : Diagnostic de la qualité des eaux distribuées dans la ville de Saïda (nord-ouest de l'Algérie) et problèmes rencontrés dans son réseau d'alimentation en eau potable, mémoire de magistère, université Djilali Liabes - Sidi Bel Abbés (Algérie), p31-32-70.
- [46]–**BOUCHEDJA A., 2012** : La politique nationale de l'eau en Algérie, 10^{ème} conférence internationale, de 17 au 19 Octobre 2012, Istanbul –Turquie .Disponible sur le site : www.inbo-news.org/IMG/pdf/6_BOUCHEDJA_istanbul_2012.pdf
- [47]–**REMINE B. 2007**, La problématique de l'eau en Algérie, 2^{ème} édition, Office des publications universitaires, pp 16-17- 35 .
- [48]–**OFFICE NATIONAL DE STATISTIQUES « ONS » ,2013** : Statistiques sur l'environnement, collection statistiques n°177/2013, Avenue BELKACEMI Mohamed – El Annasser - ALGER.
- [49]–**ANTEUR D., LABANI A., MEDERBAL K. , GLIZ M., 2014** : Contribution à l'évaluation et à la cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du sous bassin versant de l'oued de Saida (ouest de l'Algérie) , *European Scientific Journal* , vol.10, No.27 ISSN: 1857 – 7881, Septembre 2014 . Disponible sur le site : <https://eujournal.org> (consulté 2020).
- [50]–**GOUAIDIA L., 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 algérien), Thèse de doctorat, université de Badji Mokhtar – Annaba, p98.

[51]–ASSOCIATION POUR LA RECHERCHE SUR LE CLIMAT ET L'ENVIRONNEMENT « ARCE », 1998 : L'eau ; une réalité, une urgence, un défi, Second colloque national « climat – environnement », Oran.

[52]–REMINE B., 2010 : La problématique de l'eau en Algérie du Nord, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46.

[53] –RAMDANE A., 2011 : la politique de protection de l'environnement en Algérie : réalisations et échecs, *revue des oasis pour des recherches et des études*, n°13, 2011 ; 1-16.

[54]–AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRIQUES, 2009 : Grille normative pour estimer la qualité générale des eaux de surface.

[55]–TALEB M K., 2006 : Etat de l'assainissement d'une zone côtière ; Analyse et perspective d'aménagement (cas : commune d'Ain Turek _W de ORAN), mémoire de magister, université d'Es-senia- ORAN, 159p.

[56]–KHERIFI W. et BEKIRI F., 2017 : les maladies à transmission hydrique en Algérie. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, No 14 (2017). Disponible sur le site : <https://www.crstra.dz/> (consulté le mois de février 2020).

[57]–EL OUALI LALAMI A., ZANIBOU A., BEKHTI K., ZERROUQ F., MERZOUKI M., 2014 : contrôle de la qualité microbiologique des eaux usées domestiques de la ville de Fés au Maroc, *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S1) (2014) 2325-2332

[58] –HOUNSOUNOU O E., et al., 2018 : Contamination Des Eaux De Puits Par Les Salmonelles Et Les Vibrions non-O1/non-O139 Dans Les Quartiers Précaires Du Sixième Arrondissement De Cotonou (Sud-Bénin) , *European Scientific Journal* February 2018 edition Vol.14, No.6 ISSN: 1857 – 7881

[59] –BOUAMRANE N D., 2008 : écosystèmes aquatiques continentaux ; contribution à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux du barrage CHEURFA (Sig- Mascara), mémoire de magister, université d'Es Sénia –Oran , 117p.

[60]–ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE « OMS », 2015 : les progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau : les principaux faits, rapport de synthèse, disponible sur le lien : https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015 (consulté en 2020)

[61]–CHAPONNIERE A., 2005 : Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride ; Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain), Thèse de doctorat, institut national agronomique de Paris-Grignon, France, 233p.

- [62]–**BENYAHIA M., al**, 2011 : Compréhension de l'inondabilité de la plaine de Sidi Bel Abbés par l'oued Mekerra (ouest Algérien). *Revue scientifique et Technique. LJEE N°18, Juin 2011*
- [63]–**BOUREK R.**, 2010 : Modélisation pluie - débit. Application au bassin versant de la Mactaa (NW algérien), mémoire de magistère, université de Aboubkeur BELKAID-Tlemcen(Algérie),100p.
- [64] – **CHERIF E A. et al.** , 2009 : Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéen, *Hydrological sciences journal*, 54 (2) , avril 2009.
- [65]–**KORICHI K. et HAZZAB A.**, 2012 : hydrodynamic investigation and numerical simulation of intermittent and ephemeral flows in semi-arid regions: wadi Mekerra, Algeria , *J. Hydrol. Hydromech.*, 60, 2012, 2, 125–142 .Disponible sur le site : <https://www.researchgate.net>.
- [66]–**BENSALEM M B.**, 2009 : Etude des inondations et leurs impacts dans le bassin versant de l'oued Mekerra (Sidi Bel Abbés), mémoire de magistère, université de Djilali Liabes –Sidi Bel Abbés (Algérie) .
- [67]–**ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE** ,2010 : Délimitation d'un bassin versant et calcul de ses caractéristiques morphologiques ; application du bassin du Parimbot à Eschiens –suisse, document pédagogique, 04p.
- [68]–**HACHEMAOUI Ch.**, 2007 : Etude et simulation de la variation et de la propagation de la pollution dans la nappe de Saida, mémoire de magistère, université Stanbouli Mustapha-Mascara(Algérie), pp 25-29- 42-97
- [69]–**INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE (IAV)** : Cours d'hydrologie, université de Rabat-Maroc, disponible sur le site : [www. Docplayer. fr](http://www.Docplayer.fr)
- [70]–**BEMMOUSSAT A.**, 2012 : Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin versant de Tafna, mémoire de magistère, université de Aboubkeur BELKAID - Tlemcen, 135p.
- [71]–**SADEK A B.** 2006 : Prévion des crues dans la bassin versant d'oued Mekerrra (région de Sidi Bel Abbés) , mémoire de magistère , centre universitaire de Djlali BOUNAAMA -Khemis Miliana (Algérie) ,92p. .
- [72]–**MOKADMI S**, 2012 : étude hydrogéologique et modélisation du transport solide en suspension dans le sous bassin versant de l'oued Mekerra , mémoire de magister , université BOUDIAF Mohamed –Oran 1 . 109p.
- [73]–**OTMANE A.**, 2015 : prédétermination des valeurs des pluies et crues extrêmes dans le bassin versant d'Oued Mekerra , mémoire de magister , université d'ORAN 2 ,.Disponible sur le site : <https://www.univ-oran2.dz> .

- [74]–**AISSAOUI A., 2013** : Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles, mémoire de magistère, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou (Algérie), 75p .Disponible sur le site : www.ummo.dz/IMG/pdf/Aissaoui_Azzeddine.pdf;
- [75]– **KOUSSA M., 2017** : Apport d'un système d'information géographique pour la gestion des ressources en eau dans la région de Defla, thèse de doctorat, université de Biskra, disponible sur le lien : www.univ-biskra.dz/3072/1/Thèse_hydraulique_2017.pdf
- [76]–**BLINDA. M. ,2007** : Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan : Caractérisation, Impact sur l'Environnement et Proposition de Solutions, thèse de Doctorat, université Rabat, Maroc.
- [77]–**DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE DE LA WILAYA DE SAIDA, 2010** : Etude de réaménagement de l'oued Saida : étude préliminaire « phase I », pp 07-09-10.
- [78]–**GUENFOUD A., 2009** : Gestion des ressources hydriques dans la plaine de Sidi Bel Abbés pour un développement durable , mémoire de magistère , université DJILALI Liabes-Sidi Bel Abbés (Algérie) , pp 12-17-18-19-20
- [79]–**ANSER A., 2012** : Guide pratique pour l'utilisation des indices et des coefficients climatologiques, livre, OPU, pp55-59-62.
- [80]–**YAHIAOUI A, 2012** : Inondations torrentielles cartographie des zones vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbés), Thèse de doctorat , université Saad DAHLAB - Blida , 167p.
- [81]–**DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE DE LA WILAYA DE SIDI BEL ABBES.2005** : Etude d'avant-projet détaillé du barrage d'écrêtement de Tabia., étude hydrologique.
- [82]–**HAMEL .L 2003** : Planification coordonnées des ressources en eau superficielles et souterraines et importance de la réutilisation des eaux usées dans la zone semi-aride de sidi bel abbés, projet de recherche, université de Djilali liabés de Sidi Bel Abbés,
- [83]–**HALIMI N. et AMARI A., 2009** : La pollution des eaux de l'oued Saida et son impact sur l'environnement, mémoire ingénieur d'état, université Djilali Liabes - Sidi Bel Abbés (Algérie), pp 16-46.
- [84] –**KHALDI A. ,2005** : Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida», Thèse de doctorat, université d'Oran, pp 132- 190.
- [85]–**MUSY A., 2005** : Le bassin versant et son complexe (chap.2), Hydrologie générale. Disponible sur le lien <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html> (consulté en mars 2020)

- [86]–MEDJBER A., et BERKANE F., 2016 : Quantification et évolution du bilan de la nappe Karstique de Saida (NW de l'Algérie), *European Scientific Journal*, February 2016 édition vol.12, No.9 ISSN: 1857 – 7881 .
- [87]–AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRIQUES « ANRH », 2008 : Présentation du bassin versant de l'oued Saida, rapport de synthèse.
- [88]–CHALANE F., 2017 : inventaire et analyse de la phytodiversité des steppes à *Stipa tenacissima* L. dans la région des Saida (Algérie occidentale) , thèse de doctorat en sciences , université de Djilali Liabés - Sidi Bel Abbés , disponible sur le site : <http://rdoc.univ-sba.dz>
- [89]– ELMI S. et BENEST M., 1978 : les argiles de Saida, faciés flyschoides du Callovo-oxfordien du silon tlemcenien (ouest algérien) ; stratonomie , environnement , interprétation et évolution paléogéographique , livre de jubilaire Jaques Flandrin, Docum.Labo. Géo., Fac. de Sci. Lyon.
- [90]–PETAUD G, 1973 : étude hydrogéologique pour le développement de la vallée d'oued Saida, Rapport de synthèse.
- [91]–KAFI D., 2011 : Evaluation des potentialités hydriques et leur gestion dans la wilaya de Saïda (Algérie Occidentale), mémoire de magistère, Djilali Liabes - Sidi Bel Abbés (Algérie), pp 26-48
- [92]–DIRECTION DES SERVICES AGRICOLES « DSA », 2007 : Récapitulation des pluviométries et températures durant la période (1979-2007). Direction des services agricoles – Saida.
- [93]–BARKA I. et BARKA D., 2017 : Etude comparative des données du vent observées et les données ré-analysés ECMWF à Hassi R'mel et Ghardaïa, mémoire de master, université Kasdi Merbah d'Ouargla. Disponible sur le site : www.univ-ouargla.dz (consulte en octobre 2020) .
- [94]–MESSOUS N., 2013 : Caractérisation de l'état du milieu et évaluation numérique de la vulnérabilité à la désertification par les outils de la géomatique (Le piémont méridional des monts de Belezma), mémoire de magistère, université de Batna 167p.
- [95]–AGENCE NATIONALE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE « ANAT », 1989 : inventaire des ressources en eau souterraines, document inédit.
- [96]–BENCHERKI A. et al, 2008 : Réalisation d'une carte de vulnérabilité des nappes phréatiques de la région de Saida en Algérie, avec l'aide des systèmes d'information géographique, éditions universitaires européennes (EUE), p 22.
- [97]–AGENCE NATIONALE DU DEVELOPPEMENT DE L'INVESTISSEMENT « ANDI » : Monographie de la wilaya de Sidi Bel Abbés, 2013.

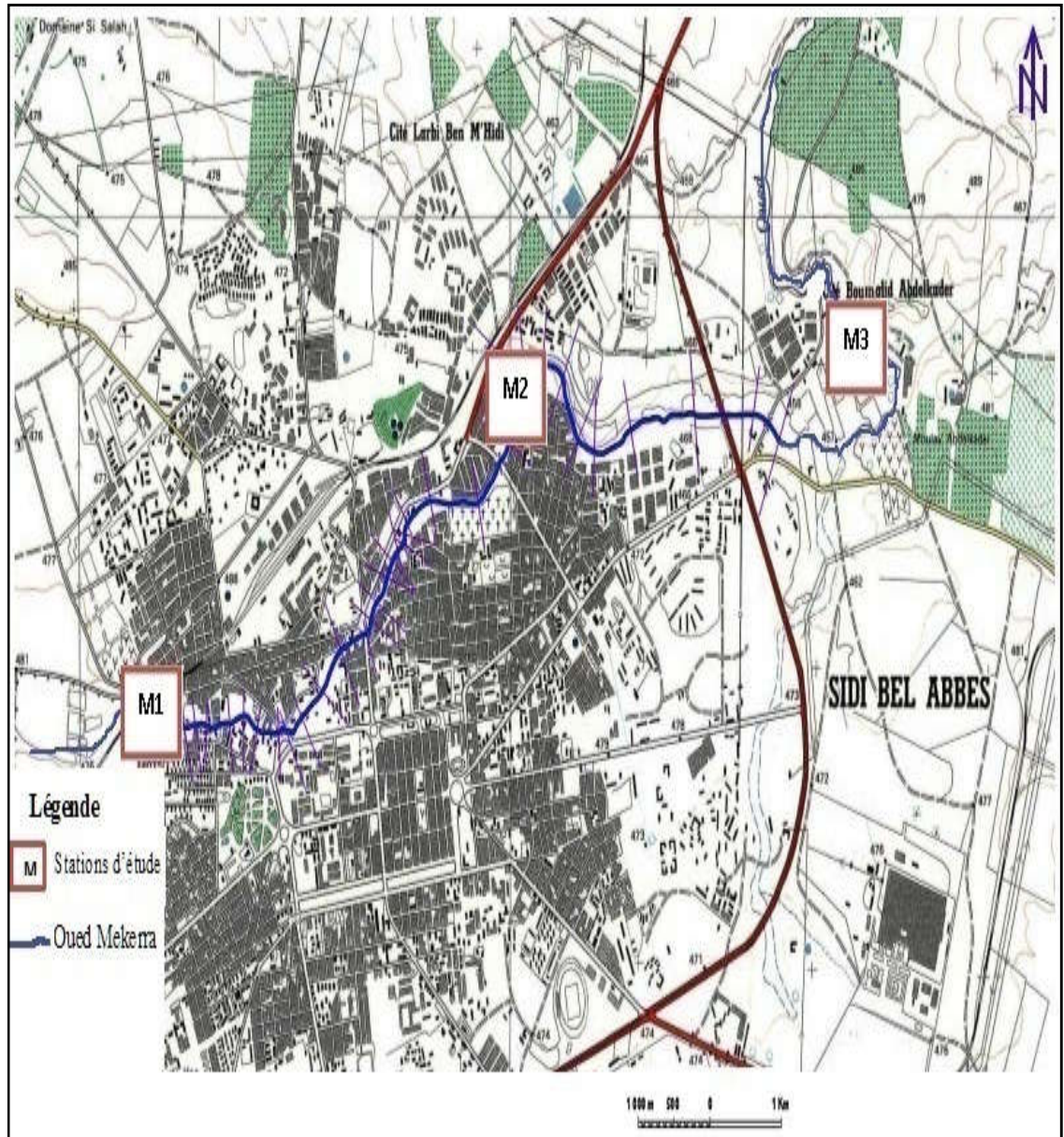
- [98]–DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE DE LA WILAYA DE SIDI BEL ABBES « DPAT-SBA », 2008,: Carte de découpage administrative de la wilaya de SBA .
- [99]–BENNABI F., HAMEL L., BOUIADJRA SE., GHOMARI S., 2012 : Ressources en eau tension et enjeux de développement durable dans la wilaya de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale) , *journal of mediterranean geography* , ISSN 1760-8538 , disponible sur le site d'internet : <https://journals.openedition.org/mediterranee/6330> .
- [100]–DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE_SBA, 2009 : carte des zones homogènes de la wilaya. DPAT-Sidi Bel Abbés .
- [101]–DIRECTION DE L'AMENAGEMENT ET DE PLANIFICATION DU TERRITOIRE _SBA « DATP » ,2011 : Monographie de la wilaya de Sidi Bel Abbés,
- [102]–AGENCE NATIONALE D'INTERMEDIATION ET DE REGULATION FONCIERE « ANIRF », 2013 : Rubrique Monographie de la wilaya de Sidi Bel Abbés, juillet 2013.
- [103]–DIRECTION DE L'AMENAGEMENT ET DE PLANIFICATION DU TERRITOIRE _SAIDA « DATP » ,2012 : Monographie de la wilaya de Saida.
- [104]–DAHMAN M. N., 2016 : étude hydrologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Saida, mémoire de magister, université d'Oran 2. Disponible sur le site d'internet ; www.univ-oran2.dz
- [105]–DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE_SAIDA « DAPT » , 2010 : Répartition de la population aux recensements 1998, 2008 et estimations au 2008 et 2009. DAPT-Saida.
- [106]–AGENCE NATIONALE D'INTERMEDIATION ET DE REGULATION FONCIERE « ANIRF », 2011 : Rubrique Monographie de la wilaya de Saida, juillet 2011.
- [107]–AGENCE NATIONALE DU DEVELOPPEMENT DE L'INVESTISSEMENT « ANDI » , 2013 : Monographie de la wilaya de Saida, 2013 .
- [108]–KEDDARI D., 2015 : Mise au point des techniques de mesure de la DBO5 , des formes azotées et des paramètres physiques des eaux superficielles , mémoire de magister , université des frères Mentouri – Constantine . Disponible sur le lien : <https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2015/183-2015.pdf>.
- [109]– RODIER.J. J.et al. ,1978 : L'analyse de l'Eau : eaux naturelles et eaux de mers, Dunod, Paris. 1353 p.

- [110]–**KARROUCH L. et CHAHLAOUI A, 2009** : Bio-évaluation de la qualité des eaux de l'oued Boufekrane (Meknès, Maroc), *Biomatec Echo*, Vol.3, No.6 pp. 6 – 17. Disponible sur le site : http://be.biomatec.org/ECHO6/ECHO6_01Karrouch_Article.html .
- [111]–**BOUGHROUS A A. , 2007** : Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech , Thèse de doctorat , université Marrakech , Maroc ,207p. Disponible sur le lien suivant : www.taxonomy.be/.../Ali-Ait-Boughrous.../these-ait-boughrous.../these-ait.
- [112]–**HEMIDI L ., 2013** ; Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution, mémoire de magistère, université de Kasdi Merbah-Ouregla(Algérie) , pp 60-61.
- [113]–**PRENANT P., 2016** : Caractérisation des sources de nitrate dans les aquifères cristallins du Centre du Bénin, mémoire de master, université de Liège. Disponible sur le site : matheo.uliege.be
- [114]– **NOUAYTI N., KHATTACH D., HILALI M., 2015** : Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) , *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) (2015) 1068-1081, disponible sur le lien : www.jmaterenvironsci.com.
- [115]- **MAMMERI L., 2007** : étude de la réaction de dénitrification par l'utilisation du succinate de Sodium comme source de carbone , mémoire de magister , université de MENTOURI –Constantine , disponible sur le lien : <https://bu.umc.edu.dz/theses/chimie/MAM4786.pdf> .
- [116]–**BELGHITI M.L, CHAHLAOUI A., BENGLOUMI D. EI MOUSTAIN R., 2013** : Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc), *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36 .
- [117]–**DEMANDE BIOLOGIE EN OXYGENE**, disponible sur le site d'internet www.ebanque-pdf.com/fr_demande-biologique-en-oxygene.htm (consulté mai 2016).
- [118]–**ABOULKACEM A., et al., 2007** : Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc), *revue REMISE*, vol1, N°1, p : 10-22. Disponible sur le site : <http://www.remise.ma>.
- [119]–**GASSAJA D., 2002** : dénombrement de la flore mésophile aérobie totale dans les filets de sole : étude comparative des méthodes d'analyse et des résultats des deux laboratoires. Mémoire des études approfondies de production animale, université de Dakar.

- [120]–EL HAISSOUFI H, et al. 2011 : Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 5, N°1, p : 37-68. Disponible sur le site d'internet : www.researchgate.net.
- [121]–HASLAY C. et LECLERC H., 1993 : Microbiologie des eaux d'alimentation, édition Lavoisier, Paris, pp 99. 101.
- [122]–COMITE FEDERAL-PROVINCIAL-TERRITORIAL SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT « CFPTSE », 2006 : Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : les coliformes, document technique, Canada. Disponible sur le site : publications.gc.ca/collections/collection_2013/.../H129-26-2006-fra.pdf.
- [123]–ROBERT H., 1999 : Qualité microbiologique des eaux distribuées par BRL ; exigence et conception d'un suivi adapté, mémoire d'ingénieur en génie sanitaire, école nationale de la santé publique .
- [124]–PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES, disponible sur le site d'internet www.labo17environnement.fr : les paramètres microbiologiques (consulté en mai 2016)
- [125]–MAJDOULINE L. et al ., 2013 : Contamination spatio-temporelle d'origine hydrique de l'oued Boufekrane dans la région de Meknès-Tafilalt (Maroc), *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(1): 172-184, 2013 . Disponible sur le site : <http://ajol.info/index.php/ijbcs> .
- [126]–CENTRE DE LA SECURITE ALIMENTAIRE ET DE LA SANTE PUBLIQUE « CSASP »,2013 : Salmonelles, Fiche d'information, disponible sur le site : www.cfsph.iastate.edu
- [127]–CALCUL DE L'INDICE DE QUALITE MICROBIOLOGIQUE (IQM) , disponible sur le lien d'internet ;www.inforef.be/projets (consulté en mai 2016) .
- [128]–VAILLANCOURT J-G, 2002 : Action 21 et le développement durable, *revue Vertigo*, Vol3, N°3. Disponible sur le site : www.researchgate.net (consulté en 2020) .

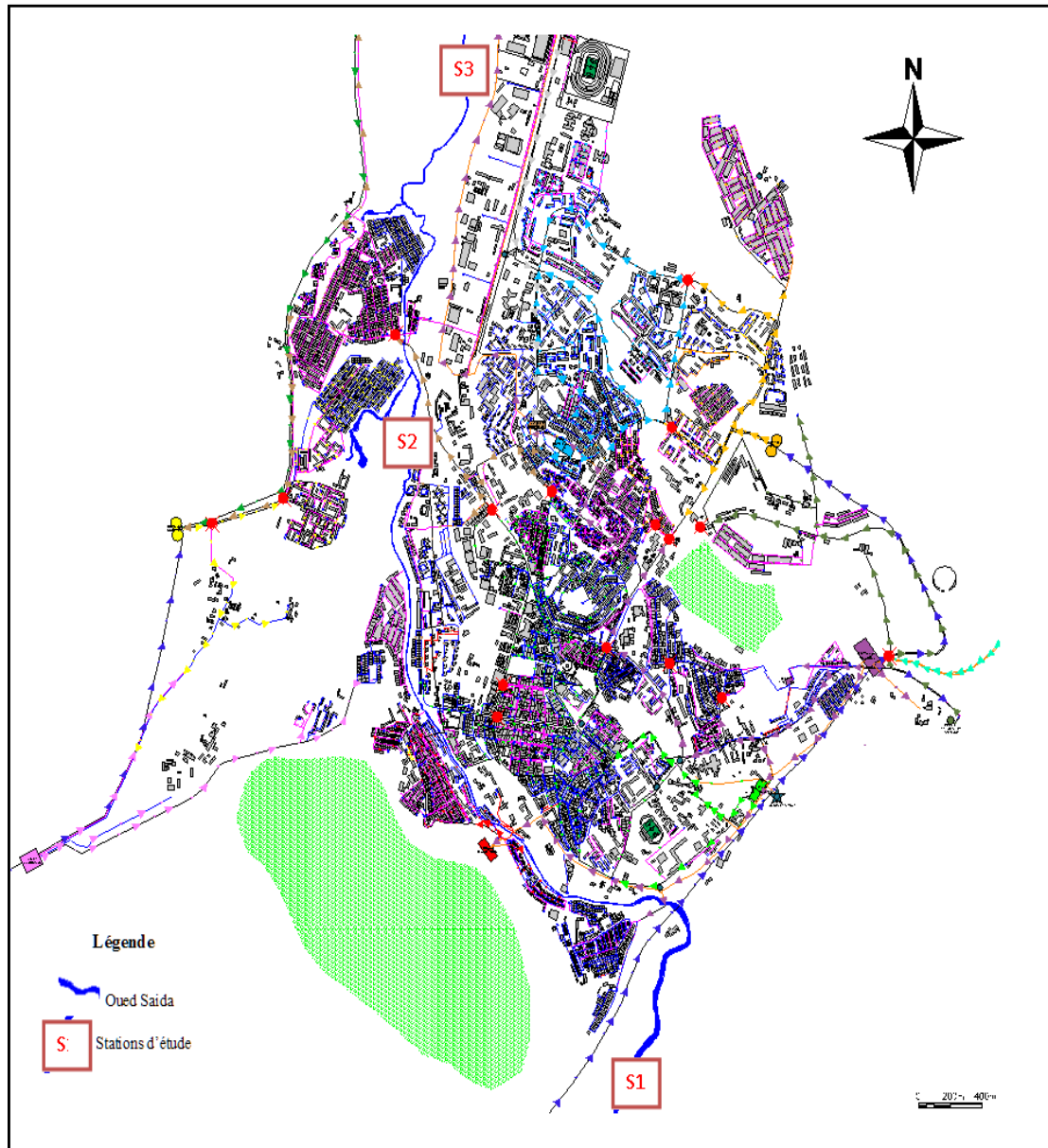
ANNEXES

Annexe n°01 :



Localisation de différentes stations étudiées au niveau d'Oued Mekerra à la traversée du milieu urbain de la ville de Sidi Bel Abbés (Yahiaoui, 2012) (carte modifiée)

Annexe n°02 :

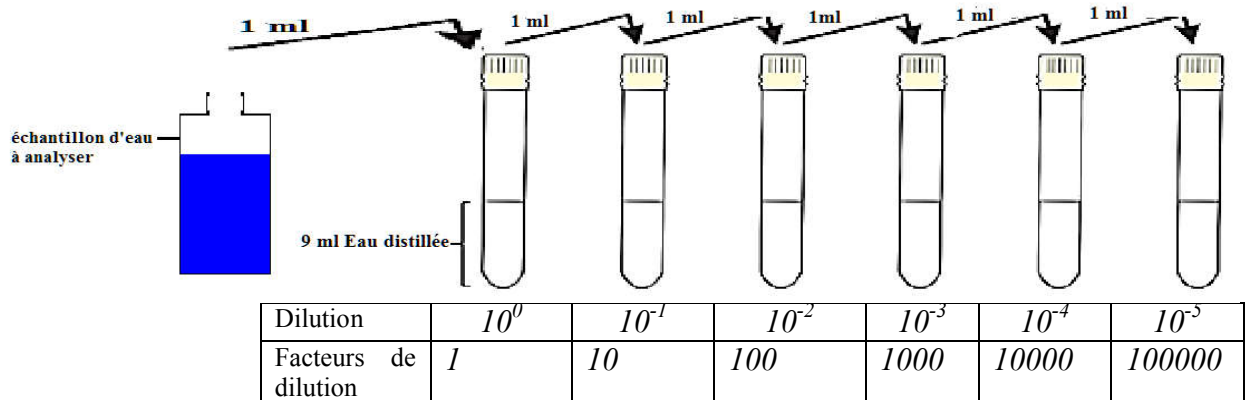


Localisation de différentes stations étudiées au niveau d'Oued Saida à la traversée du milieu urbain de la ville de Saida (ADE, Saida, 2010 in Kerkeb, 2011) (carte modifiée)

Annexe n°03 :

Exemples sur les techniques utilisées en analyses microbiologiques



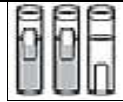


1) Préparation des dilutions décimales en série



Source :Haichour N.,(2019)

2) Système d'ensemencement de trois tubes par dilution

Tableau n° 21 : Dénombrement des microorganismes à essais multiples

Dilutions et aspects des tubes après incubation (lecture associé à la production de gaz collecté dans une cloche)	Résultats				
	 10^{-n}	 $10^{-(n+1)}$	 $10^{-(n+2)}$	 $10^{-(n+3)}$	 $10^{-(n+4)}$
Résultats	+ + +	+ + +	+ + -	+ - -	- - -
Nombre de tube +	3	3	2	1	0
Combinaison possible	3	3	2	1	
Combinaison possible		3	2	1	
Combinaison possible			2	1	0

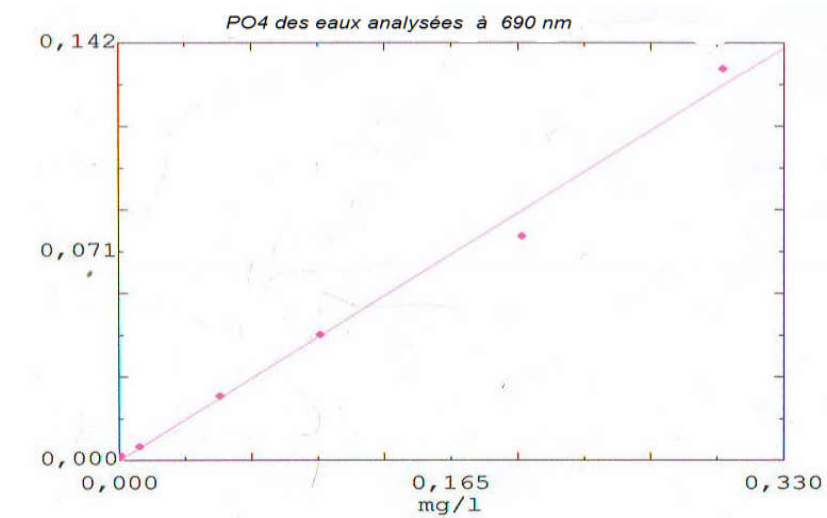
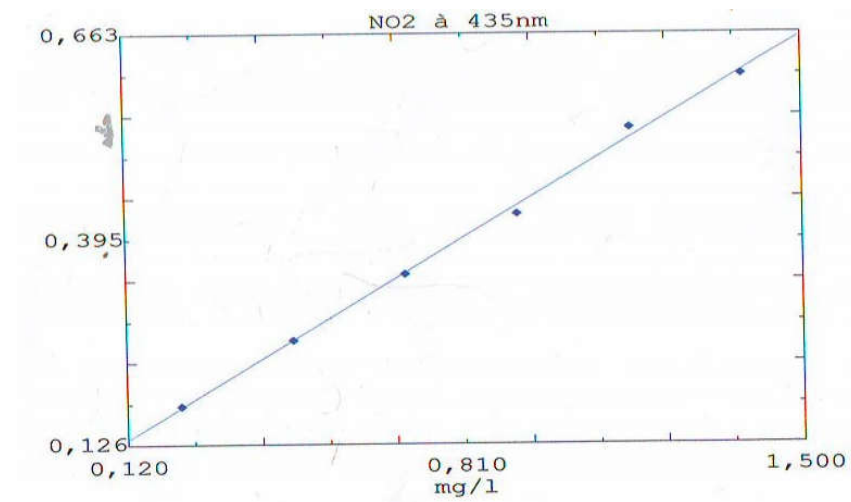
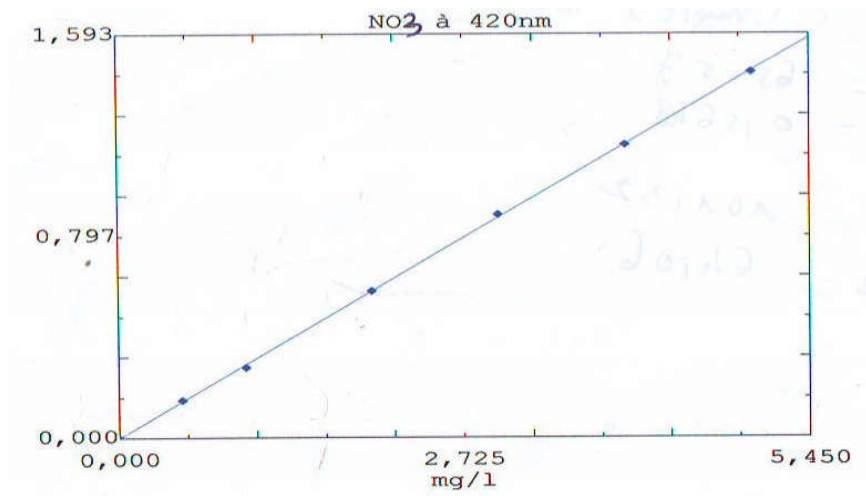
Lecture et expression du résultat ;

- Grouper en nombre de 3 chiffres la suite des chiffres obtenus (combinaisons possibles), en commençant par le chiffre obtenu pour la plus faible dilution.
- Choisir le nombre le plus grand possible « NPP » et si possible inférieur à 330 (car cela correspond à une meilleure répartition dans les dilutions).
- Lire la valeur correspondante **n** dans la table de Mac Grady.

Le résultat est exprimé selon l'équation :

$$N (\text{nombre de microorganismes}) = \frac{n}{\text{Valeur de la dilution correspondant au premier chiffre}}$$

Annexe n°04 :

*Exemples sur les courbes d'étalonnage**(Nitrates, Nitrites et Orthophosphates)*

Annexe n°05 :

Différentes variantes proposées pour l'aménagement d'oued Saida (DRE Saida, 2010)

-Variante 01 :

Cette variante consiste à réaménager les parties du canal dont l'état est dégradé d'une part et prolonger le canal un plus loin que la STEP de SAIDA.

-Variante 02 :

Pour cette variante il s'agit de projeter un canal en béton armé avec des murs verticaux ou avec une faible inclinaison d'une hauteur de 3.2 m et une épaisseur de 35cm, ces derniers reposent sur un radier d'une largeur de 12m et une épaisseur de 35cm, la partie centrale de ce dernier est dotée d'une cunette d'une largeur de 3m. Pour cette variante, l'ancien canal sera totalement détruit, y compris le radier.

-Variante 03 :

Il s'agit d'un canal avec un toit (une dalle). Cette dalle de couverture en béton armé repose sur les parois verticales. Un mur séparateur est préconisé, divisant la section en deux parties égales, ce dernier joue un rôle important dans la stabilité de notre ouvrage.

• Avantage des variantes proposées

- Variante 1 :

Cette variante offre l'avantage de ne pas détruire l'ensemble des murs du canal, et servira de coffrage aux travaux de béton, ce qui permettra une rapidité dans l'exécution des travaux.

- Variante 2 :

Cette variante offre l'avantage de conduire les travaux de réaménagement suivant les critères à imposer, en évitant les incertitudes de la variante 1, relatives à l'état de la fondation des murs.

Un autre point favorable réside dans la maîtrise du choix et mise en place des matériaux de remblai derrière les voiles et la mise en place de barbacanes. L'avantage le plus important est le drainage.

➤ **Variante 3 :**

Cette variante offre l'avantage d'utilisation du lit de l'oued comme voie de communication ou autre d'une part et permet par ailleurs d'éliminer les décharges de toutes les ordures qui s'y faisaient.

• **Inconvénients des variantes proposées**

- **Variante 1 :**

L'inconvénient de cette variante réside dans le fait de la complication des travaux sous la fondation du mur en perré maçonné, d'une part et d'autre part de la difficulté de la mise en place de barbacanes.

La réalisation de cette variante induira la réduction de la section d'écoulement dans le canal d'où une probable surélévation du tirant d'eau

- **Variante 3 :**


Cette variante va induire des travaux de terrassement très importants sur une emprise plus importante, avec la nécessité d'étayage aux abords des habitations et des routes ce qui risque de grever le cout du projet.

- **Variante 4 :**

Cette variante a les mêmes inconvénients que la variante 2, en plus du fait que le coût serait

- beaucoup plus important


Annexe n°06 :



**International Journal of Sciences:
Basic and Applied Research
(IJSBAR)**

ISSN 2307-4531
(Print & Online)

<http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>



**Characterization of Surface Water Quality Crossing
through Saids's City (Case: Said's Wadi – Alegria NW)**

Ahmed guenfoud^{a*}, Mohamed benyahia^b

^{a, b}*Laboratory of Spaces Eco-Development, Faculty of Natural and Life Sciences, DjillaliLiabesUniversity of
Sidi Bel Abbes, Sidi Bel Abbes 22000, Algeria*

^a*Email: guenfoud_ahmed@yahoo.fr*

^b*Email: benya133@yahoo.fr*

Abstract

Saida's wadi is one of the main permanent watercourse of superficial network of the west region in Algeria, presently affected by pollution generated by human activities (urban, industrial and agricultural waste) with the aim of identifying pollution status of this watercourse of these last years, our work was focused on determination of chemical-physics parameters and bacteriological water in the stretch of Saida's City.

The results obtained describe in a clear existence of chemical and organic pollution at level of the three stations studied due to increase of calcium, magnesium, chloride, nitrate, nitrite, orthophosphate, BOD5 and dissolved oxygen. Except for nitrate in the centre and downstream of the city where their average contents decrease (S1=1,133mg/L and S2=2,06mg/L). This is probably due to phenomena of nitrate transformation into nitrite, consumption of nitrate by microorganisms. Indices's evaluation of organic pollution confirms that there is an important organic pollution upstream and increases during the passage of rainwater in urban environment (stronger IPO). On the bacteriological level, results obtained show presence of a high load of bacteria inducing faecal contamination (totals coliforms, faecal coliforms and faecal streptococcus. The report between FC/FS shows that there is predominance of human origin contamination than of animal. Totals mesophile germs are also important notably at 22°C. As for pathogenic germs, genders of salmonella have not been detected.

Analysis results of water on the two levels (chemical-physics and bacteriological) allow us deducing that quality of these waters is average to poor during their passage in the city and thus, cannot be used for marked gardening irrigation in the region. It is therefore required to intervene urgently to rehabilitate this site.

Keys words: Wadi Saida, pollution, chemical-physics, bacteriology.



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabès de Sidi Bel-Abbès
Laboratoire de Recherche "Eco-développement des Espaces"



Sidi Bel Abbès, le 20 Octobre 2010

ATTESTATION DE PARTICIPATION

M^{me}, M^{lle}, M^r : **GUENFOUD Ahmed**

A participé à la 2^{ème} Journée Scientifique sur la Gestion et la Protection des Écosystèmes (JSGPE2010) organisée par le Laboratoire de Recherche "Eco-développement des Espaces" de l'Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, le 20 Octobre 2010, avec une communication intitulée : **CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA POLLUTION DE L'OUED SAIDA DANS LA VILLE DE SAIDA.**

Co-auteurs : BENYAHIA Mohamed, HAMEL Laid, BENSALEM Mohamed Bachir & KAFI Djelloul.

Cette attestation est délivrée à l'intéressé pour servir et valoir ce que de droit.



Le Président
Dr. L. HAMEL

CS 20190001



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès
Laboratoire de Recherche "Eco-développement des Espaces"



2^{ème} Séminaire Maghrébin sur la Gestion des Ressources Naturelles et le Développement Durable (GRN2D)
« *Mieux optimiser pour mieux gérer* »

Sidi Bel Abbés les 17 - 18 Mai 2011

ATTESTATION DE PARTICIPATION

M. : **GOENNODD Ahmed**

A participé avec une communication intitulée :

SUIVI DE LA QUALITE BACTERIOLOGIQUE ET PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX DE L'OUED SAIDA

Co-auteurs : **BENYAHIA Mohamed, HAOUEN Lina, BENSALLEM Mohamed Bachir et KATTI Djelloul**

Cette attestation est délivrée à l'intéressé (e) pour servir et valoir ce que de droit.



Le Président
Pr. L.HAMEL
[Signature]



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès

Laboratoire de Recherche "Eco-développement des Espaces"



Lab Eco-Développement des Espaces

3^{ème} Journée Scientifique sur l'Eau, la Biodiversité et l'Environnement

Sidi Bel Abbès le 25 Avril 2012

ATTESTATION

M. GUENFOUD Ahmed

A participé avec une communication intitulée :

SUIVI SPATIO-TEMPOREL DE LA QUALITE PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX DE SURFACE : CAS DE L'OUED SAIDA (ALGERIE NW).

Co-auteurs: **BENYAHIA Mohamed, HAMEL Laid, KAFI Djelloul**

Cette attestation est délivrée à l'intéressé (e) pour servir et valoir ce que de droit.



Le Président
Pr L. HAMEL



1^{er} Congrès International de Génie Civil et d'Hydraulique



Le 10 et 11 décembre 2012, Guelma, Algérie

ATTESTATION DE PARTICIPATION

Le président du comité d'organisation du 1^{er} Congrès International de Génie Civil et d'Hydraulique,

atteste que : Monsieur KAFI DJELLOUL

a présenté une communication par poster intitulée :

Eau Souterraine Et Eaux De Surface : Etat Des Lieux Et Des Prélèvements

KAFI Djelloul, HAMEL Laid, **GUENFOUD Ahmed.**

Laboratoire de recherche écodéveloppement des espaces, département des sciences de l'environnement, faculté des sciences,
université djillali Iiabes, sidi bel abbès. Algérie

Cette attestation est délivrée pour servir et valoir ce que de droit

Le président du 1^{er} Congrès International de Génie Civil et d'Hydraulique
Dr. NAFA Zahreddine

