

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Année 2016

Faculté des sciences de l'ingénieur

Département d'Hydraulique

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT en sciences

Option: Hydraulique urbaine et construction hydraulique

THEME

Pollution et protection des eaux du lac Mellah (N-E Algérien) au droit des rejets urbains: proposition d'un collecteur principal

Par

KHERIFI Wahida

(Ingénieur d'état en Hydraulique urbaine, Magister en Hydraulique)

DIRECTEUR DE THESE : KHERICI –BOUSNOUBRA Houria Pr. U.B.M .Annaba

DEVANT LE JURY

PRESIDENT :

DERRADJI El Fadel. Pr. Université BADJI Mokhtar Annaba

EXAMINATEURS :

AMARCHI Hocine. Pr. Université U.B.M. Annaba

MAOUI Amar. Pr. Université 8 Mai 1945. Guelma

KACHI Slimane. Pr. Université 8 Mai 1945. Guelma

LABAR Sofiane M.C.A. Université Chadli Benjedide –El Tarf

INVITE :

DJADAOUNE Amel M.C.B. Université 20 aout 1955 Skikda



DEDICACE

 *Je dédie cette thèse à ...* 

A ma très chère mère pour son aide et ses encouragements,

A Mon PÈRE,

A tous les membres de ma famille,

A mes chers frères,

A mes chères sœurs,

A mes nièces et mes neveux,

A tous mes collègues et amis,

A tous ceux que j'aime.

Kherifi wahida



Remerciements

Cette thèse a été réalisée sous la direction de Madame Kherici-Bousnoubra-houria , Professeur à l'Université de Annaba. Qu'elle veuille accepter l'expression de ma sincère reconnaissance et gratitude pour l'intérêt qu'elle a accordé à mes travaux de recherche et l'entière confiance dont elle a fait preuve à mon égard. Elle restera pour moi un modèle de rigueur scientifique et un exemple d'intégrité.

Je tiens également à remercier, **Mr F.Derradji** Professeur à l'Université de Badji Mokhtar « Annaba » de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse, ainsi que Mrs, **AMARCHI Hocine** Professeur à l'université d'Annaba, **MAOUI Amar** Professeur à l'Université 8 Mai 1945 « Guelma », **KACHI Slimane** Professeur à l'Université 8 Mai 1945 « Guelma », **LABAR Sofiane** Maitre de conférence classes «A» à l'Université Chadli Benjedide « El-Tarf » et **DJADAOUNE Amel** Maitre de conférence classes «B» à l'Université 20 Aout 1955 « Skikda » trouvent mes vifs remerciements de juger ce travail.

Ce travail de recherche a été effectué dans différents laboratoires d'analyses physico-chimiques et bactériologiques : Laboratoire eau et sol « Université d'Annaba », Laboratoire central ADE « Annaba », Laboratoire de l'université Constantine, Laboratoire de la DSP « Direction de la santé et de la population, El Tarf », donc Je remercie sincèrement les membres de ces laboratoires qui m'ont permis de réaliser la partie expérimentale de ma thèse.

Je tiens à remercier vivement mon maitre de stage, **Pr. YOUNSI Adelkader**, à l'université Chouaïb Doukkali - Maroc - , pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien.

Je remercie également toute l'équipe de laboratoire « eau et environnement » et le laboratoire de « microbiologie des eaux » à l'université Chouaïb Doukkali - Maroc- pour leur accueil et leur esprit d'équipe et en particulier **Mr EL KRATI Mouhamed** et **Mr RIHANI**, qui m'ont beaucoup aidé à résoudre les problématiques.

Enfin, Je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'achèvement de ce travail.

Kherifi wahida

Résumé:

Les eaux usées urbaines sont souvent rejetées dans la nature sans prétraitement. Le milieu récepteur devient alors pollué et pose des problèmes à la vie aquatique. Tel est le cas du Lac Mellah d'El Kala (Nord-Est Algérien), où les eaux domestiques sont rejetées directement dans le lac ou dans ses affluents. C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, portant sur la pollution du lac Mellah au droit des rejets urbains. Une prospection du site d'un point de vue physico-chimique et microbiologique a été entreprise afin d'évaluer la qualité des eaux de ce lac et de ses affluents. L'interprétation de ces analyses a eu pour objectif d'identifier le faciès chimique des eaux de lac Mellah et de ses affluents et de déterminer l'état de la qualité de ces eaux en vue d'un usage agricole pendant la période des hautes et des basses eaux.

L'évaluation de la pollution physico-chimique et microbiologique des eaux de la zone d'étude par différentes méthodes de traitements de données statistiques et graphiques (ACP, IPO, IQM, Surfer 9), révèle différents types de pollution avec une pollution organique à l'aval de la station d'épuration d'El Gantra El Hamra (rejet à la sortie), une pollution minérale au niveau du lac Mellah et une pollution agricole au niveau des Oueds. Tandis que, les indices de la pollution microbiologiques interprétés, soulignent une pollution microbiologique moyenne dans le lac et de ses affluents. L'origine de cette pollution calculée à partir du rapport de Bourgeois réaffirme une pollution d'origine humaine en période de basses eaux et d'origine animale en période de hautes eaux.

La situation actuelle nous pousse à proposer des solutions adéquates pour la protection des eaux à l'amont. Alors que pour remédier et cerner le problème de la croissante de la dégradation de la qualité des eaux du lac Mellah en supposant des propositions pour l'implantation et le dimensionnement de deux collecteurs principaux d'assainissement.

Mots clés : Lac Mellah, Nord-Est Algérien, Eaux usées, Station d'épuration, Pollution.

Abstract :

The urban waste waters are often rejected into nature without pretreatment. The receiving medium becomes polluted then and poses problems with the aquatic life. Such is the case of the Lake Mellah d' El Kala (North-eastern Algerian), where domestic water is rejected directly into the lake or its affluents. It is from this point of view that this work is registered, bearing on the pollution of the lake Mellah to the right of the urban rejections. A prospection of the site from a physicochemical and microbiological point of view at summer undertaken in order to evaluate the quality of water of this lake and its affluents. The interpretation of these analyses had as objective identified the chemical facies of water of lake Mellah and its affluents and determined the state of the quality of this water for an agricultural use for the period high and of low waters. The evaluation of the physicochemical and microbiological pollution of water of the zone of study by various methods of statistical and graphic data processing (ACP, IPO, IQM, Surfer 9), reveals different type of pollution with an organic pollution with the downstream of the sewage treatment plant of El Gantra El Hamra (rejection at the exit), a mineral pollution on the level of the lake Mellah and an agricultural pollution on the level of the Wadis. While, the microbiological indices of pollution interpreters, underline an average microbiological pollution in the lake and of its affluents. The origin of this pollution calculated starting from the report of Middle-class man reaffirms a pollution of human origin in period of low waters and animal origin in period of high waters. The current situation pushes us to suggest appropriate solutions for water protection with the upstream. Whereas to cure and determine the problem of increasing of the deterioration of the quality of water of the lake Mellah by supposing proposals for the establishment and the dimensioning of two principal collectors of cleansing.

Keywords: Lake Mellah, the Algerian North-East, Waste waters, Sewage treatment plant, Pollution.

ملخص :

غالبا ما يتم صب مياه النفايات الحضرية في الطبيعة دون معالجة فيصبح المكان المتلقي ملوث ويترشح مشاكل في البيئة المائية. هذا هو الحال في بحيرة الملاح القالة (شمال-شرق الجزائر)، حيث تصب المياه المنزلية في البحيرة أو تصب مباشرة في الروافد. ومن هذا المنطلق تم تسجيل هذا العمل على تلوث بحيرة الملاح عند مصب سوانل النفايات الحضرية. ان مسح الموقع من نقاطه الفيزيائية والميكروبيولوجية بغرض اتخاذها لتقييم نوعية مياه هذه البحيرة وروافدها و تقييم حالة نوعية مياه الوديان لمدة سنة للاستخدام الزراعي للفترة الصيف و الشتاء. ان التقييم الفيزيائي والميكروبيولوجي للمياه لمنطقة الدراسة بواسطة مختلف أساليب معالجة البيانات الإحصائية والرسوم البيانية (ACP, IPO, IQM, Surfer 9) يكشف عن انواع مختلفة من التلوث، التلوث العضوي من المصب القادم من مياه الصرف الصحي لمحطة معالجة الشركة لمدينة القنطرة الحمراء (عند المخرج)، والتلوث المعدني على مستوى بحيرة الملاح والتلوث الزراعي على مستوى الأودية والبحيرة. في حين أن المؤشرات الميكروبيولوجية تؤكد تلوث متوسط (التلوث الميكروبيولوجي) لمدة عام الغالب في البحيرة وروافدها، أصل هذا التلوث أكده مؤشر " Bourgeois " حيث أنه يتميز بتلوث جديد اصل بشري في فترة الصيف وأصل حيواني في الفترة عند ارتفاع منسوب المياه (الشتاء).

الوضع الحالي يقودنا إلى اقتراح حلول مناسبة لحماية المياه من المنبع، في حين لتحديد المشكلة والعلاج من زيادة تدهور نوعية المياه في بحيرة الملاح نفترض مقترحات لإنشاء و حساب أبعاد المجمع الرئيسي للتطهير.

كلمات البحث: بحيرة الملاح، شمال شرق الجزائر، مياه الصرف الصحي، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، التلوث

Liste des figures

<i>Liste des Figures</i>	<i>Page</i>
Figure 1. Carte de la situation de la commune d'El-Kala	6
Figure 2. Carte du parc national d'El-kala	7
Figure 3. Position géographique du lac Mellah	8
Figure 4. Vue satellitaire du système lacustre du lac mellah	9
Figure 5. Carte du limite du bassin versant du lac Mellah	10
Figure 6. Carte du limte du sous bassin versant du lac Mellah	11
Figure 7. Carte des pentes du bassin versant du lac Mellah	12
Figure 8. Carte géologique et structurale de la région d'étude	14
Figure 9. Coupe géologique dans l'extrême Nord-est algérien	15
Figure 10. Coupe A à Partie orientale du sous-bassin versant du Mellah.	15
Figure 11. Carte de réseau hydrographique du bassin versant du lac Mellah	16
Figure 12. Carte d'occupation des sols de la wilaya d'El Tarf	18
Figure 13. Carte bathymétrique du lac Mellah	19
Figure 14. Photos géomorphologique du lac Mellah	20
Figure 15. Mouvements des eaux superficielles.	21
Figure 16. Carte de répartition de la végétation périphérique du lac Mellah	23
Figure 17. Évolution de la production halieutique de la lagune du Mellah entre 1987 et 2003	24
Figure 18. Situation géographique des parcelles agricoles dans le bassin du lac Mellah	26
Figure 19. Nombre de visiteure dans le parc animalier	28
Figure 20. Situation géographique des stations pluviométriques et hydrométriques dans la région d'étude	31
Figure 21. Situation géographique des stations retenues dans l'étude.	32
Figure 22. Test d'homogénéité entre la station d'El Kala avec les autres stations	35
Figure 23. Corrélation avant la correction- la méthode de double cumul- (El Kala-Ain El Assel)	36
Figure 24 . Corrélation avant la correction- la méthode de double cumul-(El Kala-Ben M'hidi)	36
Figure 25. Corrélation avant la correction- la méthode de double cumul-(El Kala-Salin)	37
Figure 26. Test du double cumul entre la station d'El Kala et la station d'Ain El Assel (Après la correction)	37
Figure 27. Test du double cumul entre la station d'El Kala et la station de Ben M'hidi (Après la correction)	38
Figure 28. Test du double cumul entre la station d'El Kala et la station des Salines (Après la correction)	38
Figure 29. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station d'El kala	41
Figure 30. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station d'Ain El Assel	42

Figure 31. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station de Ben M'hidi	42
Figure 32. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station des Salines	43
Figure 33. Evolution du coefficient pluviométrique moyen dans la région d'étude	43
Figure 34. Les écarts à la température moyenne à la surface du globe classée par ordre décroissant depuis 1850 à 2008.	44
Figure 35. Précipitations moyennes globales pour la période 1901-2000	45
Figure 36. Evolution mensuelle de la température moyenne à la station d'El Kala (1999/2010)	46
Figure 37. Evolution annuelle de la température moyenne à la station d'El Kala (1999/2010)	47
Figure 38. Carte de températures moyennes annuelles	47
Figure 39. Evolution mensuelle de la vitesse moyenne des vents à la station d'El Kala (1984/2005).	48
Figure 40. La vitesse maximale mensuelle du vent (Station d'El Kala ; 1992)	49
Figure 41. Fréquence des vents (station météorologique d'El Kala ; 1992)	49
Figure 42. Évolution mensuelle de direction des vents (Station d'El Kala ;1992)	50
Figure 43. Évolution mensuelle de l'humidité relative (Station d'El Kala 1999-2010)	51
Figure 44. Évolution annuelle de l'humidité relative (Station d'El Kala 1999-2010)	51
Figure 45. Climagramme d'Emberger	53
Figure 46. Représentation graphique du bilan hydrologique a la station d'El-Kala	60
Figure 47. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station d'Ain El Assel	62
Figure 48. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station de Ben M'hidi	64
Figure 49. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station des salines	66
Figure 50. Les zones climatiques à la surface du globe	71
Figure 51. Les inondations dans la wilaya d'El-Tarf (Année 2012)	72
Figure 52. Zones inondables autour du lac Mellah	73
Figure 53. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Gumbel	74
Figure 54. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Galton (log normale)	75
Figure 55. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Gauss (normal)	76
Figure 56. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Pearson II	77
Figure 57. Projection des paramètres hydrologiques sur le plan factoriel (1x2).	82
Figure 58. Projection des stations météorologiques sur le plan factoriel (1x2).	82
Figure 59. Projection des paramètres hydrologiques et des stations météorologiques sur le plan factoriel (1x2).	83
Figure 60. Le dendrogramme des stations pluviométriques étudiées	84

Figure 61. Carte d'implantation des stations de mesures de débit.	86
Figure 62. Principe du procédé de mesure du débit par la méthode de dilution	87
Figure 63. La dilution du sel en fonction du temps dans la période des basses eaux (2011)	88
Figure 64. La dilution du sel en fonction du temps dans la période des hautes eaux (2012)	89
Figure 65. Evolution spatiotemporelle des débits des Oueds de la région d'étude (2011/2012)	90
Figure 66. Evolution spatiotemporelle des débits en fonction des précipitations	91
Figure 67. Vue satellitaire de sites ciblés pour l'échantillonnage	95
Figure 68. Multi paramètre de type « Laviband 200»	97
Figure 69. Multi paramètre « HANNA,HI 9300 »	97
Figure 70. Turbidimètre de type « Laviband Turbi-Direct».	98
Figure 71. Dosage de Nitrite	100
Figure 72. Dosage de Nitrate	100
Figure 73. Dosage d'Ammonium	101
Figure 74. Dosage d'Ortho phosphate	101
Figure 75. Dénombrement des coliformes	102
Figure 76. Dénombrement des coliformes thermo tolérants	103
Figure 77. Dénombrement des Streptocoques fécaux	104
Figure 78. Schéma des différentes formes de pollution suivant l'orientation dans le diagramme Ammonium-Nitrates	108
Figure 79. Variabilité spatiotemporelle du ph (Min) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	111
Figure 80. Variabilité spatiotemporelle du ph (Max) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	112
Figure 81. Variabilité spatiotemporelle de température (Min) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	112
Figure 82. Variabilité spatiotemporelle de température (Max) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	113
Figure 83. Variabilité spatiotemporelle des teneurs d'oxygène dissous des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	113
Figure 84. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de turbidité des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	114
Figure 85. Variabilité spatiotemporelle de la conductivité électrique des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	115
Figure 86. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de matières en suspension des eaux du lac	115

Mellah et de ses affluents (2011/2012)	
Figure 87. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de DBO ₅ des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	116
Figure 88. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de nitrite des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	117
Figure 89. Variabilité spatiotemporelle des teneurs d'ammonium des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	117
Figure 90. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des coliformes totaux des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	118
Figure 91. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des coliformes thermo-tolérants des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	119
Figure 92. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des streptocoques des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	120
Figure 93. Positionnement des trois milieux dans le diagramme binaire Eh-pH (Période des hautes eaux 2011/2012)	121
Figure 94. Positionnement des trois milieux dans le diagramme binaire Eh-pH (Période des basses eaux 2011)	121
Figure 95. Diagramme de Piper pour les échantillons de la région d'étude (Hautes eaux 2011/2012)	123
Figure 96. Diagramme de Piper pour les échantillons de la région d'étude (Basses eaux 2011).	124
Figure 97. Diagramme de Schoeller pour les échantillons de la région d'étude (Hautes eaux 2011/2012)	126
Figure 98. Diagramme de Schoeller pour les échantillons de la région d'étude (Basses eaux 2011)	127
Figure 99. Diagramme de Riverside des eaux d'irrigation des affluents dans la période des hautes eaux	131
Figure 100. Diagramme de Riverside des eaux d'irrigation des affluents dans la période des basses eaux	131
Figure 101. Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation des affluents dans la période des hautes eaux.	133
Figure 102. Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation des affluents dans la période des basses eaux.	133
Figure 103. Schéma de conséquences de la pollution des eaux	138
Figure 104. Evolution du volume d'eau entrant dans la station d'épuration (2009)	139
Figure 105. Evolution de la pollution organique en fonction du volume d'eau (2009)	140

Figure 106. Évolution temporelle du le rapport DCO/DBO ₅ (Année2009)	141
Figure 107. Température des eaux de la station d'épuration (2009)	142
Figure 108. Potentiel d'hydrogène des eaux de la station d'épuration (2009)	142
Figure 109. Teneur en MES des eaux de la station d'épuration (2009)	143
Figure 110. Rendement en MES des eaux de la station d'épuration (2009)	143
Figure 111. Teneur en DBO ₅ des eaux de la station d'épuration (2009)	144
Figure 112. Rendement en DBO ₅ des eaux de la station d'épuration (2009)	144
Figure 113. Teneur en DCO des eaux de la station d'épuration (2009)	145
Figure 114. Rendement en DCO des eaux de la station d'épuration (2009)	145
Figure 115. Teneur en NO ₂ des eaux de la station d'épuration (2009)	146
Figure 116. Teneur en NO ₃ des eaux de la station d'épuration (2009)	146
Figure 117. Évolution temporelle de l'indice de pollution des eaux du lac Mellah, au droit du rejet de station d'épuration (Période 2004 – 2009)	148
Figure 118. Projection des paramètres sur le plan factoriel (F1 et F2)	151
Figure 119. Processus de la nitrification	153
Figure 120. La représentation graphique des stations sur le plan factoriel (F1, F2)	154
Figure 121. Cycle naturel de l'azote influencé par l'homme	155
Figure 122. Le dendrogramme des éléments chimique des eaux de la zone d'étude	155
Figure 123. Evolution spatio temporaires de l'ammonium et de ses derivees dans le lac et ses affluents durant la période de printemps(2011)	156
Figure 124 . Evolution spatio temporaires de l'ammonium et de ses derivees dans le lac et ses affluents durant la période de d'été (2011).	157
Figure 125. Evolution spatio temporaires de l'ammonium et de ses derivees dans le lac et ses affluents durant la période d'automne (2011).	157
Figure 126. Evolution spatio temporaires de l'ammonium et de ses derivees dans le lac et ses affluents durant la période d'hiver (2012)	157
Figure 127. Cycle naturel de l'azote	158
Figure 128. La Relation entre l'Eh et l'Oxygene dessous dans le lac et ses affluents durant la période d'été (2011)	159
Figure 129. Carte d'indice de pollution organique(IPO) des eaux du lac Mellah et de ses affluents pendant la période des basses eaux (Année 2011)	162
Figure 130. Carte d'indice de pollution organique(IPO) des eaux du lac Mellah et de ses affluents pendant la période des hautes eaux (Année 2012)	163
Figure 131. Evolution spatiotemporelle de l'IPO des eaux de la STEP d'EL Gantra El Hamra	164

(2011/2012)	
Figure 132. Evolution spatiotemporelle de l'IPO des eaux de Oued El Rguibe t(2011/2012)	164
Figure 133. Evolution spatiotemporelle de l'IPO des eaux de Oued de Mellah (2011/2012)	165
Figure 134. Evolution spatiotemporelle de l'IPO des eaux de Oued d' El Aroug(2011/2012)	165
Figure 135. Evolution spatiotemporelle de l'IPO des eaux de Oued de Boumalek(2011/2012)	165
Figure 136 . Carte d'indice de la qualité microbiologique des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)	169
Figure 137. Carte d'indice de qualité bactériologique des eaux de la zone d'étude pendant la période des hautes eaux (Hiver 2012)	171
Figure 138. Carte d'indice de qualité bactériologique des eaux de la zone d'étude pendant la période des basses eaux (Printemps 2011).	172
Figure 139. La projection des variables sur le plan factoriel (1x2) (Période des basses eaux).	175
Figure 140. La projection des individus sur le plan factoriel (1x2) (Période des basses eaux)	176
Figure 141. La projection des variables et des individus sur le plan factoriel (1x2) (Période des basses eaux)	176
Figure 142. La projection des variables sur le plan factoriel (1x2) dans la période des hautes eaux	178
Figure 143. La projection des individus sur le plan factoriel (1x2) dans la période des hautes eaux	179
Figure 144. La projection des variables et des individus sur le plan factoriel (1x2) dans la période des hautes eaux	179
Figure 145. Comportement des microorganismes en fonction de la salinité et ou la conductivité dans deux périodes (basses et hautes eaux 2011 /2012)	181
Figure 146. Comportement des microorganismes en fonction de la température dans deux périodes (basses et hautes eaux 2011 /2012)	182
Figure 147. Comportement des microorganismes en fonction du potentiel hydrogène (pH) dans deux périodes (basses et hautes eaux)	184
Figure 148. Comportement des microorganismes en fonction le potentiel d'oxydoréduction dans deux périodes (basses et hautes eaux)	185
Figure 149. Evolution spatiotemporelle du rapport (Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux)	188
Figure 150. Carte du rapport de l'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude selon le rapport de Bourgeois pendant la période des hautes eaux	189
Figure 151. Carte du rapport de l'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude selon le rapport de Bourgeois pendant la période des basses eaux	190

Liste des tableaux

<i>Liste des Tableaux</i>	<i>Page</i>
Tableau 1. Caractéristiques et indice de forme	11
Tableau 2. Classes des pentes et superficie du sous-bassin versant	12
Tableau 3. Répartition de la population dans le sous-bassin versant du lac Mellah	25
Tableau 4. Présentation des stations retenues dans l'étude	31
Tableau 5. Résultats d'homogénéisation des données pluviométriques annuel	40
Tableau 6. Résultats du quotient pluviométrique d'Emberger dans les quatre stations étudiées	52
Tableau 7. Indice annuel d'aridité	54
Tableau 8. Aridité mensuel de Station d'El kala	55
Tableau 9. Aridité mensuel de Station d'Ain El Assel	55
Tableau 10. Aridité mensuel de Station de Ben M'hidi	55
Tableau 11. Aridité mensuel de Station des salines	55
Tableau12. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station d'El Kala	59
Tableau13. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station d'Ain El-Assel	61
Tableau14. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station des Ben M'hidi	63
Tableau15. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station des salines	65
Tableau16. Ruissellement des eaux « R » obtenus dans les stations	68
Tableau 17. Les résultats de l'infiltration « I » obtenus dans les stations	69
Tableau18. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Gumbel	74
Tableau19. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Galton (log normale)	75
Tableau 20. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Gauss (normal)	76
Tableau21. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Pearson II	77
Tableau22. Les précipitations des différentes fréquences par la loi de Gumbel	78
Tableau23. Tableau 23. Les paramètres moyens annuels du climat (1975 -2009)	80
Tableau 24. Triangle de corrélation	81
Tableau25. Coordonnées des stations de mesures des débits	85
Tableau26. Apports moyens des Oueds dans les deux périodes d'étude (Haute et basse eau)	90
Tableau 27. Apports moyens annuels des principaux Oueds de la région d'étude (2011/2012)	91
Tableau 28. Les différentes stations de prélèvement avec dénomination et coordonnées	94

Tableau 29. Grille de la qualité (IPO)	107
Tableau 30. Grille de la qualité (IQM)	107
Tableau 31. Dominance des éléments pour chaque source : lac Mellah, Oueds et la STEP	128
Tableau 32. Classement selon le SAR	130
Tableau 33. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR	130
Tableau 34. Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Riverside	134
Tableau 35. Résultats de paramètres globaux de la pollution des eaux usées brutes et épurées (Janvier - Décembre 2009)	139
Tableau 36. Classe de pollution organique des eaux de STEP et du lac mellah (2004/2009)	147
Tableau 37. Matrice de corrélation des paramètres physico-chimique	150
Tableau 38. Indice de pollution organique durant la période des basses eaux	160
Tableau 39. Indice de pollution organique durant la période des hautes eaux	161
Tableau 40. Indice de contamination microbiologique (IQM) durant l'année (2011/2012)	169
Tableau 41. Variation saisonnière des Indice de contamination microbiologique (IQM)	170
Tableau 42. Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques (Période des basses eaux)	174
Tableau 43. Répartition de l'inertie entre les deux axes (F1x F2) dans la période des basses eaux	174
Tableau 44. Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des échantillons dans la période des hautes eaux	177
Tableau 45. Répartition de l'inertie entre les deux axes (F1x F2) dans la période des hautes eaux	178
Tableau 46. Origine de la pollution selon le rapport de Bourgeois (1980)	187
Tableau 47. Données de base pour l'estimation de nombre d'habitants futur	194
Tableau 48. Évolution de nombre d'habitants de Bassin versant du lac Mellah	195
Tableau 49. Valeur de la dotation pour P>5000	196
Tableau 50. Les besoins des équipements	196
Tableau 51. Tableau récapitule des débits moyens des eaux potables à l'horizon (Année 2040)	197
Tableau 52. Tableau récapitule des différents débits des eaux usées de la zone d'étude à l'horizon de l'année 2040	199

Sommaire

SOMMAIRE		<i>Page</i>
<i>Résumé</i>		
<i>Abstract</i>		
<i>ملخص</i>		
<i>Liste des figures</i>		
<i>Liste des tableaux</i>		
<i>Sommaire</i>		
<i>Avant-propos</i>		
<i>Introduction générale.....</i>		<i>1</i>
<i>Première partie : Cadre général de la zone d'étude</i>		
<i>Chapitre I .État actuel du Lac Mellah et de son bassin versant</i>		
I. Introduction		5
II. Situation de la zone d'étude.....		5
II.1. Situation administrative		5
II.1.1. Présentation de la commune de la zone d'étude		5
II.1.2. Parc National d'El Kala (PNEK)		6
II.2. Situation géographique		7
II.3. Situation naturelle		8
III. Caractéristique naturelle du lac Mellah et son bassin versant		9
III.1. Analyse morfo métrique et hydrographique du bassin versant du lac Mellah		9
III.1.1. Géomorphologie		9
III.1.2. Topographie		12
III.1.3. Cadre Géologique		13
III.1.4. Caractéristique hydrologie		15
III.1.5. Pédologie		17
III.1.6. Occupation du sol		17
IV. Caractéristiques physiques du lac Mellah.....		18
IV.1. Bathymétrie		18
IV.2. Géomorphologie et Géologie.....		19

IV.3. Caractéristiques hydrologiques	20
IV.3.1. Courants.....	21
IV.3.2. Phénomène de marées	21
IV.3.3. Houles	22
IV.4. Caractéristiques écologiques	22
IV.4.1. Flore remarquable	22
IV.4.2. Faune remarquable	23
IV.5. Valeurs sociales et culturelles.....	24
V. Potentialités humaines et économiques	24
V.1. Population du bassin versant du lac Mellah	24
V.2. Les activités	25
V.2.1. L'agriculture	25
V.2.2. Élevage et pastoralisme.....	26
V.2.3. Pêche	27
V.2.4. Tourisme.....	27
VI .Conclusion	28
<i>Chapitre II. Hydroclimatologie de la région d'étude</i>	
I. Introduction	30
II. Analyse et correction des données pluviométriques	30
II.1. Caractéristiques des stations pluviométriques	30
II.2. Critiques et homogénéisation des données pluviométriques	33
II.2.1. Correction de la pluviométrie mensuelle	33
II.2.2. Contrôle des totaux annuels des précipitations.....	34
II.2.2.1. Homogénéité des totaux annuels des précipitations par la méthode des doubles cumuls (avant la correction).....	34
II.2.2.2. Homogénéité des totaux annuels des précipitations par la méthode des doubles cumuls (Après la correction).....	35
II.2. Analyse et traitement des données pluviométrique.....	41
III. Analyses des facteurs climatiques	45
III.1. Température	46
III.2. Le vent	48
III.3. L'humidité	50

III.4. Climagramme de Louis Emberger	52
III.5. Caractéristiques climatiques d'aridité.....	53
IV. Calcul le bilan hydrologique	56
IV.1. Evapotranspiration.....	56
IV.1.1.Evapotranspiration Potentielle (ETP)	57
IV.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR)	57
IV.2. Etablissement du bilan d'eau dans les quatre stations pluviométriques par la méthode de C.W.Thornthwait	58
IV.3. Estimation du ruissellement	67
IV.4. Estimation de l'infiltration	68
V. Conclusion.....	69
<i>Chapitre III. Hydrologie de la région d'étude</i>	
I. Introduction	71
II. Etude les caractères généraux des précipitations	71
II.1. Le risque d'inondation dans la région d'El Tarf	71
II.2. Les zones inondables dans le bassin versant du lac Mellah.....	73
II.3. Fréquence des pluies maximales journalières	73
II.3.1.Ajustement des pluies maximales journalières par le logiciel « Hyfran ».....	74
II.3.2. Intensité des pluies maximales journalières	78
III. Traitement des données des paramètres hydrologiques	79
III.1. Analyse multivariée des données climatologiques (ACP)	79
III.2. Triangle de corrélation	80
III.3. Distribution et variabilité spatiale des données des stations étudiées.....	82
III.4. Classification hiérarchique.....	84
IV. Estimation des débits des affluents du bassin versant du lac Mellah	85
IV.1.Choix des stations de mesures des débits.....	85
IV.2. Méthode d'estimation des débits	86
IV.3. Mesures des débits des écoulements de surface.	90
IV.4. Evolution spatiotemporelle des débits en fonction des précipitations	91
V. Conclusion	92

<i>Deuxième partie : Matériel et Méthode</i>	
<i>Chapitre IV. Protocole expérimental et méthodologie de traitement des données</i>	
I. Introduction	93
II. Mode d'échantillonnage	93
II.1. Choix de station de prélèvement et carte d'inventaire	93
II.2. Période d'échantillonnage.....	95
III. Techniques expérimentales	96
III.1. Lieu d'analyse des échantillons.....	96
III.2. Détermination des paramètres physico-chimiques des eaux	96
III.2.1. Paramètres in situ	96
III.2.2. Paramètres au laboratoire	98
III.2.2.1. Les sels (Anions et cations)	98
III.2.2.2. Les matières organiques	99
III.2.2.3. Détermination des paramètres microbiologiques des eaux.....	102
III.2.2.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux, coliformes thermo tolérants	102
III.2.2.3.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.....	103
IV. Méthode de traitement des données	104
IV.1. Analyses statistique par le logiciel XL Stat.....	105
IV.2. Traitement des données par le logiciel Surfer 9	105
IV.3. Traitement des données par le logiciel diagramme.....	106
IV.4. Traitement des données par la méthode de l'indice de pollution organique (IPO) ...	106
IV.5. Traitement des données par la méthode de la qualité microbiologique (IQM).....	107
IV.6. Diagramme ammonium – nitrate	108
V. Conclusion	108
<i>Troisième partie : Résultats et Interprétation</i>	
<i>Chapitre V. Caractérisation hydrochimique des eaux du lac Mellah et de ses affluents</i>	
I. Introduction	109
II. caractérisations physico-chimiques et microbiologiques des eaux de la région d'étude avec les normes.....	109

.	
II.1. La réglementation des normes des eaux.....	109
II.1.1. Les normes de qualité des eaux de surface	109
II.1.2. Les normes de qualité des eaux piscicoles.....	109
II.1.3. Les normes européenne de la qualité microbiologique des eaux	110
II.2. Variabilité spatiotemporelle des paramètres physiques	111
II.2.1. Les valeurs du pH	111
II.2.2. Température	112
II.2.3. L'oxygène dissous	113
II.2.4. Turbidité	114
II.2.5. Conductivité électrique	114
II.3. Variabilité spatiotemporelle des teneurs des paramètres physico-chimiques.....	115
II.3.1. Matières en suspension (MES).....	115
II.3.2. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO ₅).....	115
II.3.3. Composés azotés (NO ₂ ⁻ , NH ₄)	116
II.4. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des paramètres microbiologiques	118
II.4.1. Coliformes totaux	118
II.4.2. Coliformes fécaux	118
II.4.3. Streptocoques fécaux	119
III. Evolution du potentiel redox en fonction du potentiel d'hydrogène (pH et Eh)	120
IV. Facies chimique des eaux de la zone d'étude.....	122
IV .1. Représentation graphique du facies chimique des eaux par le diagramme de Piper..	123
IV .2. Représentation graphique par le diagramme de Schoeller Berkloff	125
V. Évaluation de la qualité des eaux des affluents du lac Mellah pour l'utilisation dans l'agriculture	129
V.1. Etat de la qualité des eaux des affluents du lac Mellah en vue d'un usage agricole....	129
V.1.1. Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de Riverside.....	129
V.1.2. Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de Wilcox	132
V.2. Evolution temporelle de la qualité des eaux pour l'irrigation	134
VI. Conclusion.....	134

*Chapitre VI. Etude de la pollution organique des eaux du lac Mellah
et de ses affluents*

I.1. Introduction.....	136
II. Altération de la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents.....	136
II.1. Différents origines de la pollution des eaux du lac Mellah.....	136
II.1.1. Origine anthropique.....	136
II.1.2. Origine naturelle	137
II.2. Effets de la pollution	137
III. Etude de l'impact des rejets de station d'épuration sur la qualité des eaux du lac Mellah	138
III.1 .Statistiques descriptives	138
III.2. Evolution de la pollution organique en fonction du volume d'eau à l'entrée de la STEP	139
III.2.1. Volume d'eau entrant.....	139
III.2.2. Evolution de la pollution organique en fonction du volume d'eau	140
III.2.3. La biodégradabilité de la matière organique.....	140
III. 3. Evaluation de la performance épuratoire de la STEP (Rendement)	141
III.3.1. Température	142
III.3.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	142
III.3.3. Matières en suspension (MES)	143
III.3.4. Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	144
III.3.5. Demande chimique en oxygène (DCO)	144
III.3.6. Nitrite (NO ₂)	145
III.3.7. Nitrate (NO ₃)	146
III.4. Evolution de l'indice de pollution organique au droit de rejet de la STEP	146
III.4.1. Calcul de l'indice de pollution Organique (IPO, Leclercq&Maquet, 1987).....	146
III.4.2. Evolution spatiotemporelle de l'indice de la pollution organique au droit du rejet de la STEP.....	147
IV. Etat de la pollution des eaux du lac Mellah et de ses affluents	148
IV.1. Analyse statistique des données hydro-chimiques des eaux de la région d'étude	148
IV.1.1. Méthode de traitement des données hydro-chimiques	148
IV.1.2. Analyse en composante principale des eaux de la région d'étude	149
IV.1.2.1. Matrice de corrélation.....	149

IV.1.2.2. Projection des paramètres hydrochimiques sur le plan factoriel (F1, F2).....	151
IV.1.2.3. Projection des stations sur le plan factoriel (F1, F2).....	153
IV.1.3. Classification hiérarchique des paramètres hydrochimiques des eaux de la zone d'étude.....	155
IV.2. Diagramme ammonium-nitrate	156
IV.3. Comportement de la pollution organique des eaux du lac Mellah et de ses affluents entre les hautes et les basses eaux	159
IV.3.1. Calcul de l'indice de pollution organique (IPO, Leclercq&Maquet, 1987)	159
IV.3.2. Etablissement des cartes de pollution organique (IPO)	161
IV.4. Evolution spatiotemporelle de la pollution durant la période des hautes et des basses eaux.....	164
V. Conclusion	166
<i>Chapitre VII. Etude de la pollution microbiologique des eaux du lac Mellah et de ses affluents</i>	
I. Introduction	168
II. Evaluation de la pollution microbiologique des eaux de la zone du lac Mellah.....	168
II .1. Indice de qualité microbiologique(IQM).....	168
II.2. Evolution saisonnière de la contamination microbiologique.....	170
III. Etude de l'influence du paramètre physico-chimique sur l'abondance microbienne dans le lac et son environnement.....	173
III.1. Méthode de traitement de l'influence des paramètres physico-chimiques sur l'abondance microbienne.....	173
III.2. Influence des paramètres environnementaux sur l'abondance microbienne.....	174
III.2.1. Influence des paramètres physico-chimiques sur l'abondance microbiologique Dans la période des basses eaux	174
III.2.2. Influence des paramètres physico-chimiques sur l'abondance microbiologique dans la période des hautes eaux	177
III.3.Comportement des microorganismes en fonction des paramètres environnementaux...	180
III.3.1. Comportement des microorganismes en fonction de la salinité et la conductivité.	180
III.3.2.Comportement des microorganismes en fonction de la température.....	182
III.3.3.Comportement des microorganismes en fonction du potentiel hydrogène (pH).....	183
III.3.4. Comportement des microorganismes en fonction le potentiel d'oxydoréduction....	184

IV. Origine de la pollution microbienne des eaux de la zone d'étude	186
IV.1. Origine de la pollution selon le rapport de Bourgeois (1980)	186
IV.2. Evolution spatiotemporelle du rapport Bourgeois	188
IV.3. Cartographie de l'origine de la pollution microbienne	188
IV.3.1. Représentation graphique de l'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude dans la période des hautes eaux ...	189
IV.3.2. Représentation graphique de l'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude dans la période des basses eaux.....	190
V. Conclusion	191
<i>Quatrième partie : Protection de la qualité des eaux du lac Mellah</i>	
<i>Chapitre VII. Projection et dimensionnement de collecteur d'assainissement</i>	
I. Introduction.....	193
II. Stratégie de l'étude	193
III. Evaluation des débits des eaux usées	194
III.1. Projection de développement des villes.....	194
III.2. Evaluation des débits moyens des eaux potables	195
III.2.1. La dotation.....	195
III.2.2. Besoins domestiques.....	195
III.2.3. Besoins des équipements.....	196
III.3. Évolution des débits des eaux usées.....	198
IV. Détermination des débits des collecteurs principaux (Unitaire)	199
IV.1. Proposition d'un collecteur principal (A)	199
IV.2. Proposition d'un collecteur principal (B)	200
V. Conditions d'écoulement et de dimensionnement du réseau.....	201
V.1. Dimensionnement de collecteur d'assainissement projeté.....	201
V.2. Proposition des équipements des deux collecteurs (A et B)	206
VI. Conclusion	206
<i>Conclusion générale</i>	208
<i>Référence bibliographie</i>	
<i>Annexes</i>	

Avant-propos

❖ **Problématique**

Les eaux usées urbaines sont souvent rejetées dans la nature sans prétraitement. Le milieu récepteur devient alors pollué et pose des problèmes à la vie aquatique. Tel est le cas du Lac Mellah d'El Kala, où les eaux domestiques sont rejetées directement dans le lac ou dans ses affluents par les effluents domestiques des localités avoisinantes. Le lac Mellah est menacé de disparition. Il fait partie des zones humides les plus connues du Nord-est algérien avec une superficie de 860 ha, le lac Mellah situé à proximité de la ville d'El Kala, se présente comme une lagune côtière communiquant avec la mer par un chenal (long de 900 m). Il subit une détérioration de sa qualité par les eaux usées des communes situées aux alentours.

D'une richesse naturelle inestimable par la multitude des espèces végétales et animales, la diversité et la complexité de ses systèmes écologiques (marin, dunaire, lacustre et forestier) le milieu naturel du lac Mellah de la commune d'El-Kala (Nord-Est Algérien) se trouve fortement exposé à différentes formes de pollution à savoir :

- Les eaux usées des populations des agglomérations sont évacuées directement en milieu naturel sans aucun traitement au détriment de l'environnement qu'il est nécessaire le préserver.
- L'augmentation de niveau de pollution marine, faisant baisser sensiblement les ressources halieutiques.
- La pollution d'origine agrosylvopastorale (relatif à l'élevage, à l'agriculture et à la sylviculture), provoquée par l'augmentation des terres agricoles.
- Une croissance démographique et touristique accompagnée d'une action anthropique sur l'ensemble du bassin versant du Mellah.

A cause de ces différents facteurs de pollution le lac Mellah aujourd'hui menacé de disparition par effet de synergie de plusieurs processus, tels que l'atterrissement, l'eutrophisation, la perte d'écosystèmes forestiers et des zones humides, et la dévalorisation des habitats d'espèces typiques et très rares, notamment l'avifaune aquatique. Ce phénomène joue un rôle primordial dans l'équilibre du bilan hydro- biologique de l'écosystème.

❖ Objectifs attendus

Les eaux usées collectées par les communes dans leurs réseaux d'égouts proviennent de deux sources : les habitations et la pluie. Donc nous avons constaté que les eaux usées d'agglomération du bassin versant du lac mellah sont chargées de matière organique, de coliformes, de déchets et de sable. Cette charge polluante détériore considérablement l'état des milieux récepteurs (lacs, oueds...).

Dans le but d'évaluer l'influence des rejets déversés, polluant les eaux du site étudié, la composition des eaux de surface superficielles des affluents et du lac en hautes et basses eaux, sera étudiée par une étude hydrochimique et microbiologique. Se basant sur des analyses physico-chimiques et microbiologiques, des recommandations (proposition d'un collecteur principale) seront préposées a fin de mieux sauvegarder l'écosystème en protégeant l'aspect quantitatif et qualitatif des eaux du lac Mellah et des eaux de son bassin versant.

❖ Bibliographie

1. Présentation de la recherche

L'introduction de l'étude expose la problématique de la thèse.

Le premier chapitre de la recherche bibliographique présente les conditions générales, l'état des lieux de l'aire d'étude et rassemble de façon non exhaustive la majorité des données existantes.

2. Démarche méthodologique

Pour atteindre les objectifs demandés et confirmer ou infirmer les recherche antérieures, il s'est avéré utile de nous doter de ressources d'informations pertinentes et variées, que nous avons actualisé à partir d'enquêtes et d'observations directes sur le terrain .Notre travail était fondé sur trois principales étapes, à savoir: la recherche bibliographique, la prospection de terrain, et le traitement des données récoltées.

- ***Recherche bibliographique***

Cette étape a été primordiale, elle nous a permis de faire le point sur l'état de la question, avant d'engager le travail sur le terrain.

Il a fallu recenser le maximum d'ouvrages et travaux pertinents exécutés sur le sujet, les consulter puis compiler toutes les informations. Pour cela, il était impératif de consulter le fond documentaire existant au sein des divers organismes scientifiques en Algérie, tels que: l'université de Annaba, le PNEK, l'ANRH, la SEAT, la DHW, la DSA, la chambre d'agriculture, la conservation des forêts, sans pour autant négliger les recherches par Internet.

- ***Prospection du terrain et observation directe***

Cette approche concerne les outils et les moyens mis en œuvre pour aborder le travail de terrain. Nous avons pris soin de compléter les informations à travers la prospection du terrain, l'observation directe et les enquêtes.

Notre étude a eu pour cadre global le lac Mellah et son bassin versant, la base des données théoriques recueillies sur l'état de milieu et l'alimentation en eau potables et les rejets urbains de la zone d'étude.

- ***Procédure d'enquête***

L'enquête s'est faite au niveau des villages d'El-Kala , d'El Gantra El-Hamra ,de Boumalek, de Souk El Reguibet ,d'El Melha et d'El Gmihet , essentiellement portée sur l'identification du mode de *vie* de cette population riveraine de la zone périphérique du lac, la ressources et l'alimentation en eau potable de la région et les rejets des eaux usées.

3. Analyse des données

Pour analyser les informations recueillies, nous avons établi une grille d'analyse, pour laquelle nous avons élaboré des indicateurs à partir desquels nous analyserons et interpréterons les résultats, par rapport aux objectifs que nous nous sommes fixés, à savoir :

- **In situ:** T°, O₂, pH, Conductivité, ...
- **Laboratoire :** DBO₅, DCO, MES, NO₃, NO₂, PO₄, NH₄, SO₄, Al, Na, Ca, Mg, coliformes totaux, coliformes fécaux

Le traitement des données s'est fait par des méthodes et des logiciels de statistique.

*Introduction
générale*

INTRODUCTION GENERALE

L'eau dans le monde a un impact fondamental sur l'économie, elle est au centre des intérêts stratégiques, elle est indispensable à l'être humain et c'est aussi un élément de production de richesse. Pour qu'un écosystème aquatique puisse se développer de façon équilibrée, il faut que la qualité de l'eau soit bonne. Dans le cas contraire, lorsque les qualités naturelles de l'eau sont dégradées et l'écosystème aquatique perturbé, on parle de pollution de l'eau.

La pollution représente un sérieux problème pour l'environnement à cause des rejets déversés dans les rivières, les eaux usées domestiques non épurées représentent la principale source de pollution organique des eaux. Elles engendrent une dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines.

En Algérie, il existe des sites ornithologiques de très grande qualité, souvent méconnus en Europe, c'est le cas en particulier du parc national d'El-Kala situé au Nord-Est du pays à la frontière avec la Tunisie.

La région d'El Kala est une zone essentiellement rurale où les ressources hydriques sont fortement sollicitées pour des activités agricoles. La dégradation de la qualité des eaux de surface est provoquée par les rejets liquides domestiques et agricoles. La charge de ces rejets est de plus en plus croissante avec le développement socio-économique de la région. La région d'étude, l'une des plus arrosées du pays, est entourée de plans d'eau naturels qui ont la particularité de ne pas s'assécher en été comme c'est généralement le cas partout ailleurs dans le Maghreb. A cet effet, l'étude proposée concerne le bassin versant du lac Mellah. Il fait partie des zones humides les plus connues du Nord-Est Algérien et il est considéré comme l'unique lagune de pays et est classé en 5^{ème} position par rapport aux 14 lagunes Nord-Africaines. Il se présente comme une lagune côtière, communiquant avec la mer par un chenal (long de 900 m).

Le lac Mellah, situé à proximité de la ville d'El Kala. D'une superficie de 860 ha, il est d'une richesse naturelle inestimable caractérisée par la multitude des espèces végétaux et animaux. Le lac Mellah est un lac situé à voisinage d'une agglomération urbaine. Il subit une détérioration de sa qualité par les eaux usées des communes situées aux alentours.

La présente étude vise à évaluer et suivre le niveau de pollution, quatre campagnes spécifiques d'observation et de surveillance des eaux de surface ont été lancées au Mai 2011 à Février 2012. Ces campagnes, qui se poursuivent dans cette période, ont notamment comporté:

- des analyses saisonnières des paramètres physico-chimiques (T°, pH...etc) et des paramètres chimiques (DBO₅, nitrites, nitrates et phosphates...etc).
- des analyses saisonnières bactériologiques des coliformes fécaux, thermo-tolérant et des streptocoques fécaux;
- des mesures des débits des eaux des effluents pendant deux périodes (Basse eau et haute eau)

Dans ces campagnes, 17 sites de prélèvement, choisis en fonction de l'urbanisation du bassin versant du lac Mellah. Les échantillons d'eau ont été pris aux niveaux des oueds (en amont et en aval des agglomérations), ainsi qu'au niveau de la station d'épuration et dans le lac Mellah. En nous basant sur les résultats acquis durant la période de campagne et en nous servant de différents outils statistiques et différentes méthodes pour évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux et déterminer leurs faciès chimique.

Cette étude est une contribution pour déterminer et évaluer les variances spatiales et temporelles des paramètres et de trouver les corrélations qui peuvent exister entre certains paramètres, sites ou sources de pollution. Le traitement des résultats va aussi nous permettre de classer les sites, de sélectionner des paramètres pertinents et indicateurs de sources de pollution. Nous achèverons ce travail en supposant des propositions pour l'implantation d'un plan ou d'un collecteur d'assainissement pour atténuer les risques de pollution des eaux du lac Mellah.

Le présent travail se compose alors de 08 chapitres suivis d'une conclusion générale, des références bibliographiques et des annexes ;

Après l'introduction générale, le travail se compose de quatre parties qui sont les suivantes :

La première partie : Cadre général de la zone d'étude

➤ **Chapitre 1 : État actuel du lac Mellah et de son bassin versant**

Dans ce chapitre nous donnons un aperçu du cadre général de la région d'étude a été développé. Nous avons étudié (présenté) la situation géographique, les caractéristiques naturelles et physiques du lac Mellah et de son bassin versant ainsi que l'aspect socio-économique, le système socio-économique local de l'ensemble de la région d'étude est très peu développé, les atouts dont dispose cette dernière, sont ceux de l'agriculture, l'élevage, la pêche et le tourisme. Ces activités sont également en accroissement et influent sur la qualité des eaux qui rejoignent du lac.

➤ **Chapitre 2 : Hydroclimatologie de la région d'étude**

Le deuxième chapitre traite le climat de la zone. Au cours de ce chapitre nous avons déterminé le bilan hydrologique et quantifié les apports par les précipitations au niveau de quatre stations à partir d'une série d'observation de 35 ans, ce qui a permis de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat Méditerranéen. La zone d'étude est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations élevées et des températures basses, l'autre sèche avec des températures relativement élevées. Une étude détaillée sur la variation des précipitations montre une influence négative sur la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents, particulièrement au cours des années déficitaires.

➤ **Chapitre 3 : Hydrologique de la région d'étude**

Le troisième chapitre est consacré à l'étude hydrologique qui consiste à étudier la quantification des débits au niveau des effluents du lac Mellah et déterminer l'intensité moyenne des précipitations afin de dimensionner un collecteur principal. Nous avons remarqué une variabilité climatique dans la zone d'étude dont les précipitations dépendent de l'environnement géographique. L'impact de la variabilité climatique a une grande influence sur la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents, particulièrement au cours des années excédentaires.

 **La deuxième partie : Matériel et Méthode**

➤ **Chapitre 4 : Protocole expérimental et méthodologie de traitement des données**

Le quatrième chapitre est consacré au mode d'échantillonnage et les techniques expérimentales réalisées durant la période (2011 /2012), des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été effectués sur les eaux du lac Mellah et de ses affluents in situ et aux laboratoires (Centre de santé d'El Tarf, Laboratoire centrale d'Annaba, Université de Constantine). L'étude de la qualité de ces eaux est traitée par différents logiciels statistiques (DIAGRAM, SURFEUR, XLStat) en complément d'un traitement classique.

 **La troisième partie : Résultats et interprétation**

➤ **Chapitre 5 : Caractérisation hydrochimique des eaux du lac Mellah et de ses affluents**

Le cinquième chapitre est animé par des graphiques et figures et il est consacré à l'étude hydrochimique. Dans ce chapitre on a déterminé la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents selon des critères quantitatifs et qualitatifs, identifié leur faciès chimique et

déterminé l'état de la qualité de ces eaux en vue d'un usage agricole pendant la période des hautes et des basses eaux.

➤ **Chapitre 6 : Etude de la pollution organique des eaux du lac Mellah et de ses affluents**

Le sixième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats des analyses physico-chimique des eaux de la zones d'étude par différentes méthodes de traitements (ACP et IPO), cela nous a permet de mettre en évidence une détermination de la charge et la performance de la station d'épuration d'El Gantra El Hamra et l'étude de l'évolution de l'impact de ces rejets sur la qualité des eaux du lac Mellah. L'étude statistique révèle différents type de pollution avec une pollution organique à l'aval de la STEP (rejet à la sortie), une pollution minérale au niveau du lac Mellah et une pollution agricole au niveau des Oueds (affluents). Le chapitre se termine par une cartographie de la pollution en hautes et basses eaux.

➤ **Chapitre 7 : Etude de la pollution microbiologique des eaux du lac Mellah et de ses affluents**

Le septième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats des analyses microbiologiques des eaux de la zones d'étude par des méthodes de traitements statistique et graphiques (ACP , IQM, Surfer 9) , cela nous a permet de mettre en évidence une représentation de classification de la pollution microbiologiques des eaux du lac Mellah et de ses affluents ainsi que d'établir des corrélations entre les facteurs environnementaux avec la pollution bactériologique et de définir ses origines par l'utilisation du rapport de Bourgeois dans la période des hautes eaux et basses eaux.

 **La quatrième partie : Protection des eaux du lac Mellah**

➤ **Chapitre 8 : Projection et dimensionnement de collecteur d'assainissement**

Après une étude détaillée sur l'impact des eaux usées urbaines sur le lac Mellah et sur ses affluents, nous avons lancé un cri d'alarme quant à la qualité des eaux du lac Mellah. La situation pousse l'impétrante à proposer des solutions adéquates pour la protection des eaux à l'amont. Le huitième chapitre est consacré à des recommandations en supposant des propositions pour l'implantation d'un collecteur principale d'assainissement, nous avons procédé au dimensionnement de ce collecteur dans les agglomérations alentours du lac Mellah à l'horizon de l'année 2040, ces propositions pourraient atténuer les risques de pollution de ce système aquatique.

1^{ère} PARTIE

*Cadre général de la zone
d'étude*

Chapitre I

*État actuel du Lac Mellah et
de son bassin versant*

I. Introduction

L'Algérie est riche en zones humides, ces milieux qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Aujourd'hui, nous savons que les zones humides jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et accueillant une flore importante, des poissons et des oiseaux migrateurs. Pourtant, tout comme les forêts tropicales, de nombreuses menaces pesant sur elles, les zones humides sont détruites à un rythme sans précédent (DGF, 2004).

La ville d'El-Kala s'inscrit de l'extrême Est du littoral Algérien, se niche dans un parc national qui contient des espèces faunistiques et floristiques d'une extrême rareté ce qui lui a valu de figurer parmi les zones protégées les plus prestigieuses du bassin Méditerranée. La création du parc marque l'adhésion de l'Algérie à l'action internationale de protection des zones humides.

La présente étude a été réalisée au niveau du Parc National d'El-Kala (PNEK), par du lac Mellah et son bassin versant vu qu'il constitue un patrimoine naturel important par la richesse biologique de ses habitats. Le lac Mellah, la seule lagune littorale existée dans la côte Algérienne, alors qu'elle est comprise dans le zonage actuel du PNEK comme étant une zone de réserve intégrale. Cette dernière est une partie de la mer séparée par un chenal et aménagé pour l'élevage de poissons.

II. Situation de la zone d'étude

II.1. Situation administrative

II.1.1. Présentation de la commune de la zone d'étude

La commune d'El Kala est située géographiquement à l'extrême Est du littoral Algérien, au Nord Est de la wilaya d'El Tarf et à 86 kilomètres d'Annaba sur la route menant à Tunis. S'étalant sur une frange littorale de 56,7 Km et 292 km² de superficie. Elle représente la commune la plus vaste de la wilaya d'El Tarf. Les limites géographiques sont présentées dans la carte suivante (Figure 1).

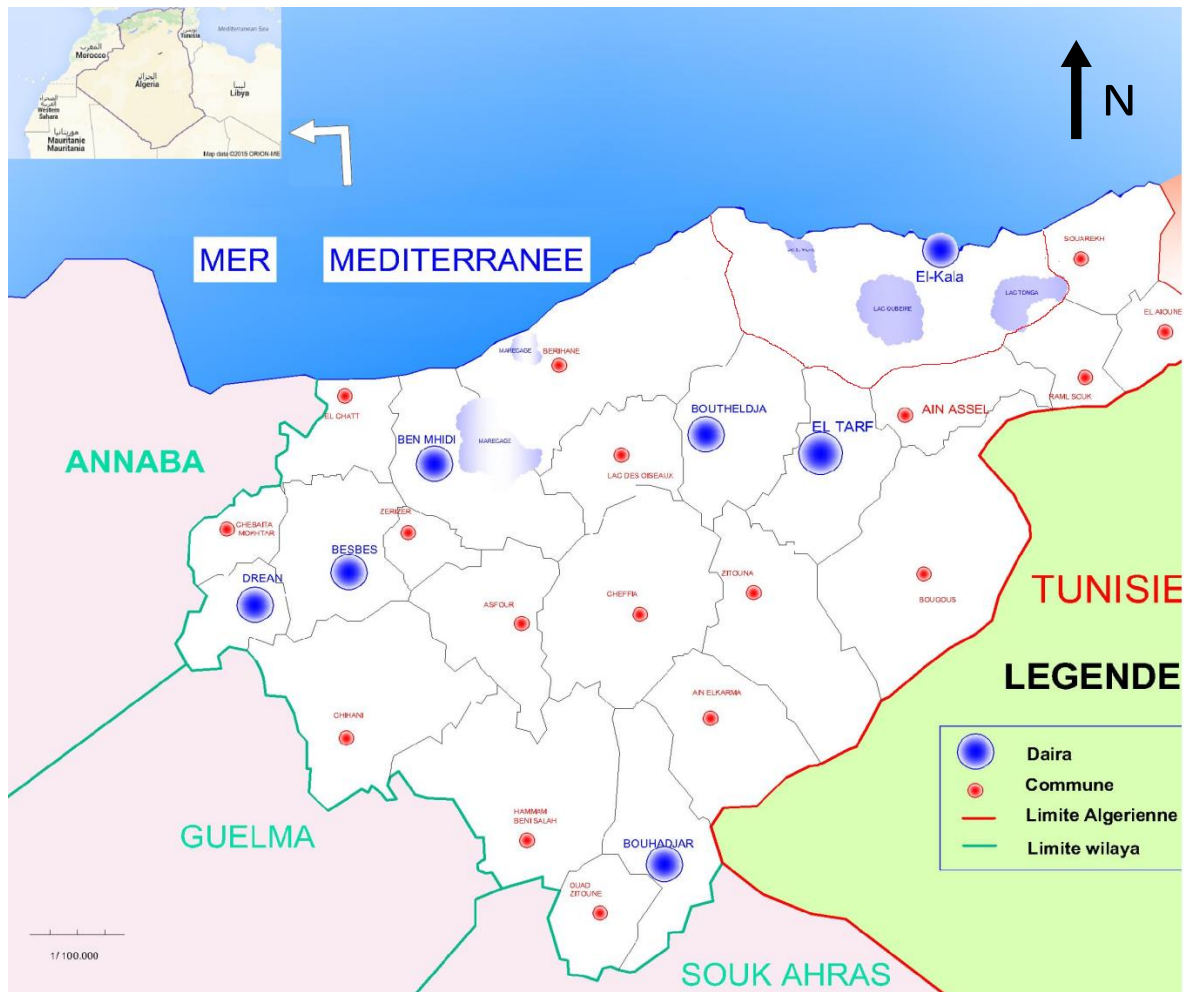


Figure 1. Carte de la situation de la commune d’El-Kala
(Source : DHW d’El Tarf 2015)

II.1.2. Parc National d’El Kala (PNEK)

Le parc national d’El-Kala créé le 23 juillet 1983 a été classé le 17 Décembre 1990 dans la catégorie du patrimoine naturel et culturel international et réserve de la biosphère par L’UNESCO (PRCP ,2015). Le parc national d’El-Kala se situ à l’extrême Nord-Est d’Algérie et est inclus administrativement dans la Wilaya d’El-Tarf et il regroupe 09 communes (El Tarf , El kala , Ain El Assel ,Soarekh, El Aioune, Berrihane , Raml Souk , Bougous , et Boutheldja), d’une superficie d’environ 80 000 ha, il côtoie la mer méditerranéenne au Nord, les monts de la Medjerda (Djebel Ghorra) au Sud, les frontières Algéro-Tunisiennes à l’Est et les plaines d’Annaba à l’Ouest (Figure 2). Le parc d’El Kala, le plus vaste parc national du Nord du pays est constitué d’une mosaïque d’écosystèmes marins, dunaires, lacustres et forestiers. Il constitue l’un des derniers refuges du cerf de Barbarie. L’étude écologique de ces écosystèmes a été amorcée par des inventaires floristiques, entomologiques, ornithologiques, qui ont

progressivement montrés l'originalité de ces milieux et classées certains en site RAMSAR (Samraoui B. et Belair G. ,1998). L'avifaune très remarquable grâce à un complexe de zones humides de notoriété internationale dont 5 inscrits sur la liste Ramsar relative à la convention sur les zones humides à savoir: Messida et Cap Rosa, ainsi que les lacs Oubeira - Mellah et Tonga. Une frange marine riche en corail et en poissons (DGF ,2015).

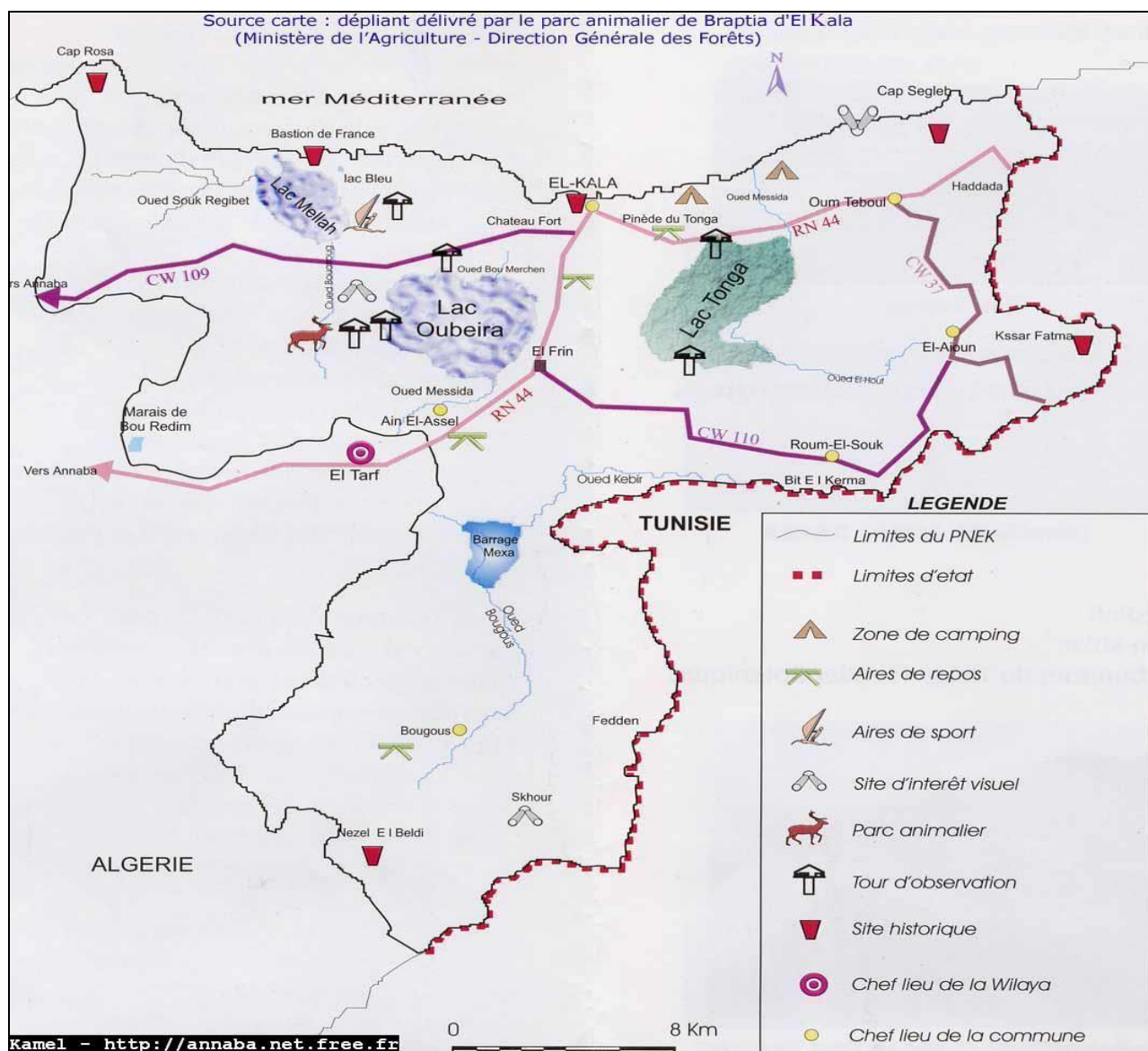


Figure 2. Carte du parc national d'El Kala

(Source :PNEK El Kala)

II.2. Situation géographique

Le lac Mellah est une lagune côtière localisée à 9,5 km à l'Ouest de la ville d'El-Kala et 48,75 km à l'Est de la ville d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 53' 565 Nord – 8° 19' 560 Est (Figure 3). Le lac Mellah, réserve intégrale de 860 ha, est une

ancienne vallée fluviale qui s'est transformée en lagune après avoir été envahie par l'eau marine. C'est l'unique lagune qui existe en Algérie. Son fonctionnement dépend des flux hydriques continentaux, les intrusions d'eau marines au gré du rythme des marées et l'apport local de précipitation (Retima, 1999).

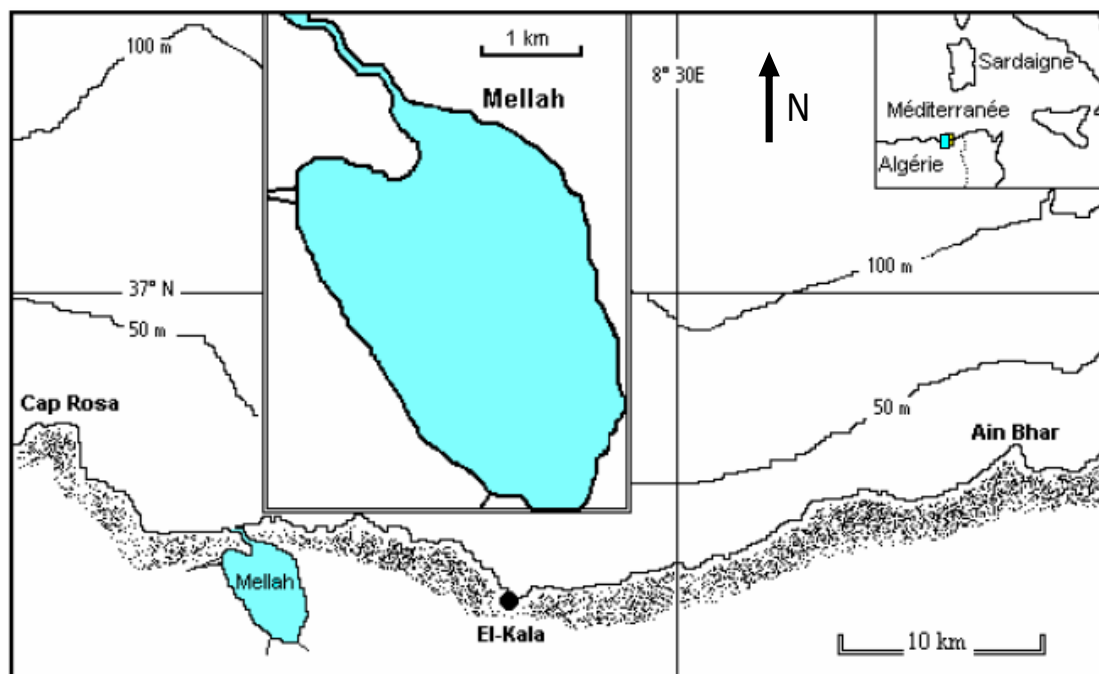


Figure 3. Position géographique du lac Mellah

II.3. Situation naturelle

Le lac mellah et son sous-bassin versant sont entièrement circonscrits dans la commune d'El Kala qui couvre 292 Km² et dont ils représentent un peu moins du quart de la superficie totale, soit près de 82 km².

La cuvette du lac Mellah est bordée au Nord par la mer avec laquelle elle est en communication par le chenal du lac le long de 900 m. Le lac Mellah est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par le parc animalier d'El kala et les forêts du lac et d'Aïn Khia, à l'Est par la forêt du Boumalek et l'agglomération d'El Gantra El Hamara et à l'Ouest, par l'agglomération d'El Melha et Souk Rguibet (Figure.4). Le Mellah est à 10 Km à l'Est de Cap-Rosa et à 15 Km à l'Ouest de la ville d'El Kala. A l'Ouest et au Sud Ouest la cuvette est dominée par un ensemble montagneux qui marque la séparation avec les plaines alluviales de la vallée de l'Oued El Kébir.



Figure 4. Vue satellitaire du système lacustre du lac mellah (www.googleearth 2016)

III. Caractéristique naturelle du lac Mellah et son bassin versant

III.1. Analyse morpho métrique et hydrographique du bassin versant du lac Mellah

III.1.1. Géomorphologie

Le bassin versant du lac Mellah est entièrement circonscrit dans la commune d'El-Kala. Il longe la côte sur 3 km et la plus grande partie de son territoire est montagneux. (MADR ; 2011) Le bassin versant du lac mellah s'étend sur une superficie de 8 250 ha soit 82,5 km². Le plan d'eau, représente un dixième (1/10) de la surface totale (Baba Ahmed, 2008). Il est limité à l'Ouest par de petits chainons montagneux (Kef Karussa 247 m, Djebel El Koursi 329 m, Djebel Bez Zeze 309 m, Kef Fegaia 325 m) ; leurs versants exposés au Nord- Est sont entaillés par une multitude de Talwegs qui donnent naissance a deux des trois principaux Oueds du bassin versant : l'Oued Erriguibet et l'Oued Mellah. La bordure Sud, moins étendue, laisse se faulxer l'Oued Bouarroug entre les reliefs du Rched El Kriane (239 m) et ceux du Djebel El Oubeïra (100 m) qui se prolonge vers le Nord pour former la limite Est du bassin versant avec le Kef Trébiche (256 m) (Boumezbeur, 2005) (Figure 5).

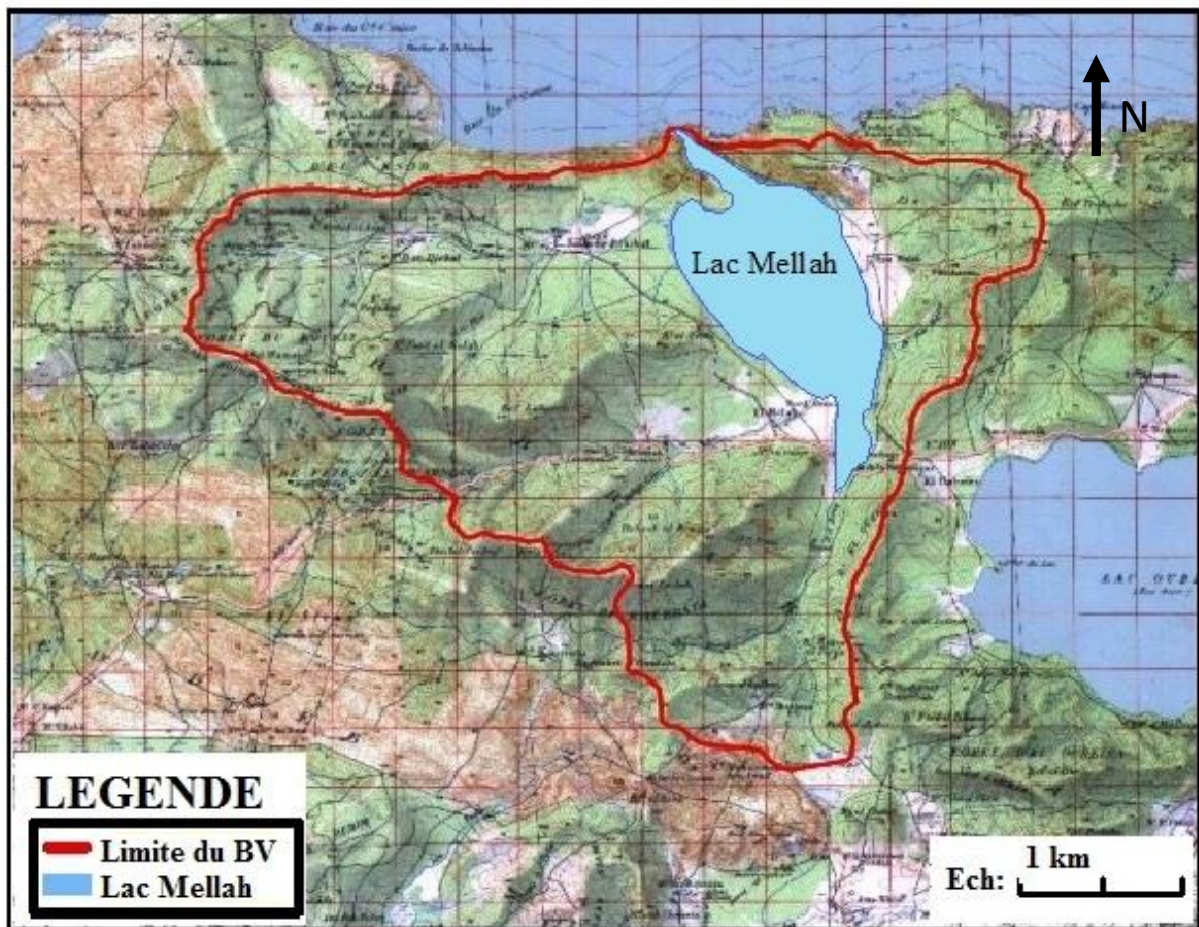


Figure 5. Carte du limite du bassin versant du lac Mellah (Baba Ahmed, 2008)

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et de ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite (ENAC, 2003). Pour le cas du lac Mellah, l'exutoire est constitué par le l'extrémité nord du chenal et celle de ses trois affluents principaux à l'Ouest (El Rguibet ; El Mellah ; El Aroug) et par des petits cours d'eau qui se jettent dans le lac et qui proviennent de la partie Est du bassin représentée par Oued Boumalek et rejet de Station d'épuration du village d'El Gantra et par leurs embouchures au plan d'eau du lac (Figure 6).



Figure 6. Carte du limite du sous bassin versant du lac Mellah (Baba Ahmed, 2008)

La forme du bassin donne une indication sur le comportement des écoulements et des débits en période de crue. L'indice de compacité représente le rapport du périmètre mesuré au périmètre du cercle de même superficie. Il est proche de **1** pour un bassin versant de forme circulaire et supérieur à **1** lorsque le bassin a une forme allongée.

Les mesures et les calculs pour les sous-bassins du lac et de ses affluents on données les résultats suivant :

Tableau 1. Morpho métrique du bassin versant du lac Mellah

Sous bassins	Superficie (Km ²)	Perimetre (Km)	KG	Rectangle équivalent	
				L	l
Lac Mellah	81.45	56.15	1.50	20.07	4.11
Oued Réguibat	25.61	21.59	1.194	7.39	3.40
Oued El Mellah	18.30	19.55	1.159	5.51	3.30
Oued El Aroug	13.53	15.71	1.127	4.11	3.26

Les valeurs trouvées pour le coefficient de Gravellius (KG) indiquent que le bassin versant du Mellah présente une forme allongée avec $KG = 1,5$. Ce qui ne correspond pas tout à fait à la réalité en raison de l'importance l'étendue du plan d'eau. Les valeurs des sous bassins des cours d'eau qui sont, par contre, proche de $KG = 1,1$ ce qui correspond à une forme plutôt arrondie. On peut conclure que l'écoulement des eaux de surface donnera des débits de pointe de crue plutôt forts.

III.1.2.Topographie

Le bassin versant du lac Mellah se décompose en trois zones, celles de l'Oued Reguibet, de l'Oued Mellah et celui de l'Oued El Aroug.

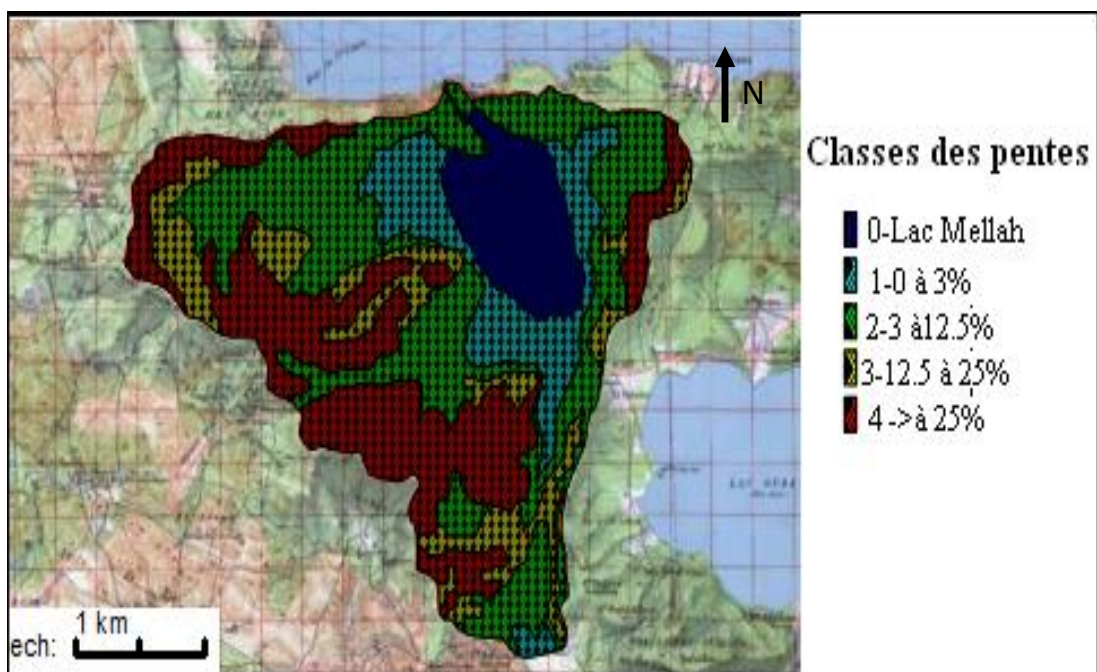


Figure 7. Carte des pentes du bassin versant du lac Mellah (Baba- Ahmed & al. 2004 :Bneder. Expertise hydrologie du BV. Rapport ONDPA/MPRH.).

Quatre classes de pentes ont été identifiées. Les résultats obtenus (voir tableau ci-après) montrent la prédominance des classes de pentes 3 à 12% et celle de plus de 25% avec respectivement 35% et 28% de la totalité des superficies du sous-bassin versant (Figure 7).

Le tableau 2 présente les classes des pentes et superficie du sous-bassin versant :

Tableau 2. Classes des pentes et superficie du sous-bassin versant

Classe des pentes	Superficie (ha)	Pourcentage(%)
0 à 3%	1093	13.07
3 à 12.5%	2904	34.71
12.5 à 25%	1110	13.27
Supérieure à 25%	2391	28.58
Plan d'eau	864	10.37

- La classe 0 – 3% occupe les fonds des vallées des principaux Oueds tels que l’Oued Reguibet, l’Oued Mellah, l’Oued El Aroug, les zones marécageuses et les replats rencontrés sur les hauts et bas versants. Cette classe s’étend sur une superficie de 1093 ha soit 13 % du sous-bassin versant. Les terrains à faible pente sont sujets à la déflation qui s’opère sous l’action éolienne en période sèche.
- La classe 12 – 25% s’étend elle sur une surface de 1110 ha soit un peu plus de 13% de la superficie totale. C’est une classe intermédiaire qui se partagent les formations dunaires littorales et les zones d’affleurement du complexe argilo-gréseux sous jacent. Enfin, la classe hypsométrique des superficies supérieures 25% correspond elle aux affleurements du complexe argilo-gréseux du numidien.

III.1.3. Cadre Géologique

La région d’El-Kala est marquée essentiellement par les deux ensembles structurables formés lors des deux époques : Tertiaire (il y’a 65 millions d’années) et du Quaternaire (il y a 2 millions d’années).

La mise en place de la structure géologique de la région d’étude remonte essentiellement au Tertiaire période d’intense activité tectonique, est représentée par les argiles et les grés de Numidie ainsi que les dépôts de sables, conglomérats, et bancs d’argiles rouges ou grises du Pontien (Marre, 1987).

Cette activité tectonique fut achevée au Quaternaire, au cours duquel les vents et les eaux ont fortement érodé le relief (Marre, 1987) et ont formé des amas dunaires à différents degrés de fossilisation (Joleaud, 1936). Les dépôts d’alluvions et de colluvions sur le pourtour et à l’intérieur des cuvettes et terrasses, ainsi que les limons argileux sableux et argileux des bas-fonds marécageux (ou lacustres), date aussi du Quaternaire (De Belair, 1999) (Figure 8 et 9).

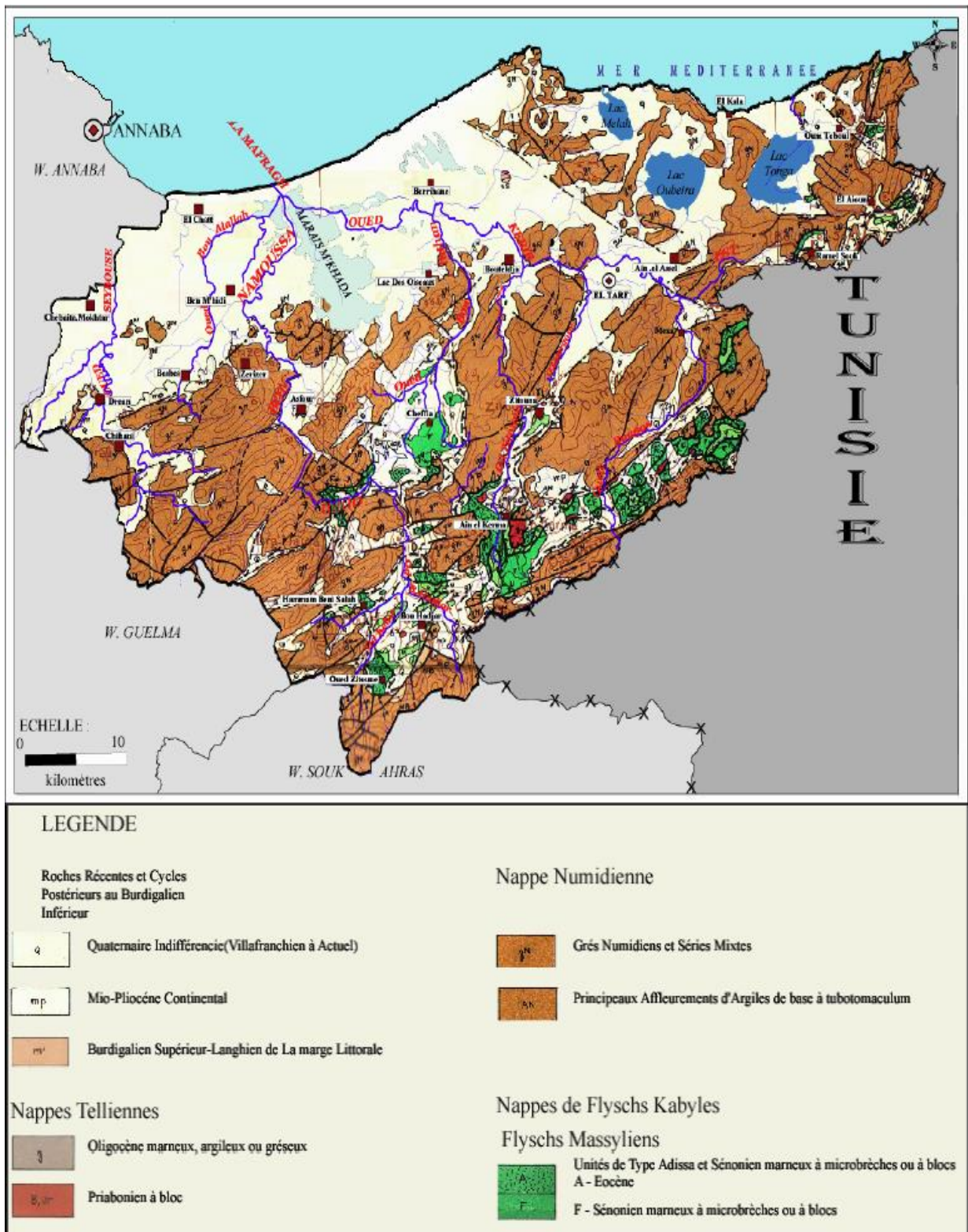


Figure 8. Carte géologique et structurale de la région d'étude (Extrait du J.MVILLA,1980)

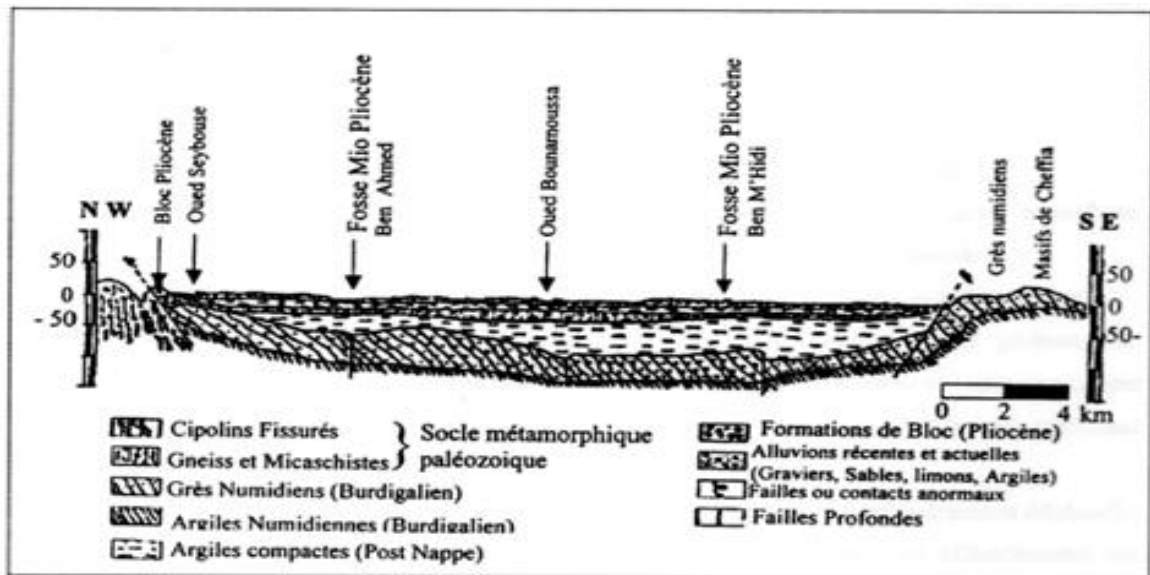


Figure 9. Coupe géologique dans l'extrême Nord-Est Algérien

La formation de la cuvette centrale du Mellah, est pénétrée largement au néo-Pléistocène ancien par la mer, est logiquement antérieure au Pliocène. La vallée d'Oued Reguibet creusée dans le replat des grès correspond à la structure synclinale.

L'Oued El Mellah coule par contre sur les argiles de la structure anticlinale. Les formations tertiaires sous jacentes sont constituées par les argiles et les grès numidiens. Les grès numidiens, superposés aux argiles, affleurent en altitude et forment les pitons rocheux qui se détachent aux sommets des reliefs (Figure 10). (Baba Ahmed, 2008).

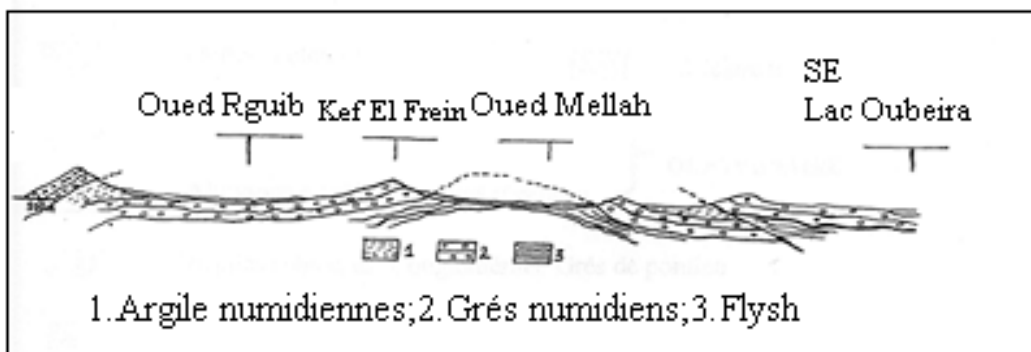


Figure 10. Coupe A à Partie orientale du sous-bassin versant du Mellah.

(D'après Marre 1987)

III.1.4. Caractéristique hydrologie

Le bassin versant avec un périmètre de 56,15 kilomètres couvre une superficie de 81,45 kilomètres carrés (DGF, 2004) par lequel le site reçoit l'eau douce par des précipitations de pluie qui tombe directement sur le plan d'eau et par les eaux de surface de son sous-bassin versant drainées par l'Oued Reguibet au Nord-Ouest, l'Oued Mellah au Sud Ouest, l'Oued El Aroug

au Sud , la mer au Nord et finalement par des petits cours d'eau qui se jettent dans le lac et qui proviennent de la partie Est du bassin représentée par Oued Boumalek au Nord-Est et rejet de STEP du village d'El Gantra El Hamra au Nord-Ouest (Figure.11). Le régime hydrologique du Mellah est influencé par les mouvements de l'eau marine pénétrant par le chenal et les apports directs d'eau douce lors des pluies et, enfin, les eaux charriées par les Oueds. L'essentiel des ces eaux qui se jettent dans le lac proviennent de la partie Ouest du bassin qui est la plus étendue et la plus montagneuse. Le chevelu hydrographique, très lâche, est l'accumulation des sédiments. Il constitué de 4 ordres de cours d'eau, avec au total une longueur de réseau d'environ 94,89 km (Messerer, 1999). Le site se caractérise par une diversité de situations hydrologiques, le gradient de salinité lui confère une grande richesse halieutique et limnologique. L'altitude du site étant au niveau de la mer, le chenal, en évacuant à son niveau moyen le trop-plein d'eau douce, lui permet d'avoir un bilan positif. A l'inverse, la réduction des précipitations et l'augmentation de l'évaporation ont tendance à diminuer le niveau moyen du lac, d'où une compensation du volume général par un apport d'eau marine par le biais du chenal. Ce bilan négatif provoque un courant lent prenant naissance dans la baie du chenal (DGF, 2004).

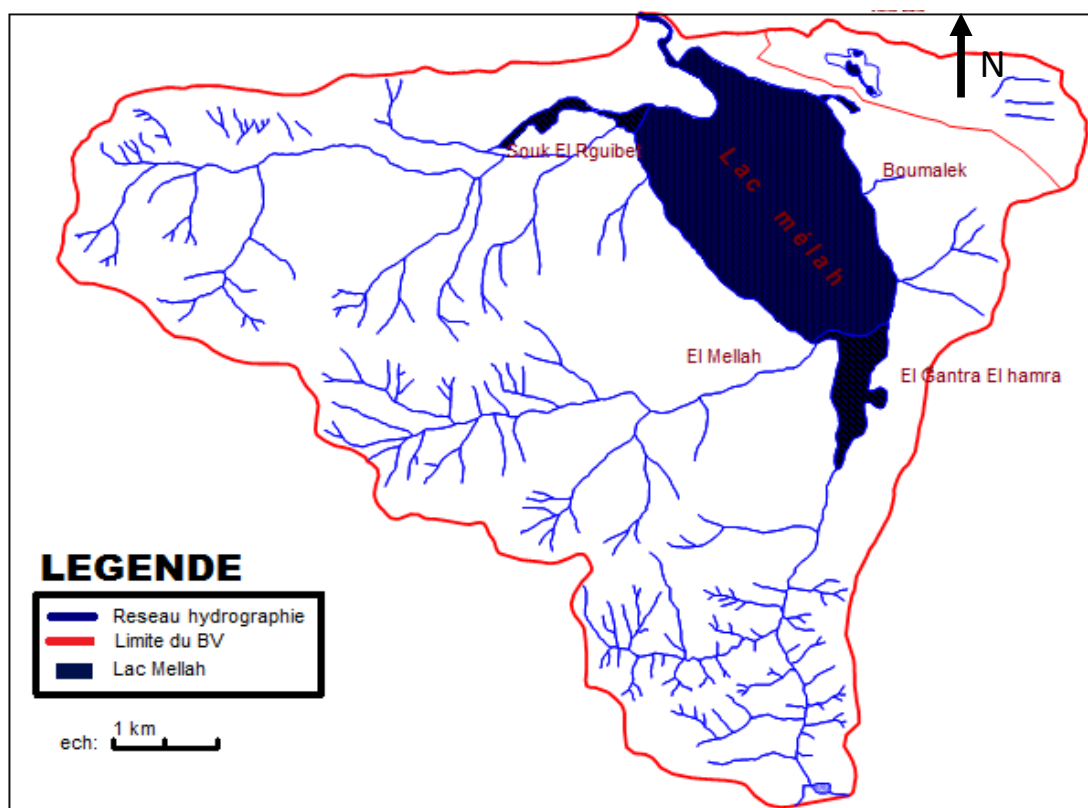


Figure 11. Carte de réseau hydrographique du bassin versant du lac Mellah
(Baba Ahmed, 2008)

III.1.5. Pédologie

Il n'existe que très peu de données sur les sols de la région du Mellah. Les études pédologiques exécutées par la Scandia-Consult dans le bassin du lac Mellah étaient en réalité des sondages destinés à évaluer l'importance des stocks d'eau pour alimenter l'usine de papier projetée à proximité (Thomas, 1975). Cependant, on a observé que les sols de la zone d'étude sont à dominance sableux associés par des endroits de limons et d'argiles. L'examen granulométrique a mis en évidence une diminution de la taille des grains à mesure que l'on s'éloigne de la mer et que les sols de la région d'étude sont formés aux 2/3 de sables grossiers pour 1/3 de sables fins et avec parfois une infime fraction de limon ou d'argile (Baba Ahmed, 2008). Le pH est légèrement acide, les profils sont à dominance de sables fins associés à des limons grossiers ou à des argiles, parfois aussi à des limons fins. Les sables grossiers sont très peu représentés au niveau des profils. De manière générale, la texture est sablonneuse à sablono-limoneuse. L'étude du sol des Aulnaies du Mellah montre que l'acidité du milieu ainsi que sa richesse en matière organique mettent en valeur l'existence de trois types de tourbes, mésique, fibrique et humique (DGF, 2004). Aussi, d'après l'étude qui a été faite par (Zaidi et al, 1983) sur les analyses granulométrique montre que notre région est constituée de deux perméabilités donc de 2 aquifères :

- Un aquifère sableux de perméabilité assez grande de 34.10^{-5} - 57.10^{-5} cm/s .Ces valeurs de perméabilités sont peut être assez faible par rapport a la perméabilité des sables, cela est due a l'étoilement des gammes des diamètres des grains (0.05-1.6mm de diamètre).
- L'autre aquifère est formé de sable limoneux, vaseux de perméabilité faible de 38.10^{-6} - 3.10^{-5} caractéristique d'un aquifère semi perméable .Ainsi la gamme des diamètres des grains est large (de 0.05-2.5 cm).

III.1.6. Occupation du sol

L'examen de la carte d'occupation des sols montre que la couverture végétale naturelle est dominante et égale à 6533 ha, ce qui représente 78 % de la superficie du bassin versant du lac Mellah. Cependant celle-ci n'est pas homogène et la forêt essentiellement constituée par des peuplements de chênes-lièges est dégradée par les incendies successifs. Le défrichement atteint 18% de la superficie du bassin versant .Les terres agricoles, qui totalisent 734 hectares (Figure.12), occupent quant à elles 9 % du bassin versant, le reste étant considéré comme des zones d'habitations et jardins (Baba Ahmed, 2008).

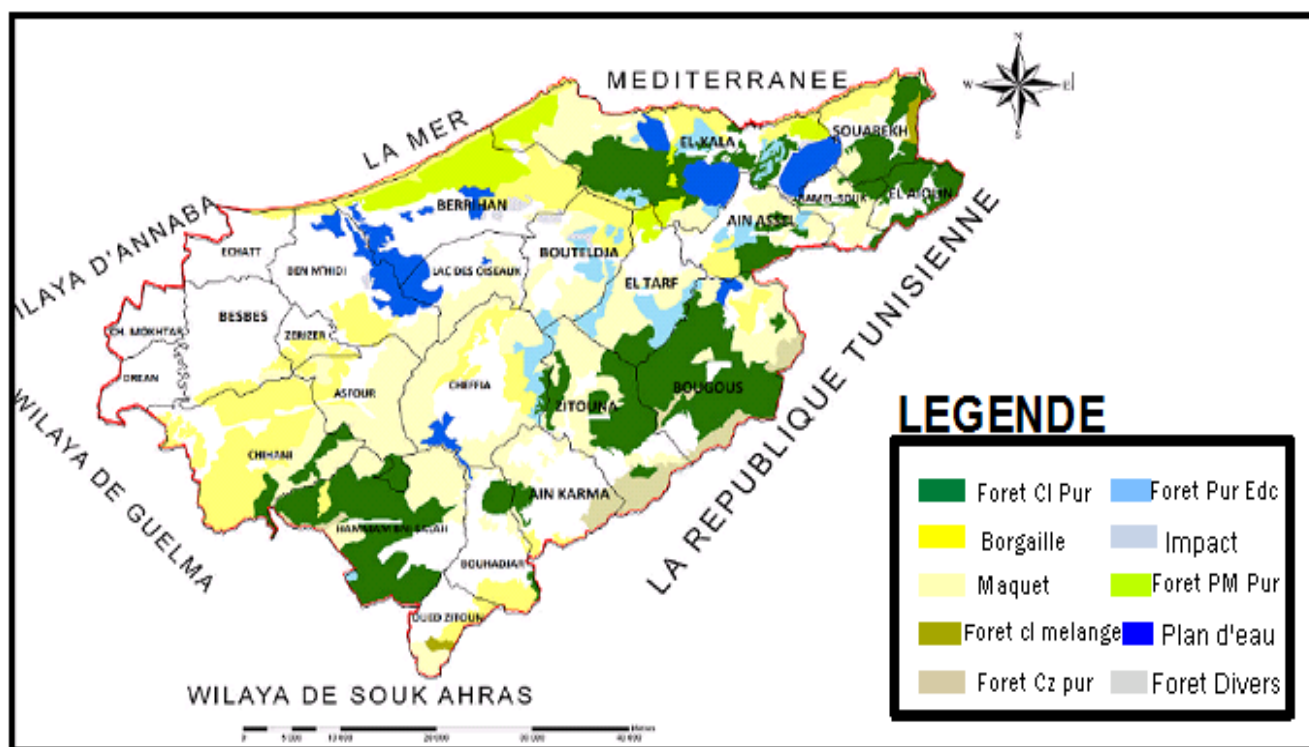


Figure 12. Carte d’occupation des sols de la wilaya d’El Tarf

(Source : Direction des forêts 2010).

IV. Caractéristiques physiques du lac Mellah

Le Mellah, site de gagnage et de remise, est important pour la sauvagine qui l’exploite. Il se caractérise par une diversité de situations hydrologiques qui lui confère une grande richesse halieutique et limnologique. Sa richesse piscicole permet le maintien de quelques couples de balbuzards pêcheurs qui nichent sur les falaises des côtes avoisinantes (DGF, 2004).

IV.1. Bathymétrie

Cette étendue d’eau saumâtre est d’une forme grossièrement ovoïde, tendant à s’allonger du Nord-Ouest au Sud-Est. Avec une superficie globale d’environ 860 hectares, elle s’étend sur 4,5 Km du Nord au Sud et 2,5 Km d’Est en Ouest. Dans la région Nord-Est de la lagune, on remarque un cordon dunaire s’élevant jusqu’à plus de 177 m, orienté du Nord-Ouest au Sud-Est (Thomas et al, 1973). La profondeur de la lagune varie suivant les différents secteurs ; à l’Ouest de l’étendue les fonds sont en pente assez marquée et la profondeur croit rapidement vers le centre jusqu’à moins de 6 m. Dans la partie Est sur près de 500 m la profondeur maximale est de 2 m, au-delà existe une rupture de pente jusqu’à une profondeur à un peu plus de 5 m (figure13) (Guelorget et al. 1982). La lagune est caractérisée par deux plateaux peu profonds (< 2 m),

correspondant à l'accumulation périphérique des matériaux détritiques du bassin versant, longeant les rives et on note également l'existence de cônes alluviaux au droit des embouchures des principaux Oueds notamment au Sud (Guelorget et al, 1989). D'autre part, Messerer (Messerer ; 1999) signale que la profondeur maximale de la lagune ne dépasse pas 5,20 m, est relevée dans la partie centrale de l'étendue en octobre 1996.



Figure 13. Carte bathymétrique du lac Mellah (Guelorget et al, 1982)

IV.2. Géomorphologie et Géologie

Le site, formé de sables et d'argiles laguno-marines du Néopleistocène, résulte de l'inclinaison de dépôts siciliens suivis d'affaissements successifs. Au néo-pléistocène ancien, la mer pénétra largement dans la dépression du Mellah. Le côté situé au dessous du déversoir du lac est constitué de mollasse calcaire marine et dunaire (Figure 14). Les formations tertiaires sont

représentées par des éléments de l'éocène moyen (argiles de Numidie) et d'éléments du miocène (sables, conglomérats et argiles rouges du Pontien). Les grands mouvements du tertiaire, phase alpine, sont rattachées aux mouvements majeurs responsables des alignements Nord-Est. Au quaternaire, des mouvements transverses de directions variables ont mis en place une série de dômes et de cuvettes. Cette néotectonique s'est prolongée jusqu'à la période actuelle (Debelair, 1990). Les dépôts marins sont à l'origine des amas dunaires au Nord du lac Mellah, alors que les dépôts fluviaux sont représentés par des amas dunaires résultants de l'action érosive de la mer sur les falaises gréseuses (DGF ; 2004).

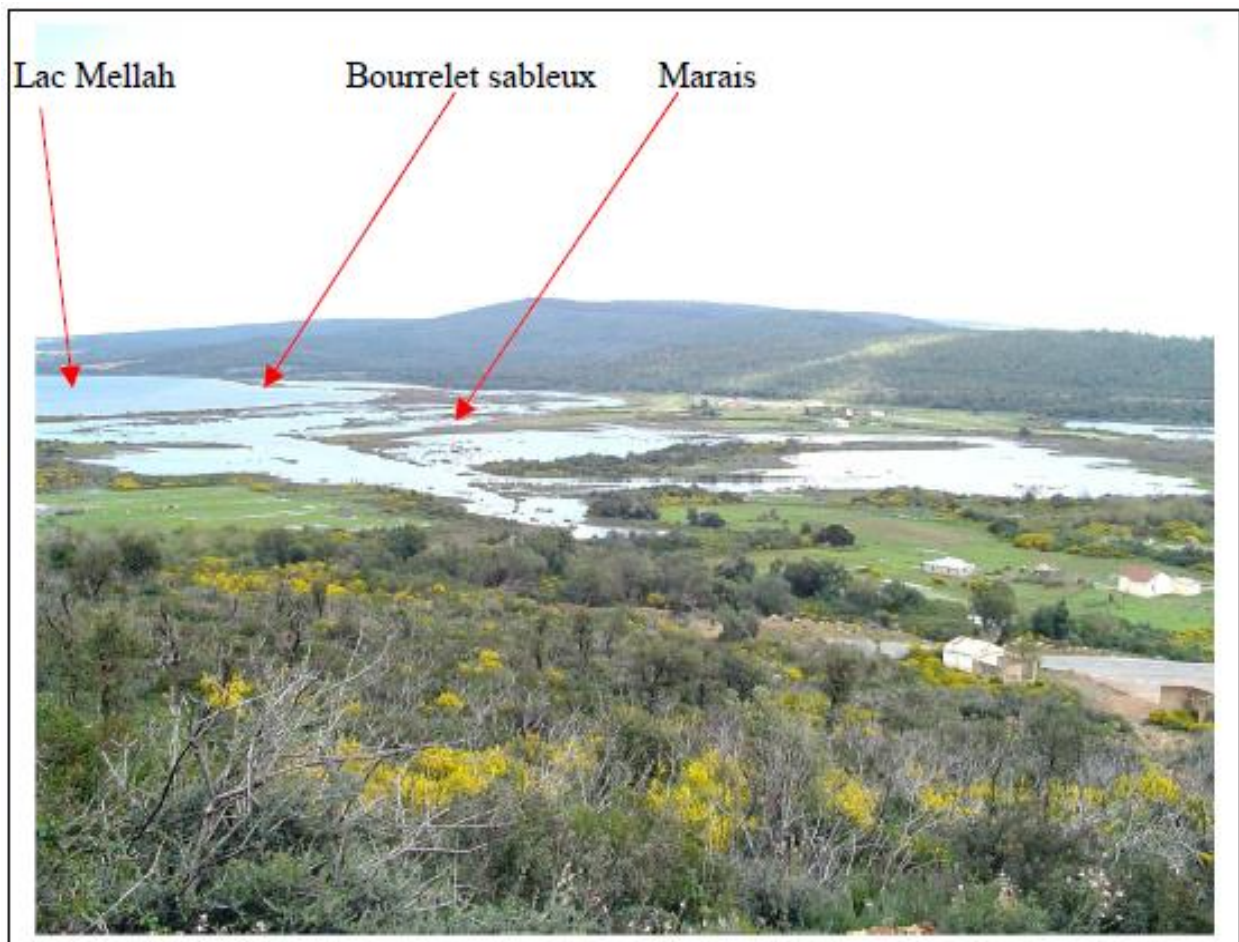


Figure 14. Photos géomorphologique du lac Mellah

IV.3. Caractéristiques hydrologiques :

L'altitude du plan d'eau étant au niveau de la mer, le chenal évacue à son niveau moyen les eaux le trop plein constitué par les apports hivernaux en eau douce. Pendant la saison sèche, le flux s'inverse dans le chenal. Le déficit causé par l'évaporation et la rareté des précipitations provoque une baisse du niveau moyen et l'intrusion des eaux marines.

En dehors des précipitations exceptionnelles, deux principaux facteurs tendent à modifier l'épaisseur de la lame et à provoquer des échanges avec la mer, l'une et le phénomène de marées, l'autre est météorologique, c'est le champ de pression barométrique agissant de façon statique (équilibre atmosphère - lagune - mer) et surtout dynamique (effet du vent) (Boutière, 1974).

IV.3.1. Courants

D'après Messerer (1999), le bilan hydrologique de la lagune calculé sur la base des données de trois cycles effectués au niveau du chenal, montre que les sorties annuelles moyennes sont quatre fois plus importantes que les entrées. Selon Guelorget et al. (1989), la circulation des eaux de surface du bassin s'effectue en une lente rotation périphérique dans le sens des aiguilles d'une montre (figure 15.A), en concordance avec la direction des vents dominants Nord-Ouest. Contrairement, Messerer (1999) décrit une courantologie rectiligne des eaux superficielles de la lagune (figure 15.B et C), du Nord au Sud pendant la pleine mer (le flot) et inversement durant la basse mer (le jusant).

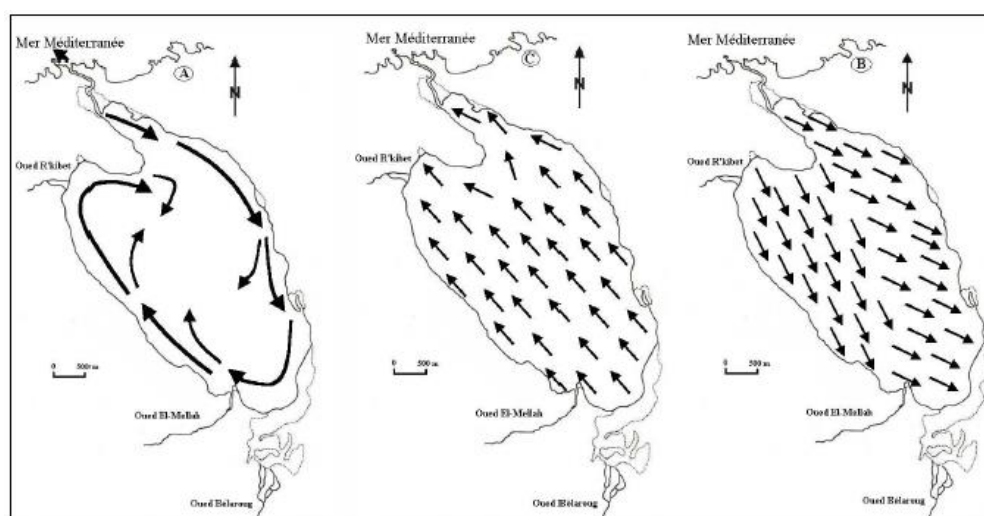


Figure 15. Mouvements des eaux superficielles. A: trajectoires hypothétiques (d'après Guelorget et al, 1989). B et C: mouvements rectilignes des eaux respectivement pendant le flot et le jusant (d'après Messerer, 1999).

IV.3.2. Phénomène de marées

Les marées sont mises en évidence par l'alternance de mouvement d'entrées d'eaux de mer vers la lagune (le flot), et les sorties des eaux de celle-ci vers la mer (le jusant). Dans la lagune Mellah, ces marées peuvent atteindre une amplitude de 40 cm (Thomas et al, 1973). Cependant, la dynamique des eaux de la lagune est réglée par le régime des marées non seulement barométriques (Semroud, 1983) qui sont d'ailleurs très faibles, mais surtout d'origines astronomiques (Ounissi et al ,2002). Le régime de marée est de type microtidal semi-diurne. Il

peut être occulté par le remplissage de la lagune en hiver et au printemps, où la marée se trouve masquée par l'évacuation d'eau excédentaire continentale. En été, le régime semi-diurne s'affirme avec deux cycles de marée durant 23 heures environ (Ounissi et al, 2002).

IV.3.3. Houles

Selon Grimes (1994), en se basant sur les données hydrologiques pour les prévisions des houles dans la région d'El-Kala, on note en période estivale, des houles de Nord-Ouest qui vont favoriser le courant entrant par le chenal, tandis que les houles de direction Nord-Est est agissent durant le mois d'octobre à avril.

IV.4. Caractéristiques écologiques

IV.4.1. Flore remarquable

La lagune Mellah est une zone humide où s'interpénètrent et se juxtaposent plusieurs écosystèmes (figure 16). Cette diversité écologique est largement déterminée par le jeu des influences de l'eau douce d'origine pluviale et de l'eau saumâtre d'origine marine, en divers points du site.

Le lac Mellah héberge quelques herbiers à *Zostera moltii* ainsi que des phodophicéa, algues typiquement marine. La végétation est constituée principalement par des espèces du genre myriophyllum. Les rives extrêmement réduites permettent l'installation d'une végétation ligneuse : lentisque, myrte, calycitome....etc. La partie Nord-Ouest est reboisée en eucalyptus cède la place vers le Nord à une vaste aulnaie dans le delta de l'Oued Erreguibet. On distingue aussi un ensemble très varié de groupements végétaux, suberaie pure, cocciferaie pure, mélange de chêne liège et de chêne kermes avec une prédominance de chêne liège et le mélange de ces 2 espèces avec la bruyère (*Erica arborea*). Le bilan positif des eaux douces au niveau des embouchures des Oueds El Aroug, Mellah et El Reguibet permet l'existence de 3 aulnaies denses et bien développées. Les bourrelets de sable blanc sont colonisés par le *Tamarix gallica*. Lorsque la salinité se fait moins sentir, au Nord et à l'Est se développent de petites zones à végétation aquatique constituée de *Scirpus maritimus* et *Scirpus lacustris*. Le delta de l'Oued El Aroug, au Sud, présente une importante scirpaie à *Scirpus maritimus* et *Scirpus lacustris*, d'une cinquantaine d'hectares, qui est isolée des eaux lacustres par des bourrelets sableux colonisés par *Tamarix gallica*. La flore algale abondante est surtout représentée par *Ruppia cirrhosa* et, dans une moindre mesure, par *Potamogeton pectinatus* (DGF, 2004).

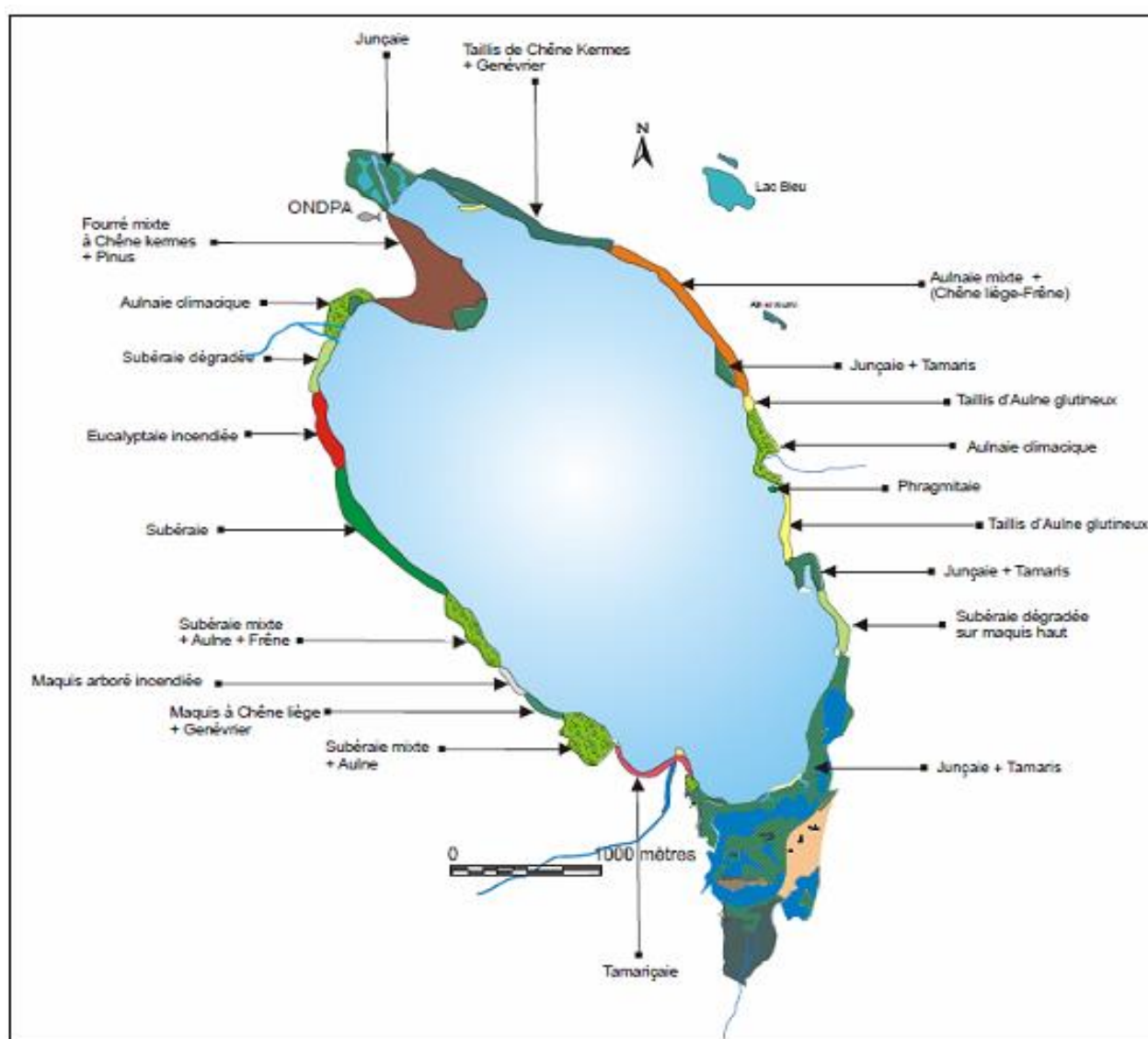


Figure 16. Carte de répartition de la végétation périphérique du lac Mellah (DGF ,2004).

IV.4.2.Faune remarquable

200 espèces de phytoplancton ont été identifiées par Remita (1999) et 47 espèces de zooplancton par Haridi (1999). En outre, le lac Mellah et sa périphérie font l'objet d'une importante fréquentation faunique grâce à une végétation dense par des mammifères : chacal, genette...etc.

Les eaux du lac possèdent une forte productivité et hébergent un peuplement piscicole relativement diversifié composé d'une quinzaine d'espèces dont l'anguille (*Anguilla Anguilla*), la sole (*Solea vulgaris*), le loup (*Dicentrachus labrax*), cinq espèces de mullets (*Mugil cephalus*, *M. saliens*, *Liza aurata*, *L. ramada* et *Chelon labrosus*) qui font l'objet d'une exploitation extensive,

surtout pour l'anguille. Ainsi que un riche peuplement d'invertébrés benthique tels que les mollusques bivalves. Et une avifaune composée d'anatidae, laridae, sternidae, phalacrocoracidae.

IV.5. Valeurs sociales et culturelles

Cette lagune est exploitée par une entreprise où l'état joue un rôle socio-économique important et reconnu pour les emplois générés. Les prises annuelles de poissons varient en moyenne de 24 à 36 tonnes entre 1994 et 1999 (Figure.17). L'exploitation de la palourde (*Ruditapes decussatus* L.), dont la production avoisine les 2 tonnes pour l'année 2000, et de la coque (*Cardium edule*) est lucrative.

L'élevage d'huître (*Crassostrea gigas*) qui atteint 112 kg en 2000 est marginal, il gagnerait à être mieux maîtrisé (DGF ; 2004).

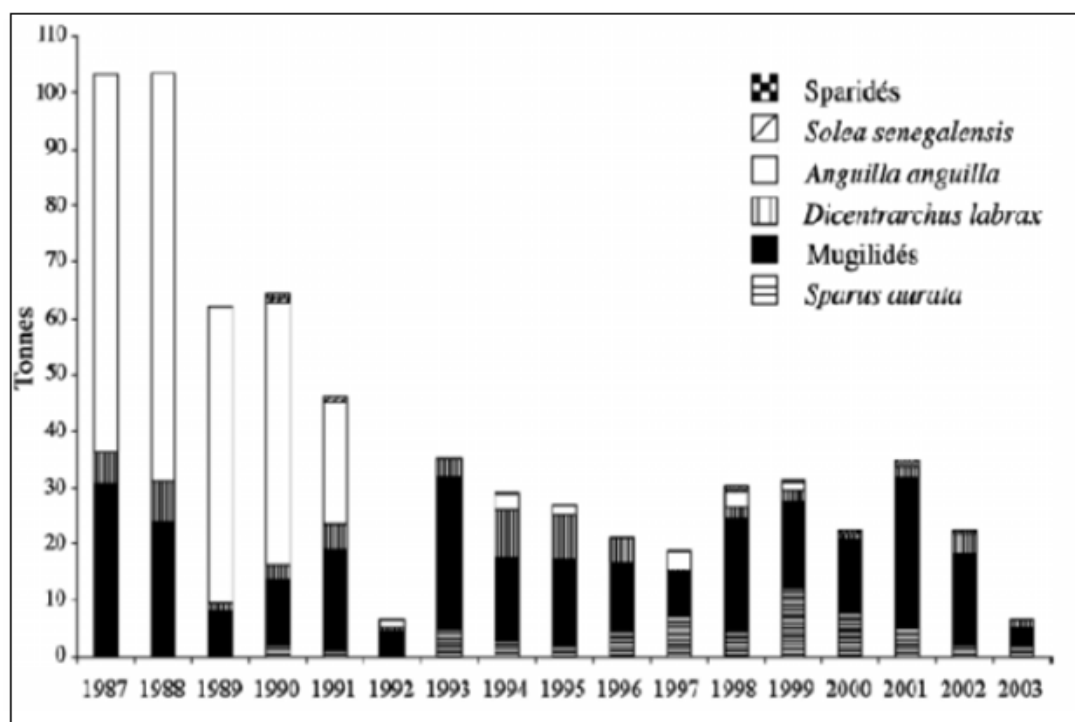


Figure 17. Évolution de la production halieutique de la lagune du Mellah entre 1987 et 2003 (O.N.D.P.A d'El-Kala).

V. Potentialités humaines et économiques

V.1. Population du bassin versant du lac Mellah

Les communes les plus peuplées sont situées le long des cours d'eau principaux. La pression d'urbanisme est localement forte dans ces secteurs mais reste faible sur l'ensemble du bassin versant étudié.

La population installée autour du lac Mellah est estimée selon le RPGH (recensement général de la population et de l'habitat) en 1998, à près de 3000 personnes soit le 1/10^e de la population totale de la commune d'El Kala, elle estimée à 30 673 habitants (Baba Ahmed, 2008), mais actuellement ce nombre de population n'est pas fixé dans cette région car c'est une population transitoire par leur visiteurs. Sa densité avoisine 36 habitants/ km². Elle est partagée entre une agglomération secondaire El Gantra El Hamra qui regroupe 36% de la population du sous-bassin versant et une zone rurale éparsée constituée par les douars El Melha, El Frine, Douar Aslâa , Boumalek, El Gmihet et Souk Reguibe et par les visiteurs du parc animalier (Zoo) . Le tableau 3 représente la population dans le sous-bassin versant du lac Mellah.

Tableau 3. Répartition de la population dans le sous-bassin versant du lac Mellah (Selon RGPH 1998)

Localité	Pop totale 1998	Pop totale 2003	Taux d'accroissement 1998/2003(%)	Pop totale 2012
El Gantra El Hamra	750	946	6,5	1667
Melha El Frine	579	632	2,25	772
Douar Aslâa Boumalek El Gmihet	487	536	2,5	669
Souk Reguibet	456	498	2,25	608
Total	2272	2612	-	3717

V.2. Les activités

Le système économique local de l'ensemble de la région d'étude est très peu développé, les atouts dont elle dispose tels que l'agriculture, l'élevage ,la pêche et le tourisme sont mobilisés pour des activités informelles « l'hébergement chez le privé et la restauration, commerce de rue ».

V.2.1. L'agriculture

La région d'étude est incontestablement à vocation agricole, c'est le secteur le plus pourvoyeur d'emplois permanents et saisonniers. Avec une S.A.U de 906 ha, il n'y a que 174 hectares de cultures maraîchères.

Les douars du bassin versant du lac Mellah sont constitués par des habitations dispersées et jardins dont la superficie planimétrique est de 170 hectares, soit 2% du total. La plus grande partie du domaine agricole est de la terre arable (Figure.18), 130 hectares sont de la jachère laissée au parcours du cheptel (Baba Ahmed, 2008).

L'agriculture en irrigué qui s'effectue à partir du réseau hydrographique qui alimente le plan d'eau du lac, se résume à une multitude de jardins potagers, jouxtant les habitations et les cultures d'arachides. Des pratiques agricoles liées à la nature sablonneuse du sol et à la relative disponibilité des ressources hydriques pour l'irrigation mais la part de celle-ci est mal connue parce qu'elle échappe à tout contrôle, et est puisée anarchiquement et illicitement dans les puisards, les Oueds et les cours d'eau qui sont souvent carrément détournés.

Les cultures menées en irrigué sont le maraîchage de plein champ ou sous serre et l'arachide qui est assimilée à une culture industrielle est considérée comme grande consommatrice d'eau. La norme admise est 2000 m³ /ha/an (Baba Ahmed, 2008).

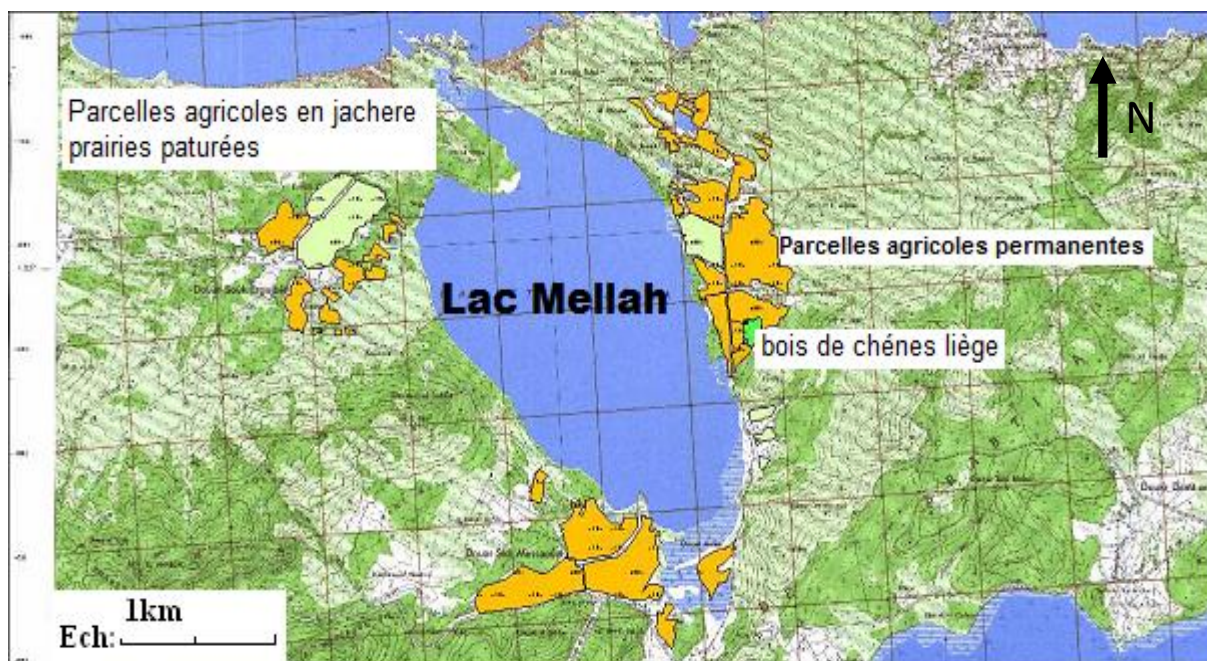


Figure 18. Situation géographique des parcelles agricoles dans le bassin du lac Mellah.
(Direction de service agricole d'El Tarf)

V.2.2. Élevage et pastoralisme

Les systèmes d'élevage qui sont pratiqués au sein du PNEK ont une importance considérable pour l'économie rurale. Dans le BV du Mellah, les effectifs du cheptel se composent de 1726 ovins, 500 caprins et 3132 bovins (Baba Ahmed, 2008). Il n'y a pas

d'élevage de volailles mais on trouve quelques apiculteurs. L'élevage, essentiellement bovin, occupe une place prépondérante dans les activités de la population. Le cheptel, forme de thésaurisation familiale, constitue traditionnellement une source de revenu d'appoint pour les petites exploitations, en même temps que le capital de survie en période difficile.

Les éleveurs conduisent généralement leurs troupeaux pendant la période hivernale pour les abandonner en forêt. A la fin du printemps, les troupeaux sont ramenés à la plaine au niveau des jachères, du pourtour du lac.

L'accroissement des troupeaux, comme l'extension des parcelles cultivées ou laissées en jachère, s'effectuent au détriment de la couverture végétale forestière. Ces activités sont également en accroissement et influent sur la qualité des eaux qui rejoignent du lac.

V.2.3. Pêche

Le lac Mellah a été toujours exploité pour ses ressources halieutiques. La pêche des poissons, la récolte ou l'élevage de coquillages est pratiquée au moyen de différents engins de pêche. Les poissons sont pris surtout à la bordigue qui est une structure fixe installée en travers du chenal pour piéger les poissons matures qui cherchent à rejoindre la mer sans empêcher les juvéniles d'entrer dans le lac. Sur le plan d'eau, la pêche des mullets et des anguilles est pratiquée avec des embarcations et à l'aide de filets maillants ou de nasses pour les anguilles. L'exploitation du lac Mellah a été suspendue en 2004 et en 2005.

Depuis quelques années, la petite plage à l'Ouest de l'embouchure du lac Mellah et celle de la Vielle Calle à l'Est, parce qu'on y a accès plus facilement, servent de plages d'échouage à une dizaine embarcations de pêcheurs qui ont bénéficié des programmes d'aide à l'emploi des jeunes.

V.2.4. Tourisme

Par la richesse de son patrimoine naturel, la zone d'étude offre un cadre unique et agréable au développement du tourisme.

La région d'étude du bassin versant du lac mellah dispose des grandes plages (Vielle Calle, Cap Rosa, Embouchure) qui sont bien reliées avec la région d'étude, un grand parc animalier et du manège (Zoo) au sein du périmètre de bassin versant El Aroug, ce qui attire les estivants de la région de l'Est et du Nord Algérien.

Le nombre de visiteurs est augmenté à cause de développement du parc (implantation d'aire de jeux et de nouveaux animaux) dans ces dernières années (Figure.19). Le tourisme dans cette zone littorale est essentiellement saisonnier et balnéaire, le reste de l'année, le nombre de

visiteurs et de touristes diminue de manière significative, car en dehors du tourisme balnéaire, aucun autre type d'activité touristique ne vient exploiter les diverses ressources de cette région que le parc animalier.

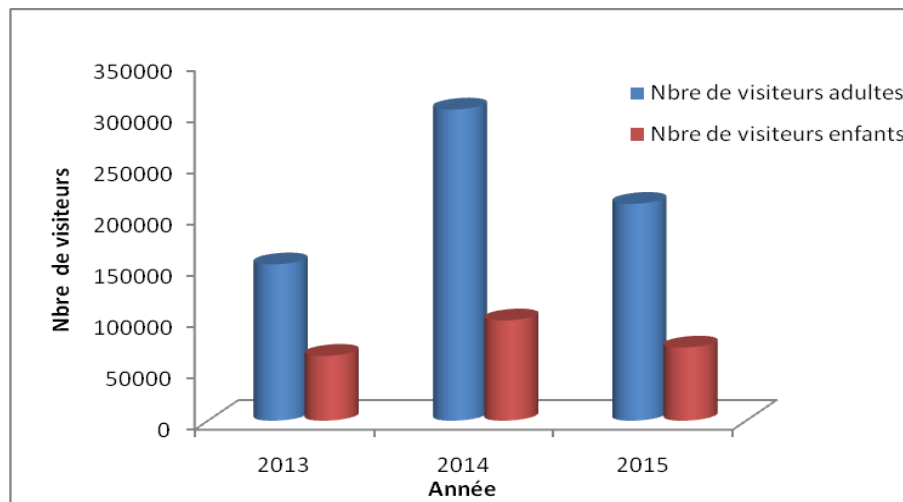


Figure 19. Nombre de visiteure dans le parc animalier

VI. Conclusion

Le bassin versant du lac Mellah est entièrement circonscris dans la commune d'El Kala. Il longe la côte sur 3 km et la plus grande partie de son territoire est montagneux. Le bassin versant du lac mellah s'étend sur une superficie de 8 250 ha soit 82,5 km². Il est moyennement peuplé et fait face à l'extension alarmante de constructions éparées autour du plan d'eau. Pour le cas du lac Mellah, l'exutoire est constitué par l'extrémité Nord du chenal, celle de ses trois affluents principaux à l'Ouest (El Rguibet , El Mellah ,El Aroug) . Des petits cours d'eau qui se jettent également dans le lac et proviennent de la partie Est du bassin représentée par Oued Boumalek et rejet de station d'épuration d'El Gantra El Hamra et par leurs embouchures au plan d'eau du lac. Le régime hydrologique du Mellah est influencé par les mouvements de l'eau marine pénétrant par le chenal et les apports directs d'eau douce lors des pluies et, enfin, les eaux charriées par les Oueds. Le site se caractérise par une diversité de situations hydrologiques, le gradient de salinité lui confère une grande richesse halieutique et limnologique.

La région d'El-Kala est marquée essentiellement par les deux ensembles structurables formés lors des deux époques :

- Tertiaire représentée par les argiles et les grés de Numidie ainsi que les dépôts de sables, conglomérats, et bancs d'argiles rouges ou grises du Pontien.
- Quaternaire représentée par des formations dunaires et alluvionnaires.

La texture de cette région est sablonneuse à sablono-limoneuse. L'étude du sol des Aulnaies du Mellah montre l'acidité du milieu ainsi que sa richesse en matière organique.

Le système économique local de l'ensemble de la région d'étude est très peu développé, les atouts dont elle dispose tels que l'agriculture, l'élevage, la pêche et le tourisme sont mobilisés pour des activités informelles. Ces activités sont également en accroissement et influent sur la qualité par les rejets d'eau usées qui rejoignent le lac.

Chapitre II

*Hydroclimatologie de la région
d'étude*

I. Introduction

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices des crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques : la température l'évaporation l'évapotranspiration, les vents et l'humidité aussi ; aussi des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

II. Analyse et correction des données pluviométriques

L'étude hydrologique traite les données d'observations climatiques et pluviométriques car ces derniers sont à l'origine des ressources en eau de surface et souterraine. Les conditions climatiques, plus que d'autres facteurs régissent l'écoulement de surface à l'échelle du bassin versant.

II.1. Caractéristiques des stations pluviométriques

La région d'étude se situe le long du littoral et elle fait partie des régions les plus arrosées du Nord-est algérien. Leur climat est du type méditerranéen humide, caractérisé par deux saisons de six mois chacune. La faible densité du nombre des stations principales dans notre zone d'étude ne facilite pas l'interprétation d'un paramètre météorologique comme la pluviométrie. Ce qui nous a obligé à ajouter quelques postes pluviométriques disponibles qui présente une longue série. En raison de cerner les caractéristiques climatiques de la zone d'étude le choix a été fixé sur quatre stations au total (Figure.21), qui disposent de longues séries d'observations. Le tableau 4 présente les coordonnées géographiques des stations retenues dans l'étude.

Tableau 4. Présentation des stations retenues dans l'étude
(Source : A.N.R.H de Constantine)

Stations	Type de station	X(Km)	Y(Km)	Z (m)	Série d'observation
El Kala	Station principale	1005,6	403,8	10	1975-2009
Ain Assel	Poste pluviométrique	1005,45	399,83	35	1975-2009
Ben M'Hidi	Poste pluviométrique	961,62	397,3	7	1979-2004
Les Salines	station principale	955,8	403,8	0,3	1979-2009

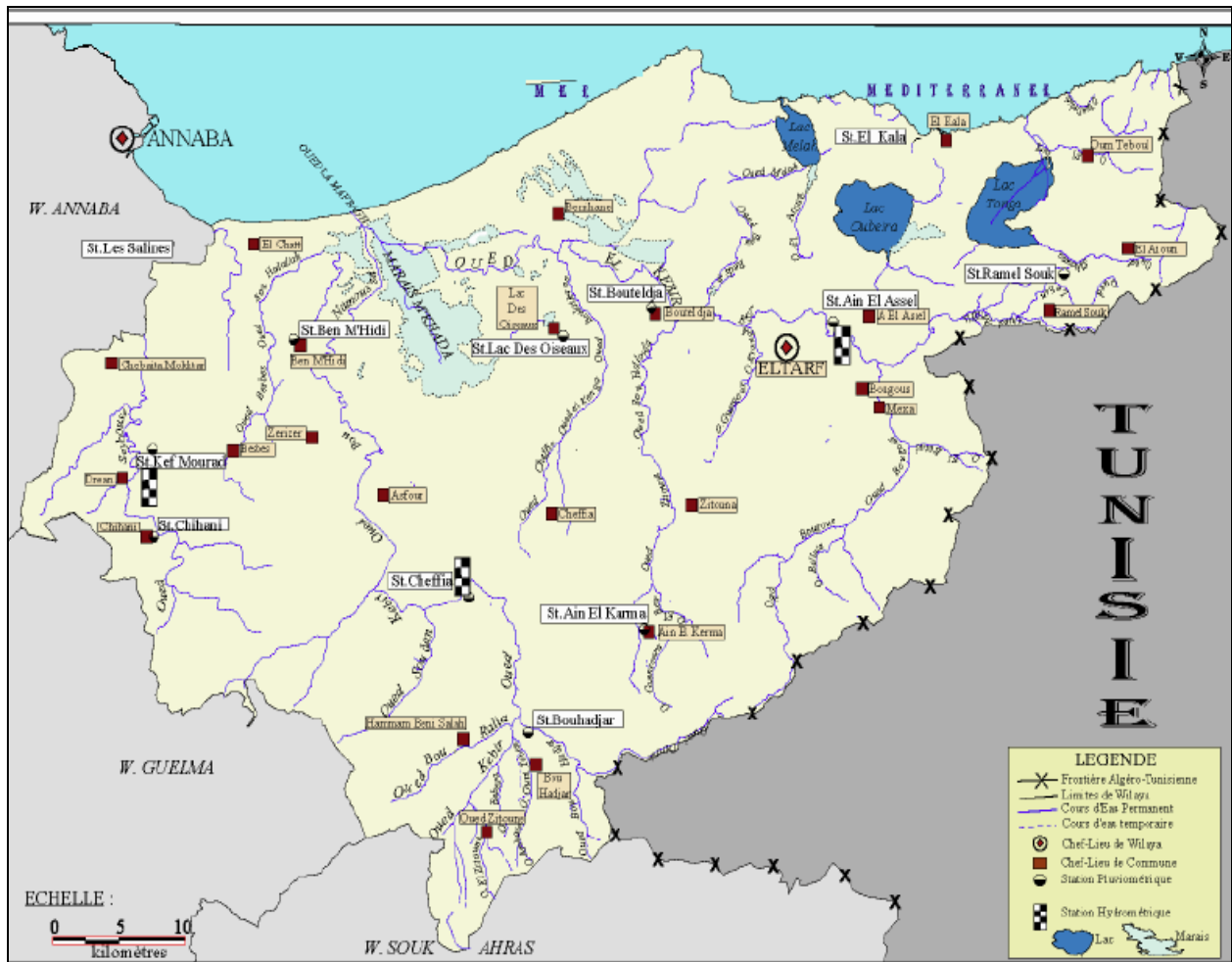


Figure 20. Situation géographique des stations pluviométriques et hydrométriques dans la région d'étude (Source : Bahroune sofia (2006))

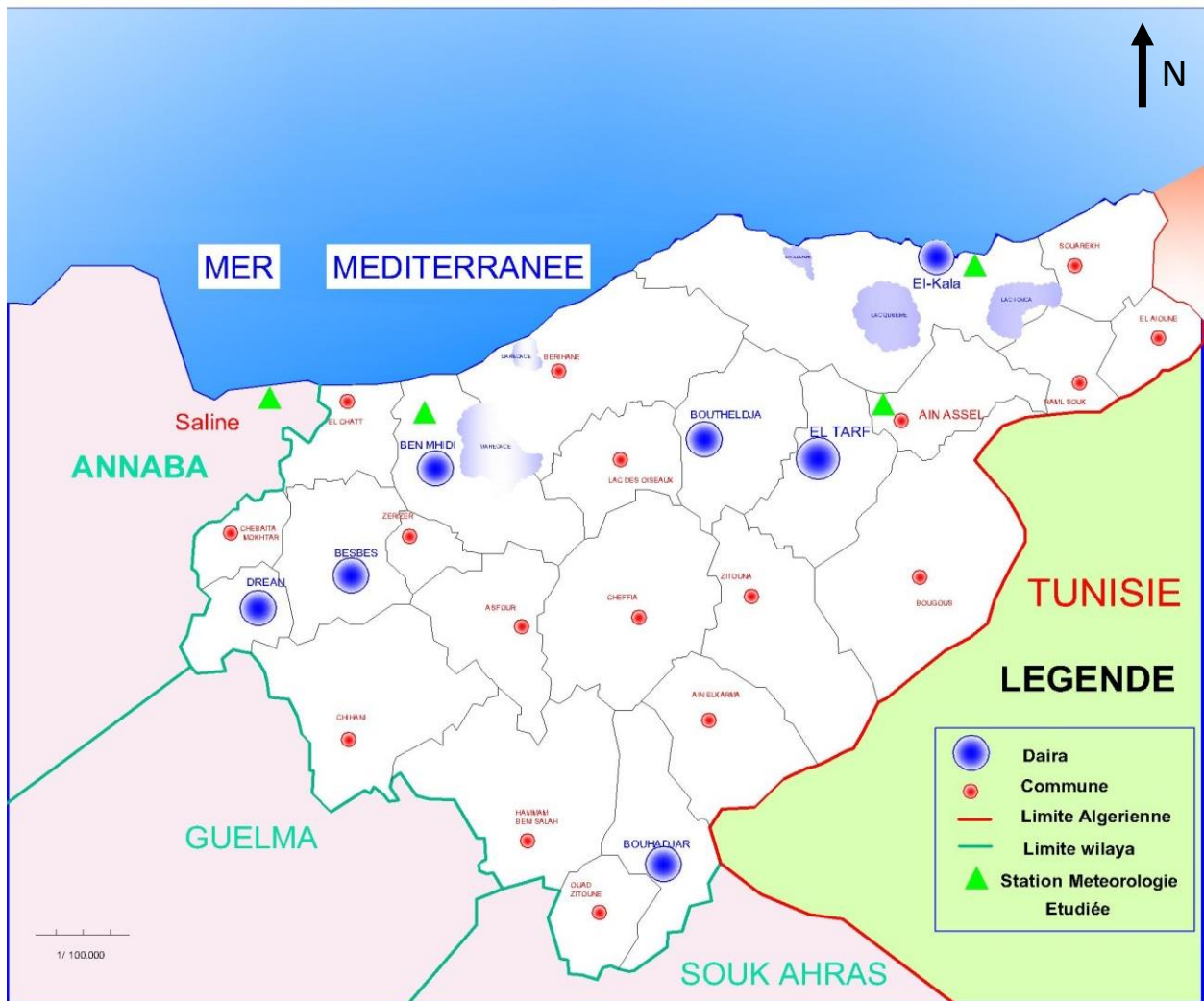


Figure 21. Situation géographique des stations retenues dans l'étude
(Source DHW El-Tarf : Modifiée par Kherifi .W. 2015)

Les précipitations ont un rôle très important en région méditerranéenne elles sont caractérisées par leur régime irrégulier et leur répartition inégale (sécheresse de l'été) (TOTH, 1987).

Les connaissances sur les précipitations de l'Est Algérien sont partielles et très dispersées. Il s'agit d'un régime méditerranéen avec une décroissance rapide des pluies du Nord vers le Sud, avec un climat humide à aride puis désertique.

Les données de ces postes sont recueillies par l'Office National de la Météorologie (O.N.M) et l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) de Constantine.

Dans les séries d'observations des précipitations, il existe des lacunes d'ordre mensuel et annuel à signaler. Ces lacunes sont causées par :

- La centralisation et la décentralisation des données météorologiques ont influencé négativement sur la disponibilité des données et la qualité de celles-ci surtout celles des postes pluviométriques ;
- Arrêt de fonctionnement pendant une période, les jours fériés et les congés annuels ;
- Certains bulletins quotidiens mensuels ou en annuels sont parfois illisibles ce qui nous a fait perdre beaucoup de temps pour les portés sur nos documents personnels.

II.2. Critiques et homogénéisation des données pluviométriques

L'estimation des données manquantes d'une station ou d'un poste est calculée à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux conditions climatiques et situées dans la même zone géographique. Certaines stations retenues pour notre étude présentent des lacunes d'observation sur plusieurs mois.

Le comblement des données manquantes a été établi à l'aide des modèles statistiques, ainsi la correction de la pluviométrie mensuelle est calculée par la méthode « des Rapports ». Cependant, la correction des valeurs annuelles est réalisée par la méthode dite de « double cumul ». Pour que la méthode des rapports soit efficace, il faudrait que les couples appartiennent aux mêmes conditions climatiques et géographiques.

II.2.1. Correction de la pluviométrie mensuelle

La correction de la pluviométrie mensuelle est le rapport entre les valeurs pluviométriques précipitées au cours d'un mois lacunaire donné d'une station, dont la série où le mois est le même dans les stations voisines. La correction des totaux mensuels des pluies dans ces stations peut se faire en appliquant la fonction :

$$Y = a X \quad (1)$$

Où :

Y : La valeur pluviométrique mensuelle inconnue à la station lacunaire ;

X : Valeur correspondante enregistrée pendant le même mois à la station A de référence ;

a : Constante d'ajustement égale au rapport de la somme des précipitations observées pendant une même série commune aux deux stations soit :

$$a = P (\text{mm}) B / P (\text{mm}) A \quad (2)$$

Pour les stations et les postes concernés par notre étude, nous avons tenu en compte des conditions de précipitation (climatiques et géographiques), et du degré de corrélation statistique entre les séries déterminant l'efficacité de l'ajustement.

Pour illustrer cette méthode nous allons donner l'exemple d'ajustement des données de deux stations côtières voisines El Kala (A) et Ain El Assel (B). L'ajustement de la station (B) à partir de la station (A) pour le mois d'Aout 1996, s'effectue de la manière suivante :

Le total des précipitations du mois considéré pendant la même série est égal à :

$$P \text{ (mm) A} = 305,9 \text{ mm}$$

$$P \text{ (mm) B} = 262,9 \text{ mm}$$

Donc: $a = 305,9/262,9 = 1,16$

La hauteur des précipitations observées au mois de Aout 1996 à El-Kala est de 8,7 mm, la valeur correspondante à la station d'Ain El Assel serait donc de :

$$Y = 1,16 \times 8,7 \text{ mm} = 10,1 \text{ mm}$$

II.2.2. Contrôle des totaux annuels des précipitations

La méthode dite des doubles cumuls, consiste à mettre en corrélation les totaux annuels cumulés de la station de référence avec ceux de la station à contrôler. La station de référence étant celle qui possède la série d'observation la plus longue et la plus homogène.

Dans notre travail, nous avons utilisé la méthode dite des doubles cumuls, dont le principe consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations l'une est la station témoin (X), supposée correcte, l'autre est la station (Y) qui est la station de contrôle.

II.2.2.1. Homogénéité des totaux annuels des précipitations par la méthode des doubles cumuls (avant la correction)

On a établi par le moyen de la méthode des doubles cumuls une vérification de l'homogénéité des totaux annuels. A l'échelle du bassin versant du lac Mellah, une station de référence (El-kala), a été choisie au titre d'une série de 34 ans pour la raison de leur continuité, fiabilité et longueur relative des observations. Elle servira de base de comparaison pour l'autre station (Annexe I).

A titre d'illustration, nous donnons sur la figure (22) la représentation graphique du test d'homogénéité appliqué à la station de d'El kala et les stations (Ain El Assel, Ben M'hidi, Les Salines).

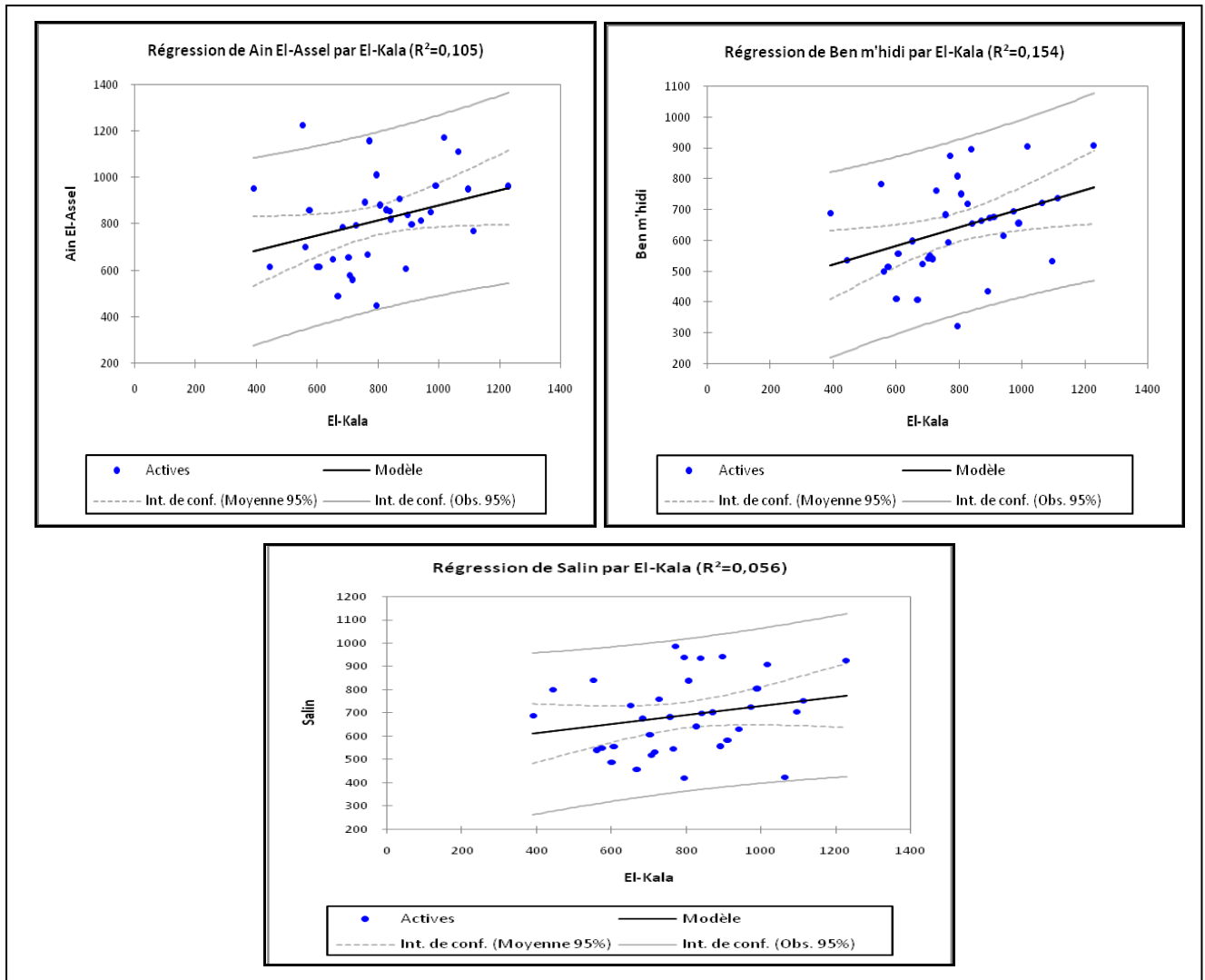


Figure 22. Test d'homogénéité entre la station d'El-Kala avec les autres stations

La représentation graphique de ces courbes permet de voir une corrélation négative $R < 0,50$ entre les stations, elles sont caractérisées par une distribution non linéaire des points (divergence des points). La comparaison des trois stations avec la station de référence (El-Kala) a donné des liaisons espacées (non homogène), dues probablement à la qualité professionnelle des stations utilisées dans le cadre de cette étude.

II.2.2.2. Homogénéité des totaux annuels des précipitations par la méthode des doubles cumuls (Après la correction)

Afin de trouver une bonne homogénéité entre les quatre stations et la station de référence (El-Kala), les valeurs de la précipitation annuelle des quatre stations doivent être multipliées par le coefficient correctif extrait à partir des équations linéaires exprimées dans les figures suivantes :

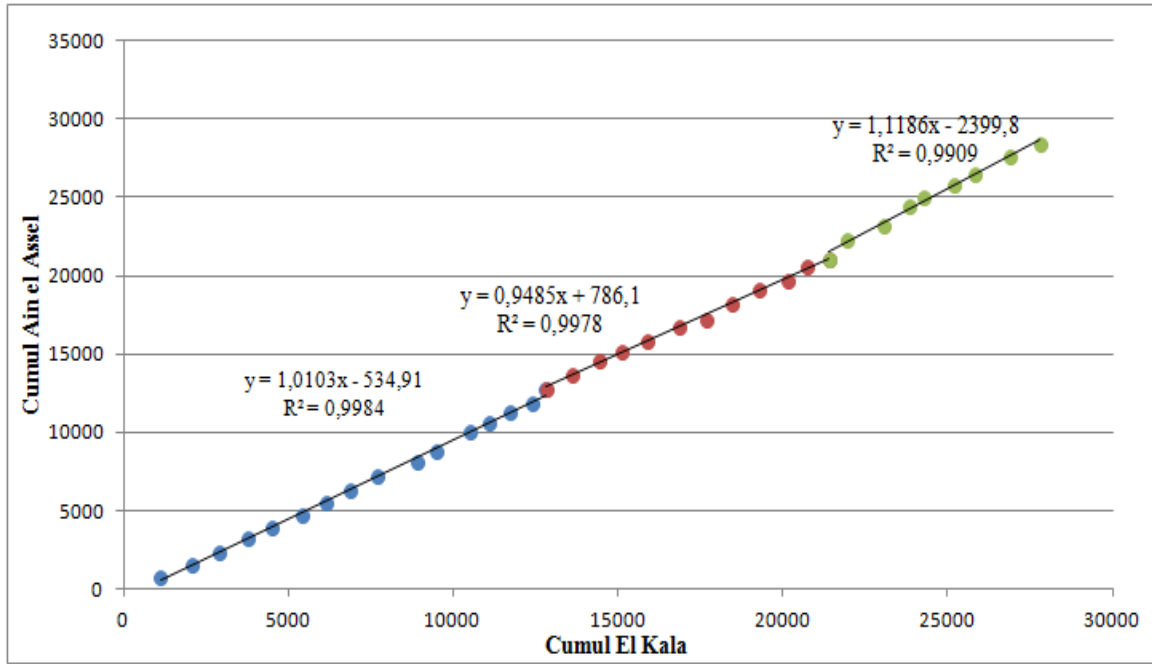


Figure 23. Corrélation avant la correction- la méthode de double cumul- (El kala-Ain El Assel)

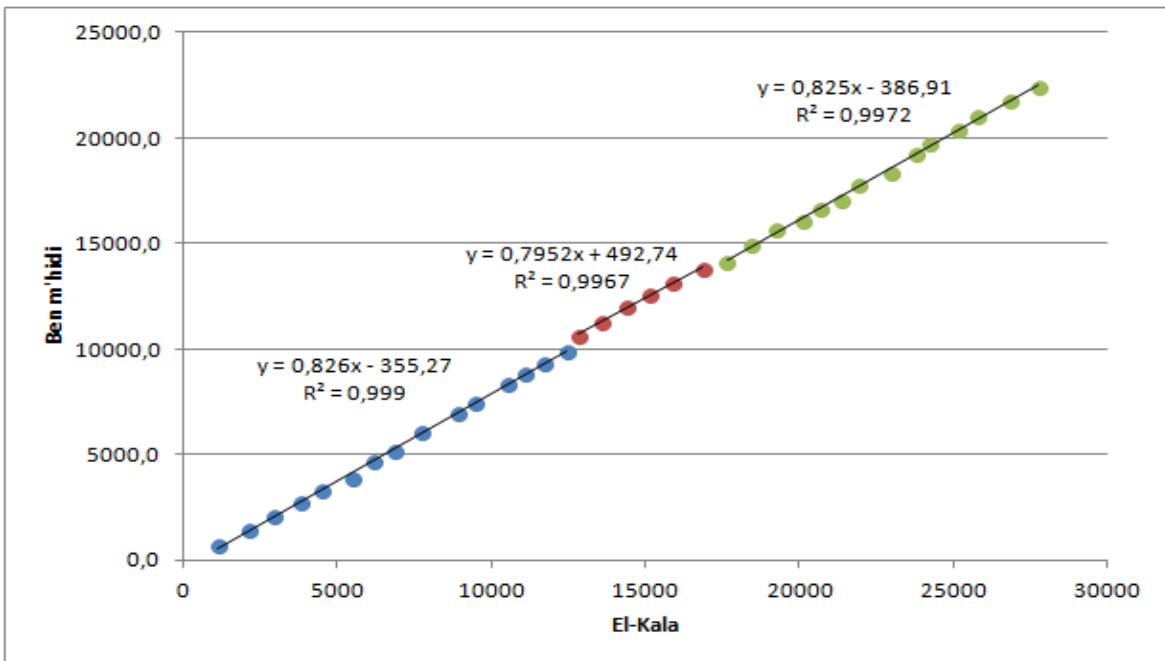


Figure 24. Corrélation avant la correction- la méthode de double cumul- (El kala-Ben M'hidi)

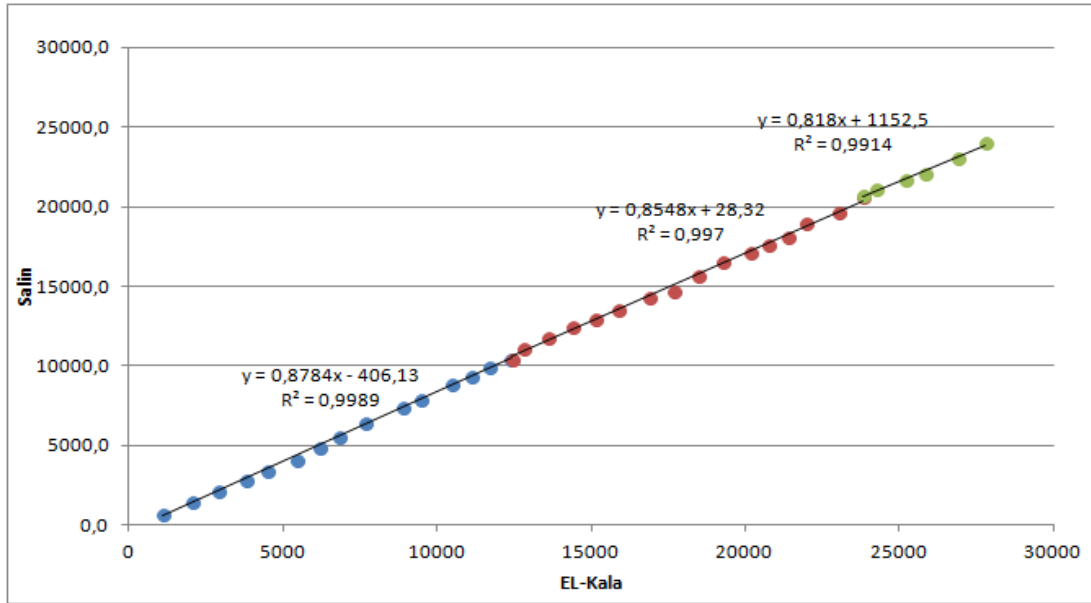


Figure 25. Corrélation avant la correction- la méthode du double cumul- (El Kala-Salin)

Les résultats de teste d'homogénéité des totaux annuels des précipitations après la correction par la méthode du double cumul sont présentés sous forme de graphes ont été dressées dans les figures suivantes :

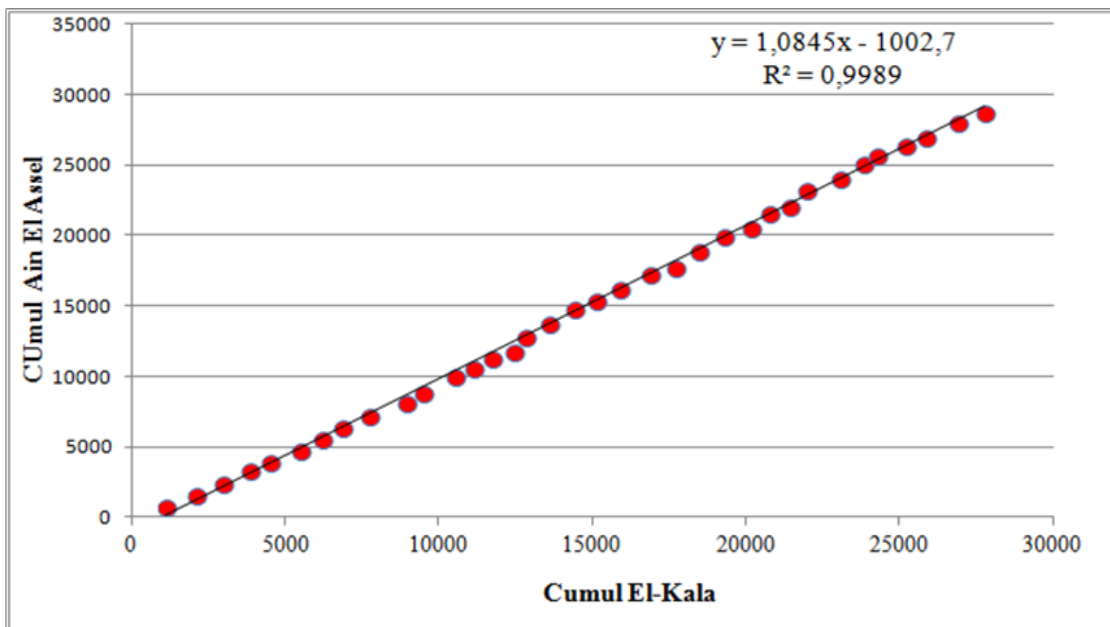


Figure 26. Test du double cumul entre la station d'El kala et la station d'Ain El Assel (Après la correction)

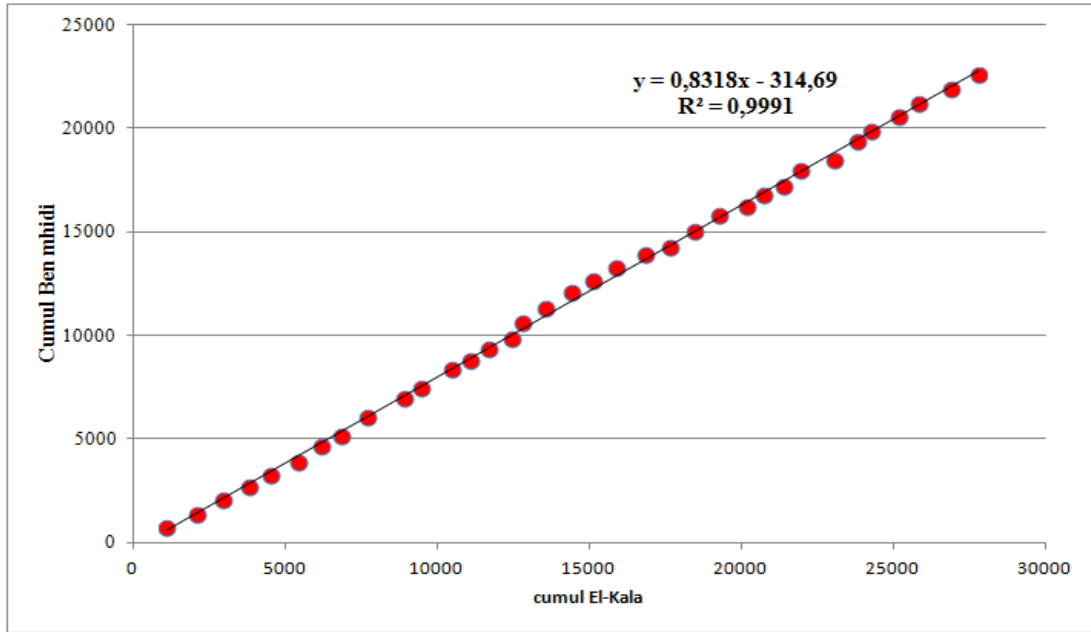


Figure 27. Test du double cumul entre la station d'El kala et la station de Ben M'hibi
(Après la correction)

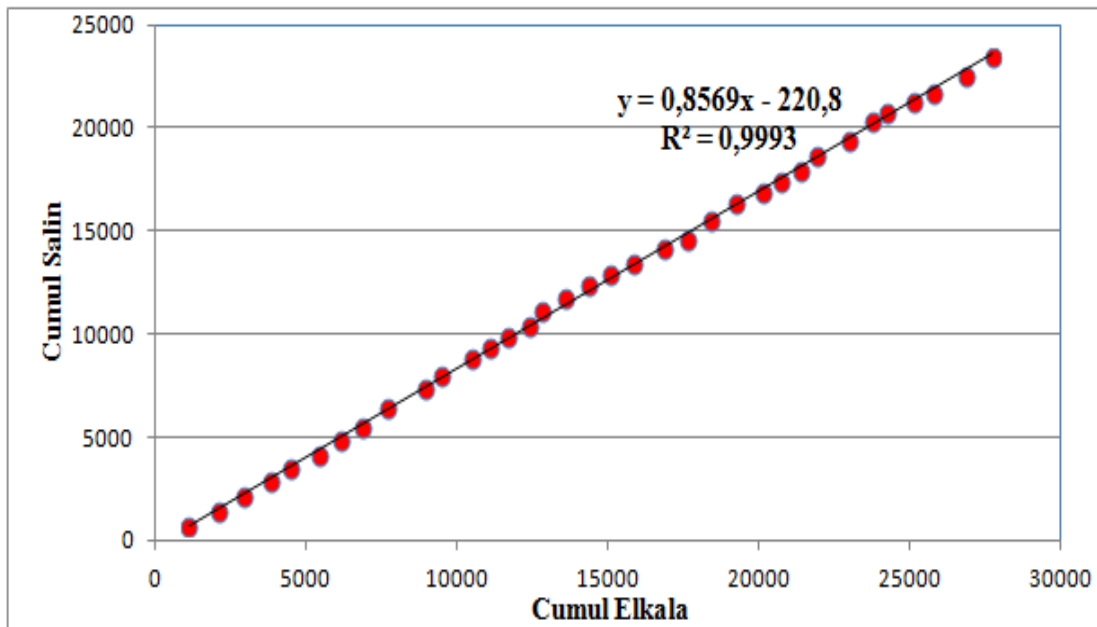


Figure 28. Test du double cumul entre la station d'El kala et la station des salines
(Après la correction)

Pour les graphiques des doubles cumuls des stations (Ain El Assel, Ben M'hidi, Les salines), les points s'alignent suivant presque une seule direction. Nous n'avons pas remarqué des points de ruptures de pente donc les séries pluviométriques sont homogènes et le teste d'homogénéité a été effectué entre les stations (Voir les figures 25.26.27), il s'est avéré positif. En terme de fiabilité , les données pluviométriques des différents stations pluviométriques ont présenté une bonne crédibilité. Les résultats finaux du contrôle de fiabilité et de comblement des données pluviométriques sont rassemblés dans le tableau 05.

Tableau 5. Résultats d'homogénéisation des données pluviométriques annuel

Année	Précipitation annuel (mm) El-Kala	Précipitation annuel (mm) Ain El Assel	Précipitation annuel (mm) Ben M'hidi	Précipitation annuel (mm) Saline
1975	1114,5	770,9	738,2	754
1976	974,9	850,8	696,1	726,3
1977	842,7	820,3	656,2	700,1
1978	870,6	908,3	664,6	705,7
1979	702,6	655,4	542,2	609,2
1980	942,2	813,2	615	633
1981	728,6	793,1	761,8	760
1982	682,9	787,5	523,5	678,1
1983	838,1	854,8	897,8	937,8
1984	1228,6	963,2	908,7	927
1985	560,8	701,3	498,2	543
1986	1017,8	1173,7	905,4	909,3
1987	600,1	614,1	411,4	491
1988	605,9	614,52	556,6	557
1989	714,9	560,3	540,6	535
1990	390,9	952,4	716,9	668,6
1991	756,3	1010,1	712,0	664,1
1992	826,9	973,5	749,3	624,8
1993	707,2	652	572,9	504,1
1994	766,6	755,5	618,5	531,9
1995	990,1	1092,1	683,0	782,8
1996	794,1	507,1	322,2	410,1
1997	794,1	1143,7	809,6	912,8
1998	807,5	996,5	751,8	815,8
1999	892,0	686	435,2	542,8
2000	574,0	972,4	514,0	534,2
2001	667,8	553,5	408,1	446,5
2002	552,3	1102,5	783,0	816,8
2003	1096,8	856,2	531,8	686,8
2004	770,9	1042,7	875,5	958,1
2005	442,3	552,3	535,5	389,0
2006	911,2	719,3	676,9	538,5
2007	650,8	581,9	598,4	391,6
2008	1063,9	1000,2	722,9	888,4
2009	897,4	755,5	672,7	869,7
Moyenne	793,7	822,5	645,9	669,8

II.2. Analyse et traitement des données pluviométrique

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau, elles permettent le renouvellement total ou partiel du lac (Baba Ahmed, 2008), deux aspects sont discutés, pour évaluer la pluviométrie : il s'agit du coefficient pluviométrique et la répartition annuelle pendant la période (1975 à 2009) a fin de caractériser et homogénéiser de la vulnérabilité climatique.

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires ($1 < Cp$) et les années déficitaires ($1 > Cp$). Le coefficient pluviométrique est donné par l'équation suivante :

$$Cp = \frac{Xi}{X} \quad (3)$$

D'où :

Cp : Coefficient pluviométrique

Xi : Les précipitations annuelles (mm)

X : La moyenne des précipitations annuelles (mm).

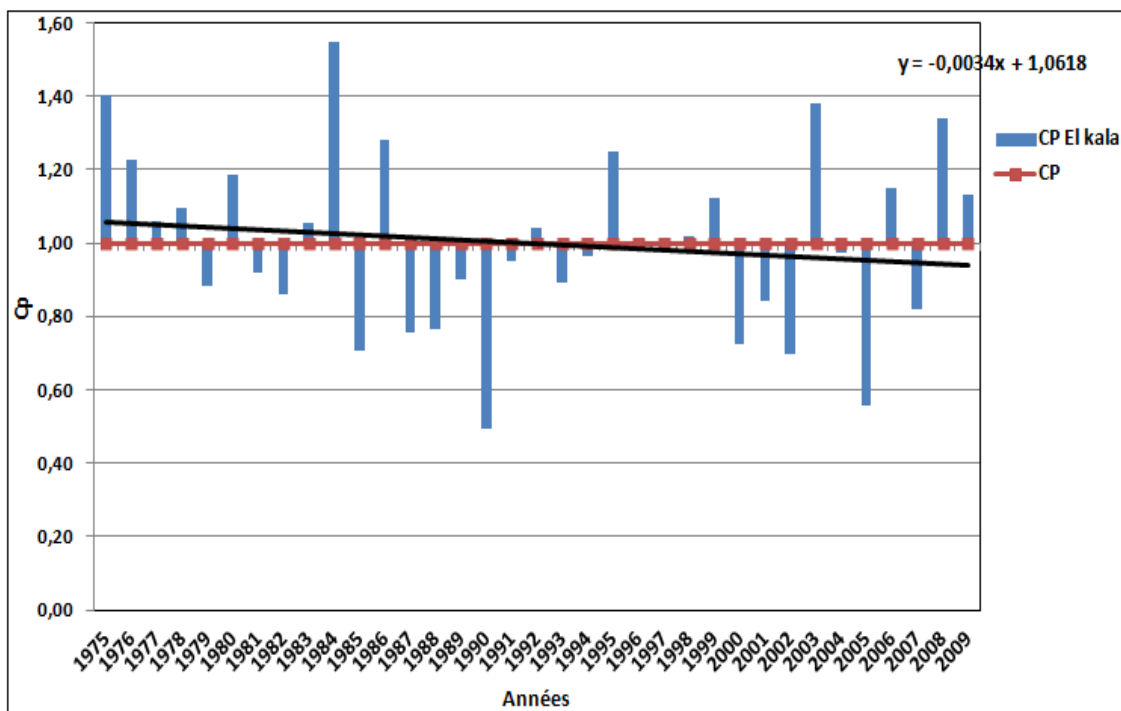


Figure 29. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station d'El kala

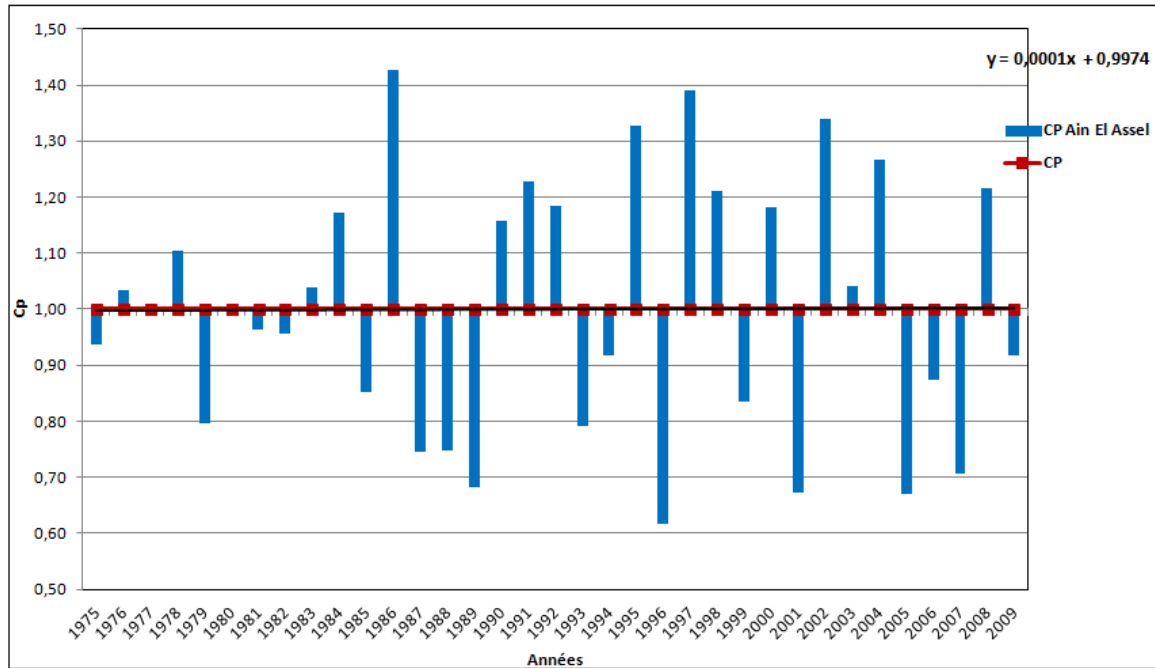


Figure 30. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station d'Ain El Assel

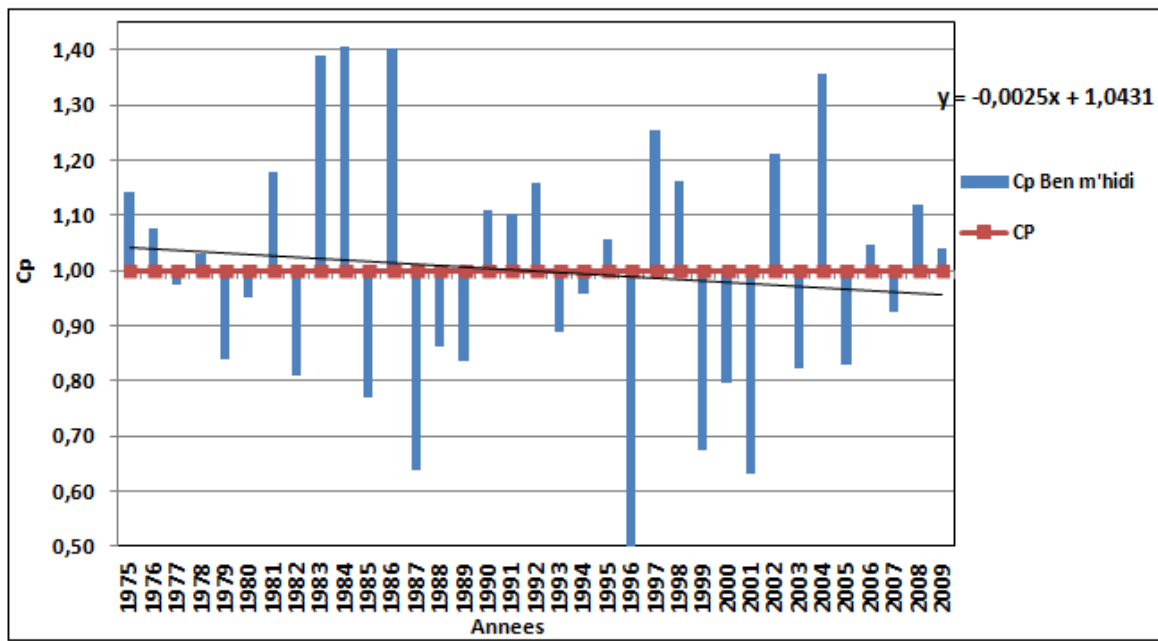


Figure 31. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station de Ben M'hidi

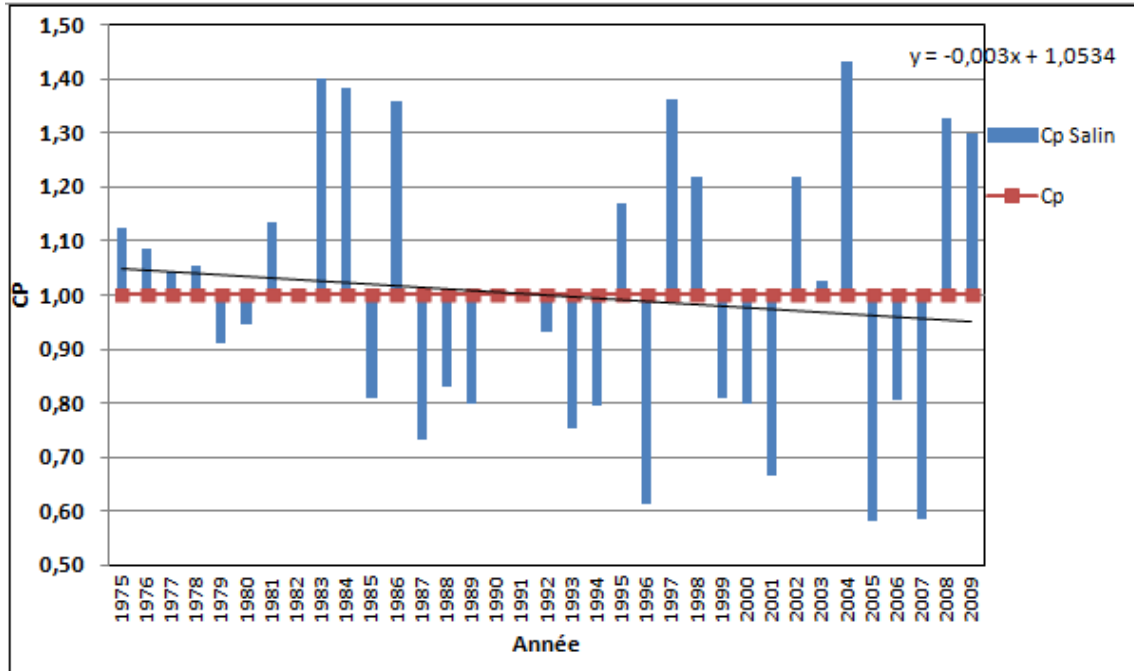


Figure 32. Evolution des anomalies pluviométriques dans la station des Salines

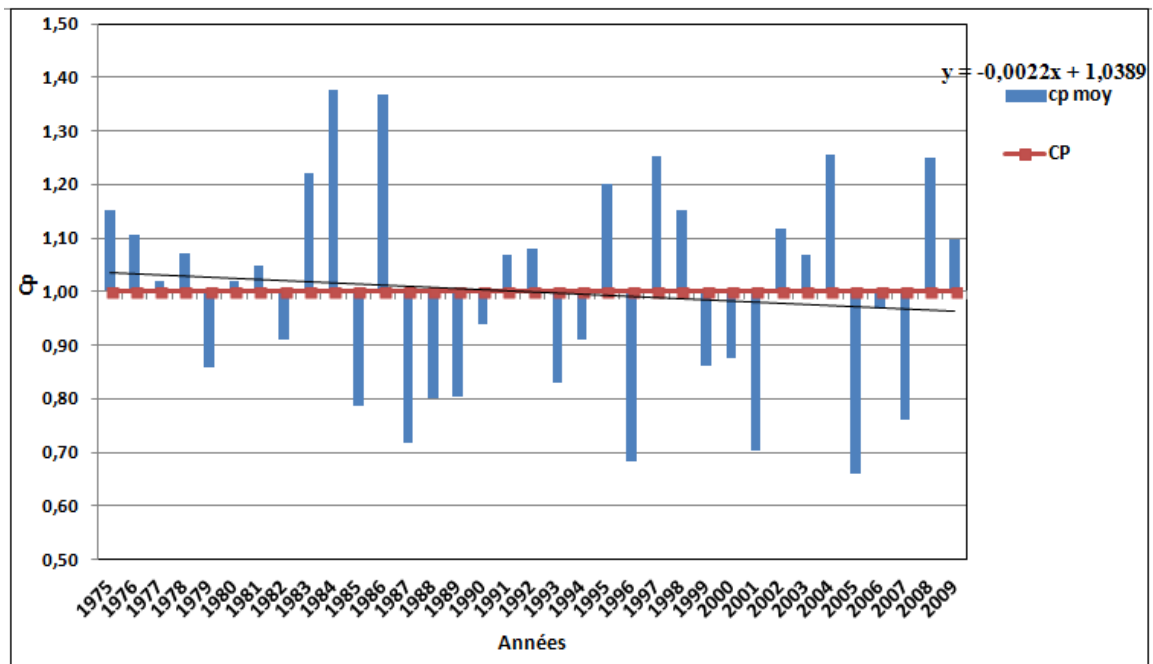


Figure 33. Evolution du coefficient pluviométrique moyen dans la région d'étude

La représentation graphique dans les figures précédentes représente une analyse des précipitations dans les quatre stations les plus représentatives de la zone d'étude, pendant la période (1975 à 2009), nous constatons que les anomalies négatives (années sèches) dépassent les anomalies positives (années humides) et que les plus longues périodes d'années déficitaires ont

été enregistrées après l'année (1993), surtout durant les deux dernières décennies (1990 et 2000) ou l'indice Cp moyen atteint (0,66 en 2005), qui représente une année très sèche dans la classification des indices des coefficients pluviométriques. Ces résultats montrent une variation des précipitations, ce qui peut influencer négativement sur la qualité des eaux du lac Mellah et ses effluents, particulièrement au cours des années déficitaires. La sécheresse, apparaît être le facteur critique, agissant comme facteur prédisposant et/ou d'incitation au développement de dépérissement. Notre résultat confirme les résultats de (Brohan et al ,2006) dans le globe, comme il est indiqué dans la figure suivante (Figure 34) les écarts à la température moyenne à la surface du globe classé par ordre décroissant depuis (1850 à 2008). Les dix années les plus chaudes de la planète, depuis le milieu du XXe siècle, ont été enregistrées après 1995. La température moyenne à la surface du globe présentait une anomalie positive de 0,3 °C entre 1977 et 2007. Cette valeur s'élève à 0,49 °C pour les dix dernières années. (Brohan et al. 2006)

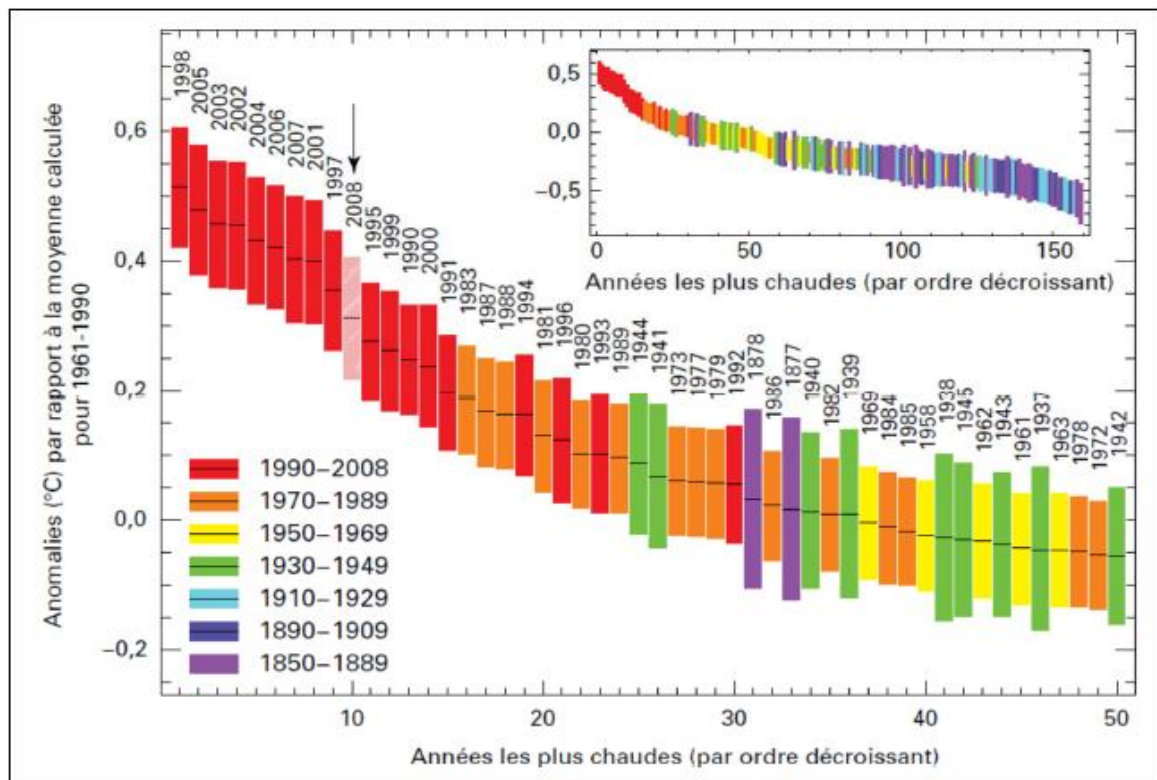


Figure 34. Les écarts à la température moyenne, à la surface du globe classé par ordre décroissant depuis 1850 à 2008. (Brohane et al ; 2006)

Aussi Solomon et al., (2007) montre une augmentation globale des précipitations jusqu'aux des années des cinquanteaines, un petit déclin jusqu'au début de l'année 1990, puis une reprise. (Figure 35).

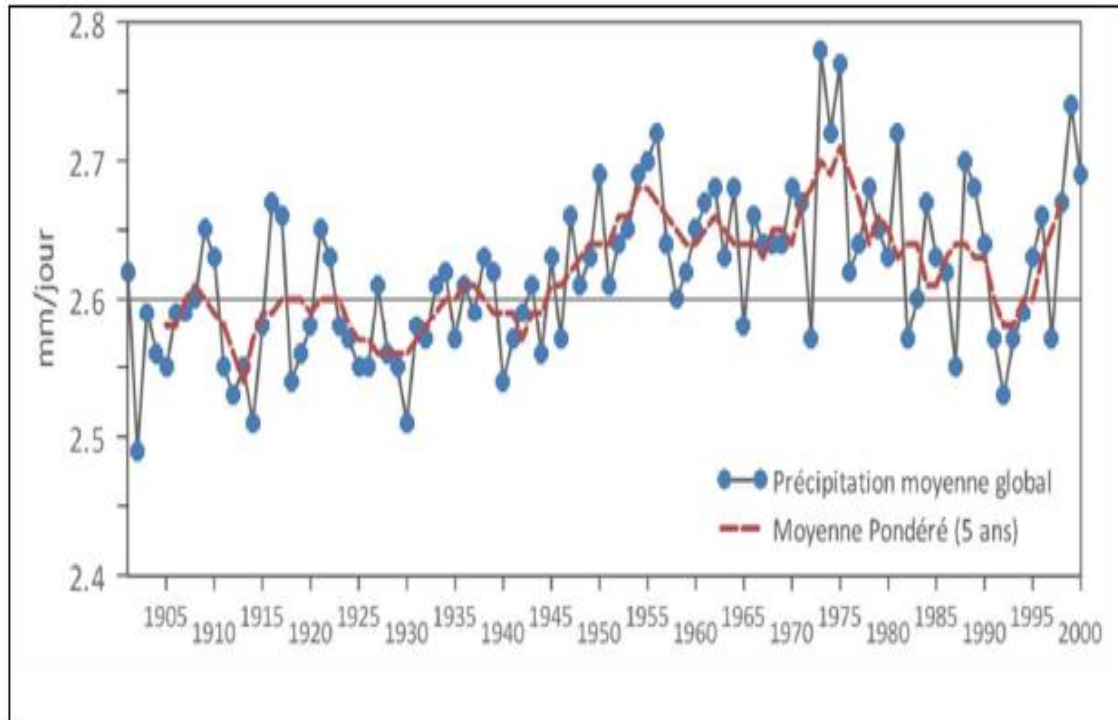


Figure 35. Précipitations moyennes globales pour la période 1901-2000
(Élaboration propre à partir de données de MITCHELL et al. 2003)

En Algérie, en considérant les stations du Nord comme une méthode comparative des moyennes (1974 -1992), on constate que l'ampleur du déficit pluviométrique de la dernière période (1974-1992) s'intensifie d'Est en Ouest. Aussi, Meddi et Humbert (2000) et Amina Sabri (2011) dans le Nord Algérien ont réalisé des études sur la sécheresse et ils ont constaté qu'un déficit pluviométrique apparaît à partir de 1970, et persiste encore actuellement. Ce déficit génère un grave problème d'ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation....). (Meddi M.2003).

Cette synthèse bibliographique montre l'importance de ce phénomène étudié et combien la communauté scientifique s'intéresse à la sécheresse, principalement aux indicateurs de sécheresse comme éléments essentiels pour la gestion de la pénurie d'eau.

III. Analyses des facteurs climatiques

Vu l'absence des données du climat au niveau des différents stations qui existe dans la région, l'étude de ces éléments : Température, vent et humidité porter uniquement sur celles de la station d'El-Kala.

III.1. Température

Les températures sont un facteur climatique très important qui réagit directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (humidité, précipitation,...etc) et biogéographiques. Le développement de la végétation, le phénomène de l'évapotranspiration et ainsi que le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Pour l'étude des températures, nous avons utilisé les dernières données disponibles qui sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station d'El-kala (1999-2010).

Les figures (36, 37) présentent les températures moyennes annuelles, moyenne des maxima et moyenne des minima par mois, pendant la période (1999-2010).

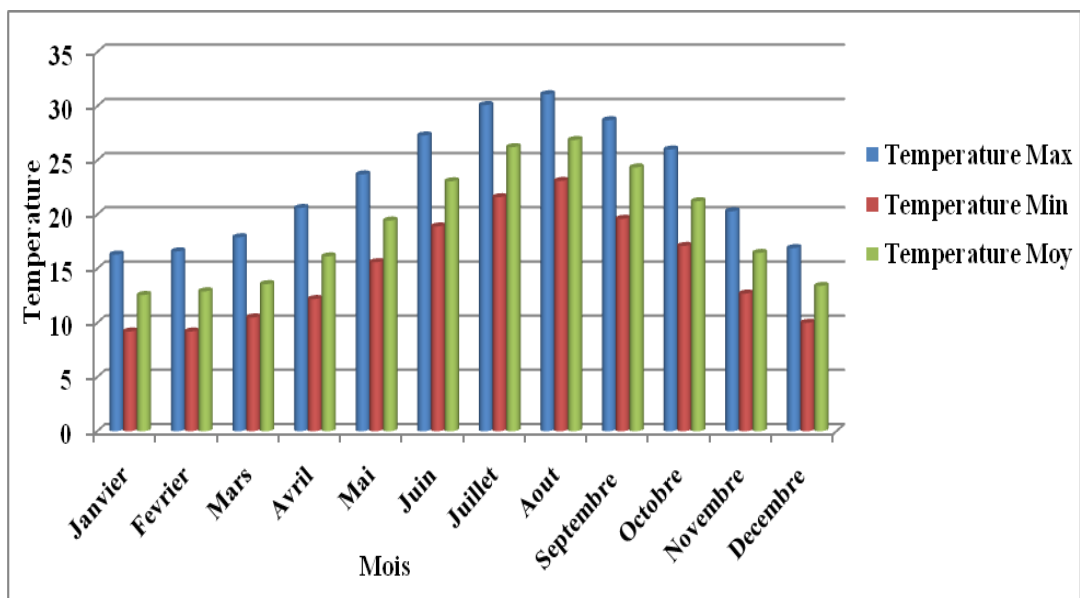


Figure 36. Evolution mensuelle de la température moyenne à la station d'El Kala (1999-2010)

A l'allure de ce graphe on peut constater une variation progressive des températures au cours des mois de l'année pendant la période (1999-2010) caractérisée par des moyennes mensuelles dépassent les 24°C de Juin à Octobre avec des maximales enregistrés aux mois de Juillet et d'Août et par des moyennes mensuelles inférieures à 17°C, du mois de Novembre au moi de Mai. Les plus basses températures s'observent en Janvier et Février. On observe que le maximum moyen des températures est enregistré au mois d'Août (26.9°C) et le minimum moyen au mois de Janvier de l'ordre de 12.6°C. A partir de ces données enregistrées, on distingue deux saisons thermiques, l'une chaude et l'autre froide. Au niveau de la mer, les températures descendent très rarement à 0°C.

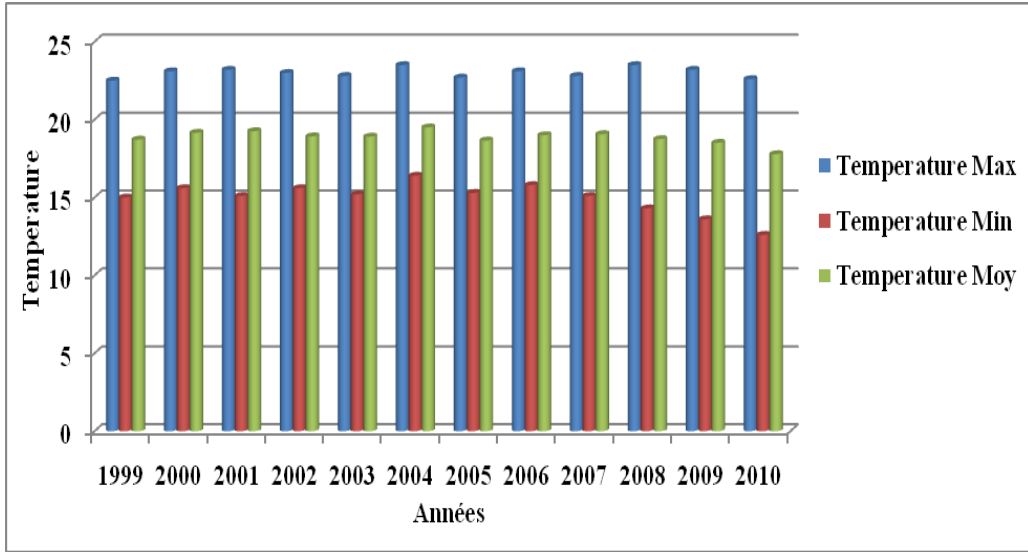


Figure 37. Evolution annuelle de la température moyenne à la station d’El Kala (1999-2010)

Le graphe montre que la variation des températures moyennes annuelles est nettement stable pendant la période (1999-2010). L’amplitude thermique annuelle qui traduit la différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid, est environ 18.9°C , ce qui confirme que le bassin versant du lac Mellah, situé dans une zone à climat essentiellement non continentale comme il est indiqué dans la figure (38) :

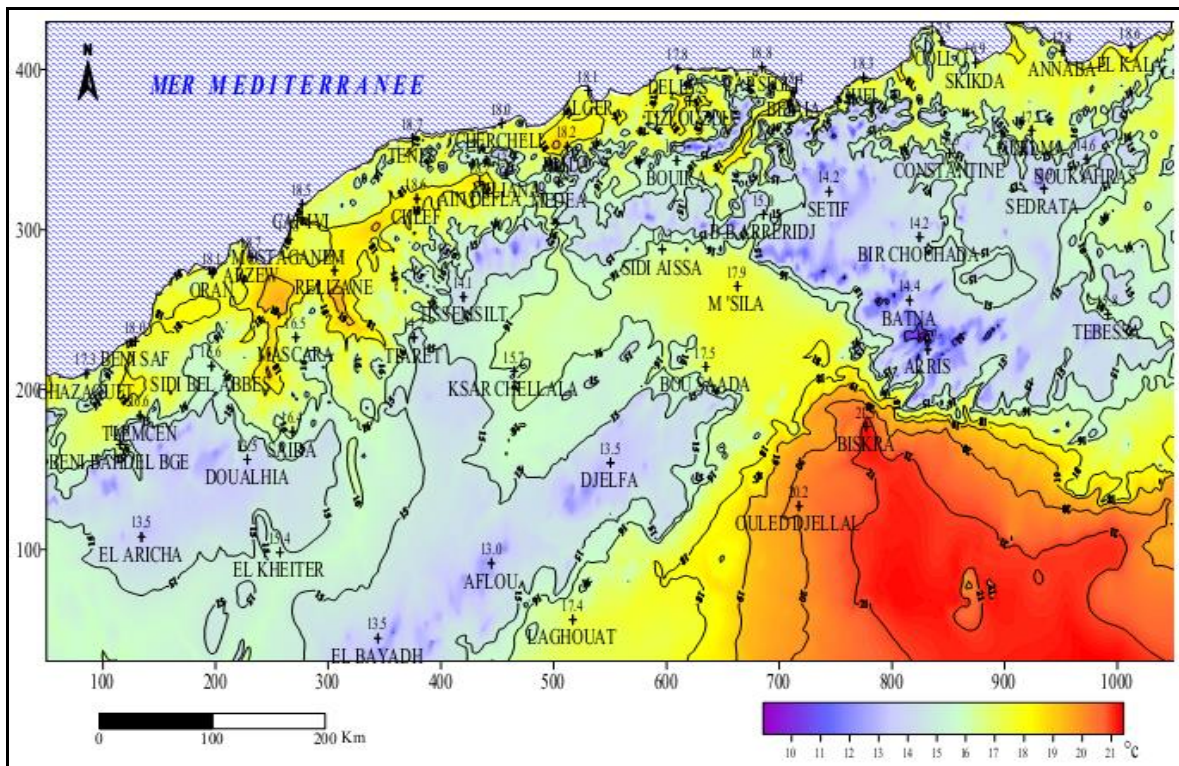


Figure 38. Carte de températures moyennes annuelles
(Office national de la météorologie (1975-84))

III.2. Le vent

Le vent joue un rôle très important dans notre région, il est l'un des éléments le plus déterminant des régimes pluviaux de l'évapotranspiration et par conséquent le climat de la région. Il est caractérisé par leur fréquence, direction et vitesse.

- **La vitesse du vent**

Il existe différents diagrammes peuvent être tracés pour les forces moyennes annuelles, mensuelles ou saisonnières. Il est à noter que la vitesse du vent est mesurée à l'aide d'un anémomètre et sa direction à l'aide d'une girouette.

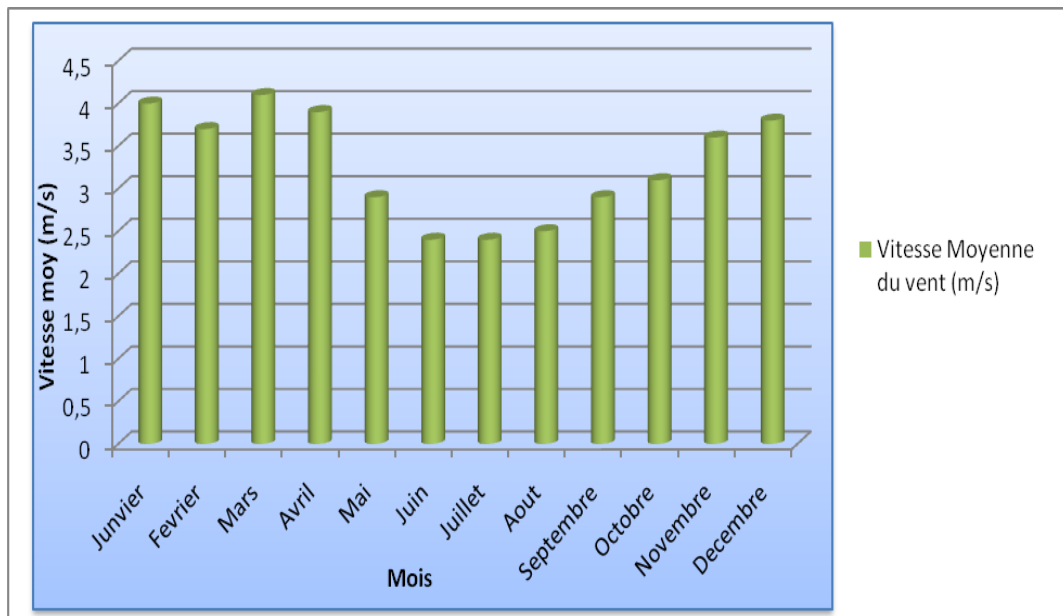


Figure 39. Evolution mensuelle de la vitesse moyenne des vents à la station d'El Kala (1984-2005).

Les vitesses mensuelles obtenues ont été classées selon les différentes saisons, la figure 39 représente la variation mensuelle de la vitesse moyenne des vents à la station d'El Kala pendant la période (1984-2005). La représentation graphique de ces données permet de voir que le site présente une évolution du vent pratiquement variable durant l'année. En effet, on remarque que les mois durant la période froide (Octobre jusqu'à Avril) sont les plus ventés. Ils sont caractérisés par des vitesses supérieures à 3 m/s. Ils sont suivis par la période chaude (Mai jusqu'à Septembre) pour lesquelles la vitesse moyenne inférieure à 3 m/s.

- **Fréquence et direction du vent**

Les diagrammes mensuels montrent une variation de direction de la provenance des systèmes météorologiques, cette direction représentée par la rose des vents. Ce type de représentation est le plus souvent utilisé car il est très facile de voir les directions privilégiées et de faire des comparaisons avec la situation géographique de l'endroit.

Vu l'absence des données de fréquence et la direction du vent, les graphes présentent les données relatives à la vitesse maximale mensuelle des vents (Figure 40), fréquences et leurs direction durant l'année 1992.

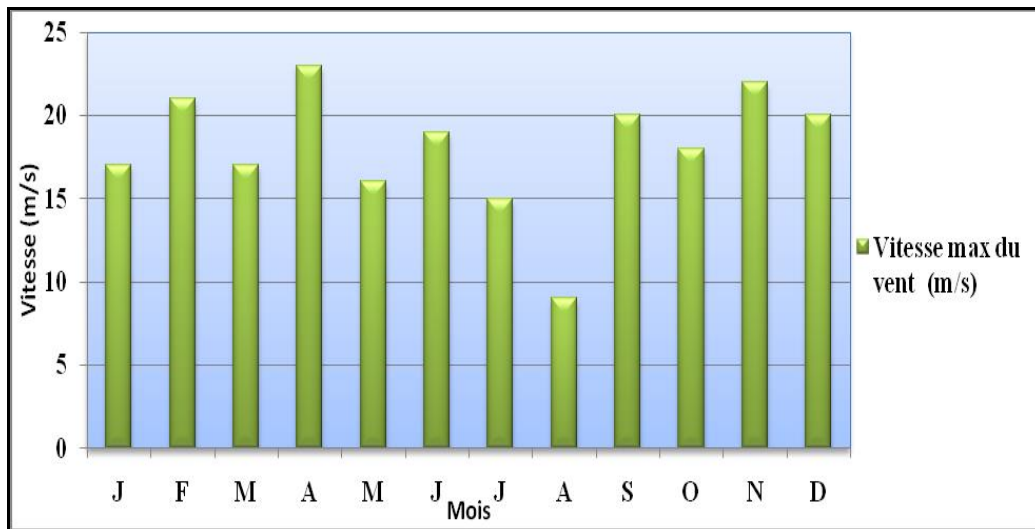


Figure 40. La vitesse maximale mensuelle du vent (Station d'El Kala ; 1992)

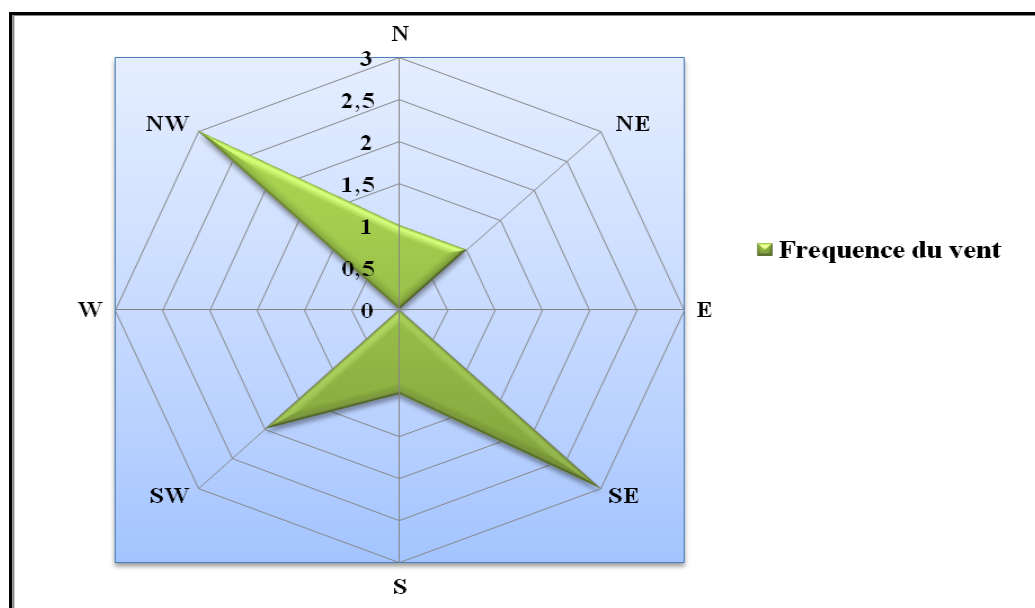


Figure 41. Fréquence des vents (station météorologique d'El Kala ; 1992)

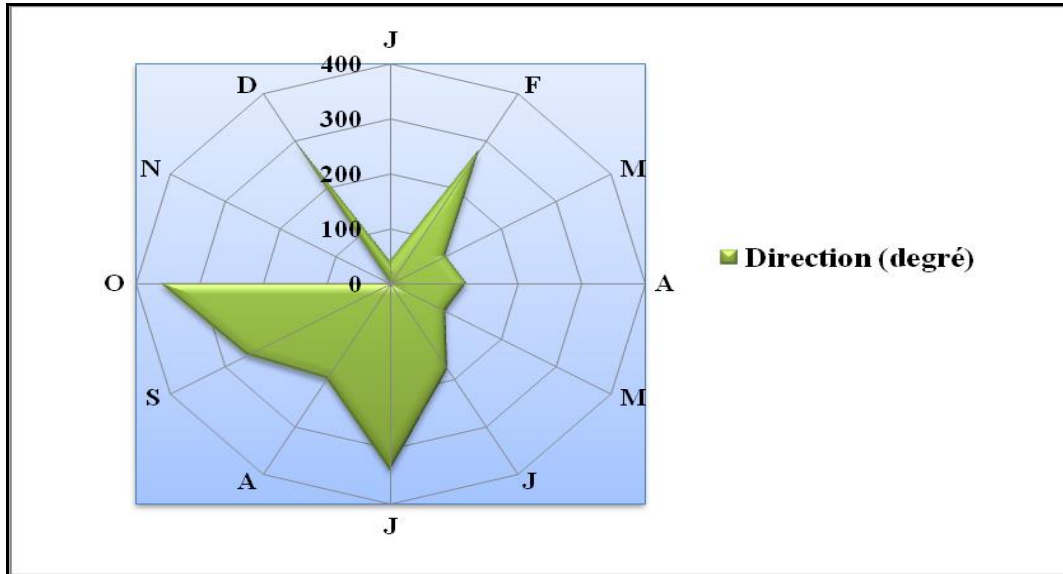


Figure 42. Évolution mensuelle de direction des vents (Station d'El Kala ; 1992)

La rose du vent (Figure 41) met en évidence des variations plus importantes dans le temps. Pendant la saison froide, les vents ont une direction Nord-Ouest prédominante avec une vitesse maximale de 23m/s et une direction à l'ordre de 120 degré au mois d'Avril. Pendant la saison chaude, la vitesse des vents s'affaiblit, elle atteint 9 m/s avec une direction de 200 degré au mois d'Août (Figure 42) le vent souffle alors du Nord-Est en donnant une brise de mer importante.

Ce sont les vents du Nord-Ouest, souvent liés aux pluies d'équinoxe, qui apportent les précipitations les plus importantes venues de l'Atlantique, lorsque les hautes pressions du large des Açores ont cédé le pas aux basses pressions venues de l'Atlantique. À l'opposé, on note une manifestation d'un vent chaud, le sirocco du Sud-Est principalement en été, assèche l'atmosphère et favorise avec les températures élevées, les incendies de forêt (Incendie de l'été 1983 et celui de 1993).

III.3. L'humidité

L'humidité relative est l'un des principaux paramètres du cycle hydrologique. Elle est la source de toutes les précipitations, elle conditionne l'évaporation. Elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température.

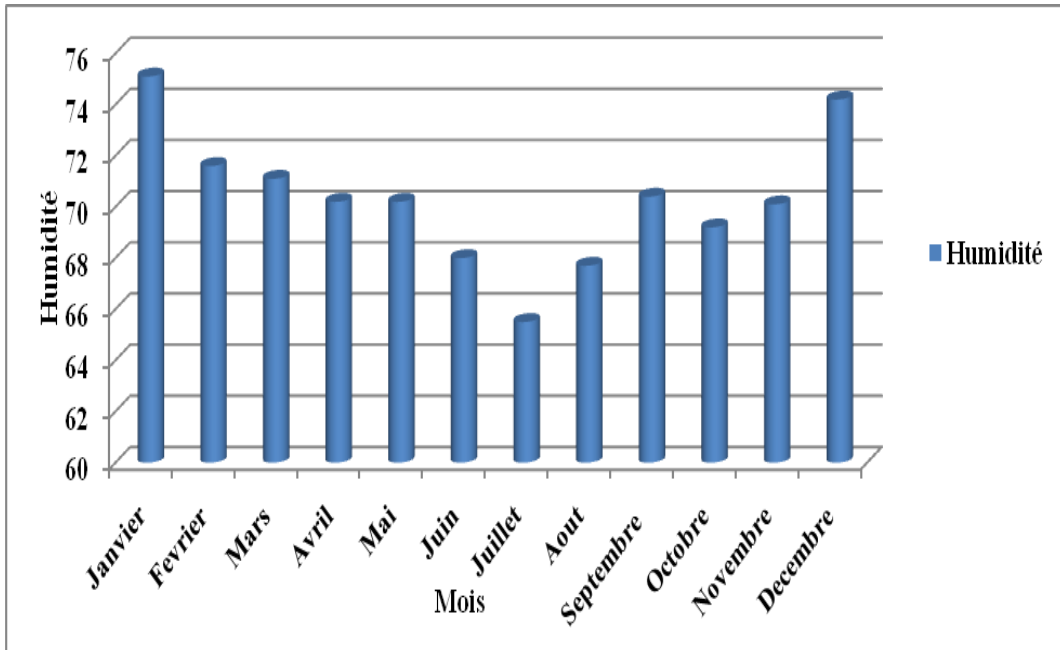


Figure 43. Évolution mensuelle de l'humidité relative (Station d'El Kala 1999-2010)

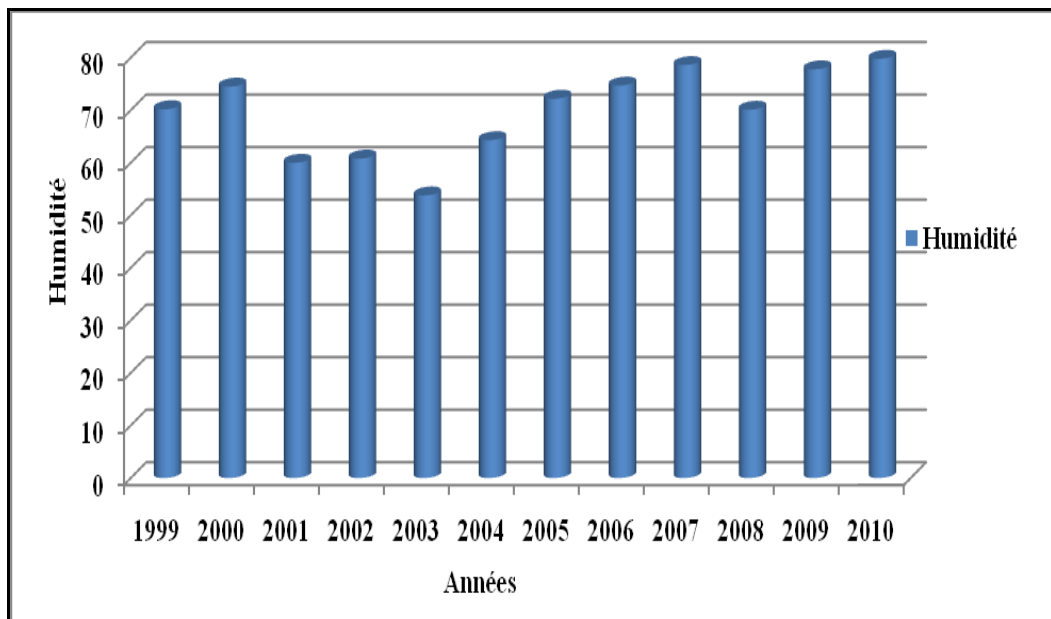


Figure 44. Évolution annuelle de l'humidité relative (Station d'El Kala 1999-2010)

Dans la région d'El Kala, le degré d'hygrométrie est très élevé tout au long de l'année et il est presque constant avec une moyenne de 69.7% durant la période (1999-2010). Le maximum est observé en Janvier (75.1%) et le minimum en Juillet (65.5%) (Figure 43).

La figure 44 montre que la variation annuelle de l'humidité est très faible depuis une décennie. La mer, les nombreux plans d'eau ainsi que la richesse de la région en écosystèmes

forestiers (zones montagneuses) contribuent au maintien d'une humidité élevée pendant toute l'année.

III.4. Climagramme de Louis Emberger

Le climat de la zone d'étude est du type méditerranéen caractérisé par deux saisons l'une pluvieuse allant de Novembre au mois de Mai avec des températures moyennes annuelles de 14°C et une saison sèche moins pluvieuse allant de Juin à mois d'Octobre avec des températures moyennes annuelles de 24°C .

Pour déterminer les climats de la zone méditerranéenne, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient Q qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds. Il propose donc la formule suivante :

$$Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2} \quad (4)$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle [mm] ;

M : moyenne des températures maximas du mois le plus chaud [kelvin] ;

m : moyenne des températures minimas du mois le plus froid [kelvin];

L'application numérique donne les résultats suivants :

Tableau 6. Résultats du quotient pluviométrique d'Emberger dans les quatre stations étudiées

Station	P (mm)	M (°K)	M (°K)	Q
El-Kala	792,6	299,15	285,35	196,53
Ain El Assel	822,3	298,25	284,75	208,96
Ben M'hidi	645,4	298,85	283,85	147,68
Les salines	669,8	298,75	284,25	158,47

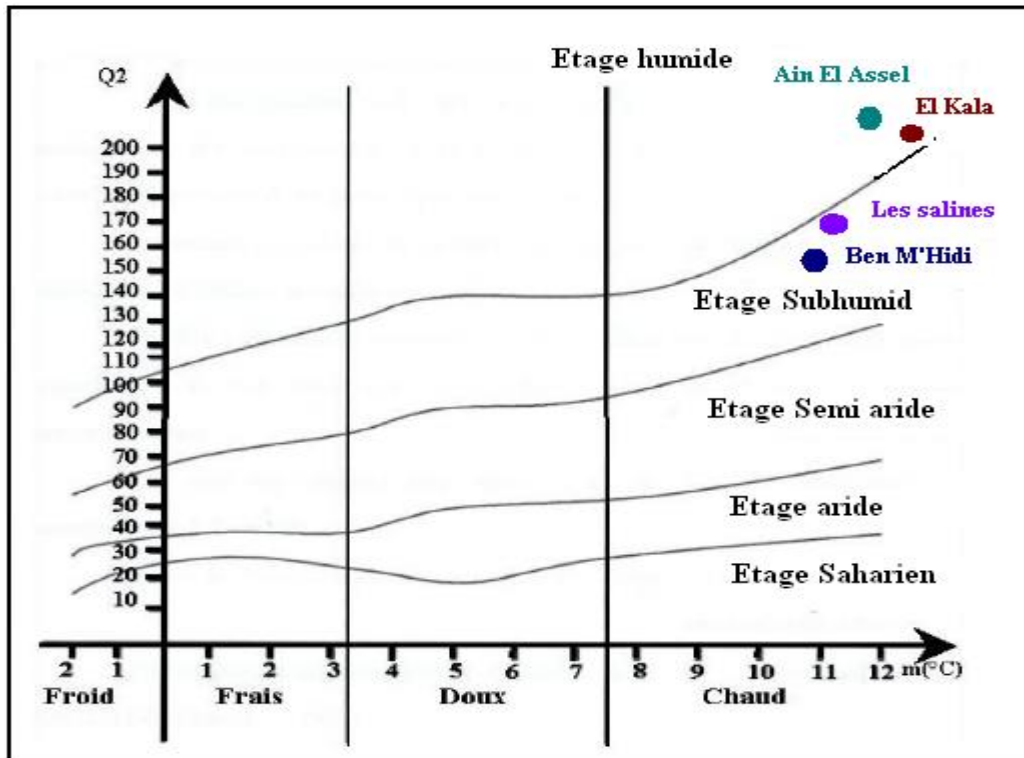


Figure 45. Climagramme d'Emberger

Les deux régions d'El-Kala et Ain El-Assel se trouvent selon le climagramme d'Emberger dans l'étage bioclimatique humide à hiver chaud avec des quotients respectivement de 196,53 et 208,96. Aussi les valeurs du quotient pluviométrique pour les deux autres stations Ben M'hidi et Les Salines sont respectivement de 147,68 et 158,47 ce qui indique un régime humide à hiver chaud.

III.5. Caractéristiques climatiques d'aridité

Pour déterminer le type du climat, nous avons utilisé deux formules qui vont nous renseigner sur les caractéristiques du climat régional.

La formule climatique de Martonne (1925) est appelée indice d'aridité, en combinant entre les précipitations et les températures:

$$A = \frac{P}{10+T} \quad (5)$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle [mm] ;

T : Température moyenne annuelle [C°] ;

A : indice d'aridité annuelle.

Selon De Martonne :

- $A < 5$: le climat est hyperaride ;
- $5 < A < 10$: le climat est très sec ;
- $10 < A < 20$ le climat est sec ;
- $20 < A < 30$ le climat est tempéré ;
- $A > 30$ l'écoulement est abondant (climat humide).

Les résultats obtenus sont condensés résumés dans le tableau 7

Tableau 7. Indice annuel d'aridité

Station	Précipitation (mm)	Température (°C)	Aridité
El kala	792,6	18,5	31,02
Ain El Assel	822,5	17,5	33,60
Ben M'hidi	645,9	17,6	26,88
Les Salines	669,8	17,8	27,66

L'observation du tableau précédent, montre deux types de climat, le premier est de type tempéré et caractérise les stations des Salines et Ben M'hidi. Le second est de type humide caractérise la station d'El Kala ; Ain El Assel. Où l'on note que la station d'Ain El Assel est plus humide que la station d'El Kala.

Pour mieux préciser l'indice d'aridité avec la répartition saisonnière, les élèves de De Martonne ont défini un indice mensuel d'aridité par la formule suivant :

$$A = \frac{P * 12}{10 + T} \quad (6)$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle [mm] ;

T : Température moyenne annuelle [C°] ;

A : Indice d'aridité mensuel.

Les résultats obtenus sont condensés résumé dans les tableaux suivant :

	Tp	Pr	A
S	24	50,58	17,85
O	20,8	83,12	32,38
N	16,5	119,97	54,33
D	13,5	118,83	60,68
J	12,5	110,64	59,01
F	12,7	86,00	45,46
M	13,6	83,34	42,38
A	15,6	67,97	32,33
M	19	47,62	19,70
J	22,4	10,75	3,98
J	25,5	2,80	0,95
A	26	11,04	3,68

	Tp	Pr	A
S	23,1	57,25	20,76
O	19,7	79,45	32,10
N	15,4	116,5	55,04
D	12,1	127,25	69,10
J	11,6	118,95	66,08
F	11,8	89,15	49,07
M	12,8	88,8	46,74
A	14,7	74,75	36,32
M	18,1	39,9	17,04
J	21,3	15,2	5,83
J	24,3	2,75	0,96
A	25,1	12,3	4,21

Tableau 8. Aridité mensuel de la station d'El kala

Tableau 9. Aridité mensuel de la station d'Ain El Assel

	Tp	Pr	A
S	23,3	35,27	13,43
O	19,7	52,34	22,93
N	15,4	88,71	41,91
D	12,3	104,7	59,03
J	10,7	106,54	62,92
F	11,2	79,08	44,76
M	13,2	55,85	31,53
A	15	53,39	25,87
M	18,3	32,8	13,06
J	21,9	7,96	4,12
J	24,5	1,09	0,38
A	25,7	7,71	2,59

	Tp	Pr	A
S	23,1	39,2	14,20
O	20	54,6	21,84
N	15,7	90,0	42,02
D	12,5	119,8	63,89
J	11,1	111,9	63,66
F	11,3	79,6	44,85
M	12,9	65,8	34,48
A	15,4	52,8	24,94
M	18,6	30,9	12,98
J	22,1	14,1	5,27
J	25,2	1,5	0,50
A	25,6	9,6	3,24

Tableau 10. Aridité mensuel de la station de Ben M'hidi

Tableau 11. Aridité mensuel de la station des salines

Les tableaux précédentes représentent l'aridité mensuel des quatre stations d'étude et montre que :

- **La station d'El Kala** au mois de Juillet à Août le climat est hyperaride, le mois de Juin devient très sec et alors qu'au mois Septembre et Mai le climat est sec. Au mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril le climat est humide ;
- **La station d'Ain El Assel** au mois de juin à Août le climat est hyperaride, et au moi de Mai le climat est sec alors qu'au mois de Septembre le climat est tempéré ; puis au mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril le climat est humide ;
- **La station de Ben M'hidi** au mois de Juin à Aout le climat est hyperaride, alors qu'au mois de Septembre et Mai le climat est sec et au mois de Novembre jusqu'au mois de Février le climat est humide et puis au mois d'Octobre et Avril le climat est tempéré ;
- **La station des Salines** ; le mois de Septembre et Mai le climat est sec, au mois d'Avril et Octobre le climat devient tempéré. Alors que du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars le climat est humide, puis au mois de Juin le climat devient hyperaride.

IV. Calcul le bilan hydrologique

Les températures et les précipitations constituent les deux principaux paramètres des climats car l'ensoleillement est de façon générale, bien corrélé avec la température. Divers types de diagrammes destinés à donner une représentation graphique des paramètres majeurs du climat propre à une région donnée. Pour estimer le bilan hydrique la méthode de THORNTHAITE (1948) est la plus appliquée, car se rapproche au mieux de la réalité de la zone d'étude ainsi que la méthode Thornthwaite reste la plus appropriée pour tels calculs, elle contient un facteur de correction qui intègre la durée d'insolation. L'établissement du bilan d'eau d'une région nécessite l'évaluation de la répartition des précipitations entre les composantes suivantes :

- l'écoulement ;
- L'infiltration ;
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR).

IV.1. Evapotranspiration

Une évapotranspiration est un phénomène effectué par les êtres vivants (végétaux surtout), le principe consiste à perdre de l'eau sous forme de vapeur. C'est donc une perte d'eau due à deux phénomènes : l'évaporation de l'eau, du sol, des plantes, et la transpiration des plantes.

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan (évaporation et transpiration) sont réunis en un seul terme « L'évapotranspiration », on distingue : l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

IV.1.1. Evapotranspiration Potentielle (ETP)

Une évapotranspiration potentielle est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré. Elle s'exprime en hauteur d'eau. Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle, on utilise la formule de Thornthwaite.

La formule empirique de THORNTHWAITE se présente sous la forme :

$$ETP = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^\alpha F(\lambda) \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{1.6}{100} I + 0.5 \quad (8)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (9)$$

Avec :

T : Température moyenne mensuelle [C°] ;

I : Indice thermique mensuel ;

i : Indice thermique annuel.

F (λ) : facteur de correction intégrant la durée d'insolation, le nombre des jours de mois et la température.

IV.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la méthode de Thornthwaite est liée au volume de précipitation. Trois cas peuvent se présenter :

- 1^{er} cas : $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$. Il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus, représentera l'écoulement superficiel.
- 2^{ème} cas : $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$. Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP.

- 3ème cas : $P < ETP$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$. Là on aura un déficit qui représente la quantité d'eau à apporter pour l'irrigation (déficit agricole).

Le bilan hydrique vise à déterminer la répartition des précipitations reçues par une surface, il tient compte de :

P : Précipitation brute moyenne mensuelle en [mm].

ETR : Evapotranspiration réelle en [mm].

ETP : Evapotranspiration potentielle en [mm].

I : L'infiltration efficace atteignant les eaux souterraines en [mm].

R : Ruissellement qui rejoint l'oued en [mm].

RFU : Réserve facilement utilisable (le RFU = 100 mm pour les trois stations).

- Pour le calcul du bilan d'eau, la valeur de la RFU a été choisie en fonction de la nature du sol.
- Le sol de la région étudiée étant hétérogène, nous avons estimé les valeurs de la RFU selon la formule de Hallaire qui s'écrit de la manière suivante :

$$RFU = \frac{C - f}{100} \times H \times D + 30(mm) \quad (10)$$

Avec :

RFU : Réserve en eau du sol en [mm].;

C : Capacité au champ ;

f : Capacité au point de flétrissement ;

H : profondeur du sol en [mm];

D : densité apparente, $D = 1$.

Les valeurs de $C-f$ donnée par Hallaire selon la nature du sol sont :

* $C-f = 5 \%$ pour un sol sableux.

* $C-f = 10 \%$ à 15% limoneux.

* $C-f = 20 \%$ pour un sol argilo-sableux.

IV.2. Etablissement du bilan d'eau dans les quatre stations pluviométriques par la méthode de C.W.Thornthwait

Les tableaux et les figures ci-dessous résument les bilans des eaux pour les quatre stations, à savoir El-Kala, Ain El Assel, Ben M'hidi et les Salines, établis selon la méthode de Thornthwaite :

Tableau 12. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station d'El Kala

	Tp	IT	CL	ETP	Pr	BH	CH	VR	RUF	ETPR	Def	Exc
S	24	10,7	1,03	110,9	50,58	-60,3	-0,5	0,0	0,0	50,6	60,3	0,0
O	20,8	8,7	0,97	79,2	83,12	3,9	0,0	3,9	3,9	79,2	0,0	0,0
N	16,5	6,1	0,86	44,9	119,97	75,1	1,7	75,1	79,0	44,9	0,0	0,0
D	13,5	4,5	0,81	28,7	118,83	90,1	3,1	21,0	100,0	28,7	0,0	69,1
J	12,5	4,0	0,87	26,6	110,60	84,0	3,2	0,0	100,0	26,6	0,0	84,0
F	12,7	4,1	0,85	26,8	86,00	59,2	2,2	0,0	100,0	26,8	0,0	59,2
M	13,6	4,5	1,03	37,0	83,34	46,3	1,3	0,0	100,0	37,0	0,0	46,3
A	15,6	5,6	1,10	51,6	67,97	16,4	0,3	0,0	100,0	51,6	0,0	16,4
M	19	7,5	1,21	83,0	47,62	-35,4	-0,4	-35,4	64,6	83,0	0,0	0,0
J	22,4	9,7	1,22	115,0	10,75	-104,2	-0,9	-64,6	0,0	75,4	39,6	0,0
J	25,5	11,8	1,24	150,1	2,80	-147,3	-1,0	0,0	0,0	2,8	147,3	0,0
A	26	12,1	1,16	145,7	11,04	-134,7	-0,9	0,0	0,0	11,0	134,7	0,0
Annuel	18,5	89,4		899,4	792,6	-106,8				517,6	381,8	275,0

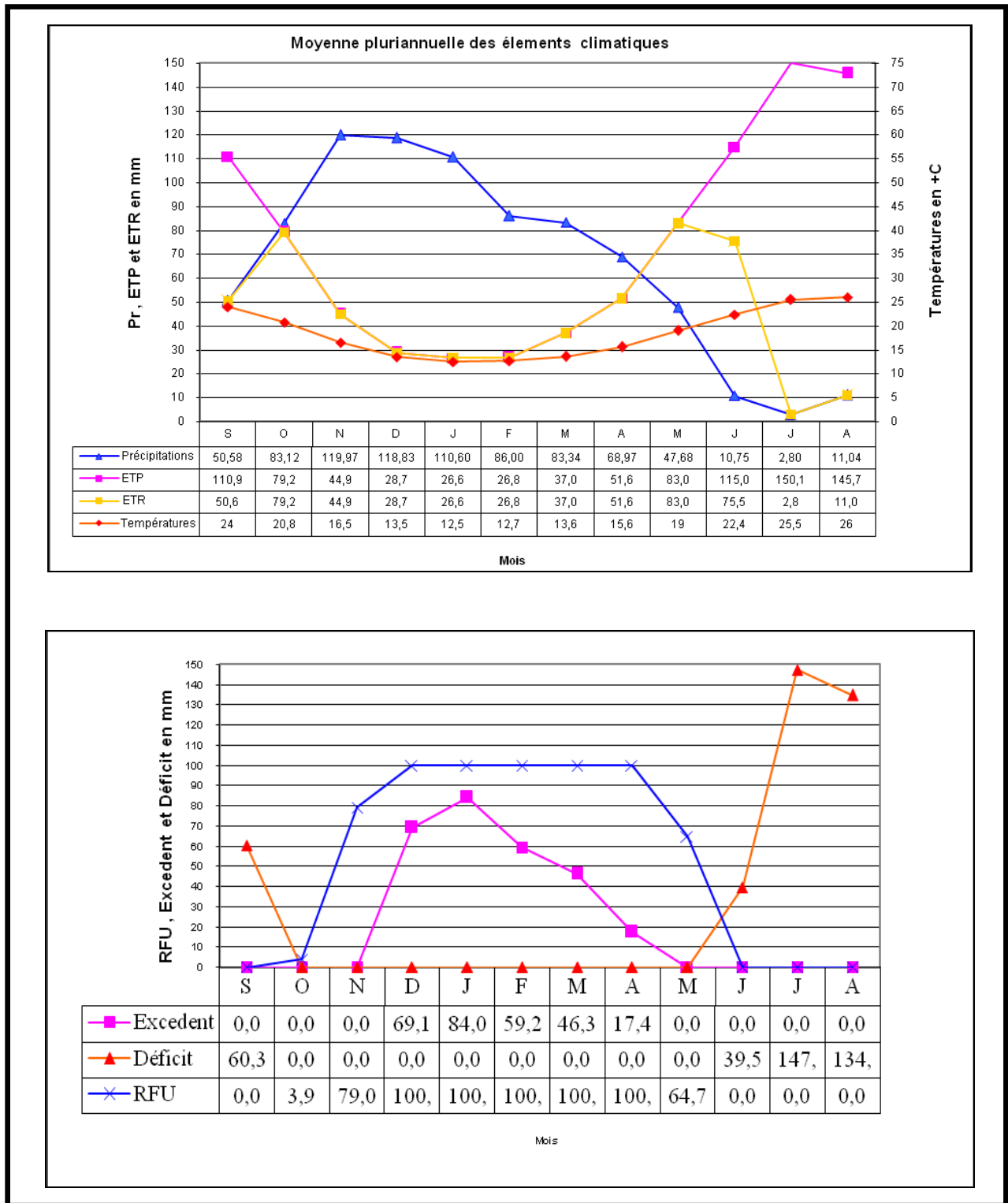


Figure 46. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station d'El-Kala

Tableau 13. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station d'Ain El-Assel

	 Tp	 IT	 CL	 ETP	 Pr	 BH	 CH	 VR	 RUF	 ETPR	 Def	 Exc
S	23,1	10,1	1,03	107,4	57,25	-50,2	-0,5	0,0	0,0	57,3	50,2	0,0
O	19,7	8,0	0,97	75,7	79,45	3,7	0,0	3,7	3,7	75,7	0,0	0,0
N	15,4	5,5	0,86	42,9	116,5	73,6	1,7	73,6	77,3	42,9	0,0	0,0
D	12,1	3,8	0,81	26,1	127,25	101,2	3,9	22,7	100,0	26,1	0,0	78,5
J	11,6	3,6	0,87	25,9	118,95	93,0	3,6	0,0	100,0	25,9	0,0	93,0
F	11,8	3,7	0,85	26,1	89,15	63,0	2,4	0,0	100,0	26,1	0,0	63,0
M	12,8	4,2	1,03	36,7	88,8	52,1	1,4	0,0	100,0	36,7	0,0	52,1
A	14,7	5,1	1,10	50,4	74,75	24,3	0,5	0,0	100,0	50,4	0,0	24,3
M	18,1	7,0	1,21	81,0	39,9	-41,1	-0,5	-41,1	58,9	81,0	0,0	0,0
J	21,3	9,0	1,22	109,8	15,2	-94,6	-0,9	-58,9	0,0	74,1	35,7	0,0
J	24,3	11,0	1,24	141,8	2,75	-139,0	-1,0	0,0	0,0	2,8	139,0	0,0
A	25,1	11,5	1,16	140,7	12,3	-128,4	-0,9	0,0	0,0	12,3	128,4	0,0
Annuel	17,5	82,4		864,6	822,3	-42,4				511,4	353,3	310,9

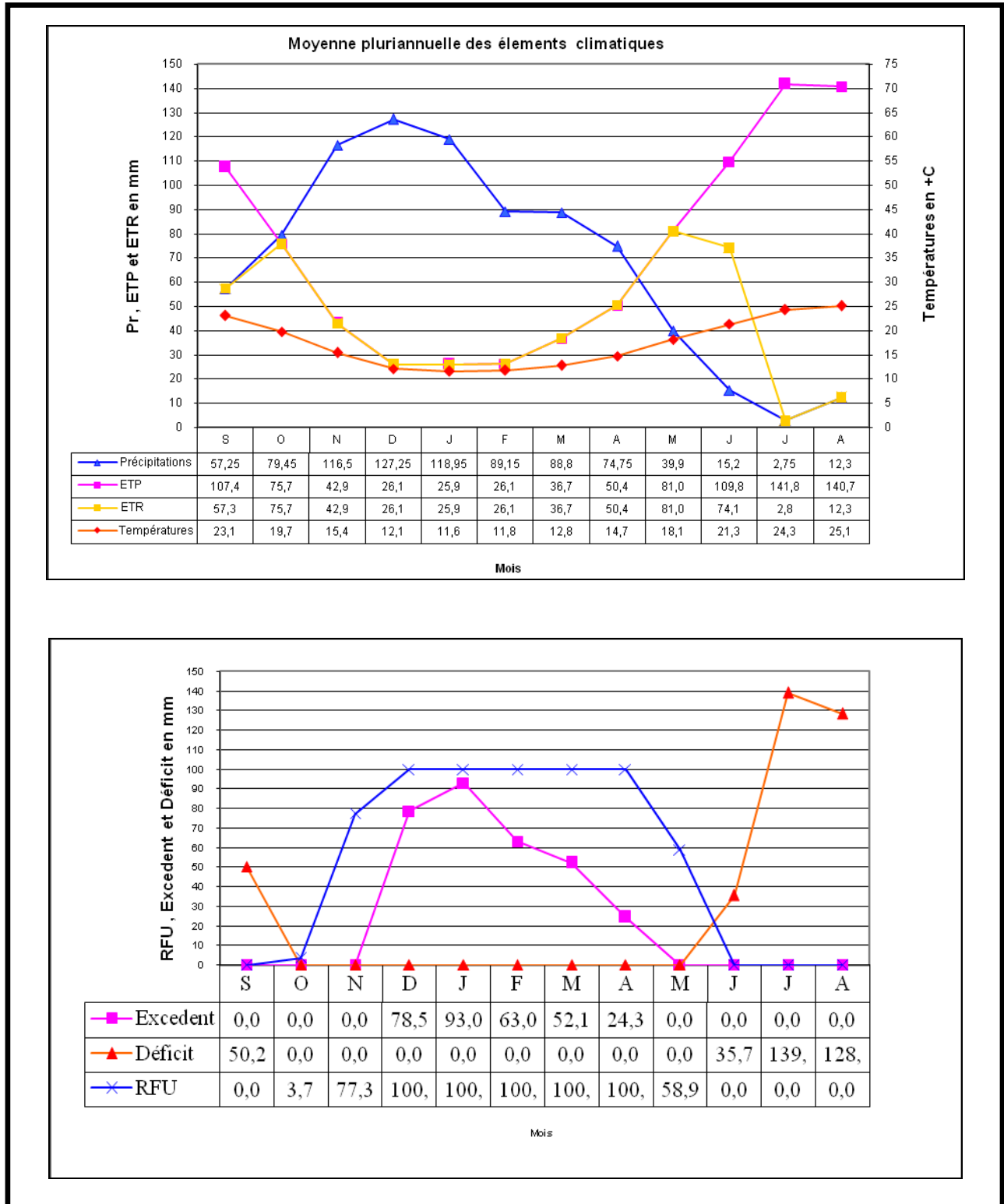


Figure 47. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station d'Ain El Assel

Tableau14. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station des Ben M'hidi

	Tp	IT	CL	ETP	Pr	BH	CH	VR	RUF	ETPR	Def	Exc
S	23,3	10,3	1,03	108,5	37,27	-71,3	-0,7	0,0	0,0	37,3	71,3	0,0
O	19,7	8,0	0,97	75,1	56,74	-18,4	-0,2	0,0	0,0	56,7	18,4	0,0
N	15,4	5,5	0,86	42,4	88,71	46,3	1,1	46,3	46,3	42,4	0,0	0,0
D	12,3	3,9	0,81	26,5	109,7	83,2	3,1	53,7	100,0	26,5	0,0	29,5
J	10,7	3,2	0,87	22,0	108,54	86,5	3,9	0,0	100,0	22,0	0,0	86,5
F	11,2	3,4	0,85	23,4	79,08	55,7	2,4	0,0	100,0	23,4	0,0	55,7
M	13,2	4,3	1,03	38,3	60,95	22,7	0,6	0,0	100,0	38,3	0,0	22,7
A	15	5,3	1,10	51,7	53,89	2,2	0,0	0,0	100,0	51,7	0,0	2,2
M	18,3	7,1	1,21	81,9	30,8	-51,1	-0,6	-51,1	48,9	81,9	0,0	0,0
J	21,9	9,4	1,22	114,8	10,96	-103,8	-0,9	-48,9	0,0	59,9	54,9	0,0
J	24,5	11,1	1,24	143,3	1,09	-142,2	-1,0	0,0	0,0	1,1	142,2	0,0
A	25,7	11,9	1,16	146,3	7,71	-138,6	-0,9	0,0	0,0	7,7	138,6	0,0
Annuel	17,6	83,3		874,2	645,4	-228,8				448,9	425,4	196,6

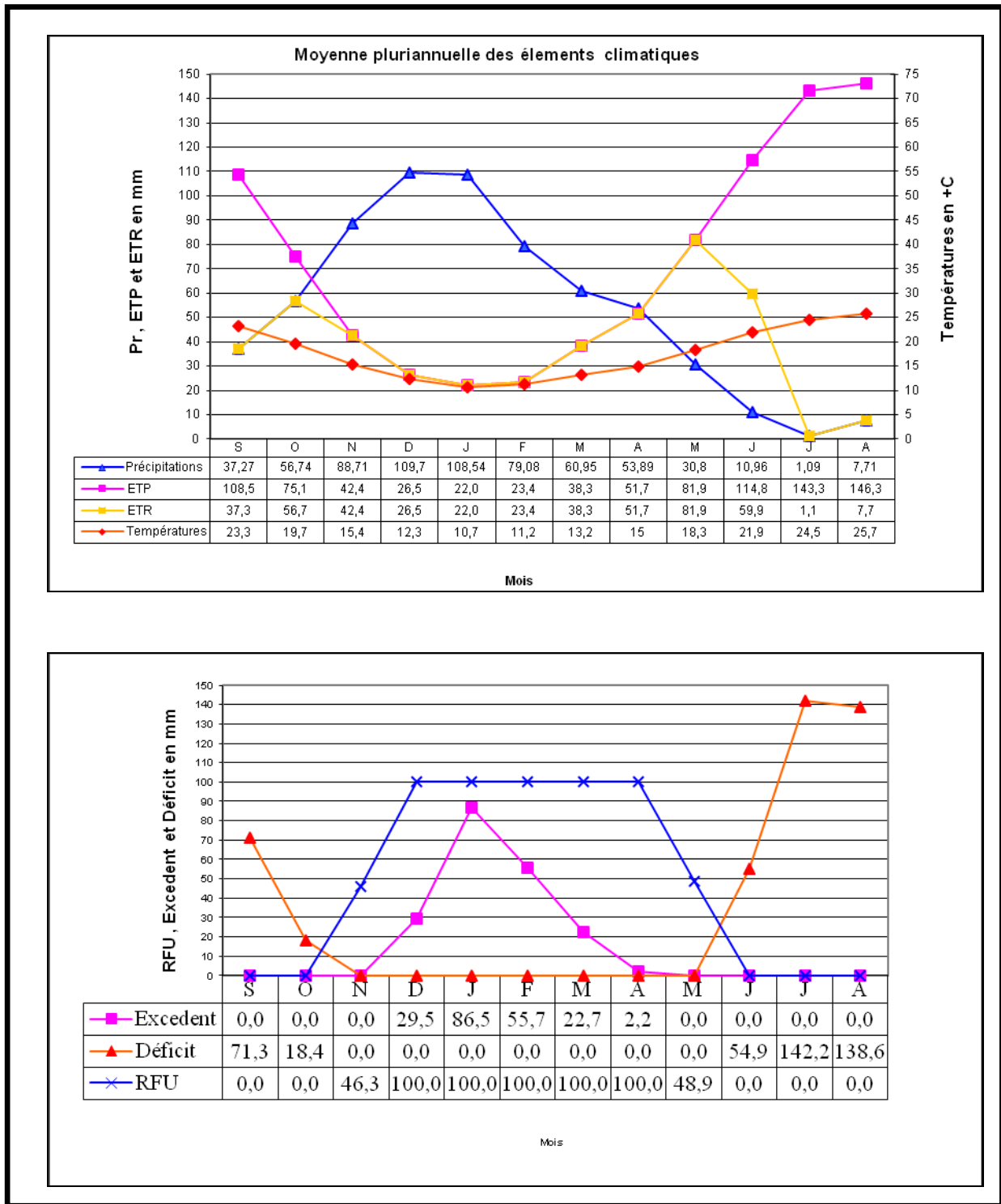


Figure 48. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station de Ben M'hibi

Tableau15. Bilan d'eau de Thornthwaite à la station des Salines

	Tp	IT	CL	ETP	Pr	BH	CH	VR	RUF	ETPR	Def	Exc
S	23,1	10,1	1,03	106,0	39,2	-66,9	-0,6	0,0	0,0	39,2	66,9	0,0
O	20	8,2	0,97	76,4	54,6	-21,8	-0,3	0,0	0,0	54,6	21,8	0,0
N	15,7	5,7	0,86	43,3	90,0	46,7	1,1	46,7	46,7	43,3	0,0	0,0
D	12,5	4,0	0,81	26,7	119,8	93,1	3,5	53,3	100,0	26,7	0,0	39,8
J	11,1	3,3	0,87	23,0	111,9	88,9	3,9	0,0	100,0	23,0	0,0	88,9
F	11,3	3,4	0,85	23,2	79,6	56,4	2,4	0,0	100,0	23,2	0,0	56,4
M	12,9	4,2	1,03	36,0	65,8	29,8	0,8	0,0	100,0	36,0	0,0	29,8
A	15,4	5,5	1,10	53,4	52,8	-0,6	0,0	-0,6	99,4	53,4	0,0	0,0
M	18,6	7,3	1,21	83,3	30,9	-52,4	-0,6	-52,4	47,0	83,3	0,0	0,0
J	22,1	9,5	1,22	115,7	14,1	-101,6	-0,9	-47,0	0,0	61,1	54,6	0,0
J	25,2	11,6	1,24	150,0	1,5	-148,5	-1,0	0,0	0,0	1,5	148,5	0,0
A	25,6	11,9	1,16	144,5	9,6	-134,9	-0,9	0,0	0,0	9,6	134,9	0,0
Annuel	17,8	84,7		881,6	669,8	-211,8				454,8	426,7	214,9

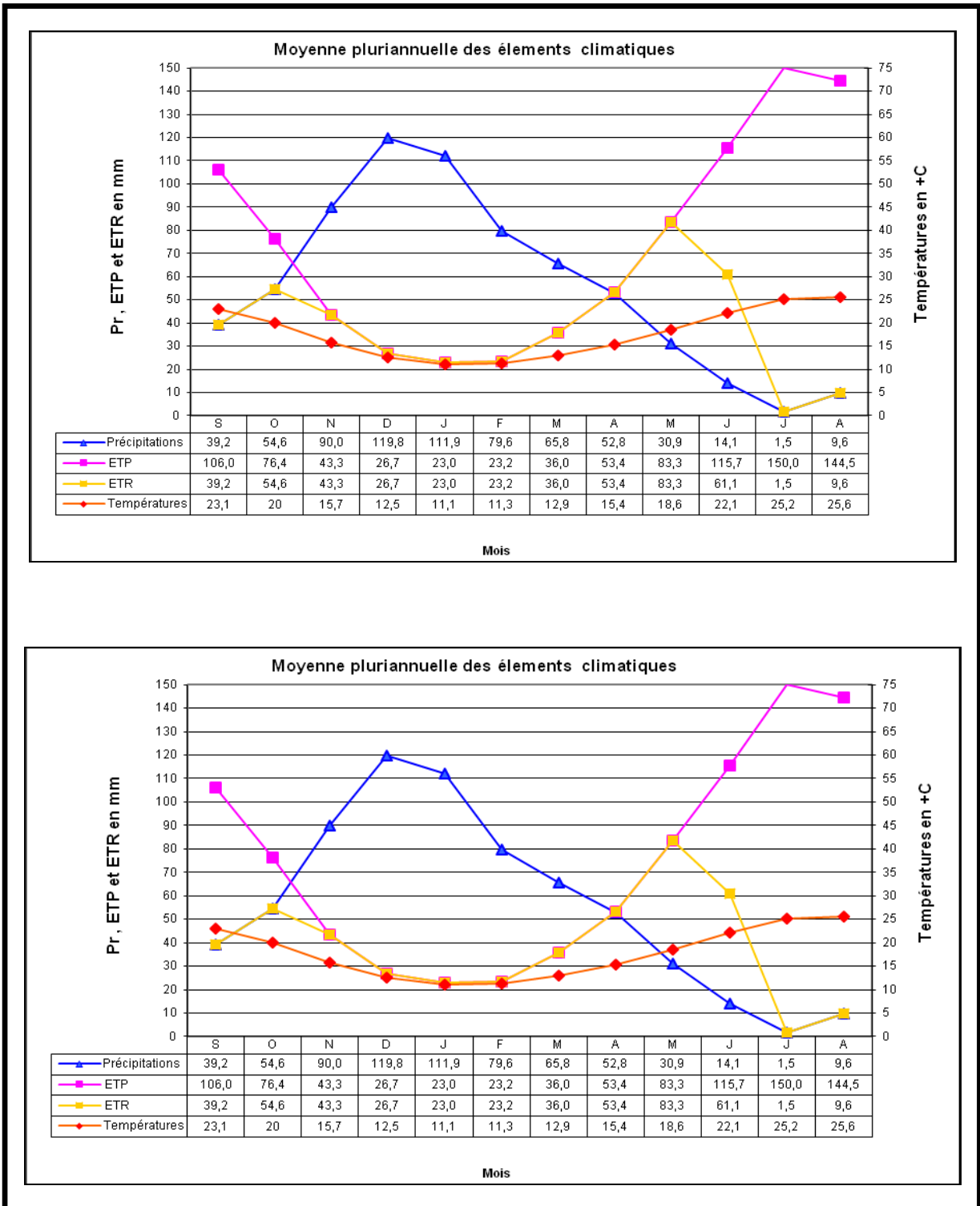


Figure 49. Représentation graphique du bilan hydrologique à la station des Salines

Le bilan d'eau d'une région est une évaluation de la répartition des précipitations entre ses différentes composantes, d'où l'établissement du bilan de circulation des eaux dans un bassin versant est impératif.

La synthèse des données climatiques nous a permis de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide avec une précipitation élevée et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse avec des températures relativement élevées.

L'établissement du bilan d'eau des stations par la méthode de C.W.Thornthwaite montre d'une part que la recharge s'effectue pour les quatre stations (El kala, Ain El Assel, Ben M'hidi et les Salin) au mois de Décembre et s'achève au mois d'Avril avec une baisse de température et une forte pluviométrie. Et d'autre part, le bilan d'eau montre que l'alimentation du stock est nulle et qui s'étale du mois de Juin à Octobre pour les différentes stations d'étude.

Cette dernière est caractérisée par un déficit pluviométrique avec une forte évapotranspiration et une forte température. Ainsi, que le bilan montre que la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de (792.6 mm) à la station d'El- Kala, de l'ordre de (822.3 mm) à la station d'Ain el Assel , de l'ordre de (645.4 mm) à la station de Ben M'hidi et de l'ordre de (669.8 mm) à la station des Salines et avec une évapotranspiration réelle (ETPR) de l'ordre de (517.6 mm) à la station d'El- Kala, de l'ordre de (511.4 mm) à la station d'Ain El Assel , de l'ordre de (448.9 mm) à la station de Ben M'hidi et de l'ordre de (454.8 mm) à la station des Salines . L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum de l'ordre de (899.4 mm) à la station d'El-Kala, de l'ordre de (864.6 mm) à la station d'Ain El Assel , de l'ordre de (874.2 mm) à la station de Ben M'hidi et de l'ordre de (881.6 mm) à la station des Salines qui provoquant un déficit eau .Aussi pour la reconstitution de la RFU, les deux stations (El-kala et Ain El Assel) s'effectue au mois d'Octobre et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock et les deux autre stations (Ben M'hidi et Ain El Assel) la reconstitution de la RFU s'effectue au mois de Novembre et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril.

IV.3. Estimation du ruissellement

Un ruissellement ou un écoulement de surface désigne la partie des précipitations qui s'écoule à la surface du sol. C'est ainsi la fraction de l'eau de pluie, de la neige fondue ou de l'eau d'irrigation qui s'écoule à la surface du sol et retourne tôt ou tard dans un cours d'eau.

Le coefficient de ruissellement (R) est calculé selon deux formules :

- Formule de TIXERON BERKALOFF :

$$R = \frac{P^3}{3 \times ETP^2} \xrightarrow{Si} p \leq 600mm \quad (11)$$

- Formule de TIXERON BERKALOFF modifiée par ROMANTCHOUK (1974):

$$R = \frac{P^3}{3} \xrightarrow{Si} p \geq 600mm \quad (12)$$

Avec:

P : Précipitation moyenne annuelle [mm/an];

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle [mm] ;

R : Ruissellement [mm] ;

Puisque les hauteurs annuelles des précipitations de la région d'El-Kala sont toujours supérieures à 600 mm, on va appliquer la deuxième formule.

Tableau 16. Ruissèlement des eaux « R » obtenus dans les stations

Les stations	Précipitation annuel (mm)	Ruissèlement (mm)
Station El-Kala	793,7	166,7
Station Ain El assel	822,5	185,5
Station Ben M'hidi	645,4	89,6
Station des Salines	669,8	100,2

Le ruissellement de la station d'Ain El Assel est supérieure à celui des autres stations, et cela est dû à l'importance des précipitations, ainsi que le relief de cette région ce qui résulte un ruissellement important surtout dans la période d'averses intenses.

IV.4. Estimation de l'infiltration

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau pénètre dans les sols et alimente les nappes sous l'action de la gravité et les forces de succion.

La disponibilité des différents facteurs régissant l'équation du bilan hydrologique nous permet de déterminer l'infiltration efficace :

$$P = ETR + R + I \quad (13)$$

Donc :

$$I = P - (R + ETR) \quad (14)$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle [mm] ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle [mm] ;

R : Ruissellement annuel [mm] ;

I : Infiltration efficace moyenne annuelle [mm] ;

Tableau 17. Les résultats de l'infiltration « I » obtenus dans les stations

Les stations	Précipitation annuel (mm)	Ruissèlement (mm)	ETR	Infiltration
Station El-Kala	793,7	166,7	517,6	109,4
Station Ain El assel	822,5	185,5	511,4	125,6
Station Ben mhidi	645,4	89,6	448,9	106,9
Station des Salines	669,8	100,2	454,8	114,8

A la lecture du tableau précédent on remarque que l'ETR est plus élevé par rapport aux pourcentages du ruissellement et de l'infiltration, ce phénomène est dû à l'existence des grandes surfaces d'eaux libres (mer, lacs, barrages, marais, Oueds et retenus collinaires) et que l'importance de la couverture végétale. Ainsi que la quantité d'eau infiltrée observée à la station d'Ain El Assel est très importante par rapport à celle observée dans les autres stations à cause de couvert végétal qui favorise l'infiltration efficace.

V. Conclusion

La synthèse des données climatiques d'une série d'observation de 35 ans nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat Méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide avec une précipitation élevée et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse avec des températures relativement élevée.

La classification des indices des coefficients pluviométriques montrent une variation des précipitations ce qui peut influencer négativement sur la qualité des eaux du lac Mellah et ses effluents, particulièrement au cours des années déficitaires qui ont été enregistrées à près de l'année 1993, surtout durant les deux dernières décennies (1990 et 2000). Ainsi, que le bilan a montré que notre secteur d'étude est marquée par une précipitation moyenne annuelle entre (600 à 800) mm et avec une évapotranspiration réelle (ETPR) de l'ordre de (400 à 500) mm et évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum entre (850 à 900) mm provoquant un déficit eau. Les précipitations enregistrées pendant la saison froide peuvent engendrer des inondations remarquables qui se répètent d'une année à l'autre ainsi que le type de climat est tempéré à humide durant toute l'année dans la région d'étude. Les vents dans cette région sont Nord-Ouest et les violents, de moyenne 3 m/s pendant la période froide. Ils sont souvent liés aux pluies de front. Et dans la période chaude les vents sont Sud -Est sont dû généralement aux siroccos provenant du Sahara. Ils sont chauds et plus fréquents pendant le mois d' Août.

Une étude détaillée sur la variation des précipitations montre une influence négative sur la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents, particulièrement au cours des années déficitaires.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré aussi qu'à partir du mois de Novembre, l'apport considérable des pluies, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol .Mais un déficit agricole enregistré à partir du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre et à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue afin de rattraper ce déficit. Les agricultures puisent l'eau des Oueds souvent polluée et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraines (période correspondant à l'épuisement du stock).

Chapitre III

*Hydrologie de la région
d'étude*

I. Introduction

Sur terre les climats sont classifiés suivant différents paramètres (l'humidité, la température, l'ensoleillement, la vitesse du vent...). Ces paramètres varient suivant la géographie (l'altitude, la latitude, les océans aux alentours,...etc).

Les changements du cycle hydrologique global lors des dernières décennies ont été associés au réchauffement (atmosphérique en vapeur d'eau, changement des précipitations, réduction de la couverture neigeuse et fonte des glaciers, changement de l'humidité des sols et du ruissellement) (Hyapatia Nassopoulos, 2012).

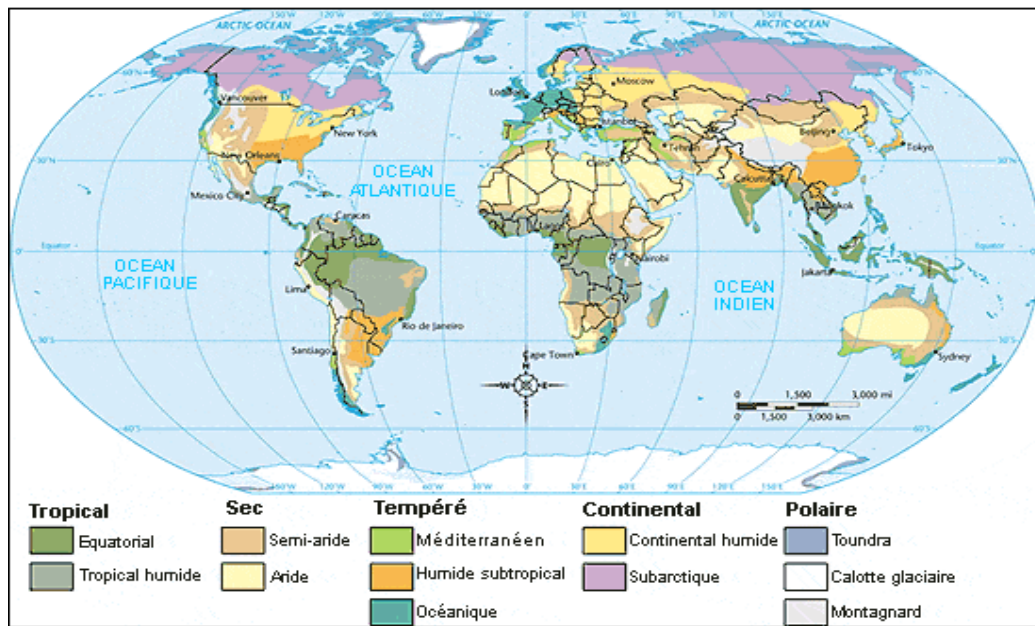


Figure 50. Les zones climatiques à la surface du globe

(Source :Own work , atelier graphique carte ,2006)

II. Etude les caractères généraux des précipitations

II.1. Le risque d'inondation dans la région d'El Tarf

Le changement climatique est actuellement une réalité perceptible à travers la nature et l'ampleur de certains phénomènes extrêmes tels que les vagues de chaleur, les vagues de froid, les sécheresses etc.

L'Algérie, de par sa situation géographique et ses caractéristiques environnementales, est fortement affectée par les changements et perturbations climatiques, comme la sécheresse, l'augmentation des températures, la désertification et les inondations".

Une pluviosité élevée, très confortable sur le plan de la disponibilité de la ressource en eau, elle est moins pour la gestion du ruissellement des eaux pluviales et la vulnérabilité aux inondations urbaines, surtout lorsque les pluies sont intenses. Cette situation a fait apparaître un nouveau risque d'inondation, par débordement des barrages hydrauliques, des rivières, des lacs

...ect. En Algérie du Nord, les intensités créant des dégâts sont supérieures à 24mm/h. La wilaya d'El-Tarf est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie. Sa pluviométrie atteint parfois les 1200 mm/an est d'une intensité plus élevée. Des averses très concentrées qui donnent lieu souvent à des inondations ravageuses (1973, 1984, 1985, 2003, 2010, 2012). Tandis que, l'incident majeur s'est produit en 2012 dans celle d'El-Tarf (Barrage, Oued, Lac...etc). Dans ce dernier cas, un lourd bilan humain et matériel est à déplorer (3 morts et des dégâts très importants sur les infrastructures et les cultures (agriculture et élevage)) (figure.51).



Figure 51. Les inondations dans la wilaya d'El-Tarf (Année 2012)

Face à ces importants changements climatiques et à l'augmentation de la vulnérabilité des implantations humaines, doit-on considérer que les problèmes découlent seulement des conditions climatiques ou qu'ils sont essentiellement la conséquence de l'extension abusive du tissu urbain sur des domaines qui auraient dû être réservés à l'écoulement des eaux. Cette question est actuellement largement débattue en Algérie par les pouvoirs publics et les chercheurs.

II.2. Les zones inondables dans le bassin versant du lac Mellah

Le Bassin versant du lac Mellah, situé dans une zone à climat essentiellement humide, est confronté aux problèmes d'inondation suite à la forte pluviométrie (pluie extrême) qui dépasse parfois les 1000 mm /ans tandis que le relief du bassin versant du lac Mellah laisse peu de place aux zones d'épandage. Lors de fortes précipitations, c'est le delta formé par le cône de déjection de l'Oued El Aroug qui passe sous les eaux, rarement dans sa totalité. On peut observer le même phénomène mais à plus petite échelle à l'embouchure de l'Oued Reguibet. Avant les travaux de curage du chenal, les eaux inondaient aussi la partie extrême au Nord du lac formé par des marécages. Les zones inondables peuvent atteindre 140 hectares (Figure.52).

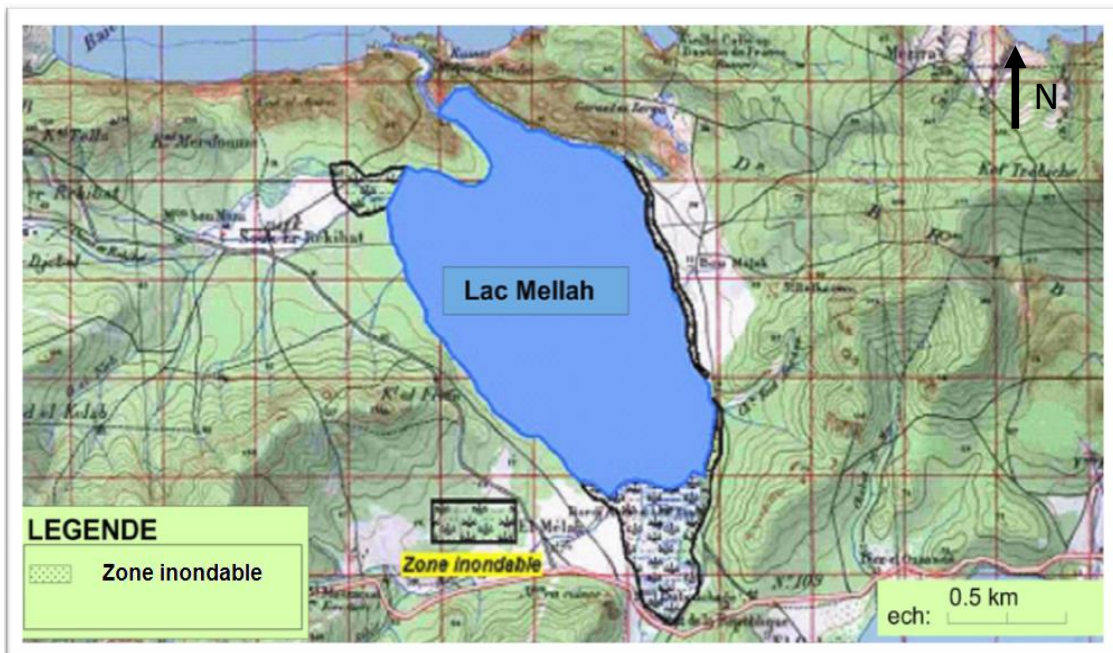


Figure 52. Zones inondables autour du lac Mellah (Baba Ahmed, 2009).

Outre la mer méditerranée, les précipitations agissent directement sur les nappes de superficielles (Oued et lac). Il est par conséquent indispensable de connaître les caractères généraux des précipitations et leur influence sur le régime des cours d'eau.

Pour suivre l'évolution des inondations dans le bassin versant du lac Mellah, on s'intéresse à la détermination des pluies journalières maximales. Nous essayons de travailler sur les données de station météorologique de la station de jaugeage d'Ain El Assel, qui est située à quelque km en aval du site du lac Mellah, est considérée comme la plus représentative en matière de précipitation par rapport aux autres stations de la région d'étude (voire les résultats de chapitre II).

II.3. Fréquences des pluies maximales journalières

Pour avoir une idée sur les pluies maximales de 24 heures de différentes fréquences, On dispose d'une série d'observation pluviométrique de la station d'Ain El Assel (1975-2009).

Les pluies maximales journalières ($P_{\max j}$) des fréquences rares sont génératrices de crues exceptionnelles contre les quelles il faut prévoir des ouvrages d'évacuateur des eaux de crues tels que (Réseaux d'eaux pluviales, aménagement des cours d'eau.....etc).

II.3.1.Ajustement des pluies maximales journalières par le logiciel « Hyfran »

On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières aux lois de Gumel (méthode des moments), Galton (log normale), Gauss (normale) et Pearson III à l'aide de logiciel HYFRAN, avec une comparaison des graphes des droites de régression obtenues par les ajustements.

Tableau 18. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Gumbel

T	Q (Fréquence)	$P_{\max,j}$ (mm)
10000	0.9999	211
2000	0.9995	182
1000	0.999	170
200	0.995	142
100	0.99	130
50	0.98	117
20	0.95	101
10	0.9	88.3

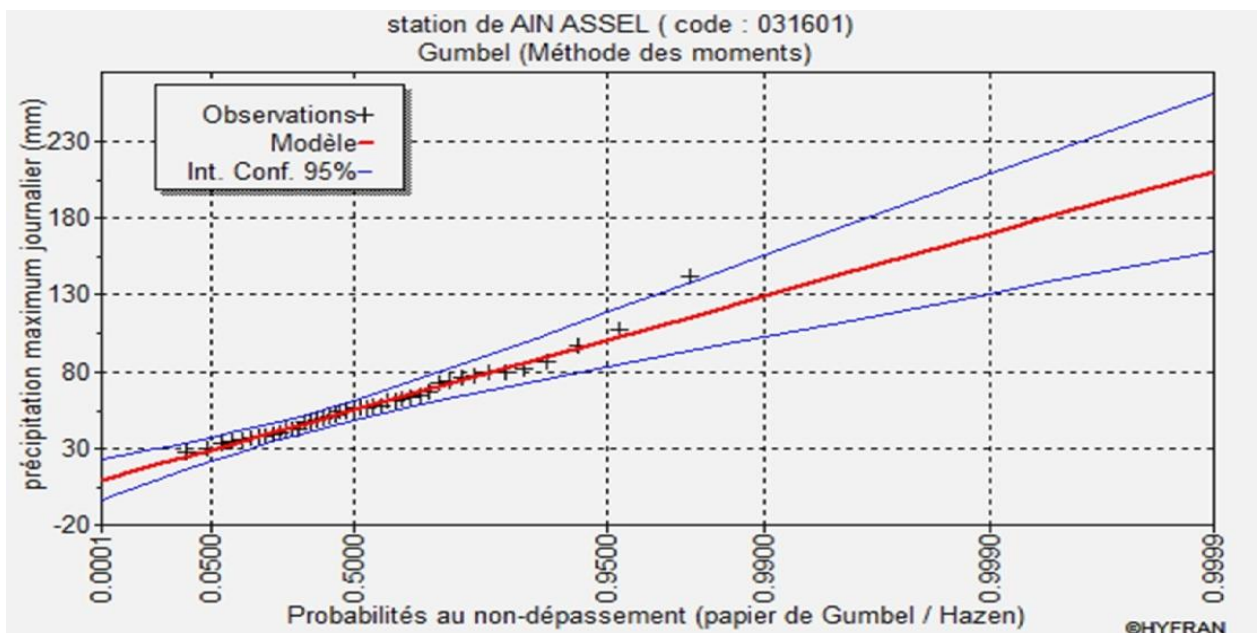


Figure 53. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Gumbel

Tableau19. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Galton (log normale)

T	q	P _{max,j} (mm)
10000	0.9999	206
2000	0.9995	177
1000	0.999	165
200	0.995	137
100	0.99	126
50	0.98	114
20	0.95	98.8
10	0.9	86.9

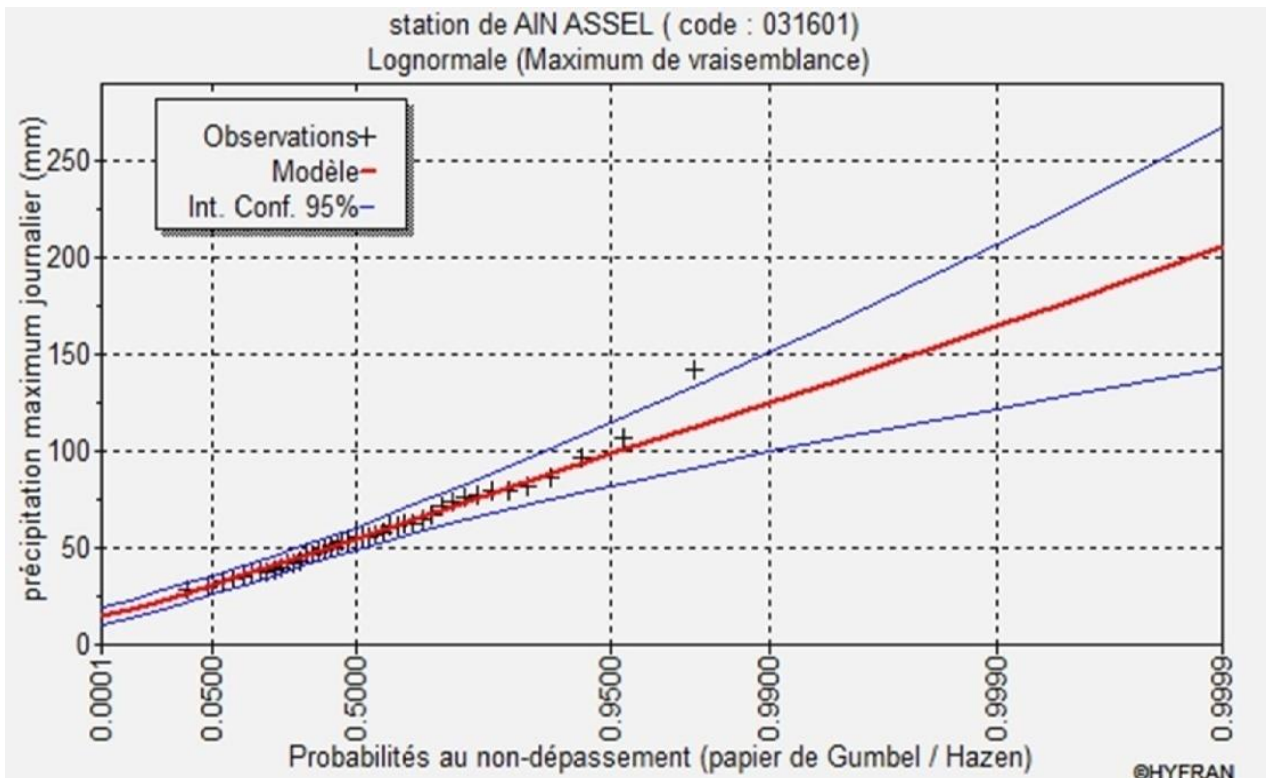


Figure 54. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Galton (log normale)

Tableau 20. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Gauss (normal)

T	q	P _{max,j} (mm)
10000	0.9999	143
2000	0.9995	133
1000	0.999	129
200	0.995	117
100	0.99	111
50	0.98	105
20	0.95	96
10	0.9	87.8

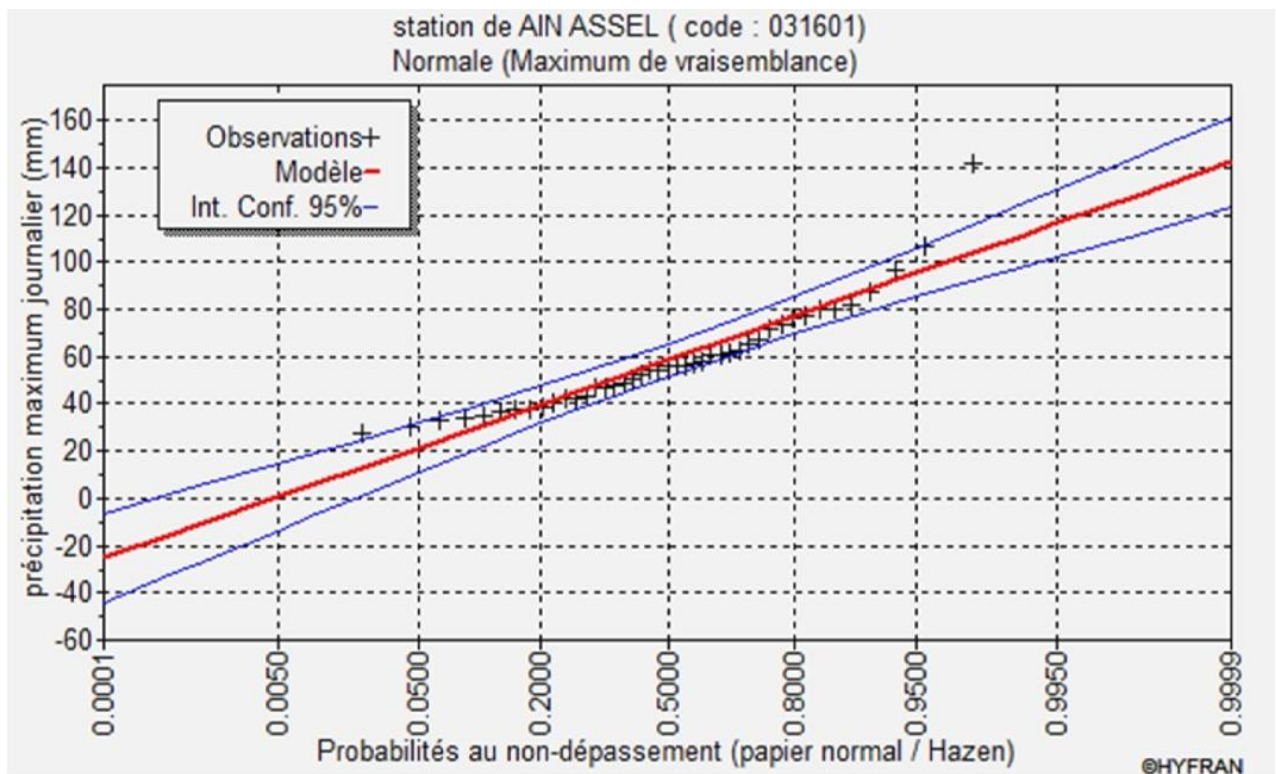


Figure 55. Ajustement de la série des pluies maximale journalières par la loi de Gauss (normal)

Tableau 21. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Pearson II

T	q	$P_{\max,j}$ (mm)
10000	0.9999	211
2000	0.9995	184
1000	0.999	172
200	0.995	144
100	0.99	132
50	0.98	119
20	0.95	102
10	0.9	88.9

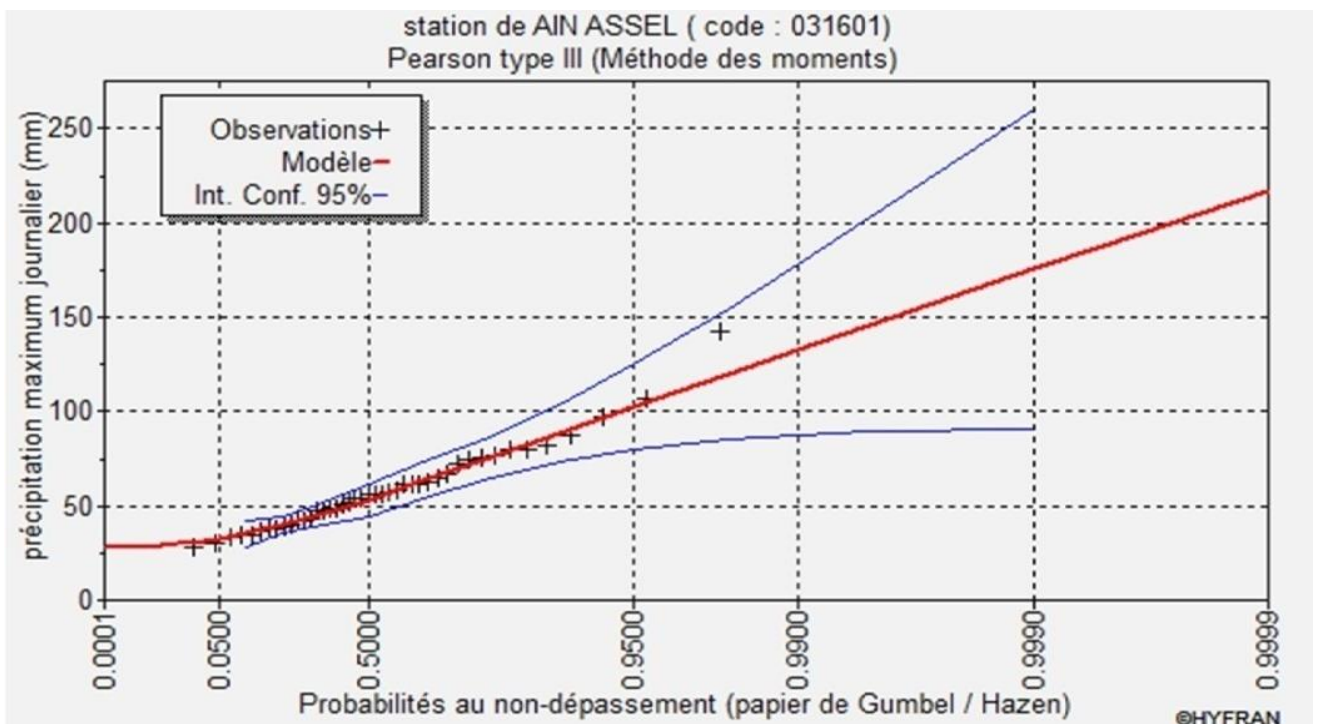


Figure 56. Ajustement de la série des pluies maximales journalières par la loi de Pearson III

D'après les graphes d'ajustement dans les figures précédentes (52 à 56), les deux graphes de Gumbel et Pearson III sont très proches, cependant la série s'ajuste mieux à la loi de Gumbel. La série est homogène, et la loi de Gumbel donne un ajustement satisfaisant.

Tableau 22. Les précipitations des différentes fréquences par la loi de Gumbel

Période de retour (an)	1000	100	50	20	10
Fréquence	0,999	0,99	0,98	0,95	0,9
$P_{\max, j}$ (mm)	170,303	129,692	117,402	101,001	88,33

II.3.2. Intensité des pluies maximales journalières

Pour une période donnée (24h) et une fréquence donnée, on peut estimer les pluies de courtes durées par la formule de Montanari.

$$P_{\max, t, p\%} = P_{\max, j} \cdot \left(\frac{t}{24}\right)^b \quad (15)$$

Avec :

$P_{\max, t, p\%}$: Pluie de courte durée de même fréquence que $P_{\max, j, p\%}$ [mm].

$P_{\max, j, p\%}$: Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée [mm].

t : durée de l'averse en heure, $t=0.25h = 15$ min pour une période de retour de 10 ans.

b : Exposant climatique ($b = 0,33$).

L'intensité des pluies est donnée par la formule suivante : $I = Pt/t$

Ou

Pour le calcul de l'intensité moyenne de précipitation nous utilisons la formule de MONTANARI :

$$I_{t(15\text{min}), P\%} = P_{24, P\%} \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} \quad (16)$$

Où :

$I_{24}(p\%)$: Intensité moyenne de précipitation pour une journée de fréquence (p%) donnée.

Pour l'estimation de l'intensité, nous admettons qu'une averse ayant lieu une fois tous les 10 ans durant 15 mn, peut être la valeur optimale.

Nous aurons donc :

$$I_{t(15\text{min}),10\%} = i_{24,P\%} \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} = \frac{P_{24,10\%}}{24} \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} \quad (17)$$

➤ D'après la loi de Gumbel:

$$I_{t(15\text{min},10\%)} = \frac{88,33}{24} \left(\frac{0,25}{24}\right)^{0,33-1} = 78,34\text{mm} / h \quad (18)$$

$$I_{15\text{min},10\%} = 78.34\text{mm} / h$$

L'étude hydrologique nous a permis de déterminer l'intensité moyenne des précipitations. Pour dimensionner un réseau d'assainissement on va prendre la valeur obtenue par la loi de Gumbel et on déterminera la valeur de l'intensité pluviale (Débit spécifique).

$$i = \frac{78.34(10000)}{3600} = 217.62\text{l} / \text{s} / \text{ha}$$

$$\mathbf{I = 217.62\text{ l/s/ha}}$$

On constate que notre région d'étude enregistre un débit spécifique pluvial 217.62 l/s.ha pour une durée de l'averse de 15 mn et une période de retour de 10 ans.

Etude les caractères généraux des précipitations nous a permis de déterminer la précipitation maximale journalière et l'intensité enregistrées pendant la saison humide, qui peuvent engendrer des inondations remarquables se répétant d'une année à l'autre. C'est ce que nous avons observé dans ces dernières années (2012).

III. Traitement des données des paramètres hydrologiques

III.1. Analyse multivariée des données climatologiques (ACP)

Comme les autres constituants du climat, les précipitations dépendent de l'environnement géographique (Fouchier *et al.*, 2004) . En effet, en s'élevant le long des versants, l'air humide se refroidit ; la condensation qui en résulte provoque des précipitations dites orographiques (Roe, 2005). Toutefois, le gradient pluviométrique qui marque le phénomène est très variable selon les lieux (Gonzales-Barrios, Descroix, 2001 ; Corbel, 1970 ; Alexandre *et al.* 1999). D'autres

facteurs ont été mentionnés pour avoir un effet inégal sur les précipitations, citons : la position en latitude et longitude (Ninyerola *et al.*, 2000 ; Zahar, Laborde, 2001), la distance à l'océan (Carrega, Garcia, 2001 ; Boubaker, Gammar, 2002), l'effet d'abri (Laborde, Traboulsi, 2002), la topographie (Benichou, Lebreton, 1987 ; Humbert *et al.*, 1999 ; Fouchier *et al.*, 2004), la végétation (Creech, McNab, 2002), etc.

Devant la variété de paramètres et le nombre de stations, plusieurs méthodes ont été utilisées pour identifier des zones ou des microzones climatiques : « Analyse en composante principale » par Raffestin M. 2005, « Méthode du gradex » par Paquet.E *et al.* 2006, Méthode d'interpolation spatiale par Daniel *et al.*, 2009 et « Tutorial Arc Gis » par Roy J. M .

Afin de synthétiser l'information, traitement statistique par l'ACP (analyses en composante principale) des données climatiques de la zone d'étude (Tableau 23), est faite sur huit variables (Altitude, Tp, Pr, ETP, ETR, Déficit, Excédent, Aridité) dans quatre stations météorologiques (El Kala, Ain El Assel, Ben M'hidi, les Salines) sur une période de 34 ans (1975- 2009).

Tableau 23. Les paramètres moyens annuels du climat (1975 -2009)

Station	Z (mm)	Tp (C°)	Pr (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Def (mm)	Exc (mm)	Aridité
El-Kala	10	18,5	792,6	899	517,6	381,8	275	31,02
Ain El Assel	35	17,5	822,5	864,6	511,4	353,3	310,9	33,6
Ben M'hidi	7	17,6	645,9	874,2	448,8	425,4	196,6	26,88
Les Salines (w.Annaba)	3	17,8	669,8	881,6	454,8	426,7	214,9	27,66

Le traitement des données par logiciel « XL Stat » a permis de voir les différentes corrélations entre les différents paramètres du climat.

III.2. Triangle de corrélation

Le tableau 24 permet de constater que la plupart des paramètres du climat entrent de façon significative dans la composante principale.

Tableau 24. Triangle de corrélation

Variables	Z	Tp	Pr	ETP	ETR	Def	Exc	Aridité
Z	1							
Tp	-0,391	1						
Pr	0,773	0,272	1					
ETP	-0,597	0,972	0,041	1				
ETR	0,639	0,458	0,977	0,235	1			
Def	-0,892	-0,066	-0,974	0,171	-0,917	1		
Exc	0,844	0,140	0,990	-0,091	0,936	-0,987	1	
Aridité	0,881	0,071	0,979	-0,161	0,914	-0,993	0,997	1

Le triangle de corrélation, permet de voir que la nature géographique du terrain (Altitude) a une influence très importante sur les autres paramètres hydrologiques, dont le paramètre (Z) montre de fortes corrélations positives significatives avec ces paramètres (Pr, Exc, ETR, Aridité) et négatives avec le variable de Def ainsi que les paramètres (Tp, ETP) en bonne corrélation, sont corrélés positivement entre elles ($r = 0,972$).

En effet, l'analyse statistique montre d'une part, que la précipitation, l'évapotranspiration réelle, l'excédent et l'indice d'aridité d'eau augmentent avec l'altitude, alors que le déficit diminue, ce phénomène est dû à l'existence des grandes surfaces d'eaux libres (mer, lacs, barrages, marais, Oueds et retenues collinaires) et de l'importance de la couverture végétale. D'autre part, le variable (T°) est bien corrélé positivement avec l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Pour exprimer la dominance des axes, un cercle de corrélation (Figure.57) formé par les axes F1-F2 (99,72%) permet de distinguer selon l'axe F1 (70,08%), une opposition d'une part, avec les paramètres (Z, Pr, Aridité, Exc, ETR) dans le pôle positive de l'axe, et d'autre part, avec le paramètre (Def) dans le pôle négative de l'axe.

Selon l'axe horizontal F2 (29,64%), en remarque une opposition avec les deux paramètres (T et ETP) dans le pôle positive de l'axe.

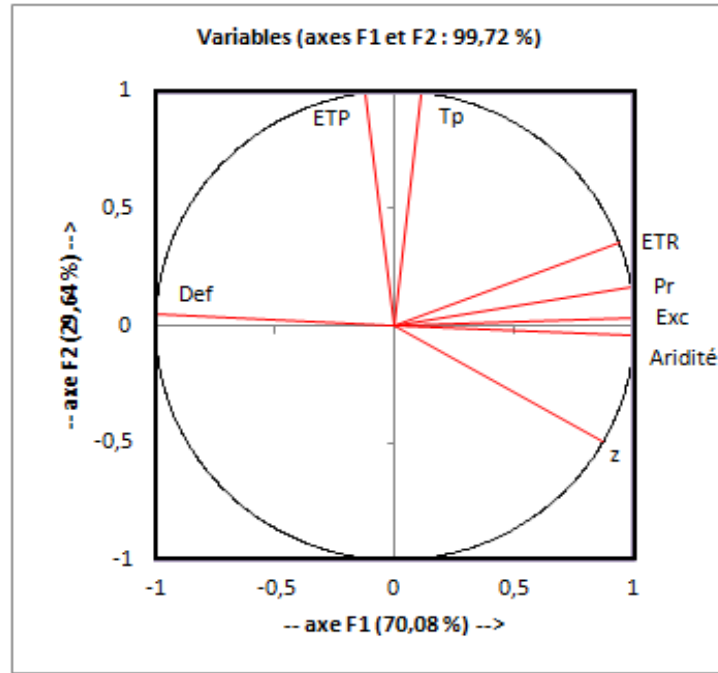


Figure 57. Projection des paramètres hydrologiques sur le plan factoriel (1x2).

D'après cette analyse statistique, on peut conclure que la précipitation et la température sont des paramètres importants du climat qui varient avec la nature géographique du terrain.

III.3. Distribution et variabilité spatiale des données des stations étudiées

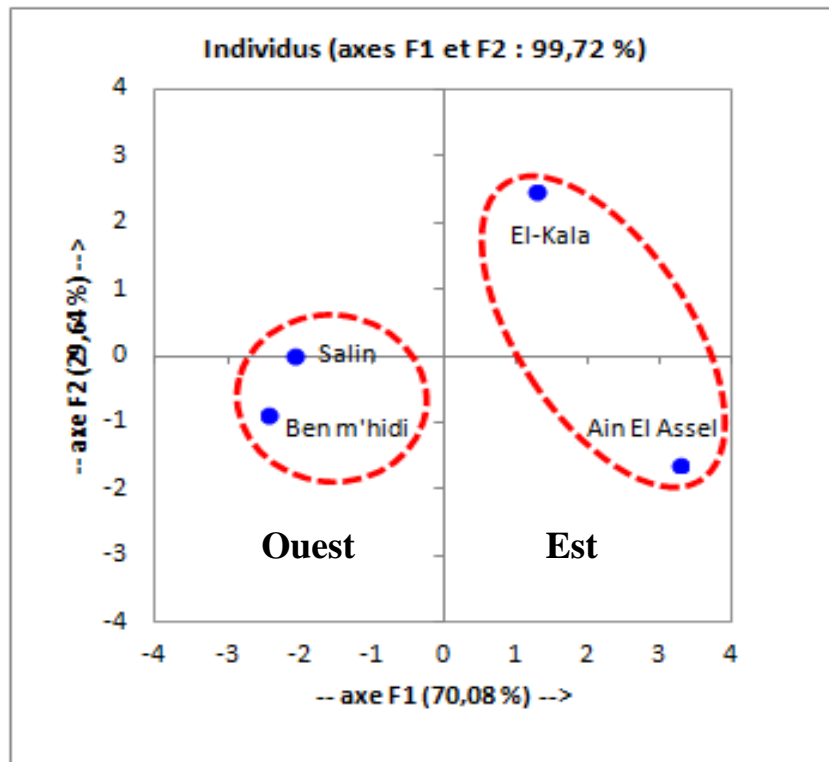


Figure 58. Projection des stations météorologiques sur le plan factoriel (1x2).

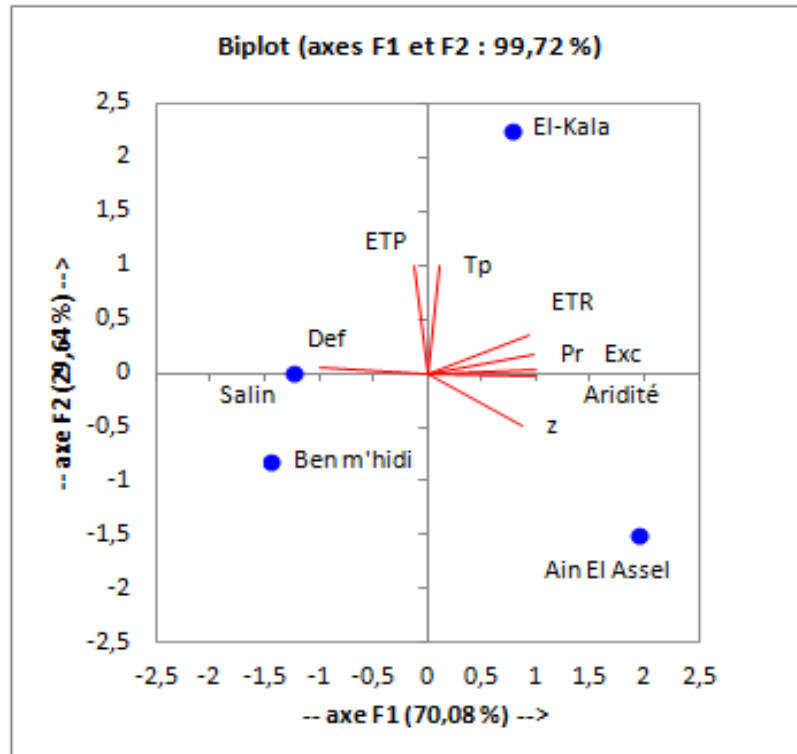


Figure 59. Projection des paramètres hydrologiques et des stations météorologiques sur le plan factoriel (1x2).

La pluviométrie moyenne annuelle (35 ans) varie de 645,9 mm à 822,5 mm avec une température moyenne annuelle variant entre 17,5°C à 18,5°C. La variabilité spatiale de la pluviométrie durant 35 ans est modérée, elle varie de 10 % à 20 %. Cette variabilité est engendrée par l'effet d'altitude, la distance à la mer, et la forme du relief...etc.

L'analyse des données dans la figure (58) montre que les deux stations (Ain El Assel et El Kala) sont similaires et s'opposent aux deux autres stations (Les Salines et Ben M'hidi). L'irrégularité des précipitations moyennes annuelles même les autres variables (Exc, ETR, Aridité) augmentent de l'Ouest à l'Est où la région d'Ain El Assel et El-Kala reçoivent plus de précipitations par rapport à l'Ouest (Les Salines et Ben M'hidi). Aussi, l'élévation des altitudes (Z) entraîne une hausse corrélative des précipitations, l'excédent, ETR et l'indice d'aridité, tandis que le déficit d'eau diminue, tel que la plus haute station a une altitude de 35m (Station Ain El Assel) et la plus basse est de 3 m (Les Salines). La pluviométrie est un élément fondamental du climat, son importance est telle que les différentes classifications du climat reposent essentiellement sur la moyenne annuelle ou mensuelle des précipitations. En effet, la précipitation varie avec l'altitude (Z) qui représente dans les quatre stations littorales (El-Kala, Ain El Assel, Ben M'hidi, Les Salines), les précipitations augmentent au fur à mesure quand on s'éloigne de la mer. L'étude du paramètre température a révélé que la ville d'El-Kala est située

dans une région douce par rapport aux autres stations (Figure.59). Ainsi, l'étude de paramètre ETP a mis en évidence que partout dans la plaine d'El-Kala, cette ETP est importante surtout en été où la température est élevée on peut conclure que l'ETP augmente avec la température.

Dans le même contexte, Boris Sevruc et Karin Miegltz (2002) ont montré que le gradient de précipitation s'inverse souvent avec l'altitude. La relation entre altitude et précipitation ne sera valide que sur une partie limitée du territoire et dans notre région d'étude qui a un climat méditerranéen la pluviométrie moyenne annuelle augmente selon une principale direction à savoir les altitudes les plus élevées et sont plus proches de la mer. Donc on constate que les précipitations dépendent de l'environnement géographique (Fouchier *et al*, 2004) ce qui peut influencer négativement sur la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents, particulièrement au cours des années excédentaires.

III.4. Classification hiérarchique

Nous avons considéré les paramètres hydrologiques annuels de la série (1975-2009) pour les quatre stations d'étude par le Dendrogramme pour la classification hiérarchique.

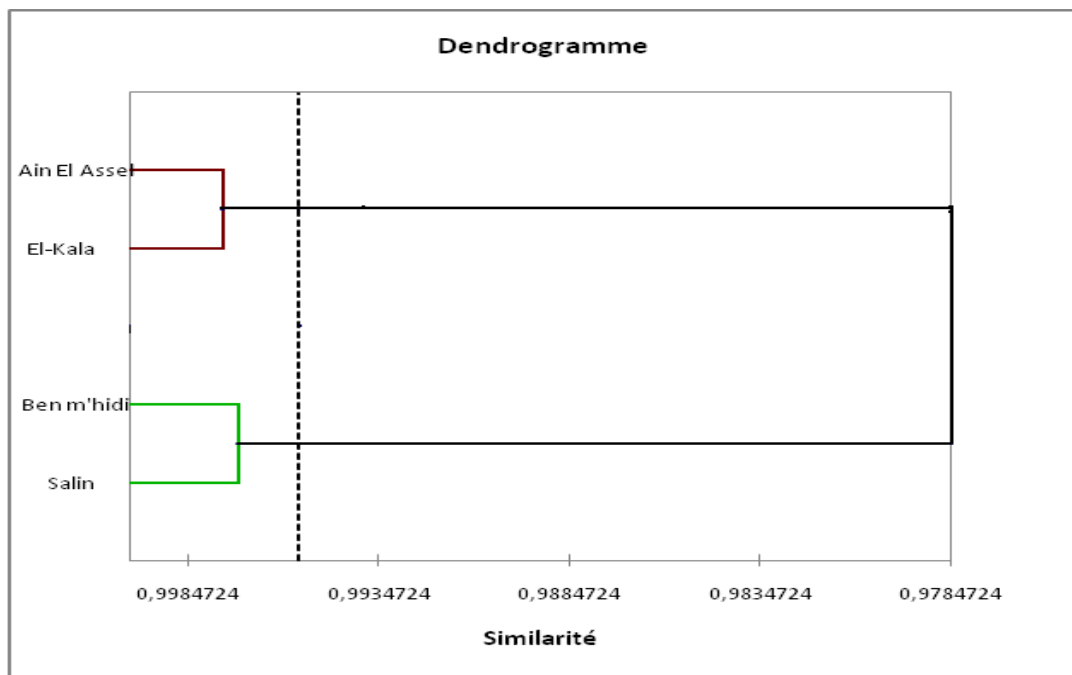


Figure 60. Le dendrogramme des stations pluviométriques étudiées

La représentation graphique de la figure 60, montre l'arbre de classification des stations de la région d'El-Tarf où on remarque que les deux stations (Ain El Assel et El kala) sont similaires et s'opposent aux deux autres stations étudiées (Saline et Ben M'hidi), ce qui confirme bien les résultats de l'ACP. Les stations sont regroupées en deux partitions correspond aux zones relativement humides situées sur le littoral. Pour cette zone côtière, nous avons deux sous-

groupes ; le premier correspond aux stations situées sur le versant occidental (Ouest) (Ben M'hidi, Saline) et le second comprend ceux situées sur le versant oriental (Est) (Ain El Assel et El-Kala).

IV. Estimation des débits des affluents du bassin versant du lac Mellah

IV.1. Choix des stations de mesures des débits

Nous avons effectué des jaugeages sur les différents cours d'eau alimentant le lac. Ces mesures ont été réalisées sur deux périodes : la période estivale (03 Aout 2011) et la période hivernale (14 Janvier 2012). Huit(08) stations ont été utilisées pour les mesures de débits, choisis en fonction de l'urbanisation du bassin versant, de l'importance hydrologique des affluents et de l'accessibilité au cours d'eau (Figure.61). Les coordonnées des différentes stations de mesures sont prises par un Global positioning system (GPS) (Tableau 25).

Tableau 25. Coordonnées des stations de mesures des débits

N° de station	Nom de station	Coordonnées Nord	Coordonnées Est
1	Oued Rguibet amont	N36°.54'.08.3''	E 008°.15'.56.8''
2	Oued Rguibet aval	N 36°.54'.01.4''	E 008°.17'.42.6''
3	Oued Mellah amont	N36°.52'.07.0''	E 008°.17'.35.1''
4	Oued Mellah aval	N 36°.51'.21.4''	E 008°.19'.38.3''
5	Oued El Aroug amont	N 36°.50'.51.6''	E 008°.19'.30.9''
6	Oued El Aroug aval	N 36°.51'.45.2''	E 008°.20'.06.6''
7	Oued Boumalek amont	N 36°.53'.40.8''	E 008°.20'.41.4''
8	Oued Boumalek aval	N 36°.53'.40.6''	E 008°.20'.35.0''



Figure 61. Carte d'implantation des stations de mesures des débits

IV.2. Méthode d'estimation des débits

Afin d'avoir des résultats plus précis pour les cours d'eau à faible débit, nous avons utilisé une méthode chimique par dilution de sel, pour l'estimation du débit, cette méthode consiste à mesurer le traceur chimique en solution de concentration connue, injecté en un point du cours d'eau, de façon constante (à débit constant).

Il s'agit d'un suivi de l'évolution de la concentration de ce traceur dans une section située à l'aval du point d'injection et à une distance suffisante de sorte que le bon mélange du traceur dans l'eau soit assuré. Dans le cadre de la méthode de jaugeage par dilution classique (Figure 62), les traceurs utilisés est le chlorure de sodium (NaCl).

En un point P_i du cours d'eau, on injecte brièvement un volume connu de solution de traceur. Pour ce faire, on dilue une quantité connue de sel (gros sel) dans un seau. Après totale dilution du sel, on jette en un seul mouvement le contenu du seau dans l'eau. En un point P_m situé en aval, dans une zone de bon mélange, on mesure en continu la conductivité de l'eau selon un temps régulier et jusqu'à ce que l'on retrouve la conductivité initiale, c'est-à-dire celle qui a été mesurée avant injection du sel.

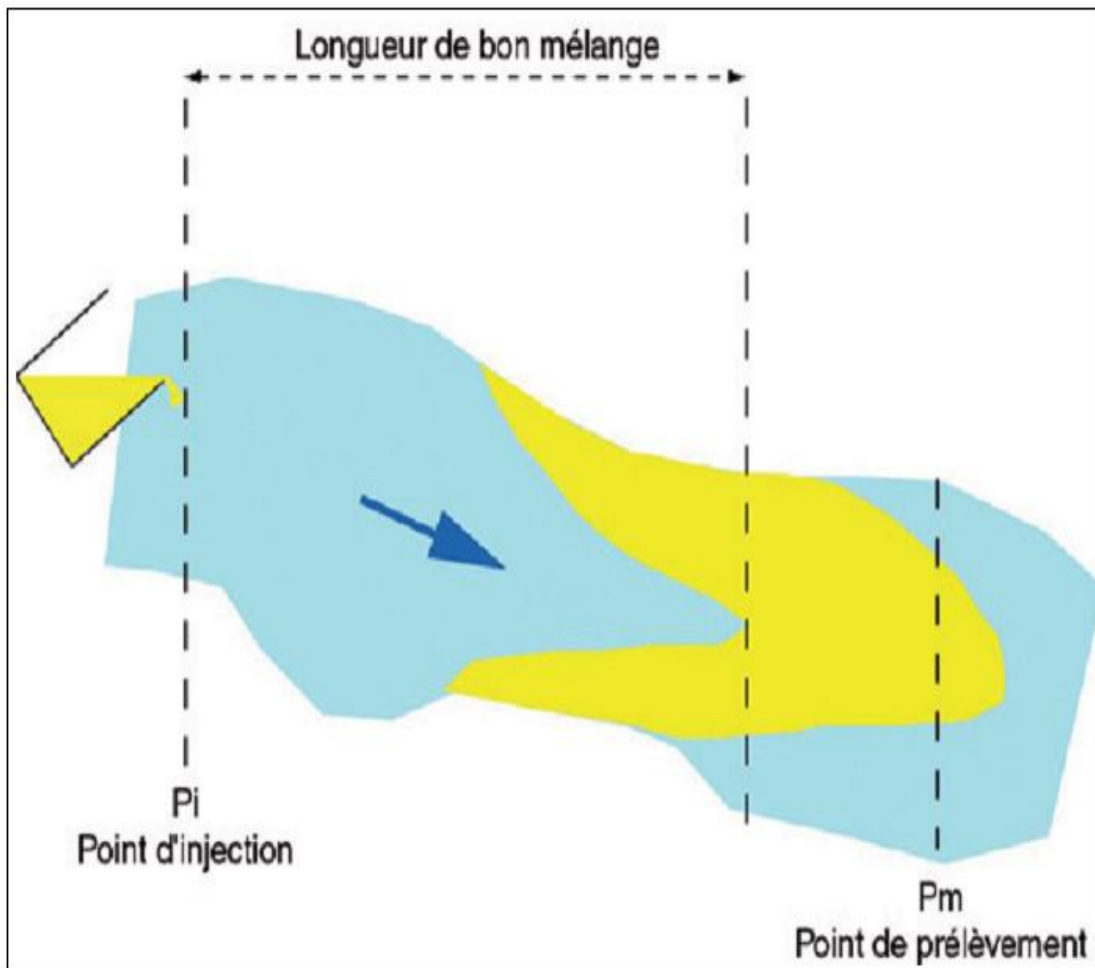


Figure 62. Principe du procédé de mesure du débit par la méthode de dilution

Le débit est alors calculé au moyen de la formule suivante :

$$\text{Débit en l/s} = (Q_s \times 1000 \times 1,86) / (C_d \times T_f) \quad (19)$$

Où :

Q_s : Quantité de sel injecté en gramme ;

C_d : Différence entre la conductivité moyenne (C_m) et la conductivité initiale (C_i) en $\mu\text{S/cm}$;

T_f : Temps de passage du flux en seconde.

Les résultats représentent dans les figures suivantes pendant les périodes des hautes et basses eaux :

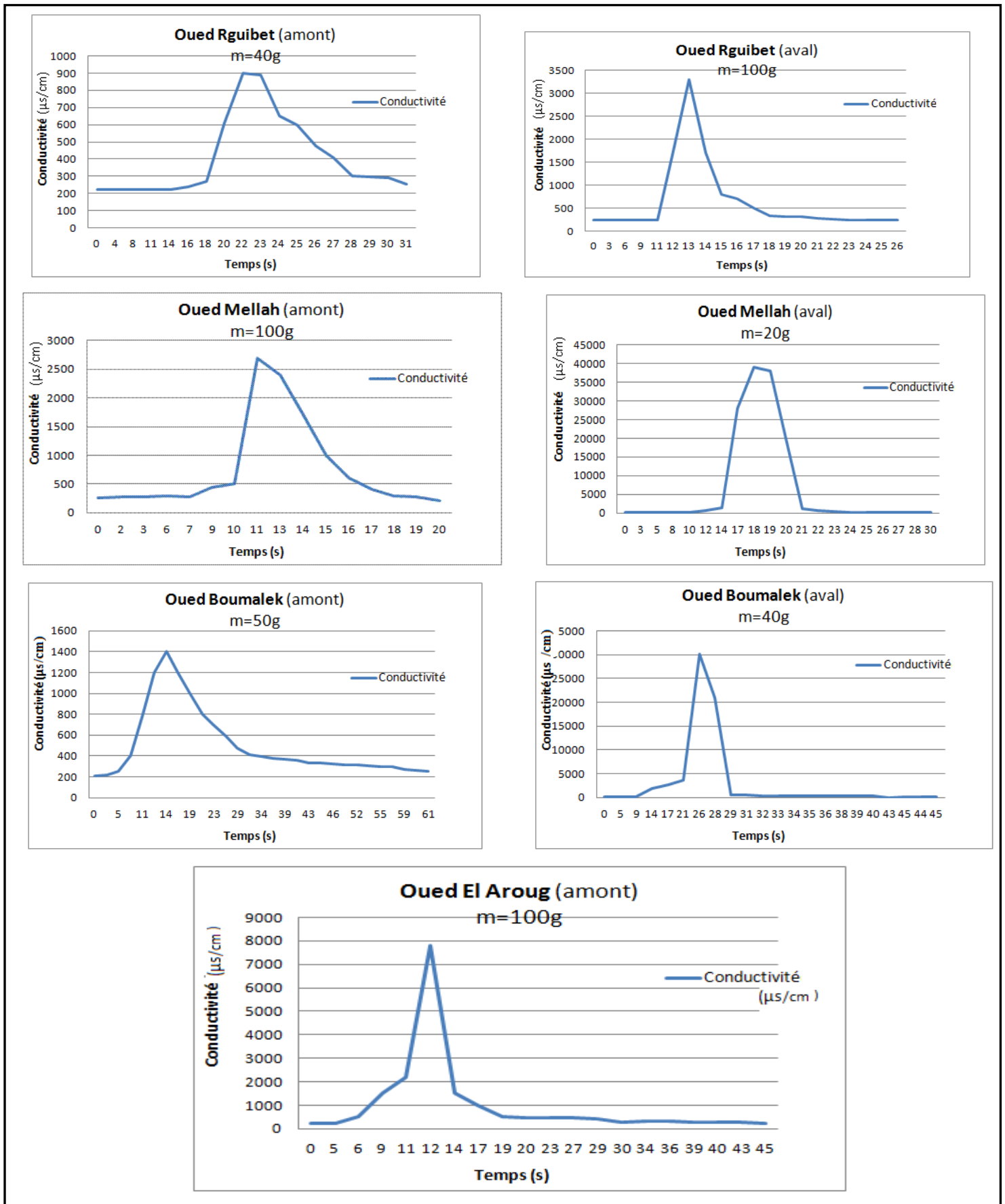


Figure 63. La dilution du sel en fonction du temps dans la période des basses eaux (2011)

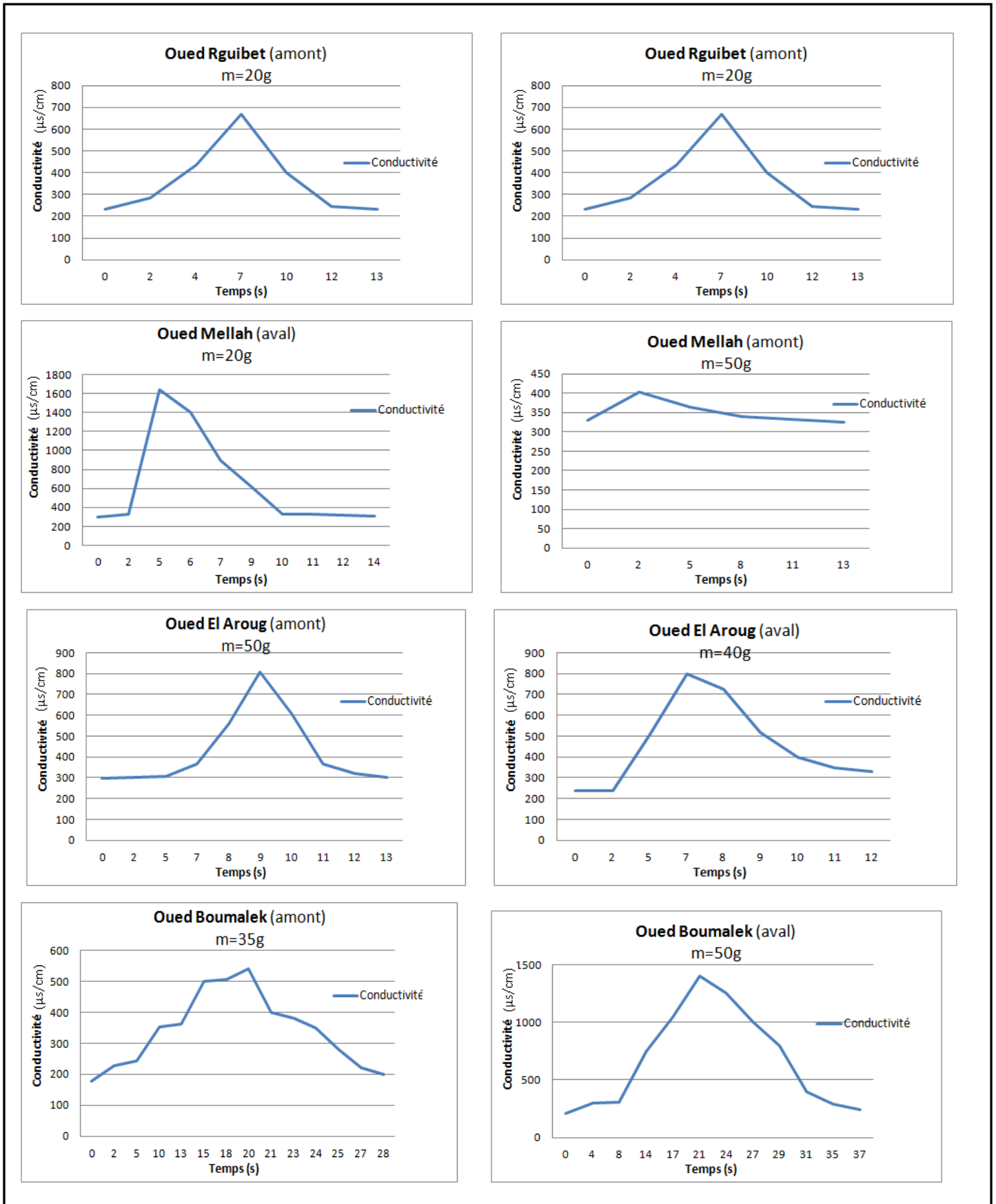


Figure 64. La dilution du sel en fonction du temps dans la période des hautes eaux (2012)

IV.3. Mesures des débits des écoulements de surface

Les mesures des débits effectués dans la période des basses eaux (03 Aout 2011) et la période des hautes eaux (14 Janvier 2012) sur quatre affluents du lac Mellah sont reportées dans le tableau 26 qui nous a permis d'avoir plus d'informations sur le potentiel hydrique superficiel assuré par les débits des Oueds qui alimentent le lac.

Tableau 26. Apports moyens des Oueds dans les deux périodes d'étude (Haute et basse eau)

Oueds	Débits (l/s) (Hautes eaux)		Débits (l/s) (Basses eau)		Débits Moyenne (l/s)	
	Amont	aval	amont	aval	(Haute eau)	(Basses eau)
Oued Rguibet	60,49	84,23	12,3	18,53	72,36	15,42
Oued Mellah	26,16	136,26	15,48	39,92	81,21	27,7
Oued El Eroug	51,10	39,32	11,34	/	45,21	11,34
Oued Boumalek	13,20	5,15	4,93	0,46	9,17	2,7
Total					207,95	57,16

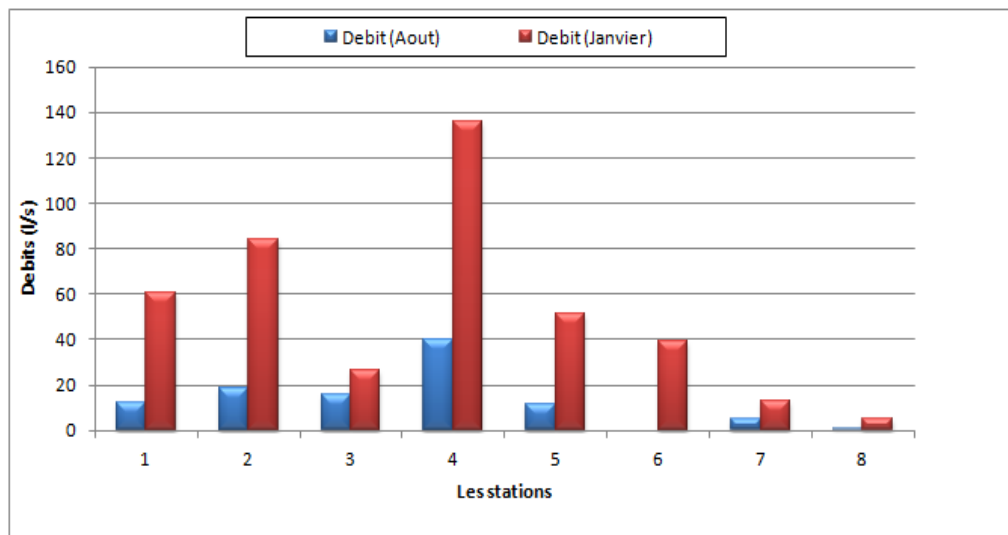


Figure 65. Evolution spatiotemporelle des débits des Oueds de la région d'étude (2011/2012)

La représentation graphique (Figure 65) présente les résultats des apports dans les deux périodes enregistrées au niveau des Oueds, les apports sont considérables pendant la saison des hautes eaux (207,95 l/s au mois de Janvier), tandis que les débits atteignent des valeurs négligeables durant la période des basses eaux (57,16 l/s au mois d'Août). Le régime des Oueds

est très irrégulier pendant le ruissèlement de l'amont vers l'aval, cela peut être dû aux cours d'eau secondaire qui alimente les Oueds, ou les rejets des eaux usées dans le milieu naturel pendant la période des hautes eaux. Tandis que pendant la période des basses eaux, l'agriculture irriguée s'effectue à partir des Oueds et des cours d'eau qui alimentent le plan d'eau du lac.

On peu constater aussi que pour une même superficie, la station 4 (Oued Mellah) qui alimente le lac, présente un débit très fort par rapport aux autres Oueds, ce ci peut être due à la différence de l'indice de pente et l'indice de filtration (les nappes de Souk Rguibet et Boumalek, la couverture végétale).

Tableau 27. Apports moyens annuels des principaux Oueds de la région d'étude (2011/2012)

Oueds	Débits (l/s)		Débits Moy (l/s)	Débits Moy (m ³ /s)	Apport moyen annuel (m ³ /an)
	(Haute eau)	(Basses eau)			
Oued Rguibet	72,36	15,42	43,89	0,044	1.365.154,56
Oued Mellah	81,21	27,7	54,46	0,054	1.693.768,32
Oued El Eroug	45,21	11,34	28,28	0,028	879.465,60
Oued Boumalek	9,17	2,7	5,94	0,006	184.602,24
Total	207,95	57,16	132,56	0,13	4.122.990,72

D'après les résultats de mesures des débits (Tableau 27) on constate que le volume total annuel des eaux de surface qui rejoignent le lac par les quatre affluents est supérieur à 4 million m³/an. Meserrer (1999), montre que le volume des eaux de surface de 8 916 312, 600 m³/an pour une année moyenne de 778,68 mm de pluie. On peut dire que cette diminution dû aux changements climatiques au cours de ces dernières années.

IV.4. Evolution spatiotemporelle des débits en fonction des précipitations

Chaque point d'un cours d'eau permet de définir un bassin versant et les débits observés en ce point sont directement liés aux précipitations tombées sur ce bassin.

L'évolution spatiotemporelle des débits en fonction des pluies (Figure.66) permet de constater une étroite relation entre les précipitations et le régime des débits des Oueds, car les faibles débits enregistrés correspondent à la saison sèche à faibles précipitations. Les forts débits correspondent à la saison pluvieuse à fortes précipitations. Le régime des Oueds est très irrégulier durant les deux périodes, leur débit reste faible avec un maximum durant la période des hautes eaux, aux mois d'été les oueds sont pratiquement à sec.

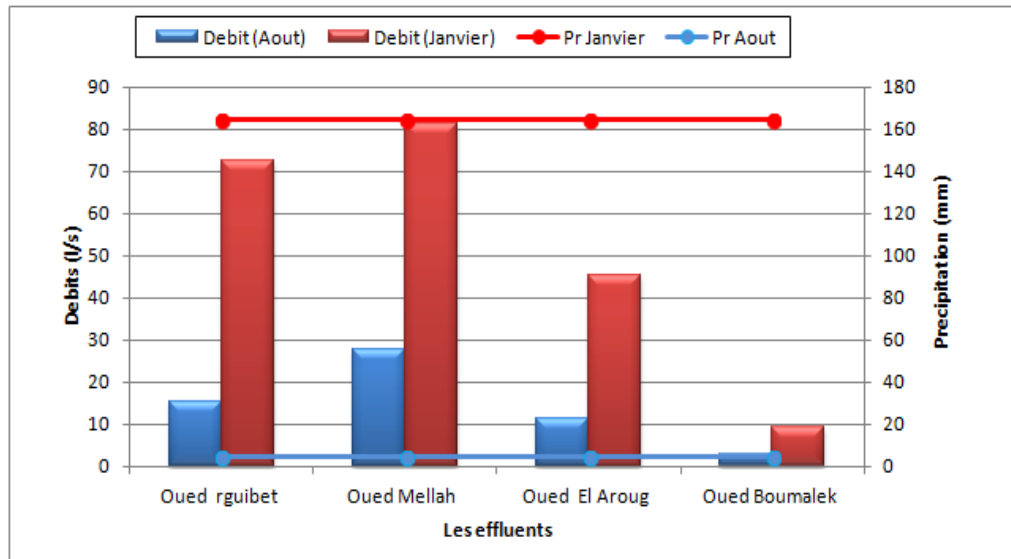


Figure 66. Evolution spatiotemporelle des débits en fonction des précipitations

V. Conclusion

L'étude des caractères généraux des précipitations nous a permis de déterminer la précipitation maximale journalière enregistrée par la loi de Gumbel où la série s'ajuste mieux d'après cette loi. Afin de dimensionner un réseau d'assainissement en utilise la loi de Gumbel.

L'Est Algérien est caractérisé par un climat diversifié allant de l'humide Est sur le littoral à l'Ouest qui s'explique par sa position et son aspect géographique.

La variation spatiale des températures et l'ETP reflète l'effet de la position par rapport à la mer. Alors que les précipitations, l'excédent, ETR et l'indice d'aridité augmentent avec l'altitude. L'utilisation de l'ACP dans l'étude des températures et des précipitations nous donne une classification plus pertinente pour les stations étudiées. Les stations sont regroupées en deux partitions, le premier correspond aux stations situées sur le versant oriental (Est) (Ain El Assel et El-Kala) et le second comprend celles situées sur versant occidental (Ouest) (Ben M'Hidi, les Salines). On constate que les précipitations dépendent de l'environnement géographique ce qui peut influencer négativement sur la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents, particulièrement au cours des années excédentaires.

L'évolution spatiotemporelle des débits en fonction des pluies permet de constater une étroite relation entre les précipitations et le régime des débits des Oueds. Le volume total annuel des eaux de surface qui rejoignent le lac par les quatre affluents est de 4.122.990,72 m³/an.

2^{ème} **PARTIE**

Matériel et Méthode

Chapitre IV

*Protocole expérimentale
et méthodologie
de traitement des données*

I. Introduction

L'échantillonnage est primordial et délicat car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser. Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement.

Des analyses in situ ont porté sur les principaux paramètres physico-chimiques et microbiologiques susceptibles de caractériser la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents. Ainsi que de déterminer la répartition quantitative des éléments majeurs. La surveillance de la qualité de ces eaux est effectuée par différentes méthodes de traitement classiques et par l'outil informatique.

II. Mode d'échantillonnage

II.1. Choix de station de prélèvement et carte d'inventaire

Dix sept (17) points de prélèvement ont été échantillonnés, choisis en fonction de l'urbanisation du bassin versant. Les échantillons d'eau ont été pris aux niveaux des Oueds (en amont et en aval des agglomérations), ainsi qu'au niveau de la station d'épuration et dans le lac Mellah (Figure.67). Les prélèvements sont habituellement faits dans les eaux peu profondes de la zone du littoral. On avance dans l'eau à la hauteur des chevilles et on étend le bras pour prendre l'échantillon à environ 7 cm sous la surface de l'eau. Les coordonnées les différents points de prélèvement sont pris par un Global Positioning System (GPS) (Tableau 28).

Tableau 28. Les différentes stations de prélèvement avec dénomination et coordonnées

N° de station de prélèvement	Nom de la station de prélèvement	Coordonnées Nord	Coordonnées Est
1	Eau brut	N 36°.51'.51.5''	E 008°.20'.38.4''
2	Eau épuré	N 36°.51'.53.8''	E 008°.20'.36.''
3	Oued El Aroug amont	N 36°.50'.51.6''	E 008°.19'.30.9''
4	Oued El Aroug aval	N 36°.51'.45.2''	E 008°.20'.06.6''
5	Oued Mellah amont	N36°.52'.07.0''	E 008°.17'.35.1''
6	Oued Mellah aval	N 36°.52'.08.6''	E 008°.19'.38.3''
7	Oued Rguibet amont	N36°.54'.08.3''	E 008°.15'.56.8''
8	Oued Rguibet aval	N 36°.54'.01.4''	E 008°.17'.42.6''
9	Oued Boumalek amont	N 36°.53'.40.8''	E 008°.20'.41.4''
10	Oued Boumalek aval	N 36°.53'.40.6''	E 008°.20'.35.0''
11	Chenal du lac	N° 36°.54'.36.1	E 008°.19'.07.4''
12	Exutoire Oued Rguibet	N° 36°.54'.08.4''	E 008°.18'.22.4''
13	Exutoire Oued Boumalek	N° 36.53'.49.7''	E 008°.20'.16.2''
14	Centre du lac	N° 36.53'.27.6''	E 008°.19'.45.0''
15	Exutoire Oued Mellah	N 36°.52'.36.0''	E 008°.19'.39.8''
16	Exutoire Oued El Aroug	N 36°.52'.29.03''	E 008°.20'.16.1''
17	Exutoire du rejet de station d'épuration.	N36°.52'.35.1''	E 008.20°.25.4''



Figure 67. Vue satellitaire de sites ciblés pour l'échantillonnage

II.2. Période d'échantillonnage

❖ Première période (2009)

Durant l'année 2009, nous avons effectués des analyses au niveau de la station d'épuration du village d'El Gantra El Hamra (en amont et en aval de la STEP). D'autre analyses ont été faite au niveau de la berge Sud du lac Mellah (Site N°17) près de l'exutoire de la zone marécageuse dans laquelle la Station d'épuration se jette, ces analyses sont complété par les données de Sehili (Sehili N, 2009) au centre du lac Mellah au cours de la même année (Site N°14).

Les paramètres mesurés in situ avec un multi paramètre : Température, pH, Eh, Oxygène dissous et salinité. Les Matières en suspension, la DCO, la DBO₅, les NO₂⁻, les NO₃⁻, le NH₄ et l'Orthophosphate ont été réalisé au laboratoire avec d'un spectrophotomètre et DBO mètre).

❖ Deuxième période (2011/2012)

Pour l'étude et le suivi de la variation spatio-temporelle de la composition physico-chimique des eaux de surface de la région d'étude, la composition des eaux est plus ou moins variable selon les journées, les mois et les saisons.

Afin d'apprécier l'impact des effluents urbains et agricole sur ces eaux de surface (Oueds et lac), quatre campagnes de mesures ont été réalisées à une fréquence saisonnière durant l'année (2011/2012) (Mai, Aout, Novembre, Février).

III. Techniques expérimentales

III.1. Lieu d'analyse des échantillons

Pour réaliser les analyses physico-chimiques et microbiologiques, nous avons mis à notre disposition plusieurs laboratoires parmi lesquels : Laboratoire ADE Annaba, Laboratoire de l'université Constantine, Laboratoire de la DSP (Direction de la santé publique d'El Tarf).

Des flacons en verre de 500 ml sont utilisés pour les prélèvements des échantillons pour l'analyse bactériologique, soigneusement lavés, rincés trois fois à l'eau distillée et étuvés et stérilisés (120 °C, 90 min). Après une fermeture hermétique, les bouteilles (in situ) sont mises dans une glacière à 4 °C, et retournées au laboratoire dans un délai moins de 04 heures pour l'analyse microbiologique et moins de 24 heures pour les analyses physico-chimiques.

III.2. Détermination des paramètres physico-chimiques des eaux

III.2.1. Paramètres in situ

Pour analyser les paramètres physico-chimiques in situ, nous avons utilisés trois multiparamètres à savoir :

- ❖ Le multi-paramètre « Laviband.200 » pour mesure la température en degré Celcius (°C), le pH, le potentiel redox exprimes en mv.



Figure 68. Multi paramètre de type « Laviband 200»

- ❖ Le multi-paramètre « HANNA,HI » pour mesurer la conductivité (en $\mu\text{s}/\text{cm}$ et en ms/cm), la salinité (ppm) et l'oxygène dissous (mg/l).



Figure 69. Multi paramètre « HANNA,HI 9300 ».

- ❖ Le multi-paramètre « Laviband Turbi-Direct » pour mesurer la turbidité, les résultats sont exprimés en NTU(Figure.70).



Figure 70. Turbidimètre de type « Lovibond Turbi-Direct».

III.2.2. Paramètres au laboratoire

Les méthodes de dosage utilisées sont décrites par Rodier (1996), Tardat-Henry (1984) ou par les catalogues de l'appareillage utilisé.

III.2.2.1. Les sels (Anion et cation)

❖ Dosage des chlorures

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3) en présence de chromate de potassium (KCrO_4) jusqu'à apparition d'une coloration rouge brique, c'est le principe de la méthode de Mohr (Rodier, 1996).

❖ Dosage du sodium et potassium

Les ions Na^+ et K^+ sont dosés par absorption atomique (Spectro flamme), lampe à cathode, gaz acétylène, et avec une longueur d'onde de Na^+ est de $\lambda = 589 \text{ nm}$ et K^+ est de $\lambda = 766.5 \text{ nm}$.

❖ Titre hydrométrique (TH)

Le mode opératoire consiste à prélever 100 ml d'eau à analyser, ajouter 5 ml de solution tampon ($\text{pH} = 10$) et quelques gouttes d'indicateur coloré (Noir d'eriochrome T). Enfin, verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vieux au bleu vert, ce volume versé correspond à la dureté totale (en °F) (Rodier, 1996).

❖ **Dureté calcique (Ca^{2+})**

Pour déterminer la dureté calcique, on emploie le plus souvent une variante de la méthode complexométrique. On utilise l'EDTA en présence de NaOH, et cela à un pH = 12, l'indicateur coloré est la murexide (Rodier, 1996).

❖ **Magnésium (Mg^{2+})**

La dureté totale ou hydrométrique (TH) est la somme des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} . Donc la dureté magnésienne est déduite par la différence entre la dureté et dureté calcique.

❖ **Titre alcalimétrique complet (HCO_3^-)**

L'échantillon d'eau à analyser est additionné de quelques gouttes (2 à 3) de méthylorange puis titré à l'aide d'acide sulfurique jusqu'au virage au jaune orange. Le TAC est exprimé en milliéquivalents par litre ou en degrés français. (Tardat-Henry, 1984)

III.2.2.2. Les matières organiques

❖ **Demande biologique en oxygène (DBO_5)**

La DBO_5 (demande biochimique en oxygène), c'est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes. La demande biochimique a été mesurée à l'aide d'un appareil manométrique DBO -mètre de type (W.T.W), Model 10.20. Le dosage de la DBO est effectué en incubant un échantillon d'eau (164 ml) dans le flacon de l'appareil (DBO mètre), on fixe le micromètre (échelle) à 0, on le maintient à l'abri de la lumière et laissé tourné pendant 5 jours à 20°C . Lors de la biodégradation des matières organiques, les micro-organismes consomment l'oxygène de l'air contenue dans le flacon et libèrent le CO_2 . Ce dernière est absorbé par les pastilles de hydroxyle de potassium (KOH) par 2 ou 3 pastilles. Les résultats c'est la lecture de l'échelle multiplié par 10.

❖ **Matière en suspension (MES)**

La méthode consiste à filtrer l'échantillon d'eau sur membrane filtrante afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à $05 \mu\text{m}$ environ. La membrane est rincée séchée et pesée avant et après filtration. La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matière en suspension dans le volume filtré correspondant (Aminot et Kérouel, 2004).

❖ **Nitrite (NO_2^-)**

Sont dosés par Spectrophotomètre – UV ou UV-Visible (spectrométrie d'absorption moléculaire). Afin d'effectuer le dosage du nitrite, les solutions étalons sont préparées par dilution à partir d'une solution étalon mère à 100 mg/l d'azote.



Figure 71. Dosage de Nitrite

(Photo de Kherifi.W. Laboratoire ADE Annaba)

❖ **Nitrate (NO_3^-)**

Sont dosés par la méthode de spectrométrie au diméthyle 2.6 phénol, qui est une réaction des nitrates avec le diméthyle-2.6 phénol en présence des acides sulfurique et orthophosphorique, avec production du nitro-4 diméthyle-2.6 phénol. Afin d'effectuer le dosage du nitrate, les solutions étalons sont préparées par dilution à partir d'une solution étalon mère à 1000 mg/l d'azote.



Figure 72. Dosage de Nitrate

(Photo de Kherifi.W. Laboratoire ADE Annaba)

❖ **Ammonium (NH_4^+)**

Sont dosés par la méthode spectrométrique manuelle. Afin d'effectuer le dosage d'ammonium, les solutions étalons sont préparées par dilution à partir d'une solution étalon mère à 1000 mg/l d'azote.

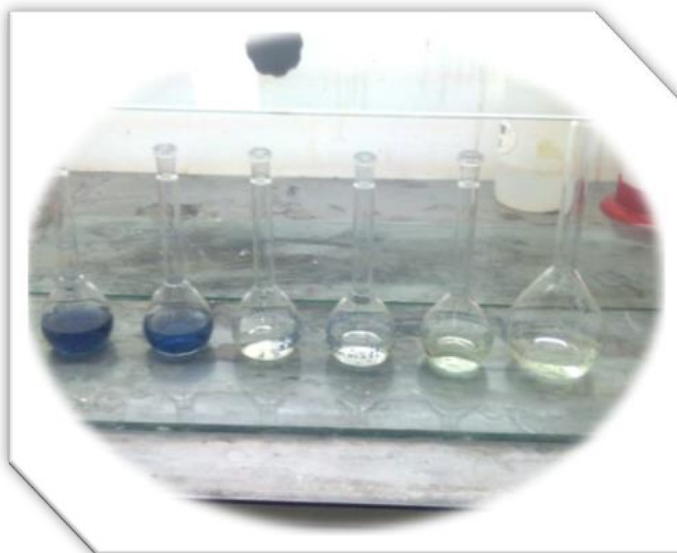


Figure 73. Dosage d'Ammonium
(Photo de Kherifi.W. Laboratoire ADE Annaba)

❖ **Ortho phosphate (PO_4^{3-})**

Sont dosés par spectrométrie à l'aide du molybdate. Afin d'effectuer le dosage du ortho phosphate, les solutions étalons sont préparées par dilution à partir d'une solution étalon mère à 50 mg/l de P.

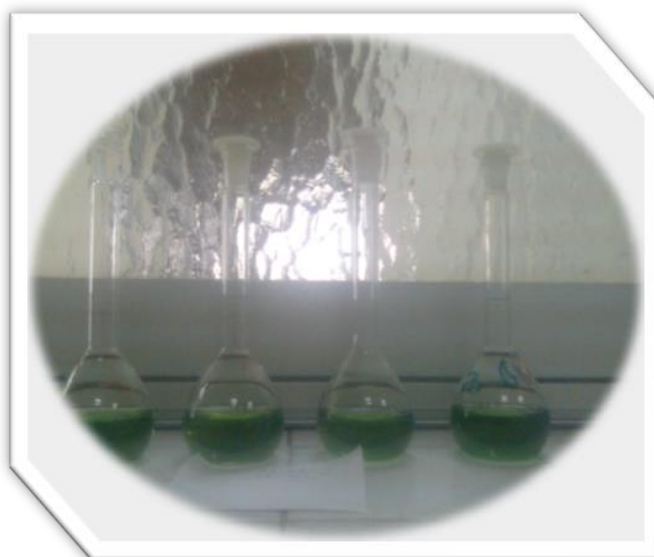


Figure 74. Dosage d'Ortho phosphate
(Photo de Kherifi.W. Laboratoire ADE Annaba)

III.2.2.3. Détermination des paramètres microbiologiques des eaux

L'analyse microbiologie est déterminée au laboratoire par la recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale. Les germes recherchés sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux, et les streptocoques fécaux .ces germes sont peu ou pas pathogène, ils sont révélateur de contamination fécale et entraînent par leur abondance la présomption de contamination plus dangereuse (Figarella et al ,2007).

III.2.2.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes, coliformes thermo tolérants

Les coliformes fécaux sont des bactéries utilisées comme indicateurs de la pollution microbiologique d'une eau, ces bactéries proviennent des matières fécales produites par les humains et les animaux à sang chaud. Selon l'organisation internationale des standardistes ISO le terme coliforme correspond à des organismes en bâtonnets à Gram négative, non sporulés, oxydase, aérobies, ou anaérobies capable de ce croitre en présence des sels biliaries et capable de fermenter le lactose avec une production d'acides et de gaz en 48h à une température de 25C°à 37C°. Elle se fait en deux étapes consécutives :

- ❖ **Le teste de présomption** : réservé à la recherche des coliformes dans un milieu BCPL (Bouillon lactose au pourpre de bromocrésol, simple concentration) munis d'une cloche de Durham. Seront considérés comme positif, les tubes présentent à la fois un dégagement de gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) et un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (la fermentation du lactose se manifeste par la production d'acide entraînent le virage du bromocrésol pourpre au jaune) après une incubation à 37°c pendant 48h.



Figure 75. Dénombrement des coliformes

(Photo de W. Kherifi. Laboratoire de la DSP El Tarf)

❖ **Le teste de confirmation** : réservé à la recherche des coliformes thermo tolérants sur un milieu plus sélectif (VBL) à une température de 44°C pendant 24h. Seront considérés comme positif, les tubes présentant un anneau rouge en surface, témoins de la production d'indole par E. coli après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacks (Rejsek, 2002).

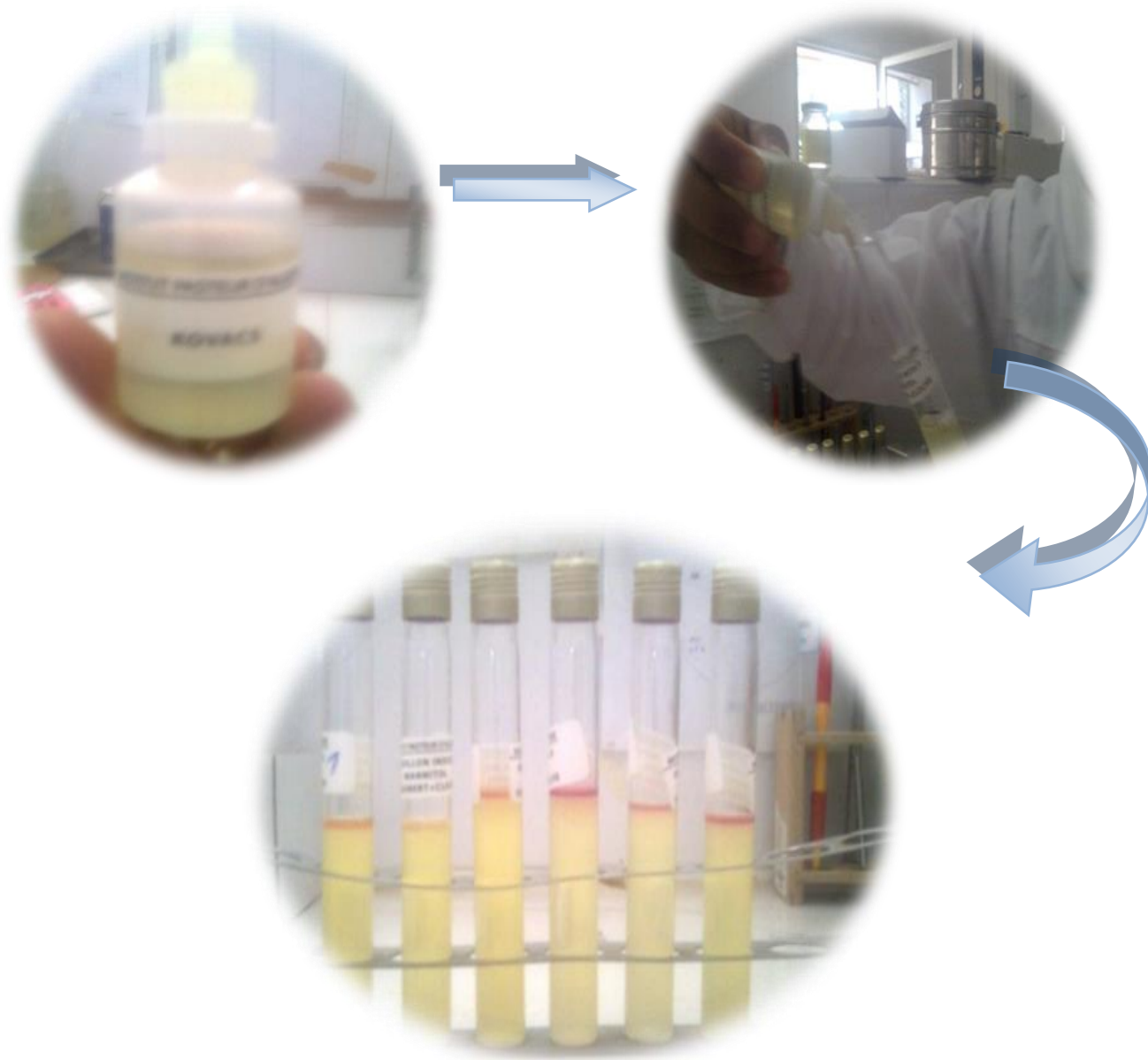


Figure 76. Dénombrement des coliformes thermo tolérants
(Photo de Kherifi.W. Laboratoire de la DSP El Tarf)

III.2.2.3.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des Cocci Gram positif, formant quand ils sont cultivés en milieu liquide diplocoques, des chaînettes. Ils sont catalases négatives et possédant un antigène de groupe (D). Cet antigène correspond au polyoside C pariétal, caractéristique des

streptocoques et support de la spécificité du groupe. La recherche et le dénombrement des streptocoques du groupe (D) dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait aussi en deux étapes consécutives :

- ❖ **L'étape présomptive** : réservée à la recherche des streptocoques, le dénombrement est réalisé en milieu liquide sur bouillon glucosé à l'azote (Rothe) à simple concentration. L'incubation des tubes ensemencés s'effectue dans l'étuve à 37°C pendant 24 heures. Si la réaction est négative les tubes sont laissés séjourner pendant 48 heures. réalisé sur le milieu de Rothe, les tubes considérés comme positifs sont les tubes pour lesquels nous observons un trouble due à une croissance bactérienne (Rejsek, 2002).
- ❖ **L'étape confirmative** : réservée à la confirmation réelle des streptocoques, réalisé sur le milieu Litsky, la présence de streptocoques se caractérise par l'apparition d'un trouble du au développement bactérien avec ou sans dépôt violet.



Figure 77. Dénombrement des Streptocoques fécaux
(Photo de W.Kherifi. Laboratoire de la DSP El Tarf)

Remarque : La méthode de **recherche et dénombrement des CT, CTT et STREP** dont les descriptions détaillées sont données en Annexe II.

IV. Méthode de traitement des données

Le traitement des données des eaux superficielles du lac Mellah et de ses affluents nous à permis d'apprécier leur qualité chimique.

L'évaluation de la qualité des eaux et de l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques nous a obligé à utiliser des méthodes de traitement classiques et d'application de logiciels adéquats.

IV.1. Analyses statistique par le logiciel XL Stat

Devant le nombre important de mesures, nous avons utilisé un moyen statistique de traitement de données qui est l'Analyse en Composante Principale(ACP). L'ACP est un outil d'analyse de données qui permet d'expliquer la structure des corrélations ou des covariances en utilisant des combinaisons linéaires des données originelles. Les variables dans notre étude sont les paramètres hydrologiques dans les quartes stations météorologique, les paramètres physico-chimiques et les microbiologiques de la qualité des eaux du lac et de ses affluents. Son utilisation permet de réduire et d'interpréter les données sur un espace réduit (Lagarde, 1995 ; Maliki, 2000). L'ACP a pour objectif de présenter, sous une forme graphique le maximum de l'information contenue dans une table de données, basées sur le principe de double projection sur les axes factoriels. Le logiciel utilisé pour cette étude est XL STAT version 7.5.2(2004).

IV.2. Traitement des données par le logiciel Surfer 9

Les données microbiologiques acquises en surveillance de la qualité des eaux du lac et de ses affluents au niveau de dix sept stations d'étude, sur la période d'étude, ont été intégrées sous la forme numérique, couplée aux données géographiques pour construire une base de donnée de surfer. Le logiciel Surfer 9, conçu par Golden Software, permet de réaliser des modèles Numériques de terrain (MNT) issus des données récoltées sur terrain via DGPS (Alami Samy ,2011). Le surfer permet de représenter les données sous forme des cartes spatiales. Le logiciel Surfer 9 a été utilisé pour manipuler les données et produire les cartes.

La procédure de cartographique adoptée dans la présente étude suit un cheminement décrit comme suit :

- Géoréférencement des stations de prélèvement selon le système de géoréférencement Algérien.
- Importation des données géographiques des stations d'études et les mesure (Le rapport (CTT/SF)) qui sont associées dans le logiciel de Surfer.
- Utilisation des méthodes d'interpolation basées sur la structure spéciale ou spatio-temporelle des données.

- Production des cartes de la répartition spatiale de l'origine de la pollution du lac Mellah et de ses affluents.

IV.3. Traitement des données par diagramme

Les résultats des analyses chimiques des sels exprimés sous la forme ionique, peuvent être portés sur des diagrammes qui permettent de comparer les eaux entre elles, et de les classer en familles chimiques (Hani Bourbia, 2011), c'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau (Vayana Dominique, 2009) qui permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau et la qualité des eaux des affluant en vue d'usage agricole. Les représentations les plus utilisées sont :

- Le diagramme en losange ou diagramme de Piper ;
- Le diagramme semi-logarithmique Schoëller-Berkaloff ;
- Le diagramme de Riverside ;
- Le diagramme de Wilcox.

IV.4. Traitement des données par la méthode de l'indice de pollution organique (IPO)

Le suivi d'analyse dans les différents points a fait l'objet d'un traitement de données par l'établissement d'une carte de pollution organique des eaux naturelles de la région d'étude qui nous renseigne sur l'influence des rejets et la qualité des eaux par le biais d'un indice de pollution organique ; ce dernier se calcule selon la méthode de Leclercq et Maquet (1987) (LECLERCQ Louis, 2001) dont le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 05 classes, puis de déterminer à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne des numéros de classe. La classification des paramètres pollués se fait selon cinq classes de qualité correspondant aux couleurs standards (Tableau 29).

IPO= moyenne des numéros des classes des 04 paramètres :

Tableau 29. Grille de la qualité (IPO)

N° Classes	DBO ₅ (MgO ₂ /L)	NH ₄ (Mg N/L)	NO ₂ (Mg N/L)	PO ₄ (µgP/L)	IPO	pollution organique
5	> 2	< 0.1	5	15	5,0 – 4,6	Nulle
4	2 - 5	0.1 - 0.9	6 - 10	16 - 75	4,5 – 4,0	Faible
3	5.1 - 10	0.91 - 2.4	11 - 50	76 - 250	3,9 – 3,0	Modérée
2	10.1 - 15	2.5 - 6	51 - 150	251 - 900	2,9 – 2,0	Forte
1	> 15	> 6	> 150	> 900	1,9 – 1,0	Très forte

IV.5. Traitement des données par la méthode de la qualité microbiologique (IQM)

La méthode de traitement de données est basée sur l'indice de qualité microbiologique (IQM) (BOVESSE & DEPELCHIN, 1980). La classification des paramètres pollués se fait selon cinq classes de qualité correspondant aux couleurs standards.

Le suivi d'analyse dans les différents points a fait l'objet d'un traitement de données selon la méthode de BOVESSE & DEPELCHIN, 1980 (Leclercq.L, 2001). La caractérisation de la qualité hydrobiologique des eaux se base sur l'indice de contamination. Le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 05 classes et de déterminer à partir de ses propres mesures le numéro de classe (Tableau 30) correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne de l'indice de qualité microbiologique (IQM).

Tableau 30. Grille de la qualité (IQM)

Classe N°	Bact. tot./ml	colif. f./ml	strepto. f./ml	IQM	Contamination fécale
5	<2000	<100	<5	4,3-5,0	Très faible
4	2000-9000	100-500	5-10	3,5-4,2	Faible
3	9000-45000	500-2500	10-50	2,7-3,4	Modérée
2	45000-360000	2500-20000	50-500	1,9-2,6	Forte
1	>360000	>20000	>500	1,0-1,8	Très forte

IV.6. Diagramme ammonium – nitrate

Pour comprendre l'évolution de l'ammonium par rapport aux nitrates, nous avons pensé à établir un diagramme en portant sur l'axe des abscisses les teneurs des nitrates et en ordonnées les teneures de l'ammonium exprimées en nitrate équivalent (Figure78).

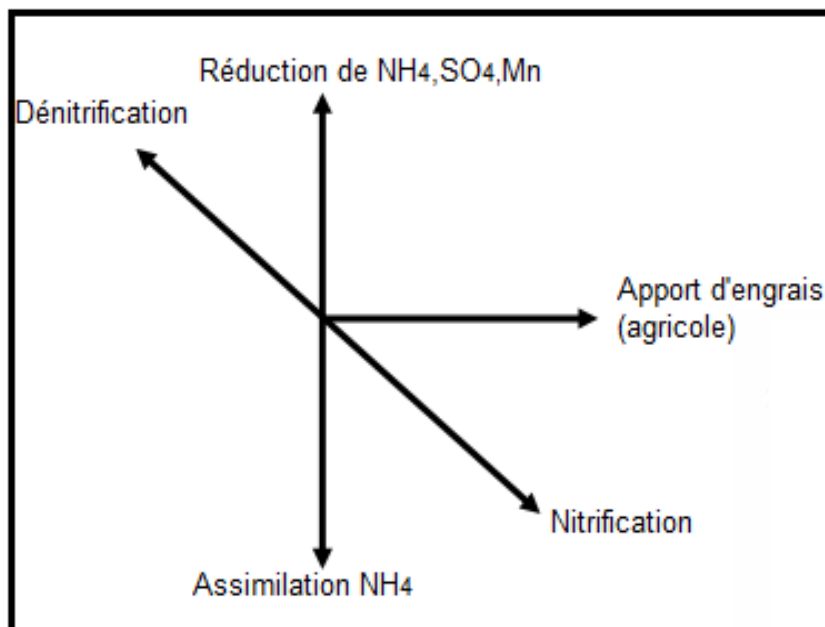


Figure 78. Schéma des différentes formes de pollution suivant l'orientation dans le diagramme Ammonium-Nitrates

V. Conclusion

Le quatrième chapitre présente le mode d'échantillonnage et les techniques expérimentales réalisées durant les deux périodes (2009) et (2011 /2012). Des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été effectués sur les eaux du lac Mellah et de ses affluents in situ et aux laboratoires (Centre de santé d'El Tarf, Laboratoire ADE d'Annaba, université de Constantine) par différentes méthodes de dosage ou par les catalogues de l'appareillage utilisé.

L'étude de la qualité de ces eaux est traitée par différents logiciels statistiques (DIAGRAM, SURFEUR, XL Stat) en complément d'un traitement classique.

3^{ème} PARTIE

Résultats et interprétation

Chapitre V

Caractérisation hydrochimique
des eaux du lac Mellah
et de ses affluents

I. Introduction

Les principaux affluents qui alimentent le lac Mellah sont utilisés pour l'irrigation, ce qui se traduit par un déplacement du polluant d'un milieu à un autre. Ainsi que le lac Mellah est une ressource de production halieutique. De ce fait il devient impératif de déterminer la qualité de ces eaux selon des critères quantitatifs et qualitatifs, connaître le faciès chimique des eaux du lac Mellah et ses affluents afin d'estimer et d'apprécier la nature de ces eaux et de classer les eaux qui sont utilisées en irrigation dans le bassin versant du lac Mellah.

II. caractérisations physico-chimiques et microbiologiques des eaux de la région d'étude avec les normes

Les organismes aquatiques dépendent pour leur croissance et leur reproduction de la qualité des eaux dans lesquelles ils vivent. En général, la qualité des eaux est déterminée selon des critères quantitatifs et qualitatifs tels que, par exemple, la présence en quantités suffisantes de certains nutriments, la teneur en oxygène, le pH, la température ou encore, la présence des indicateurs de contamination fécale (Coliforme totaux, coliforme fécaux, Streptocoque....etc)

II.1. La réglementation des normes des eaux

La réglementation des normes de qualité des eaux usées épurées, Oueds et du lac Mellah est déterminée par les taux de concentration des micro-organismes:

II.1.1. Les normes de qualité des eaux de surface

➤ Les normes de L'OMS

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est considérée comme la plus haute autorité dans le domaine de la santé et donne des recommandations au niveau mondial. Elle propose des normes sanitaires depuis des décennies et elle est en passe de les modifier pour les rendre plus sévères et diminuer les risques sanitaires. Pourtant, ces normes sont aujourd'hui extrêmement loin d'être appliquées dans le monde. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement (Annexe IV).

II.1.2. Les normes de qualité des eaux piscicoles

Les eaux de surface ont besoin d'être protégées ou améliorées pour être favorable à la vie des poissons et classées en eaux salmonicoles ou en eaux cyprinicoles, c'est le cas du lac Mellah. Les normes de qualité des eaux piscicoles, visent la protection des écosystèmes piscicoles, donc

la possibilité de vivre et de se reproduire dans ce lac pour des espèces nombreuses et diversifiées.

➤ **Normes européenne**

Nous nous sommes référés dans ce travail également aux normes européennes concernant la qualité des eaux douces ont besoin d'être protégées ou améliorées pour être favorables à la vie des poissons par la directive 2006/44/CEE et 2006/113/CE et aussi aux normes marocaines de qualité des eaux piscicoles (décret n°2027-03 du 5 Novembre 2003) (Annexe IV).

➤ **Normes marocaine**

Arrêté conjoint du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement n° 2027-03 du 5 novembre 2003 fixant les normes de qualité des eaux piscicoles. (Annexe III).

➤ **Normes Algérienne**

La législation Algérienne montre une insuffisance dans la réglementation par rapport à l'élevage, vu que l'aquaculture est une activité récente dans le pays, tout de même il existe un décret 5189 Chapitre I, article 2 et 13) relatif à la qualité de l'eau pour la pêche et l'aquaculture (Annexe). En Algérie, il n'existe aucun chiffre précis sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de la qualité des eaux destinées à l'usage piscicole (Annexe III).

A travers l'étude bibliographique que nous avons effectuée, nous avons remarqué que les normes qui concernent la réutilisation des eaux en pisciculture sont très rares en Algérie. Il existe donc un déficit réglementaire important en ce qui concerne les possibilités de réutilisation des eaux en pisciculture, pour cette raison on va utiliser la norme marocaine.

II.1.3. Les normes européenne de la qualité microbiologique des eaux

Les indicateurs de contamination fécale ont servi de base à l'établissement de l'ensemble des normes de qualité microbiologique des eaux.

Pour un niveau de contamination microbiologique donné, le risque sanitaire dépend de l'emploi de cette eau. Ses différents usages n'exposent évidemment pas aux mêmes risques sanitaires que ce soit comme ressource dans une usine de production d'eau potable, pour l'hygiène, la baignade ou d'autres activités récréatives nautiques, ou encore pour l'irrigation des cultures. De ce fait, des normes différentes ont été établies pour chacun de ces usages.

Les niveaux fixés par ces normes sont la plupart du temps, issus d'études épidémiologiques qui permettent de faire le lien entre l'exposition à un facteur donné et l'incidence d'infections dues à cette exposition. Elles donnent une estimation du risque en fonction d'un niveau d'exposition ou dose (dans le cas des maladies d'origine hydrique, il s'agit d'une abondance d'indicateurs) et peuvent donc être utilisées pour définir des normes appropriées.

Les normes de la qualité microbiologique des eaux de baignade pour lesquelles une première norme a été édictée par l'Union Européenne en 1975. Ces normes s'appliquent aux zones de baignade en eaux douces et marines. (Annexe IV).

II.2. Variabilité spatiotemporelle des paramètres physiques

II.2.1. Les valeurs du pH

Les représentations graphiques des valeurs du pH (Min et Max) des eaux des affluents (Figure 79, 80) varient au cours de l'étude de 5,2 à 7,2, ces valeurs mesurées légèrement acides, mais restent dans les normes de l'OMS (pH compris entre 6,5 et 8,5). Le pH est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau. Cette acidité est due au terrain sablonneux à sablon- limoneux. Ainsi que il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique lorsque l'évaporation est importante (Meybeck et al, 1996) et il augmente en période d'étiage. Le pH des eaux du lac Mellah varie entre (6,6 à 7,8), ces valeurs est inférieure a la norme des eaux marocaine destinées à l'usage piscicole (pH compris entre 5 et 9).

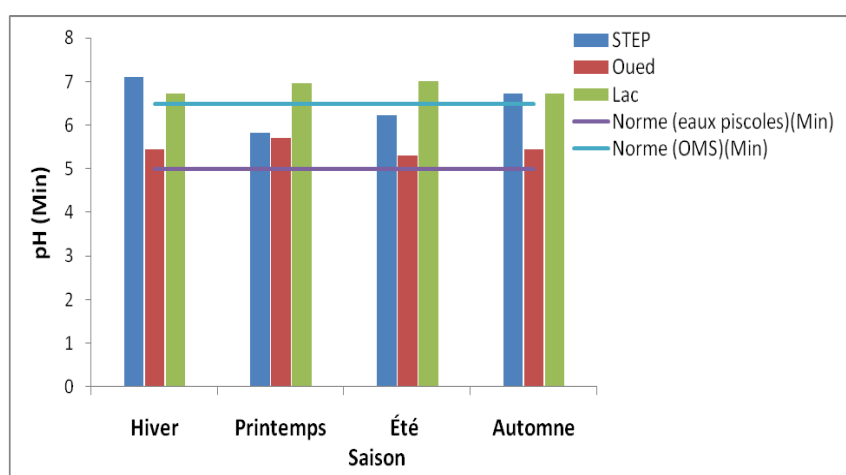


Figure 79. Variabilité spatiotemporelle du pH (Min) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

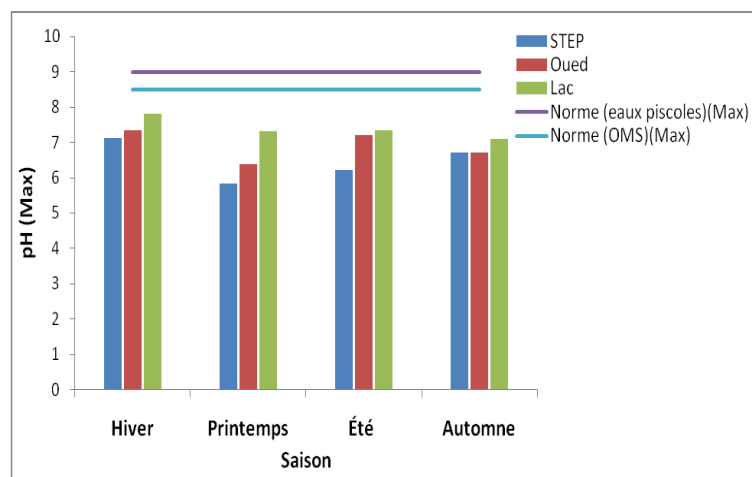


Figure 80. Variabilité spatiotemporelle du pH (Max) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

II.2.2. Température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle réagit avec la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Chapman et al. 1996).

La représentation graphique des variations saisonnières montre que la température ne présente pas de grande variation d'une station à une autre (Figure 81,82), on remarque que les eaux des affluents ne dépassent pas les normes ($\leq 30^{\circ}\text{C}$). Les eaux du lac Mellah montrent une oscillation de température entre 8°C à plus de 32°C (Figure), les valeurs enregistrées dépassent la norme des eaux piscicoles (8 à 30°C), ces valeurs favorisent la survie des bactéries.

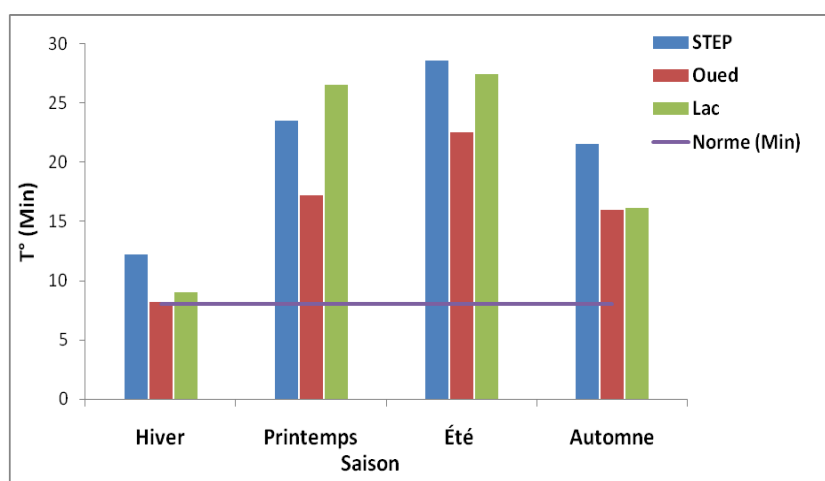


Figure 81. Variabilité spatiotemporelle de température (Min) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

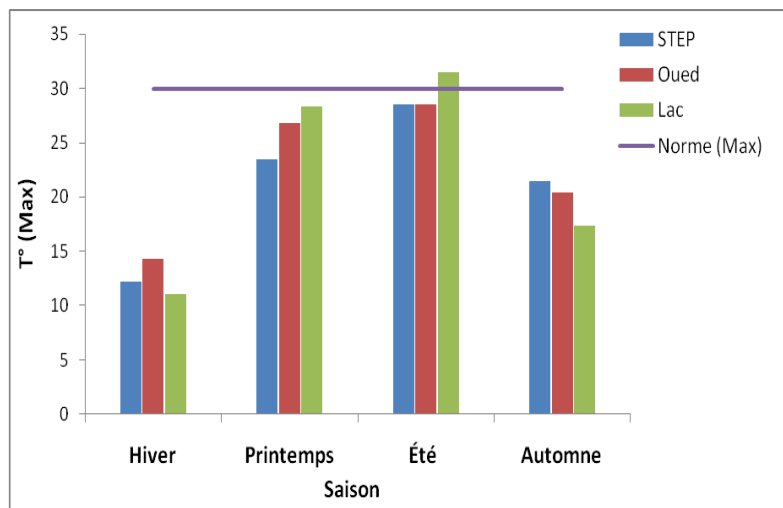


Figure 82. Variabilité spatiotemporelle de température (Max) des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

II.2.3. L'oxygène dissous

Dans la zone d'étude, nous avons remarqué que les teneurs d'O₂ dissous sont importantes aux niveaux des eaux du lac Mellah et de ses affluents durant la période des hautes eaux (hiver et automne), ces teneurs ne dépassent pas les normes. Dans la période des basses eaux (été), les valeurs les plus basses sont observées dans les trois milieux qui restent inférieures aux normes des eaux de l'OMS et piscicoles (Figure 83).

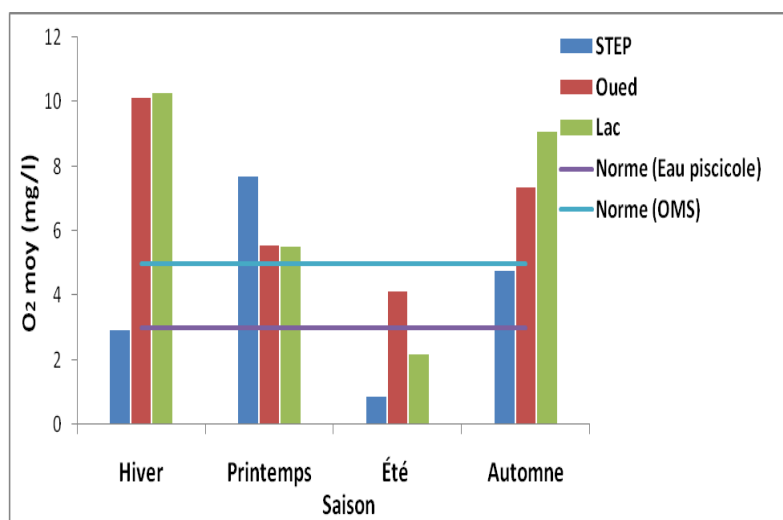


Figure 83. Variabilité spatiotemporelle des teneurs d'oxygène dissous des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

II.2.4. Turbidité

La turbidité affecte beaucoup la potabilité d'une eau cela est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, matières organiques... etc.

L'histogramme de la variation saisonnière de turbidité dans les eaux de la zone d'étude (Figure 84) montre que les teneurs moyennes de la turbidité dépassent la norme durant la saison d'hivers au niveau des oueds avec une teneur moyenne de 19,5 NTU, son taux normal est fixé à 5 NTU selon l'OMS. Nous constatons aussi que la plupart des eaux analysées au niveau du lac ont des teneurs moyennes qui ne dépassent pas la norme.

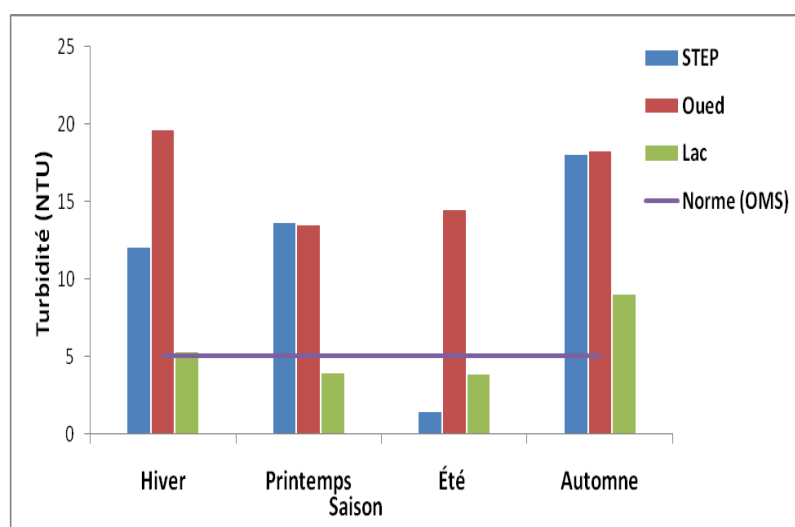


Figure 84. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de turbidité des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

II.2.5. Conductivité électrique

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau.

La représentation graphique des variations saisonnières des teneurs de conductivité au niveau des eaux des affluents montrent une variation légère avec un minimum de 478 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un maximum de 592 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux épurées de la STEP d'El Gantra El Hamra et avec un minimum de 234 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un maximum 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux des Oueds. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de l'OMS (Figure 85).

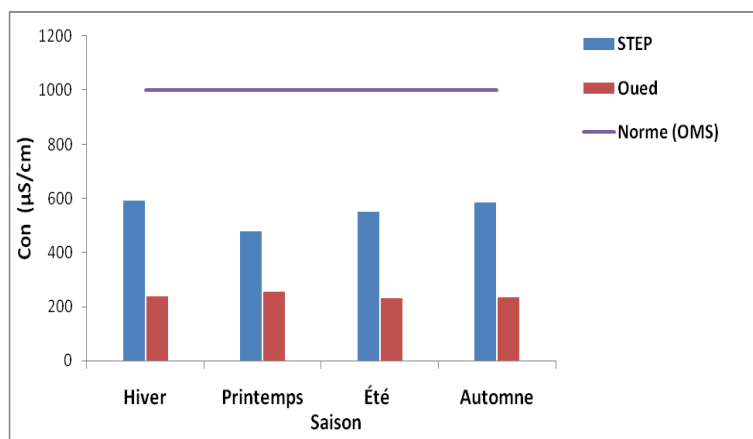


Figure 85. Variabilité spatiotemporelle de la conductivité électrique des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

II.3. Variabilité spatiotemporelle des teneurs des paramètres physico-chimiques

II.3.1. Matières en suspension (MES)

Les valeurs moyennes des MES obtenues ne montrent pas une variation notable dans les quatre saisons ce qui confirme que les eaux aux niveaux des différentes stations analysées sont des eaux peu chargées en matières en suspension. Ces teneurs en MES ne dépassent pas les normes des eaux de l'OMS et les eaux piscicoles (Figure 86).

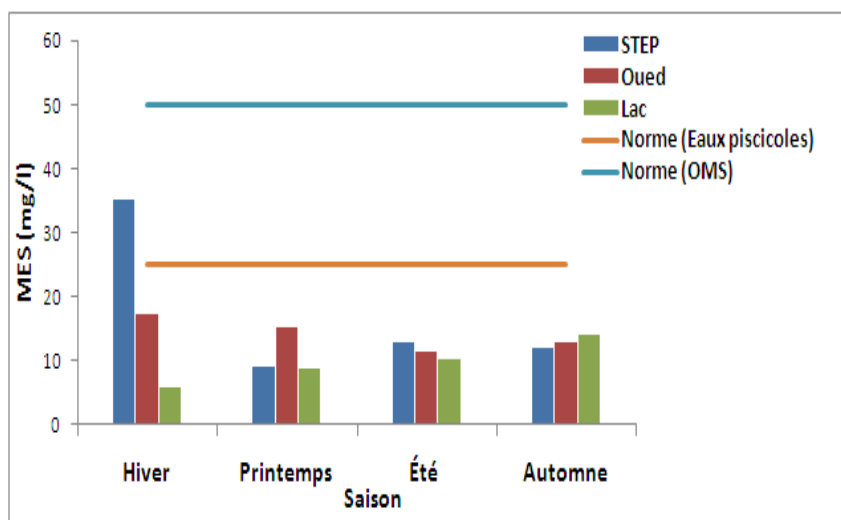


Figure 86. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de matières en suspension des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012).

II.3.2. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer les matières organiques seulement biodégradables contenus dans une eau usée.

A la lumière de cette figure, on remarque que les valeurs obtenues de la DBO_5 des eaux des affluents analysées oscillent entre 4 à 30 mg/l et ne dépasse pas la norme (OMS) durant les différentes saisons. D'autre part, durant la période d'été l'histogramme montre que les eaux du lac Mellah est très chargé en DBO_5 et dépasse la norme des eaux piscicoles (Figure 87).

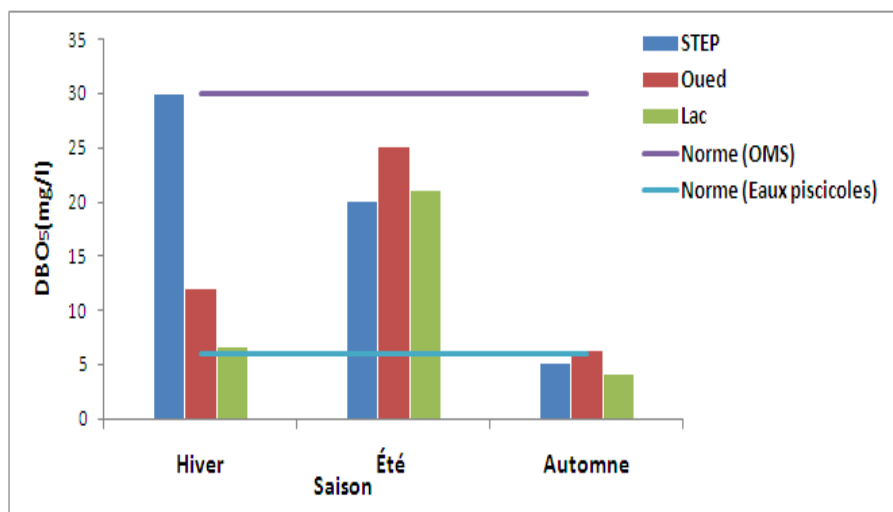


Figure 87. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de DBO_5 des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012).

II.3.3. Composés azotés (NO_2^- , NH_4)

L'azote est l'un des éléments chimiques les plus abondants sur terre. Il se présente sous deux formes : l'azote organique (Protéines, acides aminés,...) et l'azote minéral (Azote moléculaire, ammonium, nitrites, nitrates ...). Les résultats relatifs aux différents composés azotés sont représentés sur les figures suivantes.

- **Nitrite**

Les nitrites ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique son origine est liée à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels. Dans l'ensemble des eaux de la région, les valeurs moyennes de nitrite sont inférieures à la norme avec des concentrations oscillent entre 0,001 à 0,33 mg/l (figure 88).

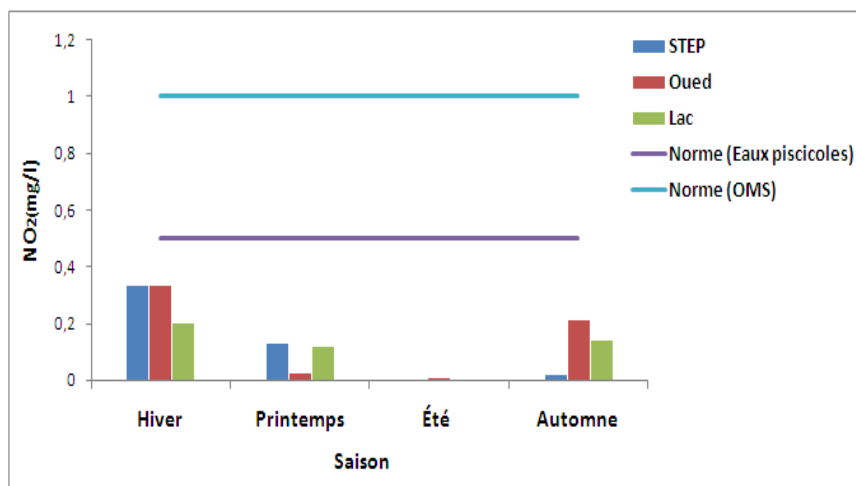


Figure 88. Variabilité spatiotemporelle des teneurs de nitrite des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012).

- **Ammonium**

L'azote ammoniacal (NH_4^+) résulte essentiellement de la dégradation aérobie de l'azote organique (protéines, acides aminés, urée...) dont lequel provient en grande partie, en milieu urbain, du rejet d'eaux usées non ou insuffisamment épurées.

Même remarque que celle de nitrite, la variation saisonnière des teneurs en ammonium au niveau du lac ne dépasse pas la norme piscicole pendant les différentes périodes. En printemps, la teneur maximale est observée au niveau des eaux de la STEP (2,8 mg/l) supérieure à la norme de l'OMS. Les concentrations moyennes sont faibles pour la plupart des eaux des Oueds (Figure 89).

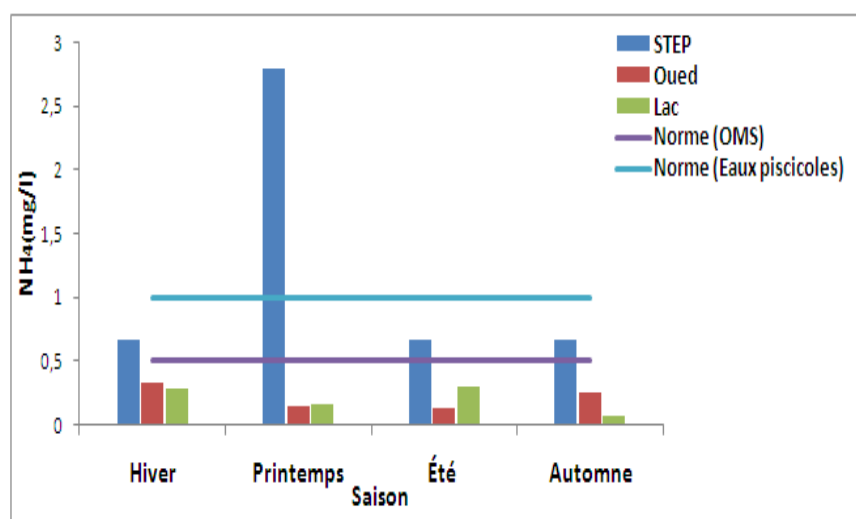


Figure 89. Variabilité spatiotemporelle des teneurs d'ammonium des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

II.4. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des paramètres microbiologiques

II.4.1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries très hétérogène, le plus souvent ils présentent un grand nombre dans les excréments animaux et humains mais dans certaines espèces ne sont pas nécessairement liées à la flore intestinale humaine ou animale et peuvent proliférer dans les sols ou dans les milieux aquatiques. Ces germes ne peuvent donc être considérés comme des indicateurs très fiables de pollution fécale.

La variation saisonnière de dénombrement des coliformes totaux n'est pas très nette aux niveaux des eaux des affluents (STEP, Oued) et du lac, les germes dénombrés sont inférieures à la norme européenne de la baignade durant les quatre périodes d'étude. (Norme impérative à 10000 UFC/100 ml)(Figure 90).

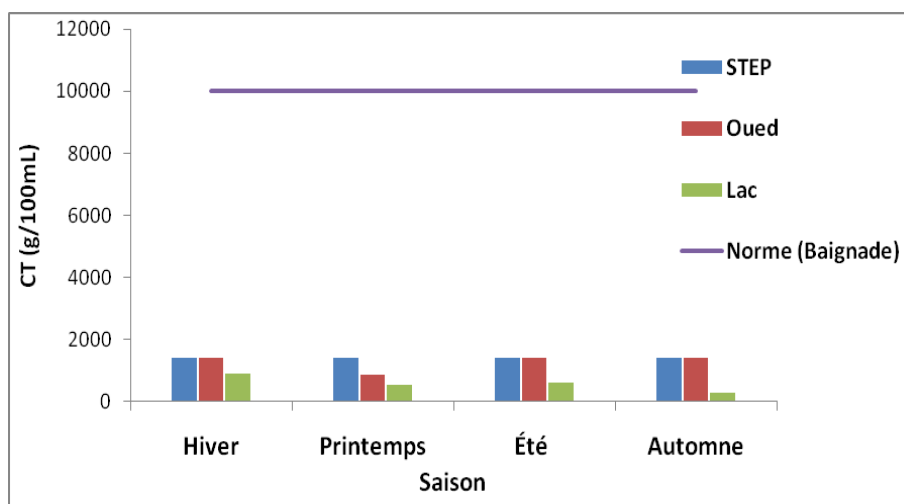


Figure 90. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des coliformes totaux des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012).

II.4.2. Coliformes fécaux

La présence des coliformes fécaux (aussi appelés Coliformes thermo-tolérants) dans un milieu aquatique, et plus particulièrement celle d'E.coli, est considérée comme un bon indicateur d'une contamination récente du milieu par du matériel fécal humain ou d'animaux à sang chaud (Helmer et al. 1991, Baudisová 1997).

Les dénombrements des CTT ont montrés des variations significatives entre les saisons , elles sont significatives élevées pour les eaux épurées de la STEP et les eaux des Oueds, qui présentent une forte abondance durant la période des basses eaux et une très faible concentration

durant la période des hautes eaux. Les valeurs moyennes de CTT dans les trois milieux ambiants différents (STEP, Oueds, Lac) sont inférieures aux normes des eaux de Baignade et de piscicole (Figure 91).

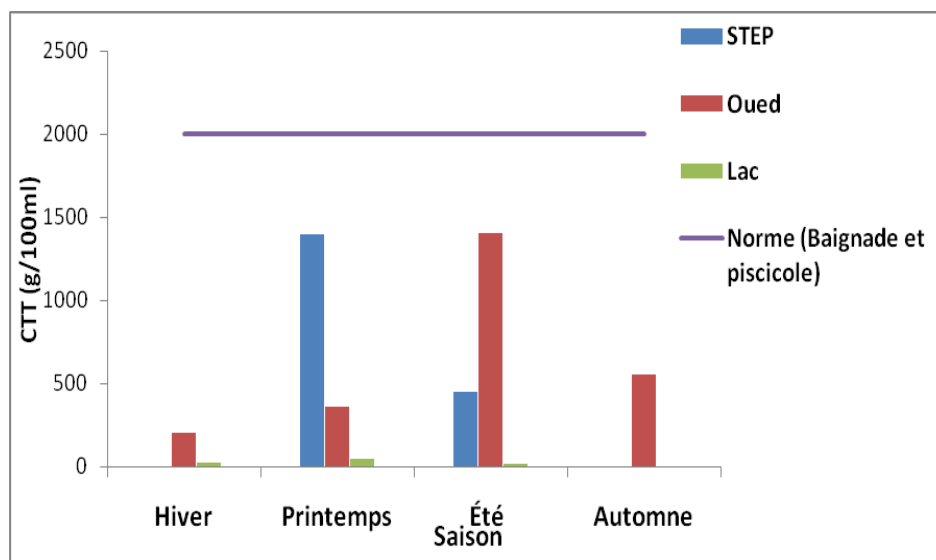


Figure 91. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des coliformes thermo-tolérants des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012).

II.4.3. Streptocoques fécaux

Le groupe des streptocoques fécaux est constitué d'espèces du genre *Enterococcus*, d'origine humaine prépondérante et d'espèces du genre *Streptococcus* d'origine animale. Bien que ce groupe semble assez ubiquiste (Geldreich et al. 1964, Leclerc et al. 1996), il est généralement considéré comme un indicateur fiable de pollution fécale.

Le dénombrement des streptocoques montre que le lac est très chargé en streptocoques fécaux avec une valeur moyenne à 224 germes/100ml durant la période des hautes eaux (Automne). Par contre les valeurs moyennes des streptocoques dans les eaux épurées et les eaux des Oueds sont conformes à la norme européenne (Figure 92).

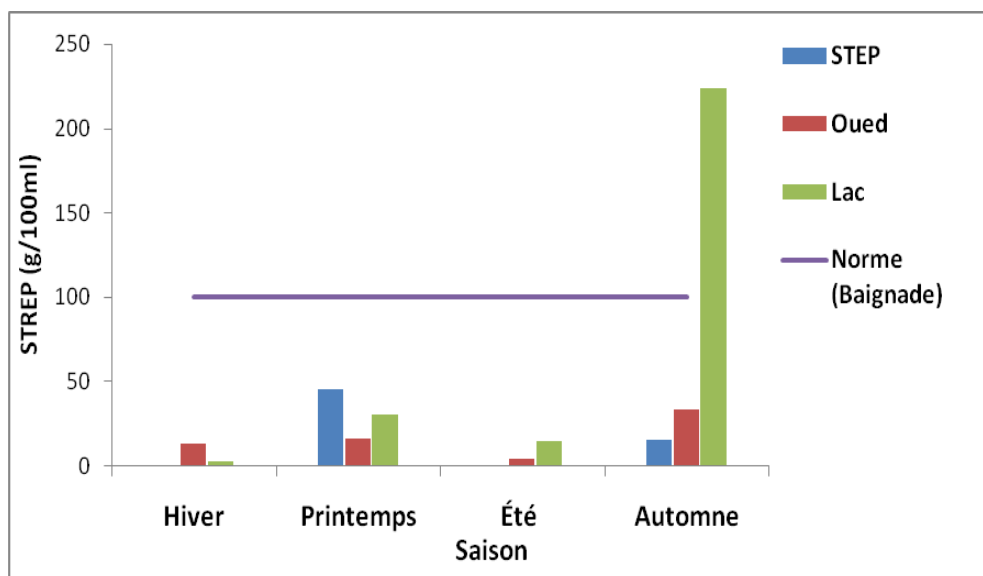


Figure 92. Variabilité spatiotemporelle de dénombrement des streptocoques des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012).

III. Evolution du potentiel redox en fonction du potentiel d'hydrogène (pH et Eh)

Pour mieux connaître la nature du milieu dans les différentes stations de prélèvement on a opté pour l'élaboration du diagramme Eh-pH pour toutes les campagnes et cela pour connaître la nature de chaque période (Hautes et basses eaux). Notons que la variation du potentiel redox est liée à l'effet des pluies et des différents rejets.

Les valeurs titrées des potentiels dans les eaux (STEP, Oueds, Lac Mellah) ont été aménagées dans le diagramme binaire Eh-pH.

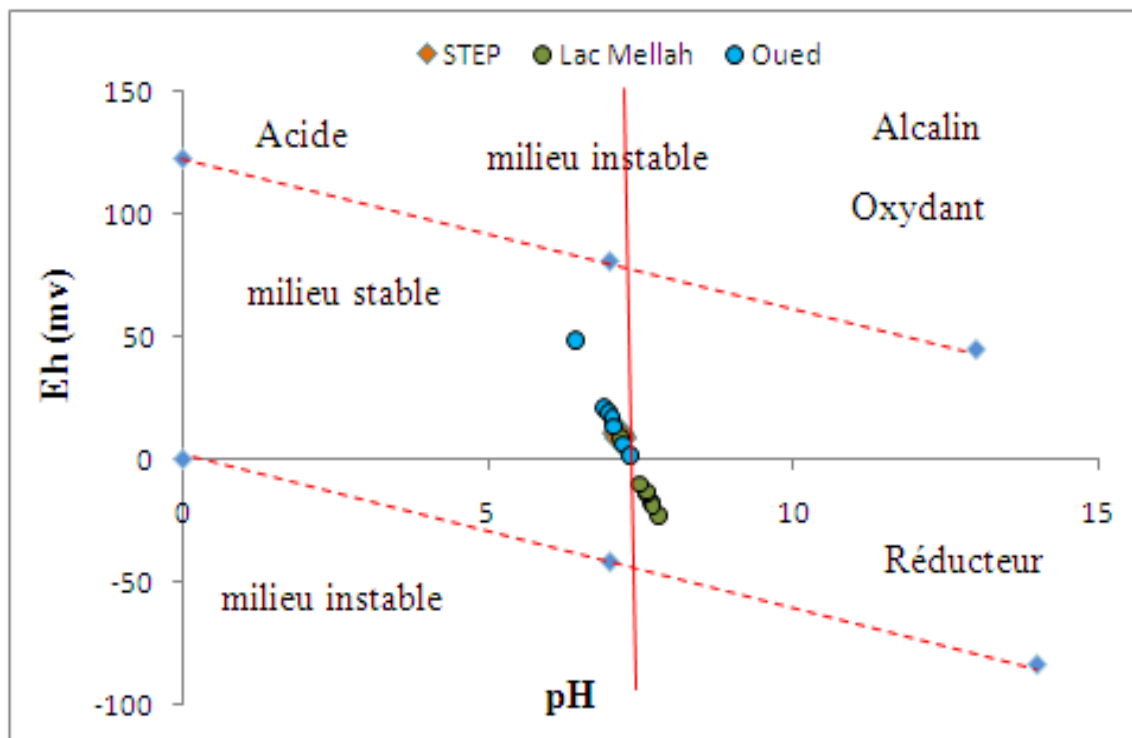


Figure 93. Positionnement des trois milieux dans le diagramme binaire Eh-pH (Période des hautes eaux en 2011/2012).

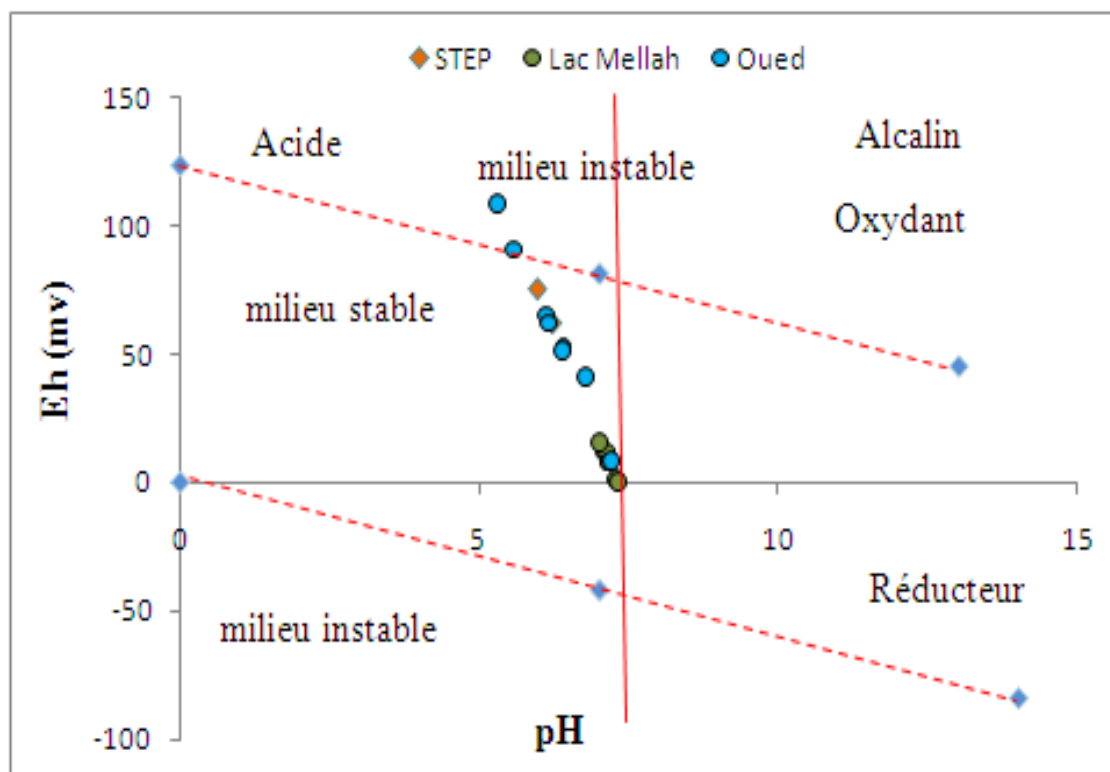


Figure 94. Positionnement des trois milieux dans le diagramme binaire Eh-pH (Période des basses eaux en 2011).

L'observation des diagrammes a permis de ressortir les faits suivants :

Pendant la période des hautes eaux, le diagramme (Figure 93) montre un alignement de points compris entre des valeurs du pH de 6.42 à 7.8 et des valeurs du potentiel redox de -23 à 49 mV. Dans les eaux de STEP, les valeurs du pH oscillent entre 7.11 et 7.15 et les valeurs du potentiel redox entre 9 et 11 mV et dans les eaux des oueds le pH est entre 6.42 et 7.34 et le potentiel redox entre 1 et 49 mV. Dans les eaux du lac Mellah le pH oscillent entre 7.8 et 7.15 et les valeurs du potentiel redox entre -23 et 9 mV.

Pendant la période des basses eaux, le diagramme (Figure 94) montre un alignement de points compris entre des valeurs du pH de 5.3 à 7.33 et des valeurs du potentiel redox de 0 à 109 mV. Dans les eaux de STEP, les valeurs du pH oscillent entre 5.96 et 6.22 et les valeurs du potentiel redox entre 62 et 75 mV et dans les eaux des Oueds le pH est entre 5.3 et 7.19 et le potentiel redox entre 8 et 109 mV. Dans les eaux du lac Mellah le pH oscillent entre 7.01 et 7.33 et les valeurs du potentiel redox entre 0 et 16 mV.

On peut résumer les deux figures, par l'observation de 3 milieux distinctes :

- Dans la période des hautes eaux : La comparaison entre les données de trois milieux montre que les valeurs des potentiels dans les eaux des Oueds et de la STEP (milieu acide oxydant) sont plus élevées que celles du lac Mellah où le milieu se distingue par des valeurs négatives du potentiel redox s'accompagnent des valeurs de pH supérieures à 7 ce qui traduit un caractère basique et réducteur. Ces résultats montrent que la variation du potentiel d'oxydoréduction est très liée à l'effet des pluies et les eaux qui alimentent le lac.
- Dans la période des basses eaux : Les eaux de la STEP et les Oueds représentent un caractère acide oxydant qui montre d'une part, l'importance des charges des polluants et d'autre part, l'altération des roches par un contact (eau- roche) de longue durée. Selon Blinda (2007), des pH compris entre 5 et 9 permettent un développement normal de la faune et de la flore. Par contre, les eaux du lac Mellah présente des valeurs de Eh faible ce qui traduit un milieu presque réducteur.

IV. Facies chimique des eaux de la zone d'étude

La représentation des données physico-chimiques des eaux de surface du lac Mellah et de ses affluents sur le diagramme Piper permet de préciser le faciès de l'eau et déterminer leur

origine naturelle ou anthropique (Drever, 1997 ; Debieche, 2002 ; Rouabhia, 2006 ; Maoui, 2007).

IV.1. Représentation graphique du faciès chimique des eaux par le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est un mode de représentation graphique permettant de caractériser le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau, l'évolution des éléments chimique ainsi que leur genèse (Piper, 1944) par des anions et des cations sur deux triangles spécifiques. Les côtés des triangles, témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). Le traitement des données sur le logiciel DIAGRAMME à retiré les diagrammes suivants :

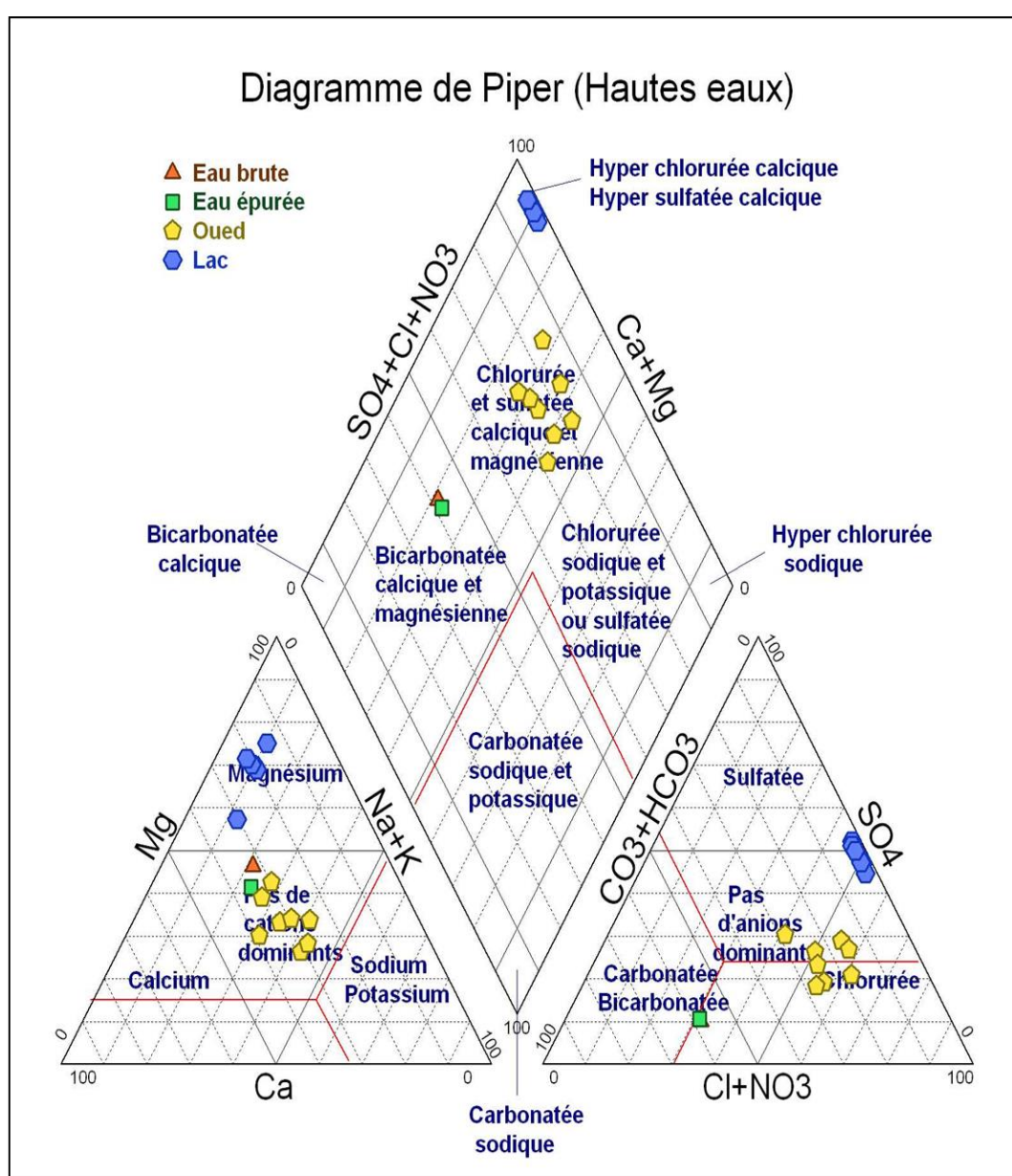


Figure 95. Diagramme de Piper pour les échantillons de la région d'étude (Hautes eaux 2011/2012).

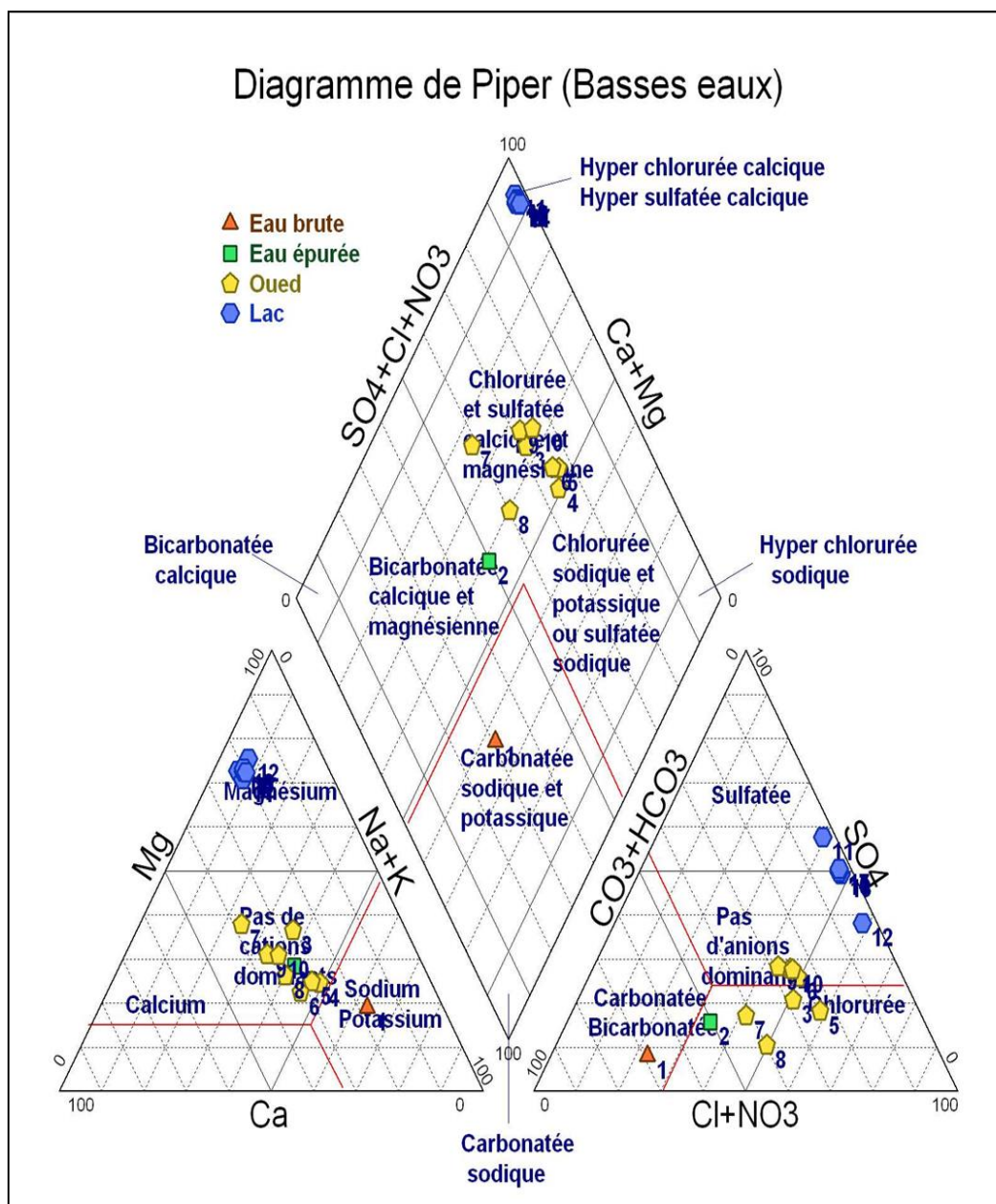


Figure 96. Diagramme de Piper pour les échantillons de la région d'étude (Basses eaux 2011).

Les figures de diagrammes de Piper (95 et 96) dans les deux périodes (Hautes eaux et basses eaux) séparent distinctement les eaux salées (Lac) et les eaux douces (STEP et Oueds). Selon ces diagrammes on peut déduire que les eaux de surface dans différentes stations étudiées ne présentent pas les mêmes aspects dans l'espace et une grande ressemblance dans le temps au niveau des caractéristiques hydrochimiques des eaux de la région d'étude .

Les résultats d'analyses sur les diagrammes de piper dans les deux périodes montrent que:

- **Les eaux du lac Mellah sont** hyper Chlorurées calciques et hyper sulfatées calciques pendant les deux périodes d'étude (Hautes et Basses eaux). L'origine des chlorures est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine mettant en évidence des brassages des eaux entre le lac et la mer.
- **Les eaux des Oueds sont** chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes pendant les deux périodes d'étude (Hautes eaux, Basses eaux) .Ceci est expliqué par le phénomène conjugué concentration - dilution (Guasmi, 2009). On note que les chlorures marquent la totalité des points des oueds qui sont représentés sur le diagramme Piper .Les chlorures proviennent de la pollution anthropique et de l'évaporation intense qui provoque l'augmentation des concentrations en ions Cl⁻.Ainsi que le calcium provient du lessivage des formations salifères gypseuse, alors que le magnésium en partie provient des argiles. La présence des ions de sulfate dans l'eau est liée toujours aux formations gypseuses (CaSO₄, 2H₂O).
- **Les eaux brute de la STEP sont** bicarbonatées calciques et magnésiennes pendant la période des hautes eaux, leur présence indique l'incidence de la géologie sur la qualité des eaux dans cette période, ainsi que le lessivage des calcaires lors de ruissèlement. Pendant la période des basses eaux, les eaux entrants dans la STEP sont carbonatées sodiques et potassiques ceci est expliqué par la concentration élevée des rejets des eaux usées, ainsi que l'épandage des engrais chimiques provoquent l'augmentation de la concentration en sodium.
- **Les eaux épurées de la STEP sont** bicarbonatées calciques et magnésiennes pendant les deux périodes d'étude (Hautes eaux, Basses eaux). Le bicarbonate pourrait être attribué aux rejets anthropiques et des effluents d'élevages, qui entraînent le phénomène de photosynthèse et le développement des algues dans la station d'épuration.



IV.2. Représentation graphique par le diagramme de Schoeller Berkaloff

Le diagramme de Schoeller Berkalov permet de représenter le facies chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée

en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

Le renvoi des résultats de nos analyses sur le diagramme de Scholler Berkaloff (Figure 97et 98) dans les deux période d'étude permet de comparer la composition chimique des solutions provenant de différentes origines. Sur ce dernier les courbes ont le même allure et montrent deux familles distinctes, confirmant les résultats observées sur le diagrammes Piper.

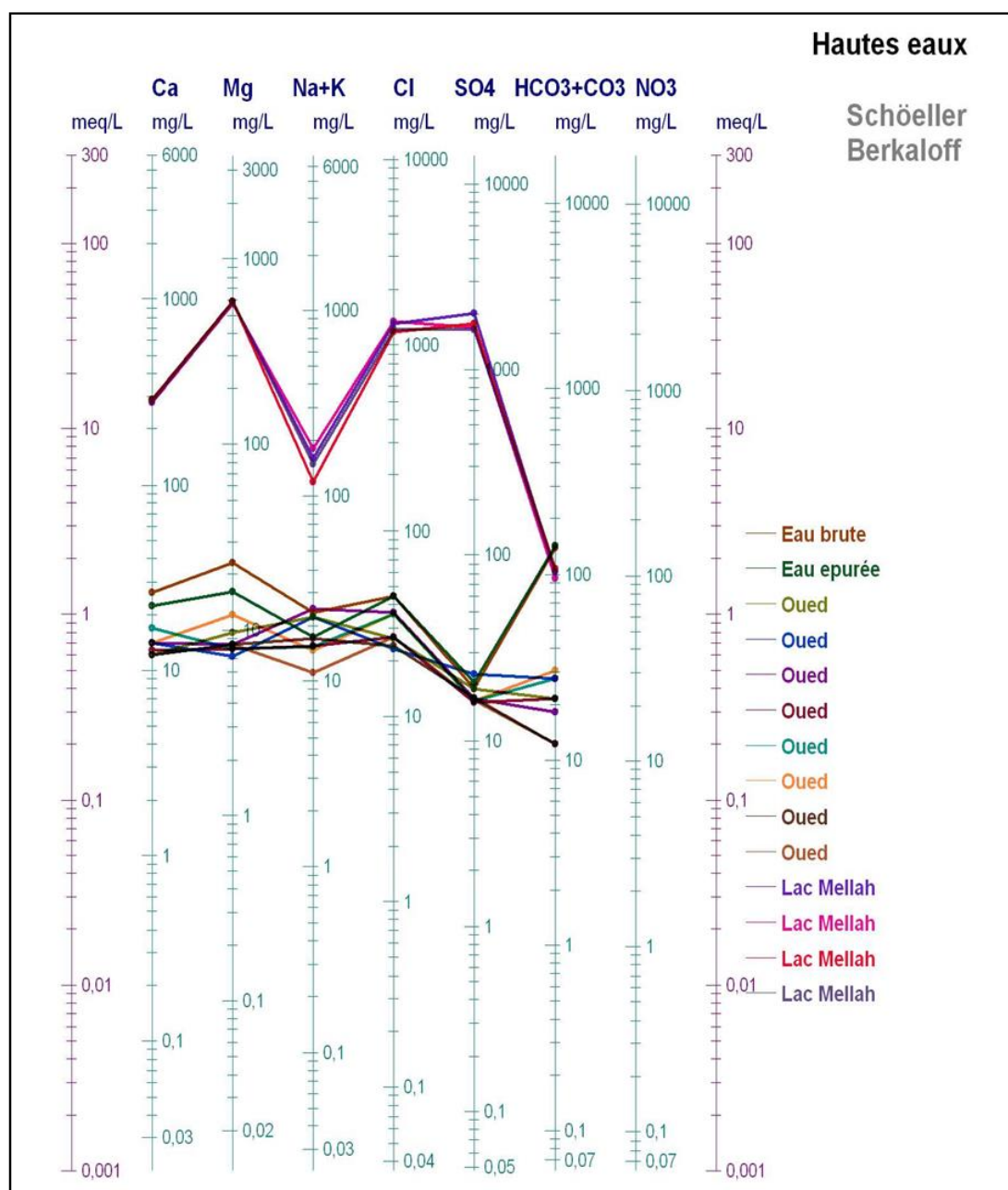


Figure 97. Diagramme de Schoeller Berkaloff pour les échantillons de la région d'étude (Hautes eaux en 2011/2012).

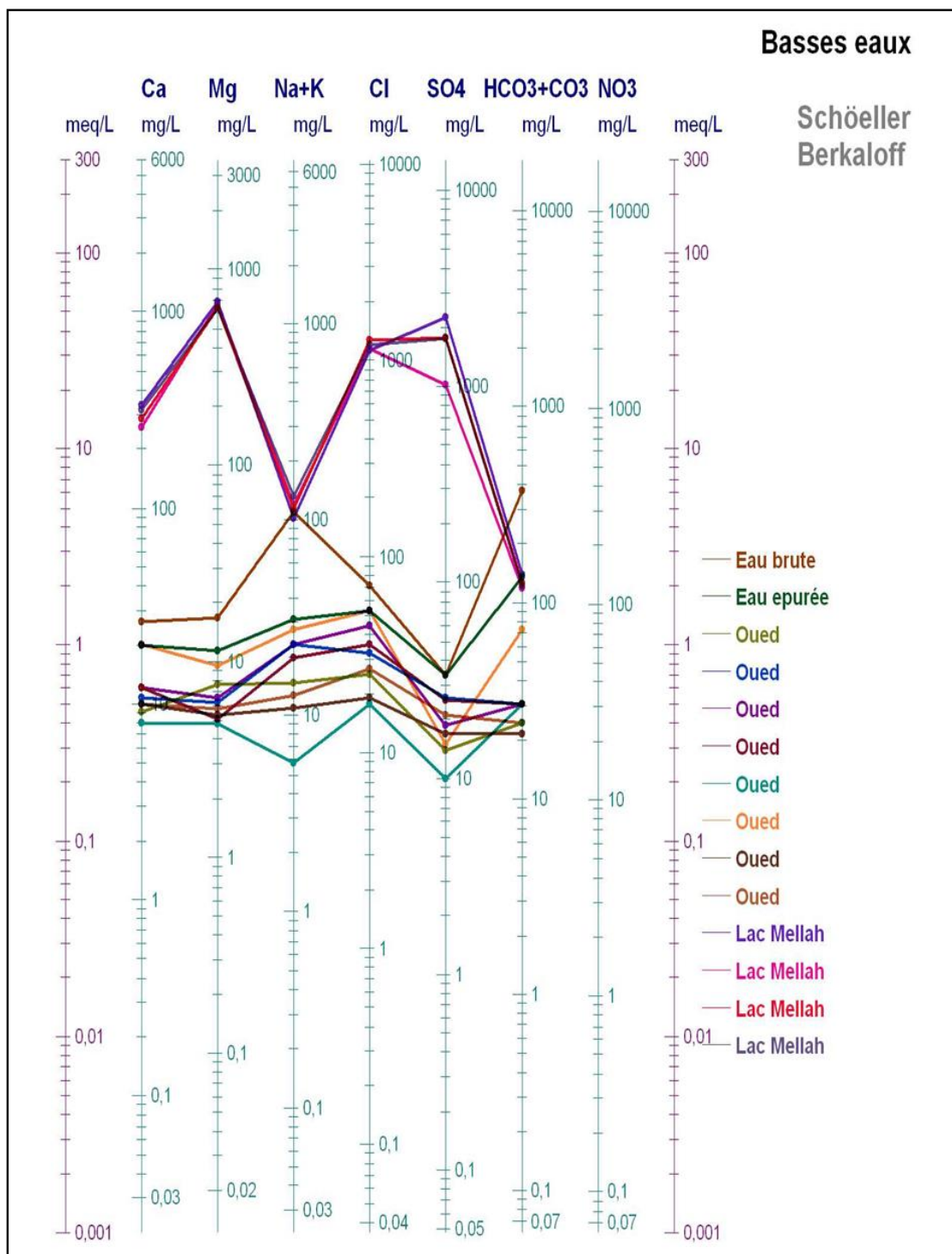


Figure 98. Diagramme de Schoeller Berkaloff pour les échantillons de la région d'étude (Basses eaux en 2011).

Le tableau 31 montre la dominance des éléments pour chaque source : lac Mellah, Oueds et la STEP (entrée et sortie), ce tableau résume le diagramme de Schoeler Berkaloff pendant les deux périodes d'étude (Hautes et basses eaux).

Tableau 31. Dominance des éléments pour chaque source étudiés : lac Mellah, les Oueds et la STEP

Période d'étude	Sources	Dominance chimique
Période des hautes eaux	Lac Mellah	Mg > SO ₄ > Cl > Ca > (Na+K) > HCO ₃ (Magnesium sulfatique)
	Oueds	Cl > (Na+K) > Ca > Mg > SO ₄ > HCO ₃ (Chlorure sodique et potassique)
	STEP (Eau brute et épurée)	HCO ₃ > Mg > Ca > Cl > (Na+K) > SO ₄ (Bicarbonate Magnesium)
Période des basses eaux	Lac Mellah	Mg > SO ₄ > Cl > Ca > (Na+K) > HCO ₃ (sulfatée Magnesium)
	Oueds	Cl > (Na+K) > Ca > Mg > SO ₄ > HCO ₃ (Chlorure sodique)
	Eau brute	HCO ₃ > (Na+K) > Cl > Mg > Ca > SO ₄ (Bicarbonate sodique)
	Eau épurée	HCO ₃ > Cl > (Na+K) > Ca > Mg > SO ₄ (Bicarbonate chlorure)

Les graphes de Schoeller, tracés en différentes périodes montrent que les eaux dans différentes stations étudiées présentent une grande dissemblance dans l'espace et une grande ressemblance dans le temps au niveau des caractéristiques hydro chimiques des eaux du lac Mellah et ses effluents ainsi que les chlorures restent l'élément dominant dans les eaux de surface de la région (Oueds et lac) , tandis que pour les eaux de STEP c'est le bicarbonate l'élément dominant , ces résultats confirment les résultats du diagrammes de Piper.

V. Évaluation de la qualité des eaux des effluents du lac Mellah pour l'utilisation dans l'agriculture

L'agriculture ainsi qu'une grande partie de la vie sur notre planète dépendent du sol. Elle présente une ressource naturelle non renouvelable. Le bassin versant du lac Mellah a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique, particulièrement agricole.

V.1. Etat de la qualité des eaux des affluents du lac Mellah en vue d'un usage agricole

L'agriculture en irrigué s'effectue à partir du réseau hydrographique qui alimente le plan d'eau du lac. Cette partie de travail est réalisée a fin d'estimer et apprécier la nature des eaux pour classer des eaux des affluents du lac Mellah utilisées en irrigation dans le bassin versant du lac Mellah, durant la période d'observation 2011-2012. La nécessité de cette recherche est due aux problèmes que vit la région comme la sécheresse et l'indisponibilité des eaux superficielles ainsi que la forte demande en eau résultant des activités agricoles. L'analyse de tous les paramètres caractérisant la salinité, pendant toute la période d'observation, a permis d'évaluer la qualité de ces eaux par des méthodes classiques en vue d'un usage agricole.

V.1.1. Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de Riverside

La concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante:

$$SAR = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{MG}^{2+}) / 2}} \quad (21)$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l.

Il a été établi par l'U.S. Département d'agriculture, une classification des eaux selon les valeurs du SAR :

Tableau 32. Classement selon le SAR

SAR	Risque
<10	faible
10<SAR<18	moyen
18<SAR<26	élevé
>26	Très élevé

Source : <http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>

D'après les valeurs concernant le SAR, on constate que la proportion du sodium adsorbée est inférieure à 4 méq/l pendant les deux périodes d'étude, ce qui affirme un très faible apport du sodium à la solution du sol selon la classification du SAR (Tableau 32).

Une classification plus détaillée des eaux destinées à l'irrigation a été établie par M Louvier ;(1976).

Tableau 33. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR (M Louvier ;1976-B.R.G.M).

Degré	Qualité	Classe	Possibilité d'utilisation
1	Excellente	C1S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures.
2	Bonne	C2S1-C2S2	En générale, c'est une eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plants moyennement tolérants aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C2S3-C3S1-C3S2	En générale, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur les sols drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C3S3-C4S1-C4S2	En générale, eau fortement minéralisée pouvant convenir à certaines espèces bien tolérantes aux sels sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C4S3-C4S4-C3S4	Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certain conditions.

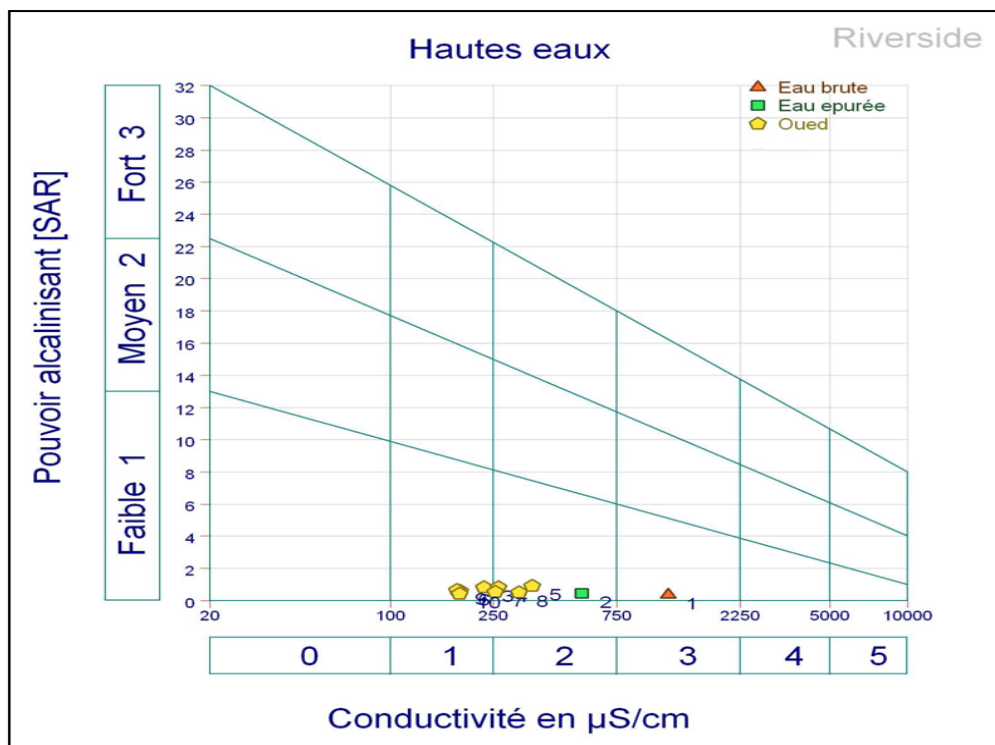


Figure 99. Diagramme de Riverside des eaux d’irrigation des affluents dans la période des hautes eaux

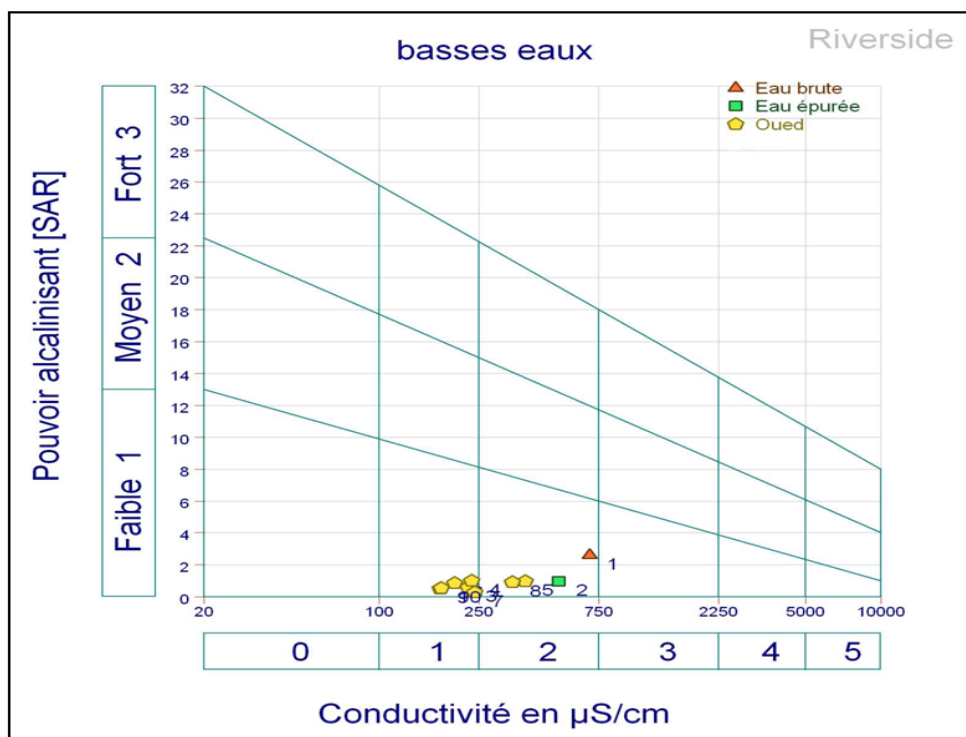


Figure 100. Diagramme de Riverside des eaux d’irrigation des affluents dans la période des basses eaux

Tous les points d'eau sont reportés sur le diagramme de Riverside (Richards, 1954), selon la conductivité électrique et la valeur de SAR (Figures 99 et 100), on a pu dégager la présence des classes suivantes :

Durant la période des hautes eaux, la classe (1-1) caractérise une très bonne qualité d'eau pour l'irrigation. Elles se manifestent en aval d'oued El Rguibet et en amont et aval d'Oued Boumalek. Et pendant la période des basses eaux la classe (1-1) représente des eaux des oueds « El Ergue et Boumalek » en amont et en aval ainsi que l'amont d'oued Rguibet et l'aval d'oued Mellah.

La classe (2-1) elle regroupe aussi les eaux de bonne qualité pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, pendant la période humide, cette classe on la rencontre dans les eaux usées traitées de la station d'épuration, l'amont et l'aval d'Oued El Ergue et El Rguibet et amont d'Oued Mellah. Durant l'autre période, cette classe se manifeste des eaux brutes et traitées de la STEP El Gantra EL Hamra, l'amont d'Oued Mellah et l'aval d'Oued El Rguibet.

La classe (3-1) désigne les eaux admissibles pour l'irrigation des cultures selon (Mermoud.A, 2006). Elle caractérise les eaux brutes de la station d'épuration durant la période des hautes eaux.

On constate que la qualité des eaux des affluents des eaux du bassin versant du lac Mellah selon la méthode de Riverside présente un faible danger d'alcalinisation et pourrait être utilisées en irrigation. La comparaison des deux périodes de répartition du SAR a montré une distribution semblable des classes d'aptitude à l'irrigation.

V.1.2. Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de wilcox

Comme les plantes tiennent mal dans les sols saturés en sodium, on a réalisé la classification des points d'eau, selon le diagramme de Wilcox, fondé sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage :

$$\% Na^+ = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+)} \times 100 \quad (22)$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l.

Cette classification définit cinq classes d'eau : Excellente, Bonne, Admissible, Mediocre et Mauvaise (Wilcox ,1948) ;

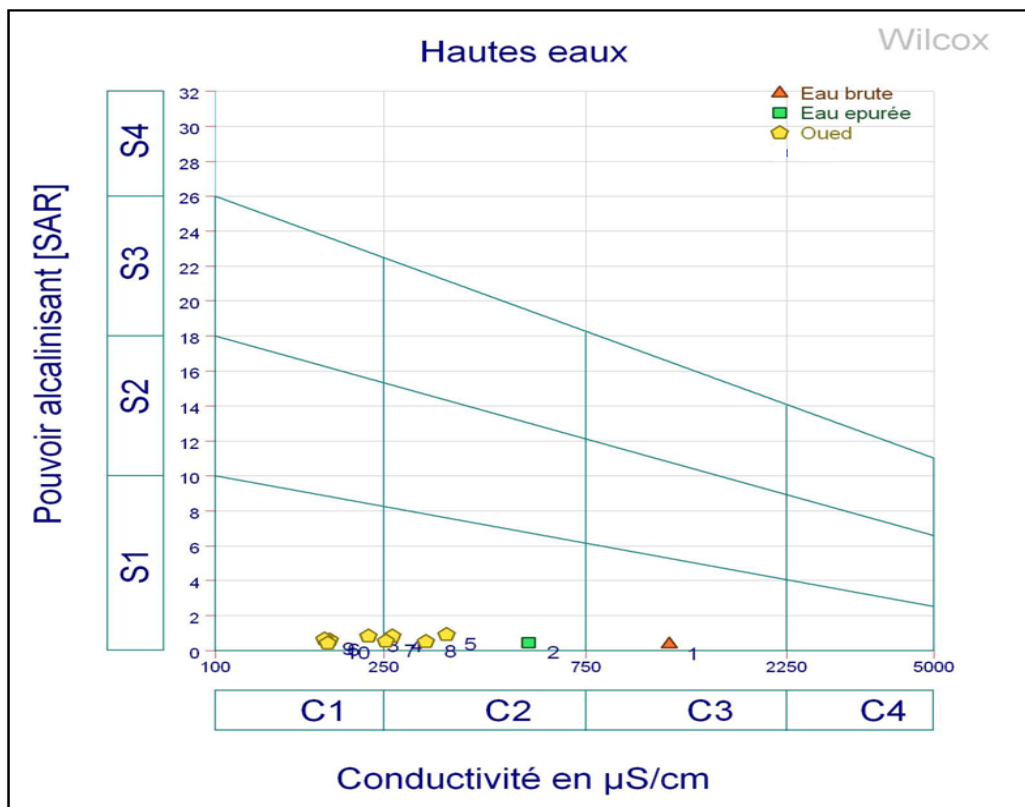


Figure 101. Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation des affluents dans la période des hautes eaux (2011/2012).

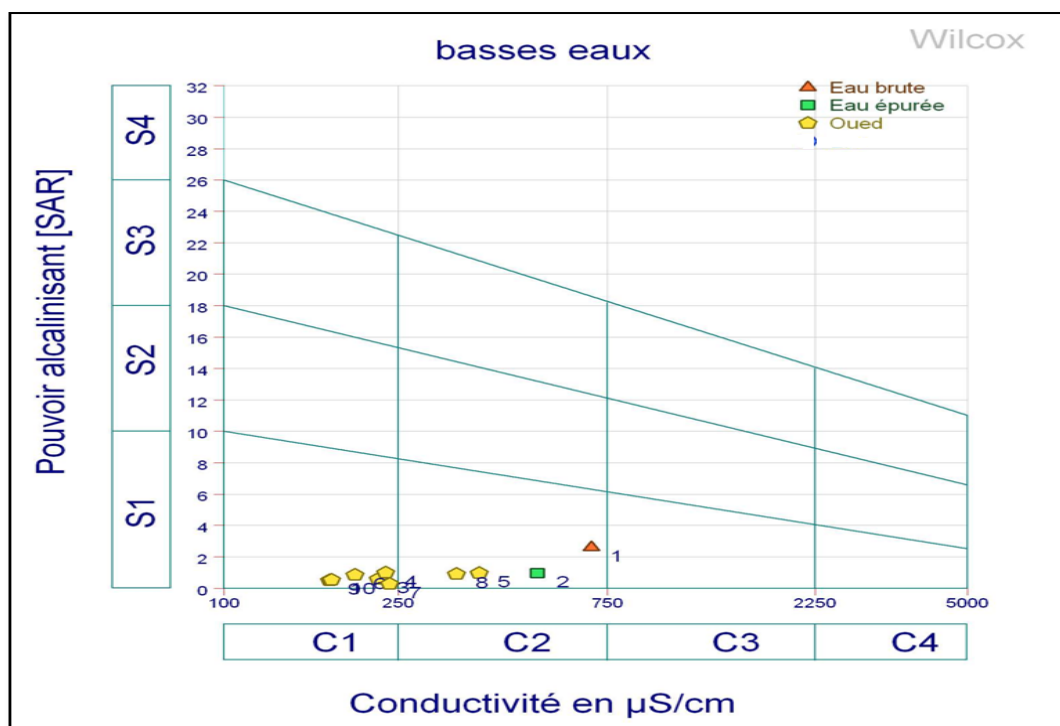


Figure 102. Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation des affluents dans la période des basses eaux (2011).

Les représentations graphiques des diagrammes de Wilcox (Figure 101 et 102) confirment les interprétations des classes des eaux d'irrigation selon la méthode de Riverside, car on a la même concentration des points dans les classes (C1S1) et (C2S1) durant les deux périodes d'étude, se sont les classes qui renferment les eaux des affluents à faible salinité et faible danger d'alcalinisation.

V.2. Evolution temporelle de la qualité des eaux pour l'irrigation

Le tableau suivant représente l'évolution des classes d'irrigation des affluents du lac Mellah selon la méthode de Riverside en hautes et basses eaux.

Tableau 34. Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de Riverside

SAR		Période des hautes eaux (% d'échantillon d'eau)	Période des basses eaux (% d'échantillon d'eau)
Classe excellente	(1-1)	30	60
Classe bonne	(2-1)	60	40
Classe admissible	(3-1)	10	-

L'analyse statistique des classes d'irrigation des eaux des affluents du bassin versant du lac Mellah, en général, ont les mêmes qualités pour l'irrigation au cours de toute la période d'observation (Tableau 34). La très bonne qualité pour l'irrigation observée dans la majorité des échantillons d'eau pendant la période des basses eaux est due au phénomène de l'autoépuration qui a bien joué son rôle. Ce dernier est un processus naturel (biologique, chimique et physique) permettant à un milieu pollué de trouver son état original, sans l'intervention de l'homme (par exemple par des substances organiques biodégradable). Les micro-organismes sont des agents actifs de ce processus.

VI. Conclusion

Les eaux de surface dans différentes stations étudiées ne présentent pas les mêmes aspects dans l'espace et une grande ressemblance dans le temps au niveau des caractéristiques hydrochimiques des eaux de la région d'étude.

L'évolution spatio-temporelle des densités moyennes des paramètres physico-chimiques et microbiologiques ont montré également une variabilité saisonnière dans la majorité des

paramètres. Cette variabilité a été remarquée dans les trois milieux ambiants différents (STEP, Oueds, Lac)

Les graphes de Piper et Schoeller, tracés au cours de toute la période d'observation, montrent l'existence de faciès chimiques dominants dont la répartition dépendait de la lithologie des sols et les chlorures restent l'élément dominant dans les eaux de surface de la région (Oueds et lac) et pour les eaux de STEP c'est le bicarbonate.

L'évaluation de l'état de la qualité des eaux des affluents du lac Mellah en vue d'un usage agricole a révélé que les eaux sont de bonne à très bonne qualité et faible danger d'alcalinisation, d'où la possibilité de leur utilisation pour l'irrigation.

Chapitre VI

Etude de la pollution organique
des eaux du lac Mellah et de ses
affluents

I. Introduction

La situation qui est celle des ressources en eau et de leur qualité est d'une importance vitale. En région humide, le problème se pose d'une façon plus accentuée avec les rejets d'eau usée dans les lacs, cas du lac Mellah pour ce qui nous concerne ici. Cette dépression, qui communique avec la mer, est devenue actuellement un exutoire dans lequel sont déversés les effluents domestiques des localités avoisinantes et les rejets de station d'épuration du village d'El Gantra El Hamra.

II. Altération de la qualité des eaux du lac Mellah et de ses affluents

II.1. Différents origines de la pollution des eaux du lac Mellah

La pollution des eaux peut avoir de multiples origines. Il y a, bien sûr, toutes les formes de pollutions consécutives aux activités humaines, qu'il s'agisse des pollutions urbaines et agricoles, mais il existe aussi la pollution « naturelle ».

II.1.1. Origine anthropique

A. Pollution urbaine

➤ Les fosses septiques

Les habitations sont dotées de fosses septiques d'une profondeur approximative de 2,50 m. Ce qui n'est plus le cas dès qu'on s'éloigne de la zone agglomérée. L'évacuation des eaux usées se fait alors dans le milieu naturel.

➤ Station d'épuration d'El Gantra El Hamra

Le village de Gantra El Hamra est probablement le seul du genre dans le pays à être doté d'une station d'épuration. Cette station est située au Sud-Ouest de l'agglomération à proximité du CW N°109 (ONA, 2004). Elle a été réalisée en 1983 dans le but de préserver les eaux du lac des rejets domestiques du village (Annexe III). Elle n'a cependant jamais fonctionné. Elle a fait l'objet d'une réfection complète à partir de l'année 2006. Le village dispose également d'un réseau d'assainissement raccordé à la station d'épuration mais les effluents débouchent dans le talus en contrebas et vont rejoindre le plan d'eau (Baba-Ahmed 2008).

➤ Rejets domestiques

Les eaux des Oueds sont souvent utilisées par les habitants pour les différents ménagements domestiques. Ces eaux usées domestiques qui contiennent des graisses, des

savons et détergents, des matières en suspension et des matières dissoutes organiques ou minérales.

B. Pollution agricole

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses. L'augmentation des rendements et de la productivité, notamment par à l'emploi massif d'engrais chimiques et de pesticides, a eu pour revers la dégradation des affluents du lac Mellah. Les effets néfastes de l'agriculture sur les eaux continentales sont de plusieurs natures.

Cette pollution est liée essentiellement à:

- L'existence de plusieurs exploitations agricoles qui pratiquent la culture de l'arachide et le maraîchage, ainsi que la pratique de l'élevage bovin et de plus en plus celui des ovins et caprins.
- L'utilisation intensive des engrais riches en NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} et des pesticides qui lessivés par l'écoulement de surface rejoignent le cours d'eau et les nappes par des mouvements horizontaux ou verticaux.

II.1.2. Origine naturelle

La teneur de l'eau en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. Ces pollutions peuvent être :

- Des conséquences directes ou indirectes de catastrophes naturelles, tels que le volcanisme,
- le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution
- Une pollution liée à des phénomènes naturels tels que les éruptions solaires,
- Une pollution d'un captage d'eau par un ou plusieurs facteurs (des déchets ou de corps d'animaux morts).

II.2. Effets de la pollution

➤ Effets de la pollution sur l'écosystème

Ils dépendent du type de pollution, de l'agent polluant, des victimes et de leur état général : (âge, sexe, état de santé). On admet généralement que les effets sont beaucoup plus graves en milieu côtier qu'en pleine mer. Les écosystèmes peuvent être complètement déséquilibrés à la

suite de la disparition des espèces sensibles et de la prolifération des espèces les plus résistantes (Meinck F, 1977).

➤ **Effets de la pollution sur l'homme**

L'effet de la pollution sur l'homme est très important. L'eau polluée cause des maladies très graves tels que le choléra, la typhoïde, les diarrhées, les gastro-entérites. Elles sont causées par des bactéries, des virus...etc. La pollution a des effets cumulatifs toxiques. Ils manifestent leur nocivité qu'après un temps assez long. (Figure 103). (Benzinia. 2003)

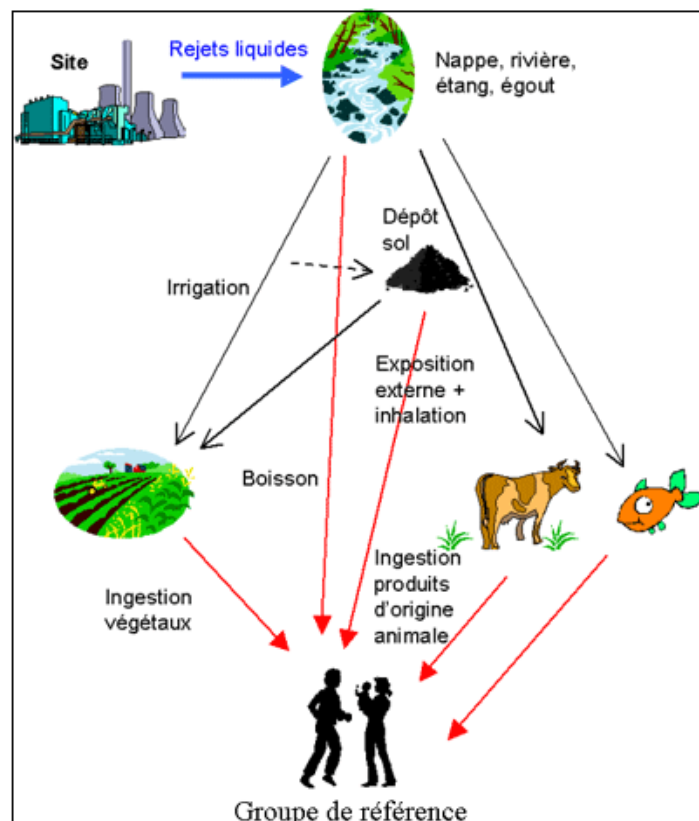


Figure 103. Schéma de conséquences de la pollution des eaux

III. Etude de l'impact des rejets de station d'épuration sur la qualité des eaux du lac Mellah

III.1 .Statistiques descriptives

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes et épurées de la station d'épuration du village de Gantra El Hamra durant l'année 2009 sont regroupées dans le tableau 35 :

Tableau 35. Résultats de paramètres globaux de la pollution des eaux usées brutes et épurées (Janvier - Décembre 2009)

Nature des eaux	Eau Brute				Eau Epuré			
	Min	Max	Moy	Ecart-type	Min	Max	Moy	Ecart-type
Volume m3	95,82	285,67	174,96	62,96	-	-	-	-
PH	6,87	7,65	7,13	0,25	6,46	7,45	6,84	0,35
T°	15,05	27,71	19,08	4,03	14,49	28,93	20,57	5,42
O₂ (mg/l)	2,40	3,40	2,87	0,28	-	-	-	-
MES (mg/l)	134,14	478,71	260,47	91,72	18,10	40,76	27,14	6,02
DBO₅ (mg/l)	104,00	322,67	210,84	60,98	7,55	30,0	20,51	7,57
DCO (mg/l)	199,95	548,82	361,87	105,42	20,0	72,45	41,84	16,47
NO₂ (mg/l)	0,03	0,37	0,085	0,09	0,01	0,254	0,09	0,07
NO₃ (mg/l)	3,20	9,00	6,10	2,07	3,70	16,25	8,53	4,41

III.2. Evolution de la pollution organique en fonction du volume d'eau à l'entrée de la STEP

III.2.1. Volume d'eau entrant

La figure 104 présente le volume d'eau entrant dans la station d'épuration d'El Gantra El Hamra durant l'année 2009. Cependant en saison hivernale, le volume journalier moyen entrant augmente et atteint 285,67 m³ par jour. De la même façon que la pluviométrie relativement importante dans cette saison a certainement influencé les valeurs du volume et donc le débit (Condamines M, 2012). Ces valeurs diminuent immédiatement en période estivale jusqu' à 95,82 m³ par jour.

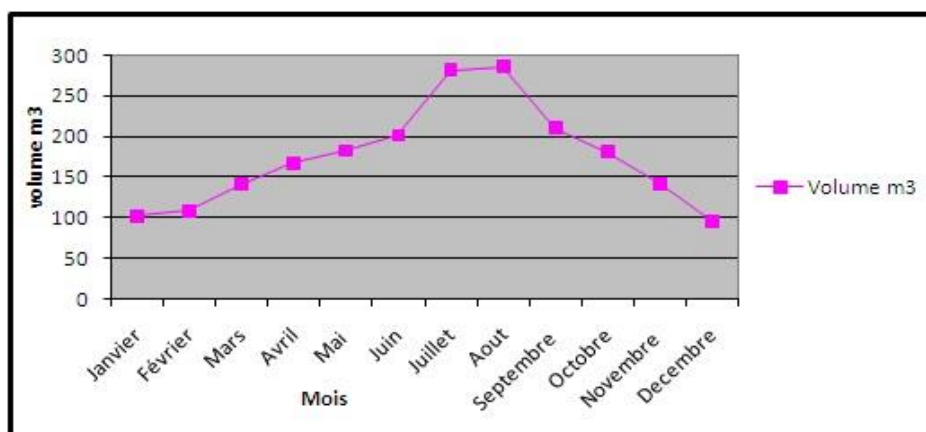


Figure 104. Evolution du volume d'eau entrant dans la station d'épuration (2009)

III.2.2. Evolution de la pollution organique en fonction du volume d'eau

La variabilité générale de la charge entrant est à mettre en corrélation avec le volume d'eau entrant dans la STEP (voir en particulier la figure). En effet, le volume d'eau augmente d'une façon importante durant la période hivernale à cause des fortes précipitations enregistré dans cette période, d'où une dilution des eaux usées à l'entrée de la station et une diminution de la charge en DBO₅, DCO et MES en entrée. Cependant, durant la période estivale les rejets sont plus chargés avec une concentration croissante telle que le volume d'eau est diminué ainsi que des variations importantes de l'oxygène dissous ont été observées dans les deux périodes entre 2,4 mg/l et 3,4 mg/L (Figure 105). La variation de ce paramètre est due aux mélanges des masses d'eaux, la respiration de la biomasse (ensemble de la faune et de la flore aquatique) et la photosynthèse (Le pimpec et al, 2002) utilisé par voie biologique et chimique pour la dégradation de la matière organique (DBO₅ et DCO).

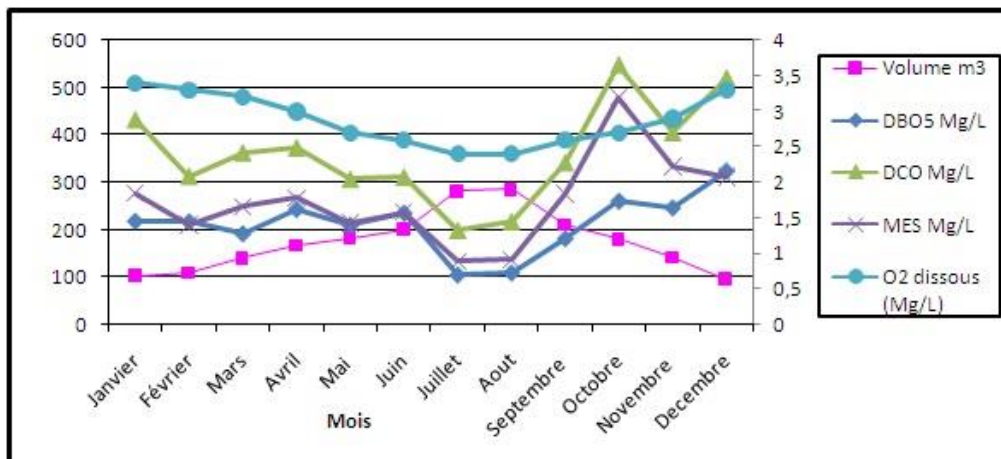


Figure 105. Evolution de la pollution organique en fonction du volume d'eau (2009)

De très fortes variations de charges entrantes (DBO₅, DCO et MES) ont été enregistrées. Ces variations sont liées à l'arrivée d'effluents très concentrés. L'origine de ces variations doit être : des rejets domestiques, engrais ou effluent d'élevage.

III.2.3. La biodégradabilité de la matière organique

Le rapport DCO/DBO₅ donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné ; on convient généralement les limites suivantes :

- DCO/DBO₅ < 2 : l'effluent est facilement biodégradable ;
- 2 < DCO/DBO₅ < 3 : l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées ;
- DCO/DBO₅ > 3 : l'effluent n'est pas biodégradable.

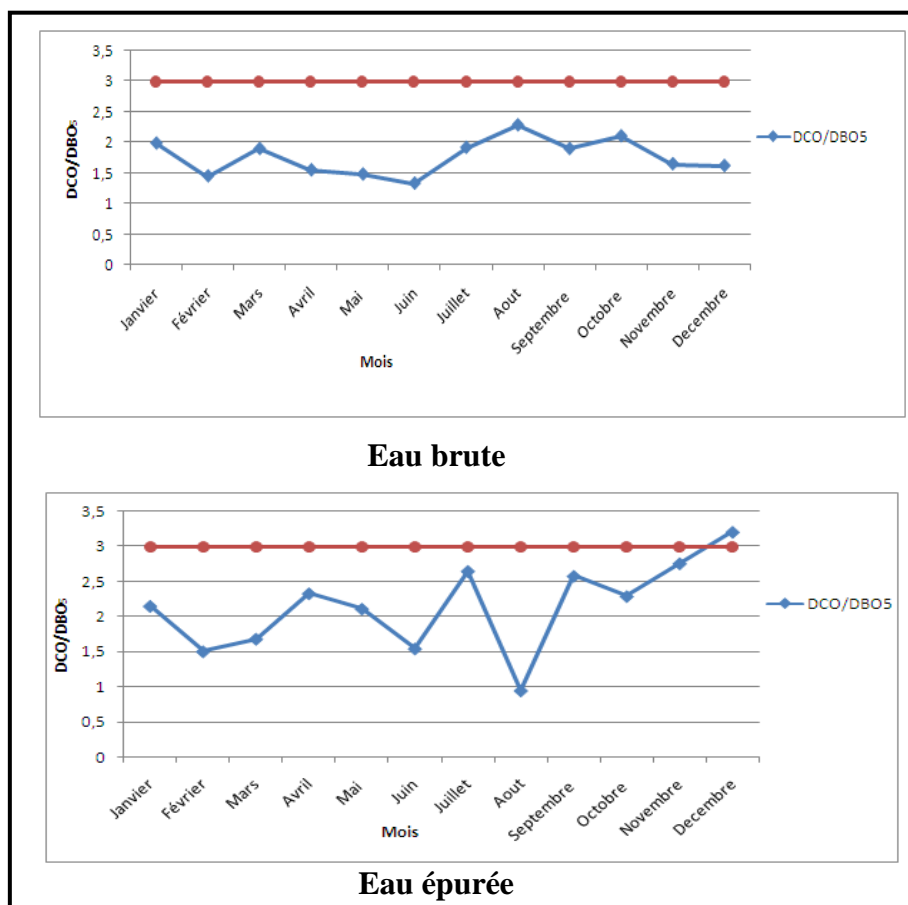


Figure 106. Évolution temporelle du rapport DCO/DBO_5 (Année 2009)

La figure 106 montre une évolution dans le temps du rapport DCO/DBO_5 . On note que la biodégradabilité est importante au mois de novembre et décembre pour les eaux épurées à l'aval de station d'épuration où les premières pluies qui ruissellent et lessivent un certain nombre d'éléments chimiques. Par ailleurs le rapport est de l'ordre de 2.76 et 3.21, ce qui montre que l'effluent est difficilement dégradable, c'est à dire qu'il existe une fraction de la matière organique qui est très difficilement, voire non biodégradable. Ce résultat pourrait être attribué aux effluents d'élevages (entraînant le développement de micro-algues à la station d'épuration, ce qu'on appelle l'eutrophisation) ; nitrates provenant des engrais, du lisier et du fumier; pesticides...etc.

Par contre les eaux brutes, ce rapport qui est évalué à l'amont de station d'épuration est compris entre 1.33 et 2.290, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité.

III. 3. Evaluation de la performance épuratoire de la STEP (Rendement)

L'analyse des échantillons nous a permis de déterminer la pollution résiduelle de la station d'épuration de village d'El Gantra El Hamra durant l'année 2009. Il est également présenté, dans ce qui suit, l'interprétation des résultats obtenus pour chaque paramètre analysé.

III.3.1. Température

La température de l'eau en entrée et sortie de la station d'épuration augmente. Cette augmentation est due à la fois à leur surface de contact avec l'air, la température de l'eau en moyenne maximale est de 20°C en hiver et en moyenne maximale de 30°C en été. Les valeurs élevées (Figure 107) de température constituent un risque de pollution thermique pour la vie aquatique, mais sont en faveur d'une accélération des procédés biologiques de traitement des eaux usées et des boues, car elles contribuent à l'augmentation de la cinétique de dégradation des matières organiques (Benyakhlef et al, 2011).

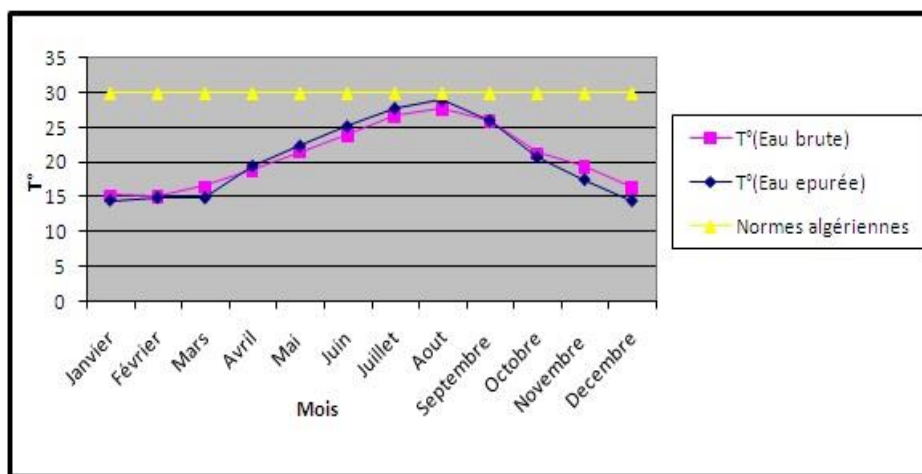


Figure 107. Température des eaux de la station d'épuration (2009)

III.3.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau en sortie est entre 6,5 et 7,5. Respectant la norme de rejet délimitée entre 6,5 et 8,5 (Figure 108), ces valeurs coïncident avec le pH normal de l'eau de mer et des eaux douces en zones calmes (Gaujous D, 1995).

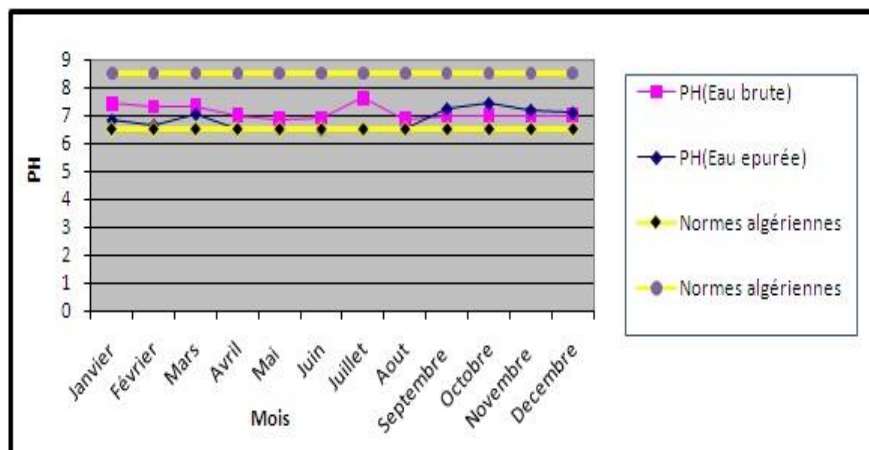


Figure 108. Potentiel d'hydrogène des eaux de la station d'épuration (2009)

III.3.3. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (Rodier, 2009). Les concentrations des MES dans la plupart des échantillons ne dépassent pas la norme à la sortie de la station mais au mois de septembre et octobre ils dépassent la norme de rejet limitée à 30 mg/l (Journal officiel de la république algérienne, 2006) (Figure 109). En effet, au mois de septembre le rendement moyen annuel atteint 88.76% qu'est inférieure à la norme (MES \geq 90%) (Figure 110). Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et par la suite la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (IBGE, 2005).

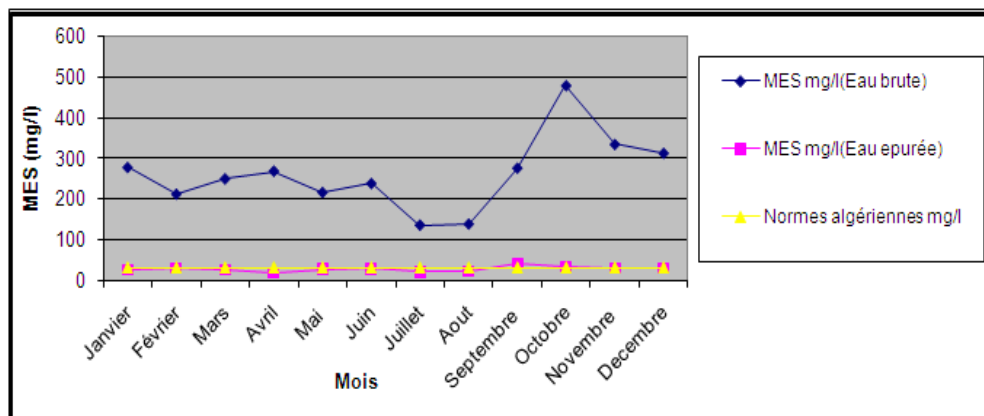


Figure 109. Teneur en MES des eaux de la station d'épuration (2009)

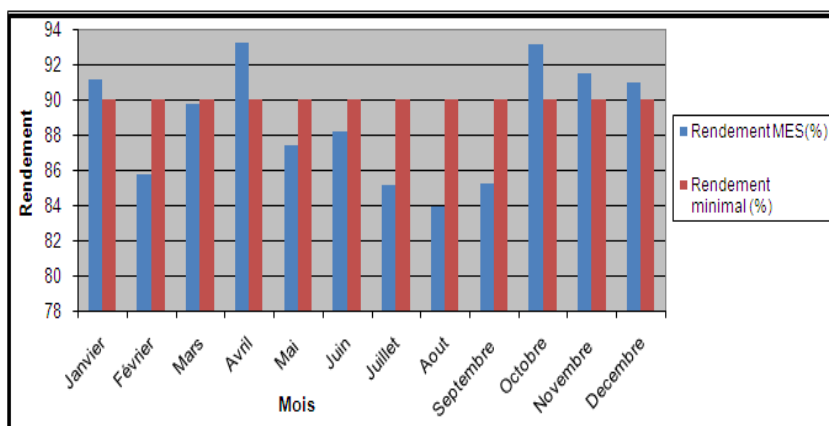


Figure 110. Rendement en MES des eaux de la station d'épuration (2009)

III.3.4. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

Les résultats obtenus pour les DBO₅ montrent qu'il y a une élimination très importante de entre l'entrée et la sortie de la station. La figure 111 illustre en termes de DBO₅, l'importance de la pollution résiduelle. Après l'épuration, la réduction des matières biodégradables avec une teneur max est de 322.67 mg/l à 13.07 mg/l est inférieure à la norme de rejet fixée à 30 mg/l. Le rendement moyen annuel d'élimination de la DBO₅ est de 88.95% (Figure 112). Dans l'effluent traité il est supérieur de 70% à la norme.

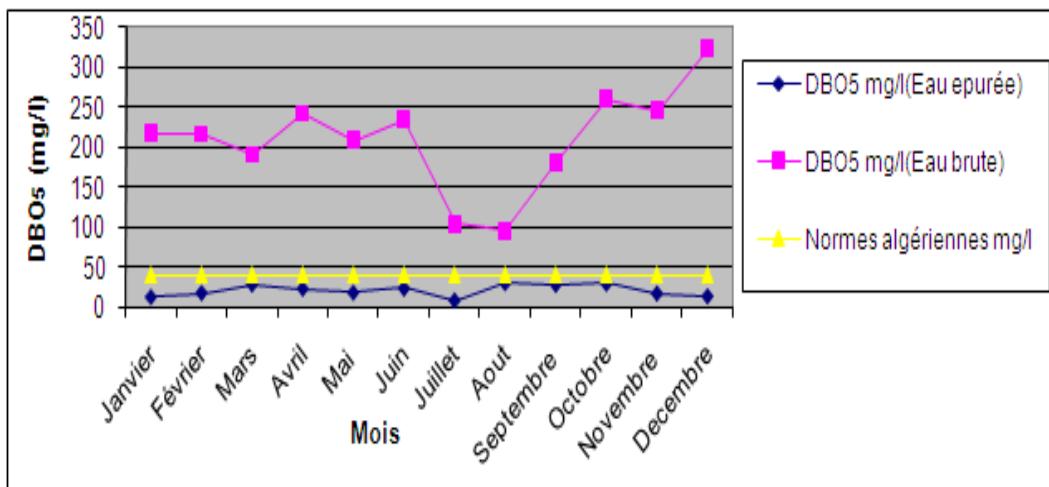


Figure 111. Teneur en DBO₅ des eaux de la station d'épuration (2009)

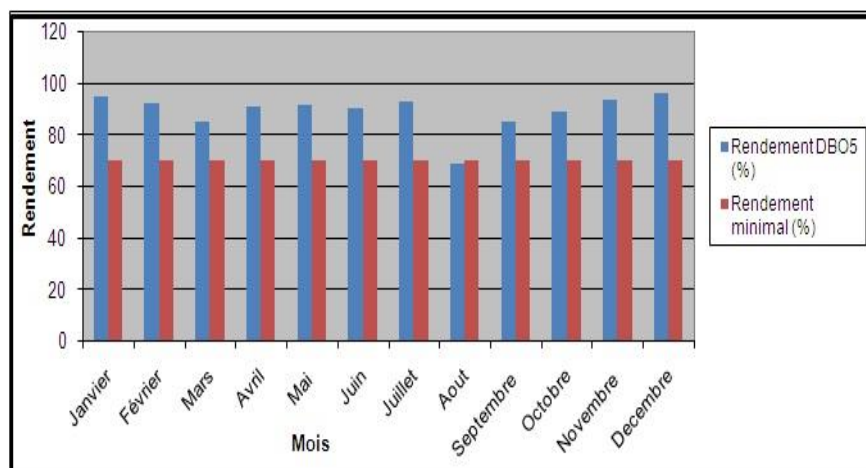


Figure 112. Rendement en DBO₅ des eaux de la station d'épuration (2009)

III.3.5. Demande chimique en oxygène (DCO)

D'après la représentation graphique de la figure 113, on peut clairement voir l'écart qu'accuse la faible teneur en DCO de l'eau en sortie avec celle de l'entrée ainsi qu'avec la norme de rejet, limitée à 120mg/l. On remarque alors l'abattement important de la charge polluante

globale (matières organiques et inorganiques) des eaux interceptées par la STEP du village d'El Gantra El Hamra qui passe de 548,82 mg/l à 67,06 mg/l. Le rendement moyen annuel en DCO est de 88.25 %. Ceci confirme un traitement très efficace de l'épuration vis-à-vis des matières oxydables et ainsi qu'avec la norme de rendement (75%) (Voir figure 114).

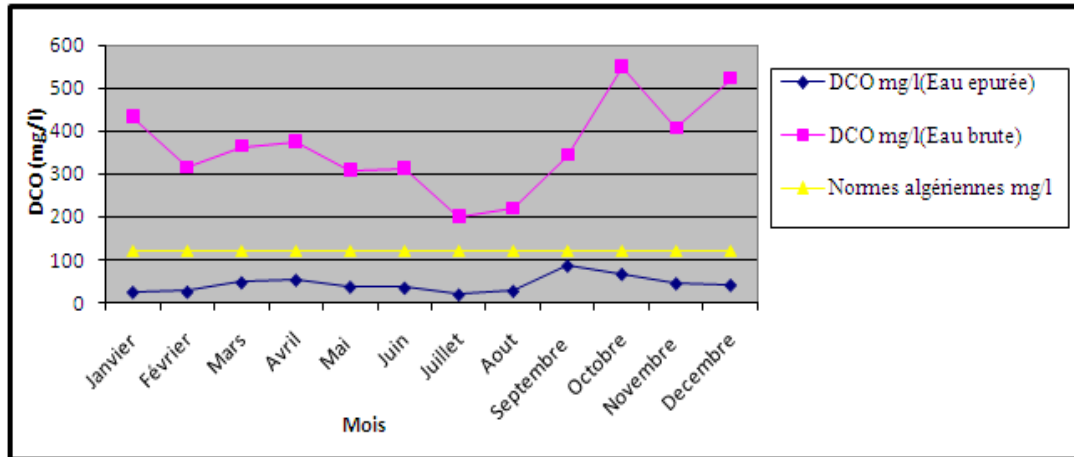


Figure 113. Teneur en DCO des eaux de la station d'épuration (2009)

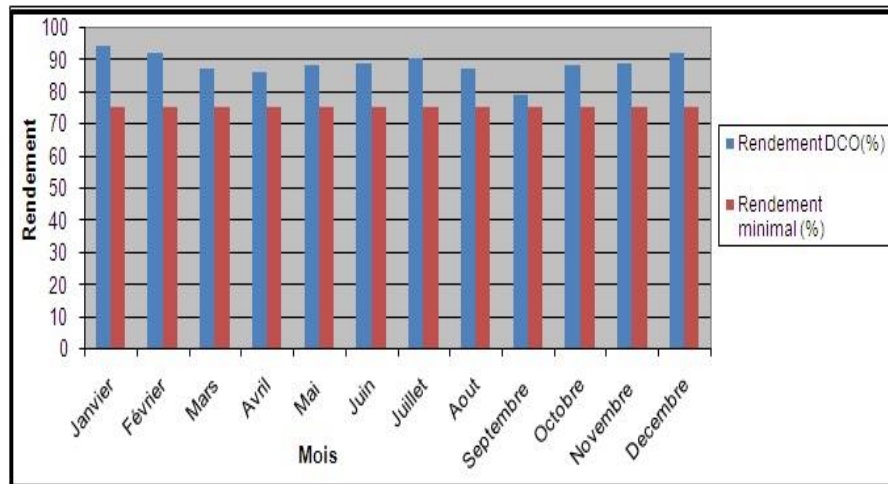


Figure 114. Rendement en DCO des eaux de la station d'épuration (2009)

III.3.6. Nitrite (NO₂)

Nous pouvons, également constater, à travers la figure 115, l'importance de la présence de nitrites sensiblement grandissante, jusqu'à dépasser la norme de rejet (0.1mg/l), dans les eaux entrées et les eaux de sortie avec une concentration de 0.120 à 0.123 mg/l au mois d'Octobre et 0.03 à 0.25 mg/l au mois de Novembre. Ce résultat pourrait être attribué aux rejets des effluents d'élevages (entraînant le développement de micro-algues à la station d'épuration, ce qu'on

appelle l'eutrophisation), ce qui est expliqué par l'insuffisance de l'aération dans le bassin d'aération.

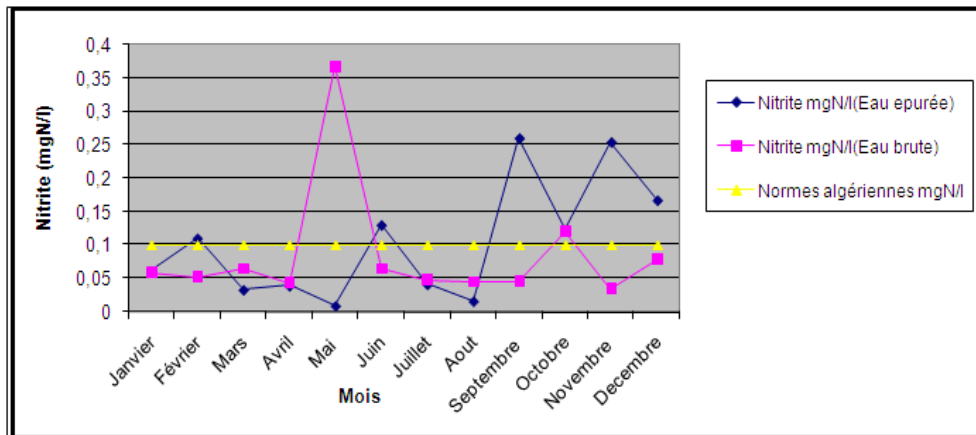


Figure 115. Teneur en NO₂ des eaux de la station d'épuration (2009)

III.3.7. Nitrate (NO₃)

Les nitrates sont beaucoup moins dangereux que les nitrites. Les concentrations des nitrates dans la plupart des échantillons ne dépassent pas la norme du domaine public hydraulique (50 mg/l). En effet, avec une teneur moyen de 6,10 mg/l à l'entrée de la station contre uniquement 8,53 mg/l à la sortie (Voir figure 116).

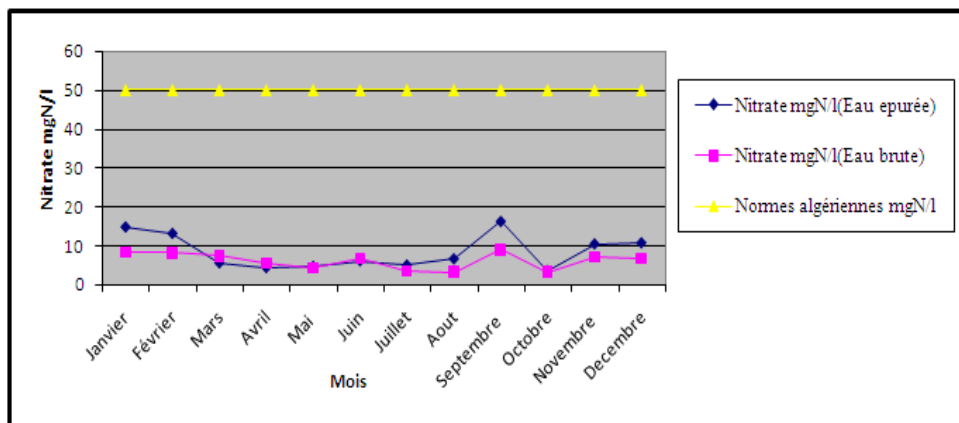


Figure 116. Teneur en NO₃ des eaux de la station d'épuration (en amont et à l'aval.2009)

III.4. Evolution de l'indice de pollution organique au droit de rejet de la STEP

III.4.1. Calcul de l'indice de pollution Organique (IPO, Leclercq&Maquet, 1987)

Comme nous avons signalé dans le chapitre précédent, la classification des paramètres pollués se fait selon cinq classes de qualité correspondant aux couleurs standards.

IPO= moyenne des numéros des classes des 04 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.

III.4.2. Evolution spatiotemporelle de l'indice de pollution organique au droit du rejet de la STEP

D'après la méthode de l'IPO, le tableau 36 et les graphes représentent les valeurs calculées de l'indice de pollution organique durant l'année 2004 (Chaibi R ,2004) et 2009 aux différents points d'échantillonnage .Par cette méthode, on va évaluer la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux du lac Mellah , en temps sec et en temps de pluie et on fait la comparaison des différents résultats obtenus dans les eaux du ce lac au droit de rejet de STEP en 2009 avec ceux relevées en 2004.

Tableau 36. Classe de pollution organique des eaux de STEP et du lac mellah (2004-2009)

Mois	Exutoire du STEP 2004	Centre du lac 2004	Exutoire du STEP 2009	Centre du lac 2009
Janvier	P. faible	P. faible	P. modérée	P. faible
Février	P. faible	P. faible	P. faible	P. faible
Mars	P. faible	P. nulle	P. modérée	P. faible
Avril	P. faible	P. faible	P. modérée	P. faible
Mai	P. faible	P. faible	P. faible	P. faible
Juin	P. faible	P. faible	P. faible	P. faible
Juillet	P. faible	P. faible	P. faible	P. faible
Aout	P. nulle	P. faible	P. faible	P. faible
Septembre	P. modérée	P. faible	P. forte	P. modérée
Octobre	P. faible	P. faible	P.tres forte	P. modérée
Novembre	P. modérée	P. modérée	P. forte	P.tres forte
Décembre	P. faible	P. faible	P. modérée	P. modérée

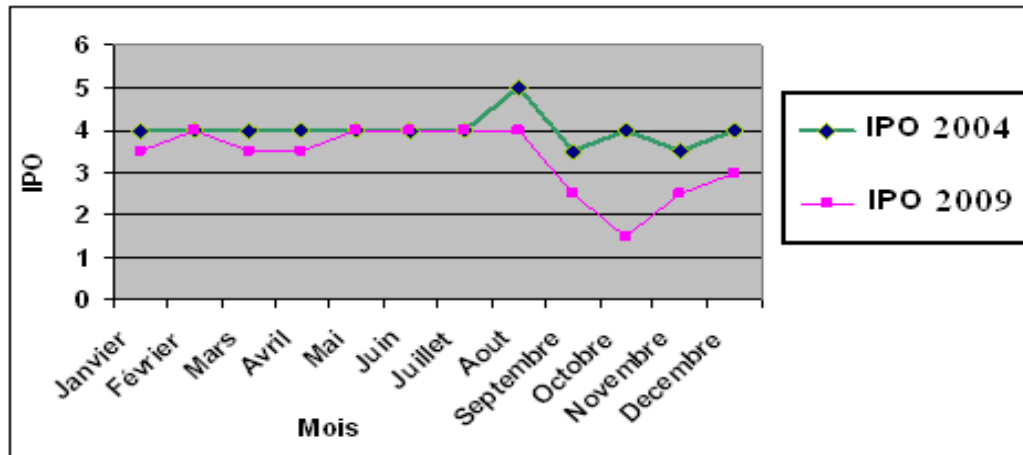


Figure 117. Évolution temporelle de l'indice de pollution des eaux du lac Mellah, au droit du rejet de station d'épuration (Période 2004 et 2009)

Les résultats représentés dans la figure 117 montrent une très forte pollution au débuts de la période des hautes eaux par rapport à la période des basses eaux, ce qui donne une mauvaise qualité des eaux à travers pratiquement les deux sites (17 et 14) en tant que rejet agricole ou effluent d'élevage venant par les premières pluies qui tombent et ruissellent un certain nombre d'éléments chimiques vers l'exutoire (lac). Au terme de cette évaluation de degré de pollution dans les eaux du lac au droit de rejet de STEP dans cette période, il résulte une évolution croissante de la dégradation de la qualité des eaux, ceci explique le fait que les rejets déversés augmentent par l'accroissement de population et le développement socioéconomique.

IV. Etats de la pollution des eaux du lac Mellah et de ses affluents

IV.1. Analyse statistique des données hydro-chimiques des eaux de la région d'étude

IV.1.1. Méthode de traitement des données hydro-chimiques

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres étudiés et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité des eaux superficielles, une analyse en composante principale (ACP) (Davis, 1984) a été réalisée sur des variables centrées réduites à l'aide du logiciel XLSTAT. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques (Fekhaoui, 1990; Bennasser, 1997; EL Amrani-Pazza et al.1994; Ezzaouaq, 1991; Jadal, 2002; El Blidi et al, 2006 ; El Morhit et al, 2008).

Les données portent sur l'ensemble des 17 stations des eaux de la zone d'étude (STEP, Oueds, lac Mellah) durant la période d'étude. 15 variables ont été traitées, à savoir les

paramètres physico-chimiques (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , DBO_5 , MES , et O_2) et les ions majeurs (Cl^- , Conductivité, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^-).

IV.1.2. Analyse en composante principale des eaux de la région d'étude

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux permet une différenciation sur leurs particularités physique, chimiques et organique et une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de la minéralisation.

IV.1.2.1. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation donne les liens significatifs qui existent entre les différentes variables nécessaires à l'étude des paramètres utilisés. Ces liens sont traduits par les différentes corrélations qui existent entre les variables étudiées.

L'application de l'ACP aux données des eaux de la zone d'étude a permis de dégager les différentes corrélations sur une matrice (Tab.37). Ces corrélations peuvent être positives entre elles ou négatives.

Tableau 37. Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques

	Cl	HCO ₃	Mg	SO ₄	Na	K	Ca	Cond	NH ₄	PO ₄	NO ₂	NO ₃	DBO ₅	MES	O ₂
Cl	1														
HCO ₃	0,426	1													
Mg	0,993	0,420	1												
SO ₄	0,940	0,411	0,930	1											
Na	0,977	0,556	0,975	0,905	1										
K	0,512	0,872	0,501	0,470	0,644	1									
Ca	0,994	0,435	0,987	0,931	0,971	0,520	1								
Cond	0,989	0,427	0,984	0,886	0,969	0,511	0,990	1							
NH ₄	-0,240	0,755	-0,238	-0,207	-0,096	0,525	-0,222	-0,238	1						
PO ₄	-0,167	0,751	-0,163	-0,175	-0,034	0,459	-0,153	-0,154	0,955	1					
NO ₂	-0,305	-0,304	-0,303	-0,268	-0,343	-0,237	-0,309	-0,310	-0,108	-0,100	1				
NO ₃	0,122	0,825	0,114	0,188	0,275	0,856	0,126	0,101	0,733	0,590	-0,250	1			
DBO ₅	-0,302	0,725	-0,300	-0,288	-0,139	0,543	-0,284	-0,283	0,960	0,895	-0,129	0,788	1		
MES	-0,346	0,158	-0,326	-0,272	-0,240	0,150	-0,337	-0,383	0,462	0,405	0,103	0,300	0,405	1	
O ₂	0,240	-0,559	0,256	0,200	0,142	-0,324	0,235	0,235	-0,758	-0,725	-0,284	-0,512	-0,720	-0,250	1

D'après le tableau on constate que les différentes variables dans les trois milieux étudiés ont été corrélées entre elle tandis que :

- Des corrélations positives hautement significatives ont été observées entre les éléments des sels (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^-) et la conductivité électrique (CE).
- De fortes corrélations positives entre les variables (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , MES et la DBO_5) et négatives avec l'O_2 .
- Des corrélations positives hautement significatives ont été observées entre les variables (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , DBO_5 , MES,) avec les deux paramètres de sel (K^+ , HCO_3^-).

IV.1.2.2. Projection des paramètres hydrochimiques sur le plan factoriel (F1, F2)

L'observation du cercle de corrélation (Figure 118) formé par les axes F1 –F2 , l'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 87,09% sont exprimés. L'axe F1 possède une variance de 44,98 % et l'axe F2 a une variance de 42,11 % ;

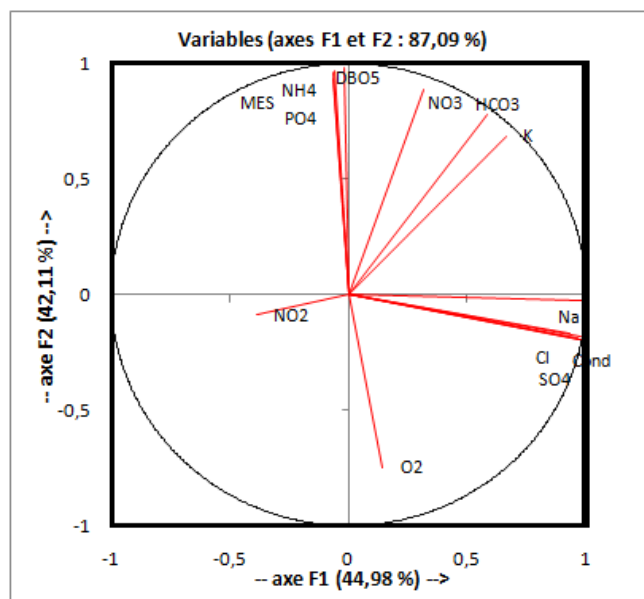


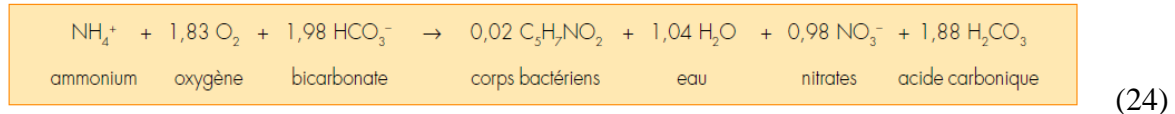
Figure 118. Projection des paramètres sur le plan factoriel (F1 et F2)

L'axe F1 est exprimé par la conductivité électrique et les ions chlorures , sodium, sulfate , magnésium et calcium dans le pôle positif et le nitrite dans le pôle négatif . L'axe F2 est constitué par les ions ammonium, les ions orthophosphates, les nitrates, DBO_5 et MES et les bicarbonates et le potassium dans le pôle positif et l'oxygène dissous dans le pôle positive de l'axe F2. En ce qui concerne la représentation des variables, ce graphe met en évidence deux grands regroupements des paramètres étudiés dans les points d'eau, on observe que la prise en compte des variables minérales et organiques :

- Le premier regroupement qui prend en compte (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- et K^+), Cette importante corrélation montre que ces éléments participent beaucoup à la minéralisation des eaux. Ces ions sont responsables de la minéralisation dans les différents eaux de la zone d'étude. Ce groupe peut être divisé en deux sous-groupes : Un sous-groupe formé par (Ca , Mg , SO_4 , Cl , Cond et Na^+), cette position montre l'influence de la lithologie sur la composition chimique des eaux. Comme démontré aux diagrammes de Piper et Schoeller Berkaloff, l'origine de la minéralisation serait l'eau de mer d'une part et le facies géologique évaporitique du gypse d'autre part, l'autre sous-groupe comprend le reste des variables (les bicarbonates et le potassium).
- Le deuxième regroupement contient (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4 , DBO_5 , MES , K^+ , HCO_3^-) montre une pollution anthropique issue des rejets urbains. Ces rejets proviennent de différents usages domestiques de l'eau et des activités agricoles par l'épandage des cultures agricoles (engrais et pesticides) et l'élevage. Le trioazote, phosphate et potassium (NPK) est la base de tous ces produits. Ces résultats ressemblent à ceux de la qualité des eaux de surface du barrage de Hammam Debagh qui sont affectées par une pollution agricole (Mekaoussi Nadia, 2014). Les eaux sont exposées à ces polluants qui modifient leur milieu et rendent l'eau polluée, cela est due à la présence de HCO_3^- qui assure l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrate (NO_3^-) par le processus de *nitrification*. Par conséquent lorsque le milieu est favorable à une nitrification intense cela permet aux bactéries d'obtenir l'énergie nécessaire à l'assimilation du CO_2 . (Caloot .G et al;1982). Les bactéries, dites autotrophes vis-à-vis du carbone, utilisent le carbone minéral comme seule source de carbone (essentiellement celui des bicarbonates), les formes réduites de l'azote comme source d'énergie (MAP.2001) et (Strous et al. 1999).

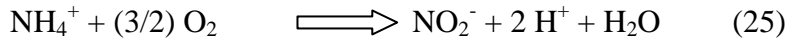


La réaction de nitrification de l'azote ammoniacal par les bactéries autotrophes nitrifiantes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante :



Le processus de *nitrification* (Figure125) consiste d'abord en l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite (NO_2^-), un état intermédiaire, puis ce dernier est rapidement oxydé en

nitrate. Cette transformation, qui est effectuée en présence d'oxygène par des bactéries autotrophes nitrifiantes, se divise en deux étapes, la première étant assurée par des bactéries *Nitrosomonas* et la deuxième par des bactéries *Nitrobacter* ce qui signifie une consommation d'oxygène par des phénomènes chimiques :



Nitrification



Nitrification

Plusieurs facteurs influencent la nitrification, notamment les concentrations en azote, en matière organique et en oxygène dissous de même que la matière en suspension (Boller *et al* ; 1994).

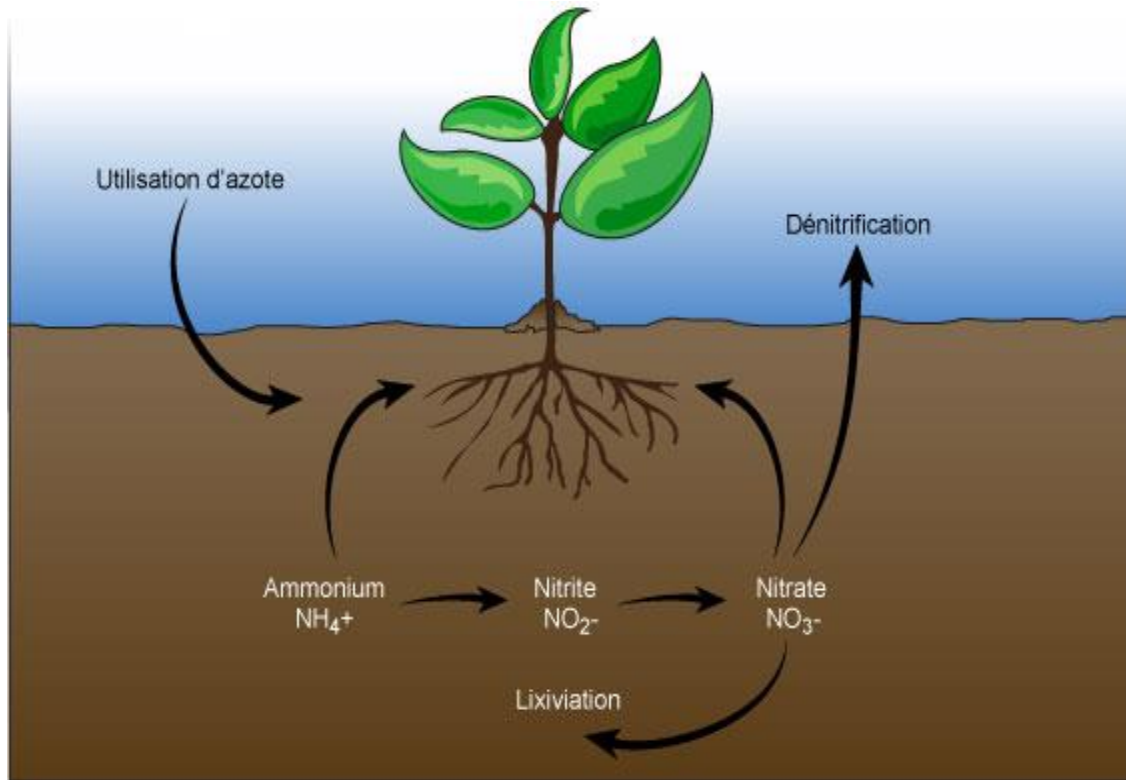


Figure 119. Processus de la nitrification

IV.1.2.3. Projection des stations sur le plan factoriel (F1, F2)

L'analyse en composantes principales de l'ensemble des données obtenues fait apparaître l'effet positif de la conductivité sur l'augmentation des nutriments et les matières organiques. Un gradient amont/aval est apparent suivant l'axe F1.

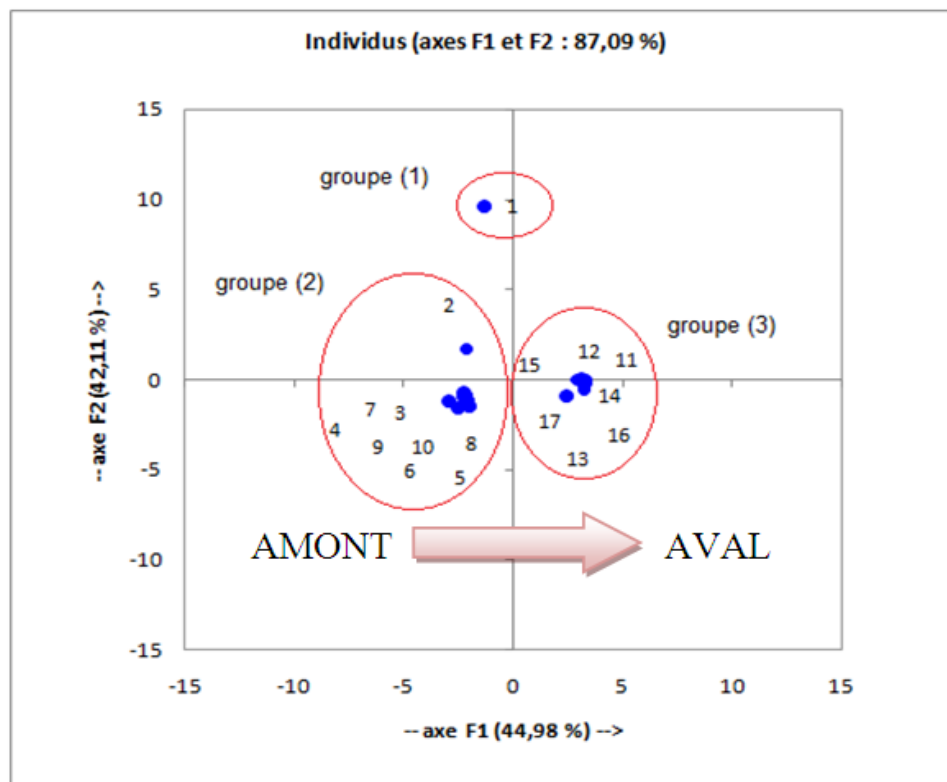


Figure 120. La représentation graphique des stations sur le plan factoriel (F1, F2)

La représentation graphique des individus (Figure 120) permet de distinguer également trois groupes. Le premier groupe formé par les variables prend en compte la station (1) qui représente le point dont la qualité de l'eau est chargée en (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{2-} , DBO_5 , MES, K^+ , HCO_3^-) est faiblement oxygéné. Cette station est connue par les eaux usées brutes de la station d'épuration du village de Gantra El Hamra. Les hautes teneurs en potassium, qui correspondent à des teneurs importantes en azote et assez élevées en phosphore, montre la pollution urbaine et agricole dans les eaux et la décomposition de la matière organique qui favorise la prolifération de bactéries et les algues. C'est alors tout le milieu qui devient anoxique et qui influe sur l'environnement aquatique (Lac Mellah). La deuxième classe contient les eaux des Oueds (les stations 3 jusqu'à 10) et l'eau épurée (Station 2) qui représentent les points dont la qualité de l'eau est faiblement minéralisée. Cette classe montre aussi une présence de nitrites, ceci est favorisé par le phénomène de nitrification telle que l'azote ammoniacal qui se transforme en nitrites puis en nitrates. En effet ce phénomène est un indicateur chimique de transformation de la pollution directe d'une eau de rivière en aval d'un rejet polluant par des activités urbaines (agricoles) (Figure.121). La troisième classe contient uniquement les eaux du lac Mellah qui présentent les points dont la qualité de l'eau est exprimée par les sels (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cond). Cette

zone est connue par le brassage des eaux entre la mer et le lac qui alimente aussi par les eaux des Oueds.

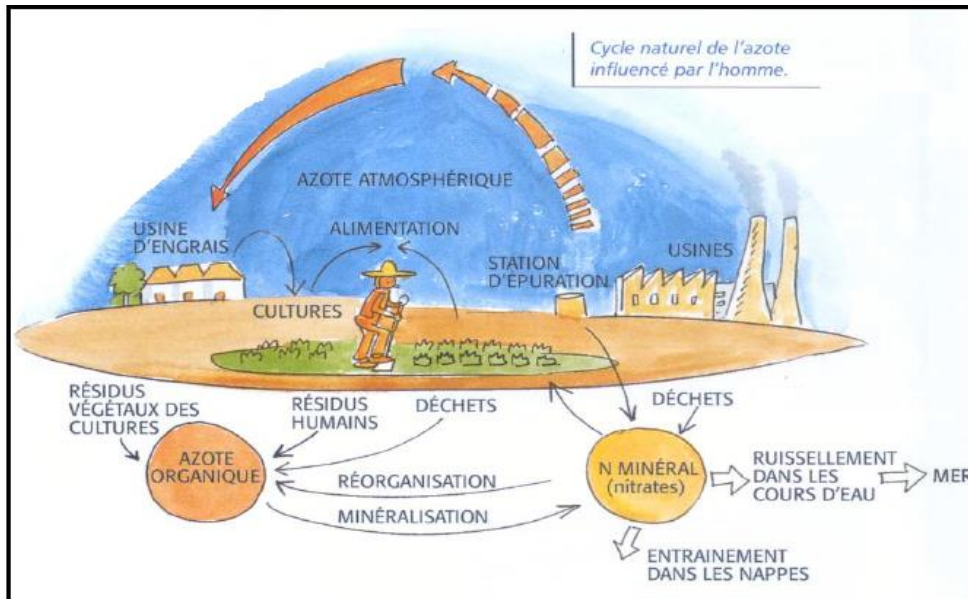


Figure 121. Cycle naturel de l'azote influencé par l'homme

IV.1.3. Classification hiérarchique des paramètres hydrochimiques des eaux de la zone d'étude

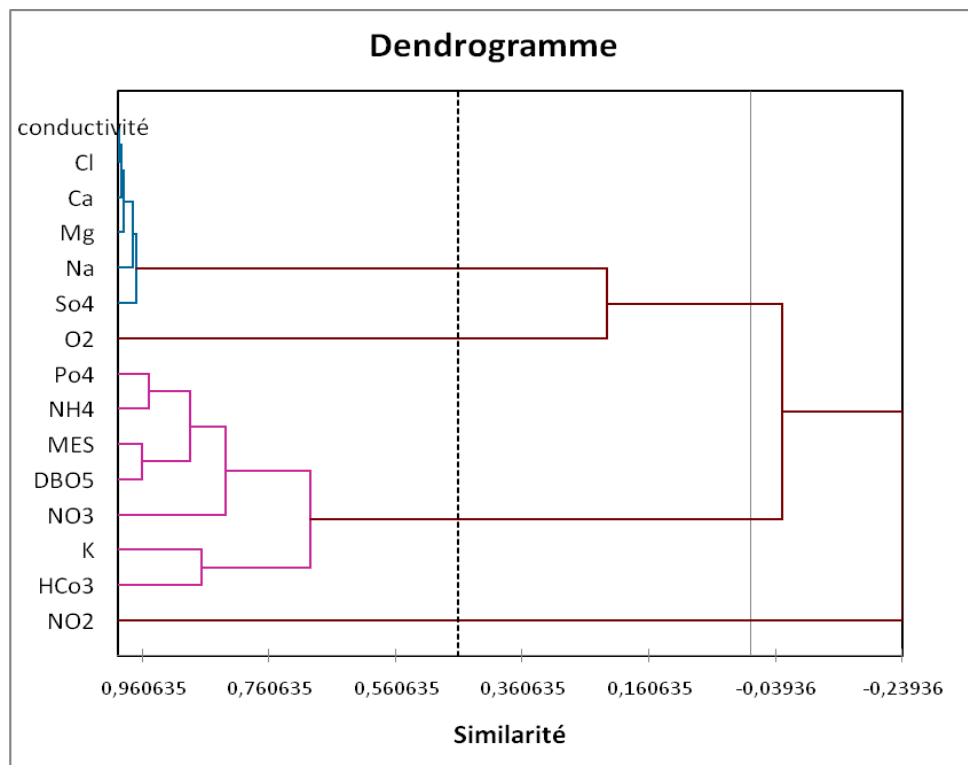


Figure 122. Le dendrogramme des éléments chimique des eaux de la zone d'étude

La représentation graphique de la figure 122, montre l'arbre de classification de différents paramètres étudiés dans les eaux de la région d'étude, on remarque quatre partitions : la première partition prend en compte (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{2-} , DBO_5 , MES , K^+ , HCO_3^-) ; la deuxième partition représente la qualité d'une eau chargée en NO_2^- ; la troisième partition prend en compte (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cond) , la quatrième partition prend en compte (O_2). Le dendrogramme montre aussi que les paramètres organiques (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{2-} , DBO_5 , MES) sont similaires avec le potassium (K^+) et le bicarbonate (HCO_3^-), ce qui confirme bien les résultats de l'ACP.

IV.2. Diagramme ammonium-nitrate

L'ammonium est une substance naturelle qui se forme et disparaît sans cesse. Mais leur présence effective dans les eaux n'est que très rarement d'origine naturelle. Elle est révélatrice d'une saturation en pollution organique des écosystèmes aquatiques.

Pour comprendre l'évolution de l'ammonium par rapport aux nitrates, nous avons pensé à établir un diagramme en portant sur l'axe des abscisses les teneurs des nitrates et en ordonnées les teneurs de l'ammonium exprimées en nitrate équivalent.

Pour les quatre campagnes d'observation, le report des différents résultats a permis d'établir les figures (123, 124, 125,126). Ces figures expliquent bien le comportement des différents nutriments par le déplacement des différentes stations de prélèvements durant les quatre périodes respectivement : printemps, été, l'automne et l'hiver.

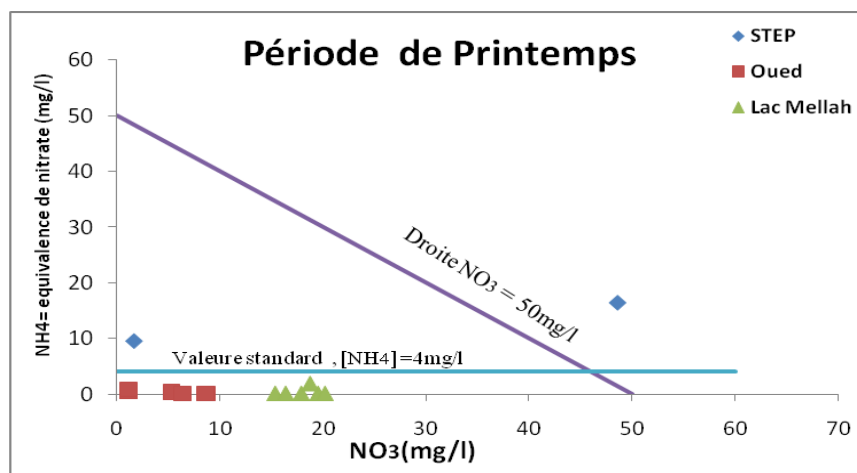


Figure 123. Evolution spatio temporelles de l'ammonium et de ses dérivés dans le lac et ses affluents durant la période de printemps(2011).

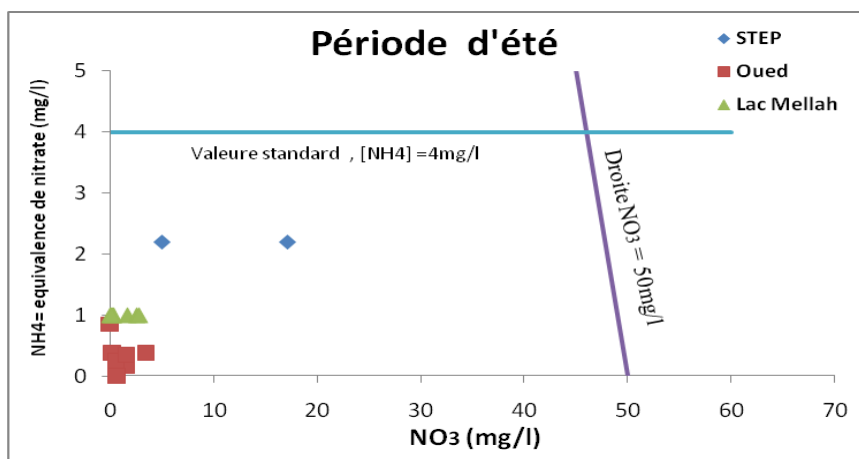


Figure 124 . Evolution spatio tempore de l’ammonium et de ses derivees dans le lac et ses affluents durant la période de d’été (2011).

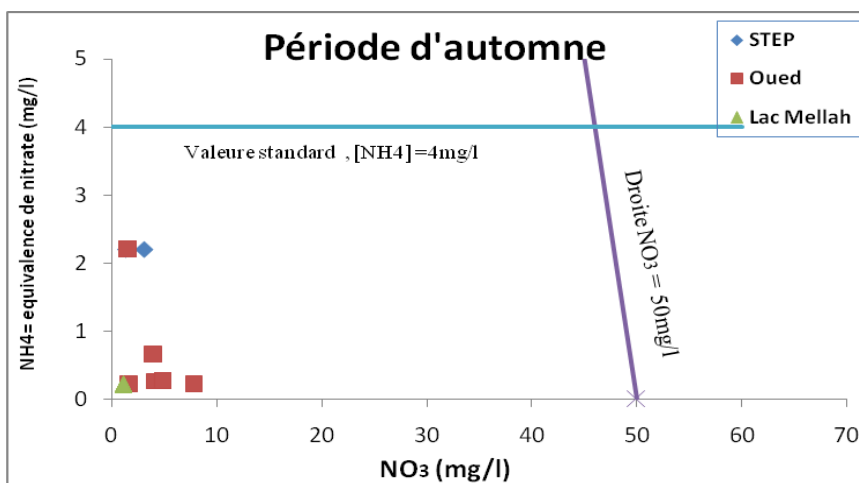


Figure 125. Evolution spatio tempore de l’ammonium et de ses derivees dans le lac et ses affluents durant la période d’automne (2011).

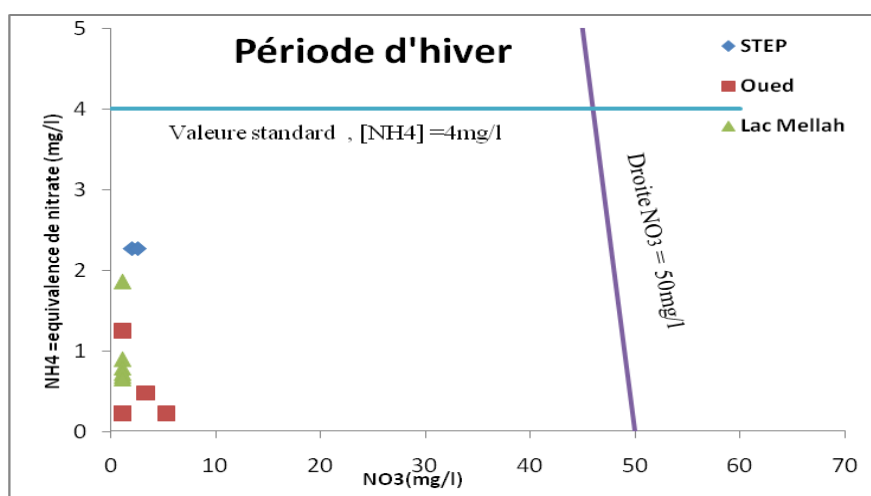


Figure 126. Evolution spatio tempore de l’ammonium et de ses derivees dans le lac et ses affluents durant la période d’hiver (2012).

Le comportement des nitrates et de son équivalent en nitrates montre trois milieux ambiants :

- Dans la période de printemps, on note que les valeurs des nitrates restent toujours inférieures aux normes, sauf au point de prélèvement STEP (Entrée) où les valeurs des nitrates sont assez élevées 48,57 mg/l (Figure.123). La répartition des points est horizontale, laissant croire à un apport de nitrates au lac par ses affluents et par la STEP.
- Dans la période d'été, les valeurs des nitrates se redressent légèrement vers la verticale laissant penser à une réduction des nitrates et production d'ammonium. Or pour les points représentant la STEP, les valeurs des nitrates suivent toujours l'horizontale (Figure.124), confirmant l'apport des nitrates par la STEP.
- Dans la période d'automne, on remarque un début de nitrification, les points alignés sur la verticale (Figure.125) commencent à se désordonner et à s'approcher beaucoup plus de l'horizontale et les valeurs de nitrates équivalents diminuent à la faveur des nitrates.
- Dans la période d'hiver, la réduction des nitrates en nitrites est nette. Tous les points s'alignent sur la verticale montrant que c'est la dénitrification qui l'emporte (Figure.126). Le lac devient pauvre en oxygène et devient réducteur.

L'ensemble des figures révèle que l'origine des nitrates dans le lac provient principalement des eaux de rejets de la station STEP et secondairement des eaux de rejets agricoles apportées par les Oueds.

La présence de l'ammonium dans le lac est due à la transformation des nitrates par consommation de l'oxygène durant la période d'été montrant une production d'ammonium dans un milieu presque réducteur en basse eaux (Lac Mellah), car l'azote organique est transformé en ammonium par une réaction d'ammonification (forme particulièrement nuisible pour les eaux de surface) (Figure.127).

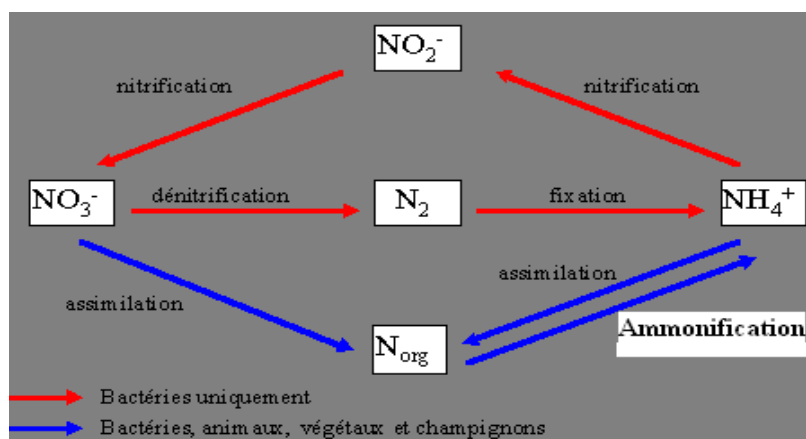


Figure 127. Cycle naturel de l'azote

En effet, la demande en oxygène exercée par l'ammonium est très élevée et peu conduire à l'eutrophisation du cours d'eau. La figure (128) montre que les affluents sont bien oxygénés pendant la période des basses eaux par contre les eaux du lac Mellah marquent une réduction importante d'oxygène dessous. En absence d'oxygène, le milieu devient presque réducteur (Exutoires Oued Mellah et Oued El Aroug, Eh=0) et les bactéries anaérobies transforment les nitrates et produisent de l'ammonium (NH₄). Ceci confirme le comportement des bactéries dans le lac (Chapitre VII).

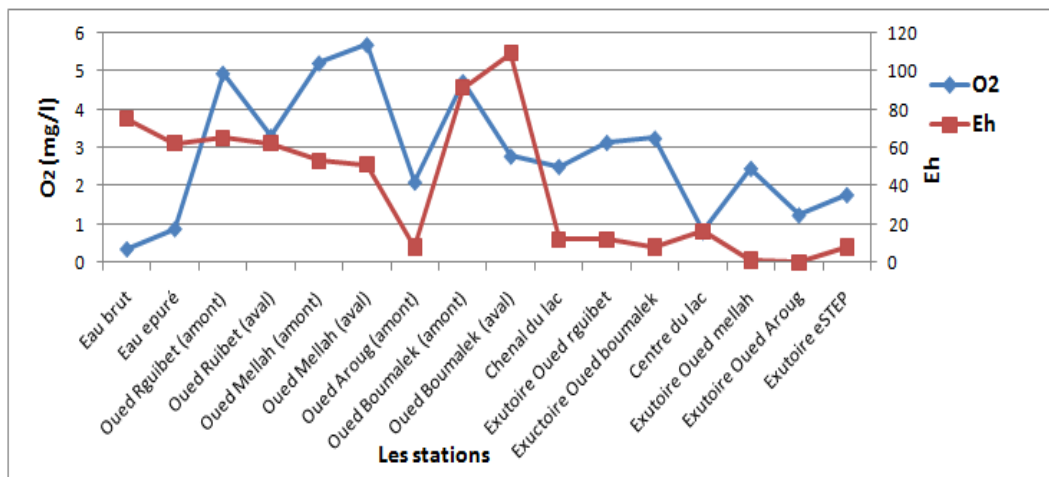


Figure 128. La Relation entre l'Eh et l'Oxygene dessous dans le lac et ses affluents durant la période d'été (2011)

La transformation des nitrates (en ammonium) suit bien le graphique « oxygène dissous en fonction du Eh ».Leurs relations est inversement proportionnelle.

IV.3. Comportement de la pollution organique des eaux du lac Mellah et de ses affluents entre les hautes et les basses eaux

IV. 3.1. Calcul de l'indice de pollution organique (IPO, Leclercq&Maquet, 1987)

Cette partie consiste à évaluer la pollution organique des eaux du lac Mellah et de ses affluents pendant deux périodes d'études durant l'année (2011/2012). Le traitement des données a fait l'objet de calculs des indices de pollution organiques (IPO) (LECLERCQ Louis, 2001). Les teneurs des éléments analysés dans les eaux du lac mellah et de ses affluents, ont permis d'utiliser la méthode de calcul des indices de pollution organiques.

Les tableaux (38 et 39) indiquent les valeurs calculées des différents indices de la pollution organique pendant la période des basses et des hautes eaux durant l'année (2011/2012).

Tableau 38. Indice de pollution organique durant la période des basses eaux (Année 2011)

N° de station	Nom de station	NH ₄	PO ₄	NO ₂	DBO ₅	IPO	IPO
1	Eau brut	2	2	1	1	1,5	Très forte
2	Eau épuré	2	2	3	1	2	Forte
3	Oued El Rguibet amont	4	4	0	1	2,25	Forte
4	Oued El Rguibet aval	4	3	0	1	2	Forte
5	Oued Mellah amont	4	4	0	1	2,25	Forte
6	Oued Mellah aval	4	3	0	1	2	Forte
7	Oued El Aroug amont	5	4	0	5	3,5	Modérée
8	Oued El Aroug aval	4	3	0	1	2,75	Forte
9	Oued Boumalek amont	4	3	1	5	3,25	Modérée
10	Oued Boumalek aval	4	4	1	5	3,5	Modérée
11	Chenal du lac	4	5	5	1	3,75	Modérée
12	Exutoire oued El Rguibet	4	4	3	2	3,25	Modérée
13	Exutoire oued boumalek	4	4	3	1	3	Modérée
14	Centre du lac	4	4	5	1	3,5	Modérée
15	Exutoire Oued Mellah	4	4	3	1	3	Modérée
16	Exutoire oued El Aroug	4	4	3	1	3	Modérée
17	Exutoire STEP	4	4	3	1	3	Modérée

Tableau 39. Indice de pollution organique durant la période des hautes eaux (Année 2012)

N° de station	Nom de station	NH ₄	PO ₄	NO ₂	DBO ₅	IPO	IPO
1	Eau brute	4	1	2	1	2	Forte
2	Eau épuré	4	2	2	1	2,25	Forte
3	Oued El Rguibet amont	4	3	2	4	3,25	Modérée
4	Oued El Rguibet aval	4	3	2	3	3	Modérée
5	Oued Mellah amont	4	3	2	4	3,25	Modérée
6	Oued Mellah aval	4	3	2	3	3	Modérée
7	Oued El Aroug amont	4	4	2	3	3,25	Modérée
8	Oued El Aroug aval	4	3	2	2	2,75	Forte
9	Oued Boumalek amont	5	5	2	2	3,5	Modérée
10	Oued Boumalek aval	4	4	2	3	3,25	Modérée
11	Chenal du lac	4	2	3	3	3	Modérée
12	Exutoire oued El Rguibet	4	3	2	3	3	Modérée
13	Exutoire oued boumalek	4	3	3	4	3,5	Modérée
14	Centre du lac	4	3	3	2	3	Modérée
15	Exutoire Oued Mellah	4	3	2	4	3,25	Modérée
16	Exutoire oued El Aroug	4	3	2	4	3,25	Modérée
17	Exutoire STEP	4	3	2	5	3,5	Modérée

IV.3.2. Etablissement des cartes de pollution organique (IPO)

La méthode des indices de pollution organique (IPO) a été retenue pour l'établissement de la carte de la pollution organique des eaux naturelles dans la région d'étude. Ceci nous permettra de connaître la qualité et l'état actuel des eaux en vue de leur éventuelle exploitation pour les différents usages (ménagère, irrigation...etc).

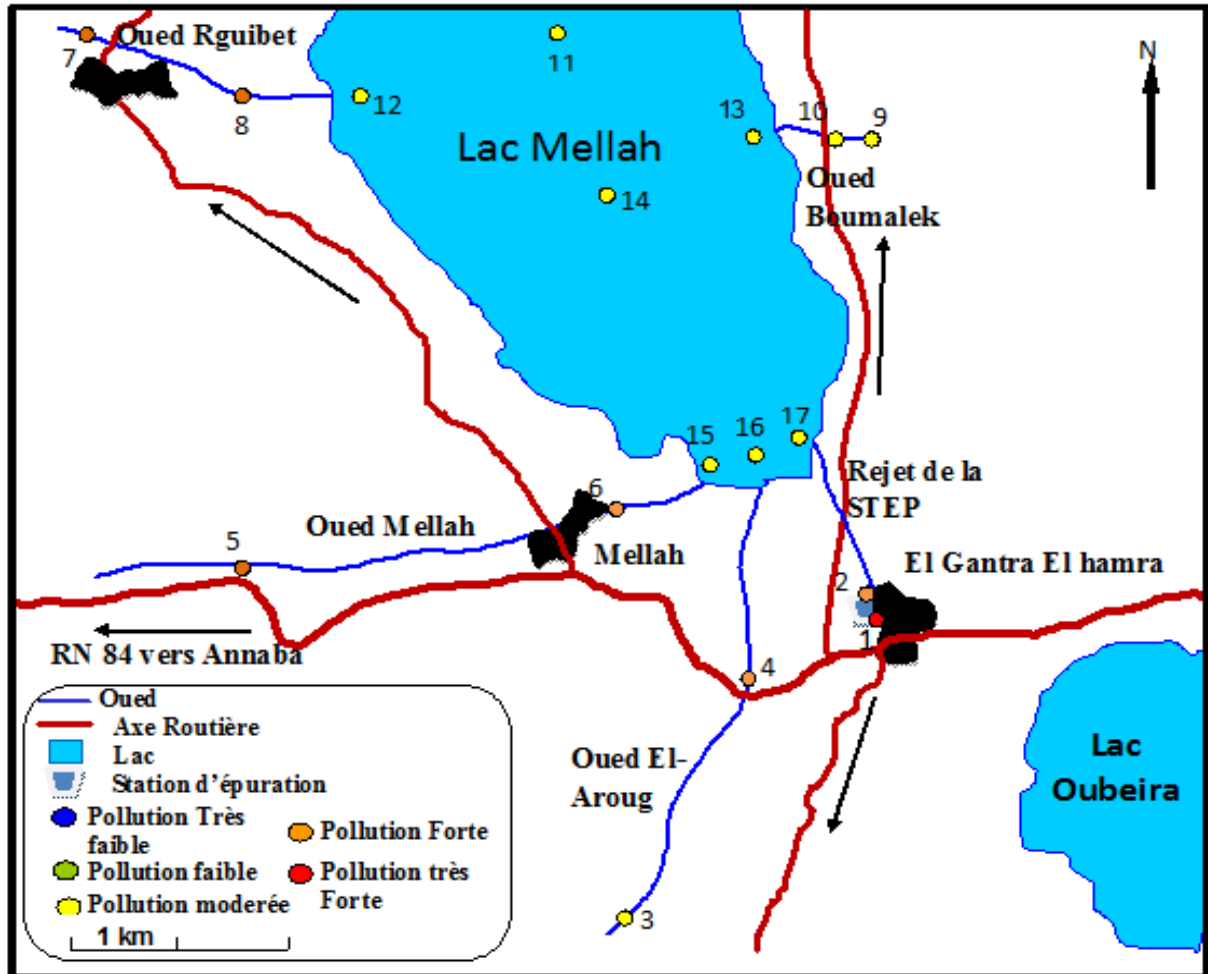


Figure 129. Carte d'indice de pollution organique(IPO) des eaux du lac Mellah et de ses affluents pendant la période des basses eaux (Année 2011)

Les résultats représentés dans la figure (129) montrent que dans la période des basses eaux les valeurs de l'indice de pollution organique indique que les eaux brutes de la station d'épuration de village d'El Gantra El Hamra ont une pollution très forte ($1,0 \leq \text{IPO} \leq 1,9$) que la sortie qui a une pollution forte ($2,0 \leq \text{IPO} \leq 2,9$). Cette variation indique que cette station a pour rôle d'éliminer la pollution contenue dans les effluents domestiques, avant leur rejet dans le lac mais le caractère de ces eaux reste à mauvaise qualité. Les valeurs de l'indice de pollution calculé à l'amont et aval des deux Oueds (El Rguibet, El Rguibet et Mellah) permet de les placer dans la classe forte pollution ($2,0 \leq \text{IPO} \leq 2,9$) ceci est expliqué par le fait qu'en période sèche l'eau polluée subit des transformations et une fermentation augmentant la charge polluante (Guasmi I, 2009). Une pollution modérée ($3,0 \leq \text{IPO} \leq 3,9$) est observée de l'amont vers l'aval d'Oued de Boumalek.

Par contre, au niveau du lac Mellah, l'indice de pollution organique augmente pour donner une classe à pollution modérée ($3,0 \leq \text{IPO} \leq 3,9$).

L'amélioration de l'IPO révèle une autoépuration au niveau du lac. Les conditions du milieu aquatique (augmentation de température) jouent un rôle déterminant dans les processus d'autoépuration qui permet au niveau du lac d'éliminer la charge azotée et phosphatée (Federica et al, 2011).

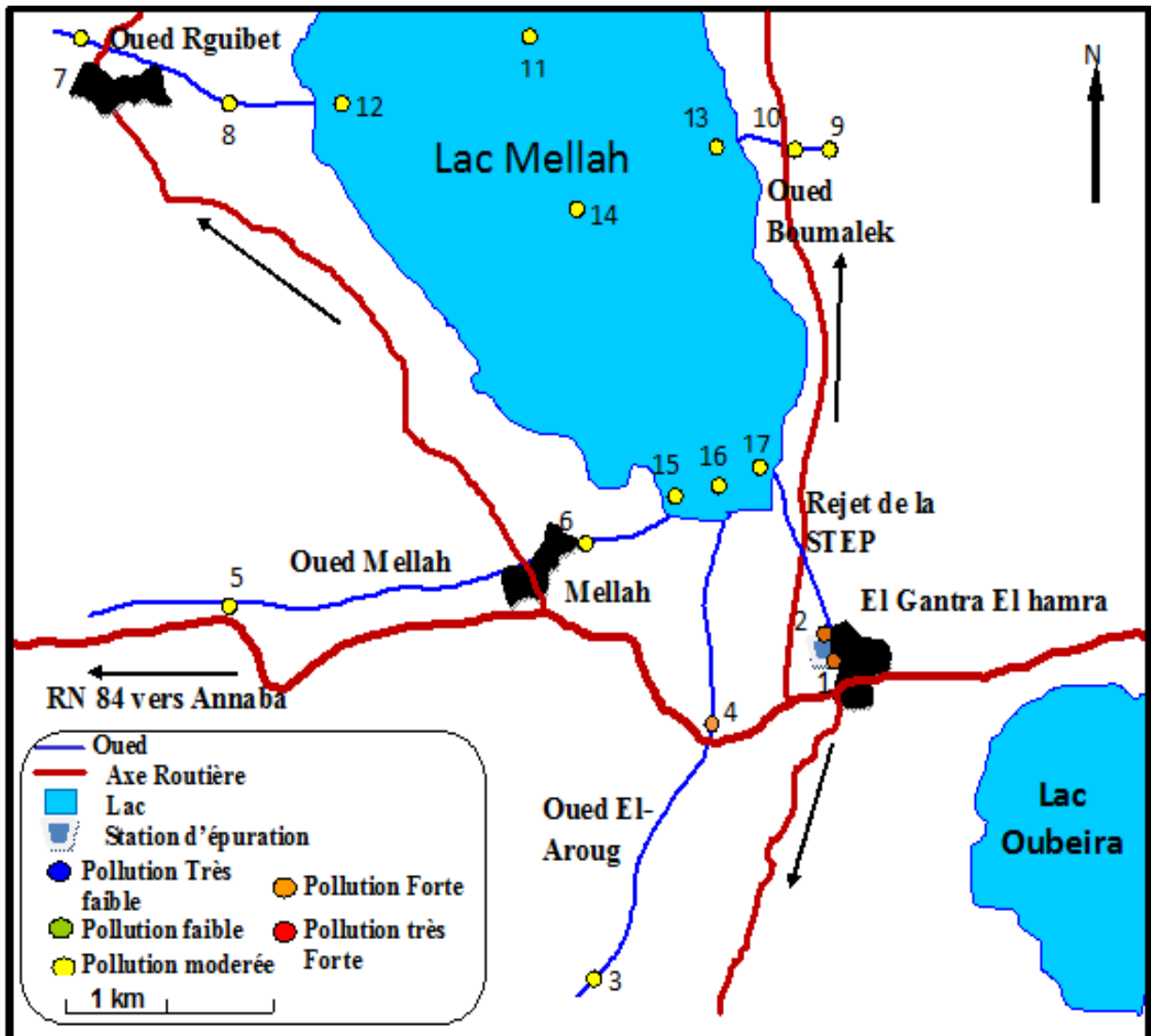


Figure 130. Carte d'indice de pollution organique(IPO) des eaux du lac Mellah et de ses affluents pendant la période des hautes eaux (Année 2012)

La représentation graphique dans la figure (130) pendant la période hivernale présente une forte pollution ($2,0 \leq IPO \leq 2,9$) en amont et aval de rejet de la STEP et une qualité des eaux médiocre ($3,0 \leq IPO \leq 3,9$) qui correspondent aux Oueds El Rguibet, El Aroug, Mellah et Boumalek. Malgré la dilution des eaux, la pollution affecte surtout la partie aval d'Oued El Aroug ($IPO = 2,75$). Le ruissèlement des sols riches en fumier organique explique cette condensation de pollution organique.

Le graphique a aussi révélé la présence d'une pollution organique modérée ($3,0 \leq IPO \leq 3,9$) au niveau des eaux du lac Mellah.

IV.4. Evolution spatiotemporelle de la pollution durant la période des hautes et des basses eaux

La représentation graphique des figures suivantes représentent l'évolution spatiotemporelle de l'IPO dans les différents affluents vers le chenal du lac Mellah :

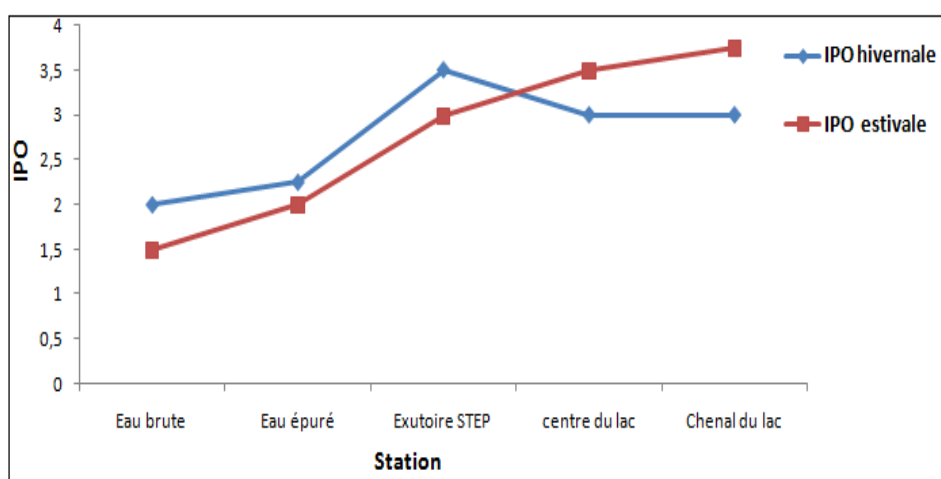


Figure 131. Evolution spatiotemporelle de l'IPO des eaux de la STEP d'EL Gantra El Hamra (2011/2012)

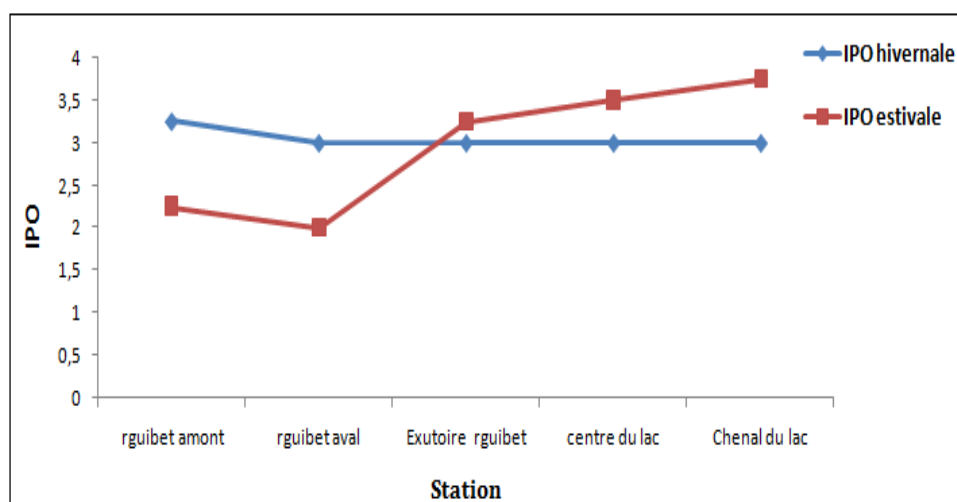


Figure 132. Evolution spatiotemporelle de l'IPO des eaux de Oued El Rguibe t(2011/2012)

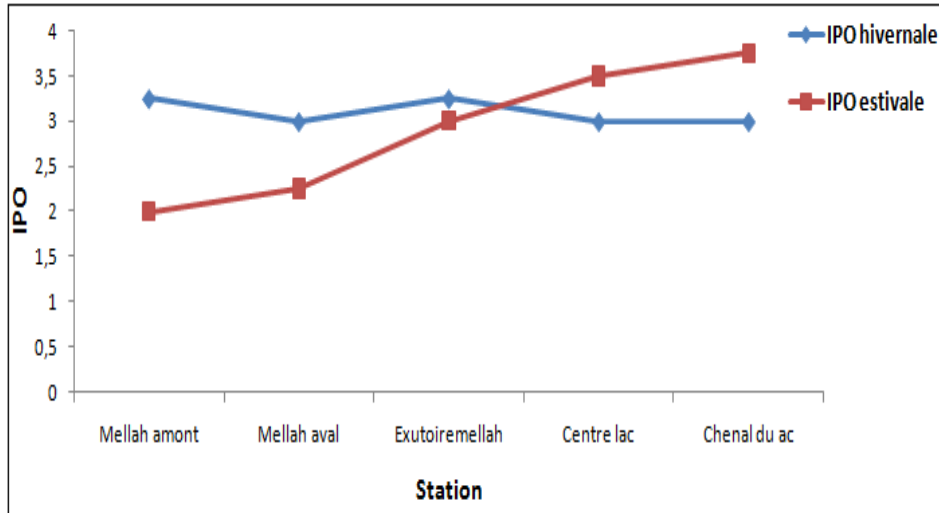


Figure 133. Evolution spatiotemporelle de l’IPO des eaux Oued El Mellah (2011/2012)

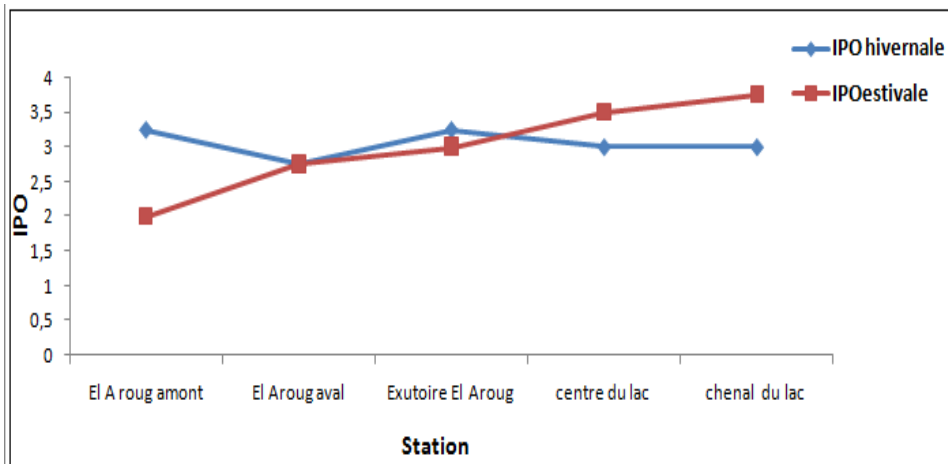


Figure 134. Evolution spatiotemporelle de l’IPO de l’Oued El Aroug(2011/2012)

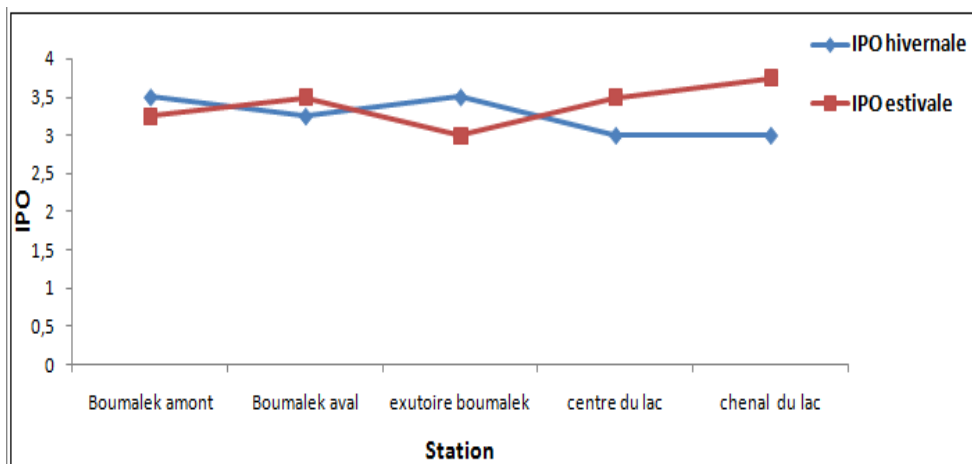


Figure 135. Evolution spatiotemporelle de l’IPO des eaux de Oued de Boumalek(2011/2012)

A la lumière de ces représentations graphiques obtenues, il apparaît clairement qu'en distingue une contamination aux niveaux des eaux du lac Mellah et de ses affluents :

- **Les eaux des affluents :**

Une période estivale où la pollution organique est plus forte que la période hivernale en amont et aval des rejets de la STEP et en des principaux Oueds. Visuellement, les valeurs d'indice de pollution organique sont faibles cela explique la mauvaise qualité des eaux et semble être concentrées en aval des Oueds autour des principales activités humaines. Ceci s'explique par le fait qu'en période sèche l'eau polluée ne peut se déplacer vers l'exutoire à cause de la concentration de la pollution au niveau de l'endroit du rejet (Gasmi I, 2009).

- **Les eaux du lac Mellah :**

Dans la période estivale les représentations graphiques indiquent que la pollution organique devient modérée faible où l'IPO augmente essentiellement au niveau du centre de lac et de son chenal. La qualité des eaux s'amélioré au cours du long du trajet vers le chenal du lac, le fait du phénomène de l'auto épuration joue son rôle.

Une période pluvieuse où une diminution des valeurs de l'indice de pollution organique traduit par l'augmentation de la pollution des eaux. Les valeurs de l'indice de pollution organique des eaux du lac Mellah permettent de placer ces eaux dans la classe médiocre ($3 \leq \text{IPO} \leq 3,9$) et indiquent que la pollution organique devient modérée forte, qui affecte l'ensemble du lac et s'intensifie des bordures du lac vers le chenal. Ceci est dû à la mauvaise qualité des eaux d'alimentation du lac par les Oueds malgré la dilution des eaux.

Ces résultats confirment qu'au début de la période hivernale, les premières pluies qui tombent dans le bassin versant du lac Mellah ruissellent et lessivent un certain nombre d'éléments chimiques vers l'exutoire.

V. Conclusion

La qualité et la quantité des eaux usées urbaines dépendent essentiellement de la quantité d'eau consommée (dotation journalière par habitant).

Nous avons tenté à travers ce travail de déterminer la pollution résiduelle d'une station d'épuration par l'analyse des paramètres globaux d'estimation de la pollution organique des eaux usées. Le traitement statistique et graphique des données a mis en évidence un rendement modéré à la station d'épuration et faible traitement qu'engendre la présence des micro-algues et

les matières en suspension (MES). Ces résultats montrent un impact direct de rejet des eaux usées épurées sur la qualité des eaux de la lagune. Au terme de cette évaluation de degré de pollution dans les eaux du lac, il résulte une évolution croissante de la dégradation de la qualité des eaux directement liée au développement socio-économique de la ville d'El Gantra.

L'analyse en composantes principales a mis en évidence les liens significatifs entre les éléments organiques et les minéraux. L'étude statistique révèle différents type de pollution avec une pollution organique à l'aval de la STEP (rejet à la sortie), une pollution minérale au niveau du lac Mellah et une pollution agricole au niveau des Oueds.

L'Etablissement des cartes de pollution organique (IPO) pendant les périodes des hautes et des basses eaux montrent aussi qu'au début de la période hivernale, les premières pluies qui tombent dans le bassin versant du lac Mellah (Les Oueds) ruissellent et lessivent un certain nombre d'éléments chimiques (N, P, K....) vers l'exutoire, augmentant ainsi la charge azotée et phosphatée du lac. Par conséquent, l'augmentation de ces paramètres favorise une multiplication anarchique des algues et un accroissement de la charge organique des eaux du lac Mellah.

Chapitre VII

*Etude de la pollution
microbiologique des eaux du lac
Mellah et de ses affluents*

I. Introduction

La pollution fécale est très liée aux activités humaines et agricoles. Elle présente un risque pour les activités récréatives et la qualité des eaux littorales. Cette pollution provient notamment des rejets d'eaux usées traitées et non traitées à terre ou des navires et d'excréments d'animaux (par exemple d'animaux sauvages et de ferme dans les bassins hydrographiques côtiers), des rejets des eaux pluviales et autres sources diffuses. Les baigneurs, les animaux domestiques et les sédiments marins contaminés y contribuent également, de nombreuses études portent sur les effets combinés des activités humaines et des facteurs environnementaux sur les niveaux de contamination microbiologique des zones côtières à intérêt aquacoles (Hunter et al, 1999 ; Mallin et al ,2001 ;Chigbu et al ,2005 ;Chedad et Assobhei ,2005,2007).

Le présent chapitre a pour objectif d'évaluer la qualité bactériologique des eaux du lac Mellah, de suivre l'évolution spatiotemporelle de la pollution fécale dans les eaux du lac et ses effluents, ainsi que d'établir des corrélations entre les facteurs environnementaux et la pollution bactériologique. Il s'agit encore de définir ses origines par l'utilisation du rapport de Bourgeois (Coliformes fécaux /Streptocoques fécaux), et en se basant sur les résultats des études précédentes.

II. Evaluation de la pollution microbiologique des eaux de la zone du lac Mellah

Le site Ramsar du lac Mellah est un exemple d'un milieu qui subit une dégradation intense à long terme, causée par l'action humaine surtout mais aussi par des facteurs naturels. Le développement de l'urbanisation, les problèmes d'hygiène et de santé publique augmentent, ils sont liés à la contamination bactérienne par les eaux usées. L'estimation de la contamination se fait par le biais des bactéries indicatrices de la pollution fécale et de germes pathogènes. Ces indicateurs bactériens sont les coliformes fécaux totaux (CT) et coliforme thermo-tolérant (CTT) et les streptocoques (STREP).

II .1. Indice de qualité microbiologique(IQM)

La méthode de traitement de données est basée sur l'indice de qualité microbiologique (IQM) (BOVESSE & DEPELCHIN, 1980) (Chapitre IV). La classification des paramètres bactériologiques des eaux du lac Mellah est basée sur le calcul des indices de qualité microbiologique des eaux du lac et de ses affluents (2011/2012) (Tableau 40). Cette classification indique en général une contamination modérée. Les résultats de tableau sont présentés sous forme d'une carte de qualité bactériologique du lac et de son environnement (Figure 136).

Tableau 40. Indice de qualité microbiologique des eaux de la zone d'étude (2011/2012)

Station de prélèvement	IQM	pollution
1	2,0	Forte
2	2,5	Forte
3	3,1	Modérée
4	3,2	Modérée
5	2,8	Modérée
6	2,7	Modérée
7	3,2	Modérée
8	3,5	Modérée
9	2,9	Modérée
10	2,8	Modérée
11	4,5	Très faible
12	3,15	Modérée
13	4,13	Faible
14	3,9	Faible
15	4,0	Faible
16	4,0	Faible
17	4,2	Faible

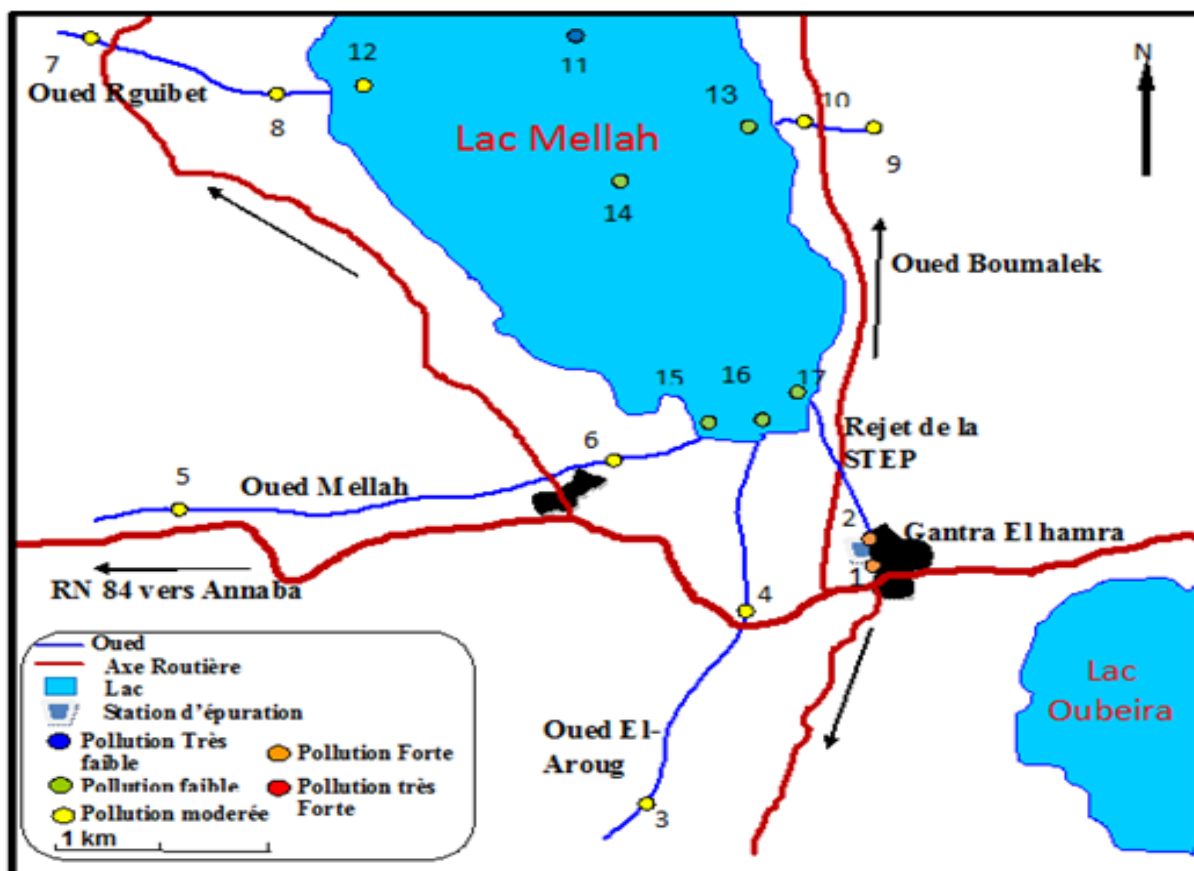


Figure 136. Carte d'indice de la qualité microbiologique des eaux du lac Mellah et de ses affluents (2011/2012)

L'interprétation de la carte d'indice de contamination microbiologique des eaux de trois milieux (STEP, Oueds, lac Mellah) indique un degré d'altération des eaux de la région d'étude. On note que les eaux passent d'une qualité médiocre avec des indices moyenne ($2.7 < IQM < 3.4$) à une qualité faible ($3.5 < IQM < 4.2$) durant l'année 2011/2012. Ceci s'observe au niveau du lac (chenal du lac) où les eaux du lac et de la mer se confondent, mettant en jeu la salinité d'une concentration de 29.73g/l pour dégrader la pollution des eaux. Par contre les points qui présentent des eaux de mauvaise qualité se trouvent aux niveaux des oueds. On remarque dans les eaux du lac Mellah et ses affluents une variation de l'indice de qualité portant une contamination bactériologique peu importante. Au terme de cette évaluation de degré de pollution dans les eaux de surface ; il résulte une évolution croissante de la dégradation de la qualité des eaux.

II.2. Evolution saisonnière de la contamination microbiologique

Le tableau suivant indique les valeurs calculées des différents indices de qualité microbiologique saisonnière des eaux du lac et ses affluents durant toute la période d'étude (Tableau 41).

Tableau 41. Variation saisonnière de l'indice de qualité microbiologique (IQM) des eaux de la zone d'étude (2011/2012)

Station de prélèvement	IQM (Printemps)	IQM (Eté)	IQM (Automne)	IQM (Hiver)
1	1,3	2,0	1,3	3,3
2	1,3	2,6	2,0	4,0
3	3,3	3,3	2,0	3,6
4	3,6	/	3,0	3,0
5	2,3	3,3	2,3	3,3
6	3,0	3,3	2,3	2,3
7	3,3	3,3	3,0	3,0
8	3,6	3,3	3,0	4,0
9	3,3	2,3	3,3	2,6
10	2,3	3,3	2,6	3,0
11	4,3	5,0	4,6	4,0
12	3,0	3,3	3,3	3,0
13	3,3	4,6	4,6	4,0
14	3,6	2,6	5,0	4,3
15	2,6	5,0	4,3	4,0
16	3,6	3,3	4,6	4,3
17	3,3	5,0	4,6	4,0

Les indices de qualité microbiologique varient dans le temps, on note des variations parfois significatives entre les saisons. Pour mieux illustrer les données, des cartes de qualités ont été dressées dans les figures 137 et 138.

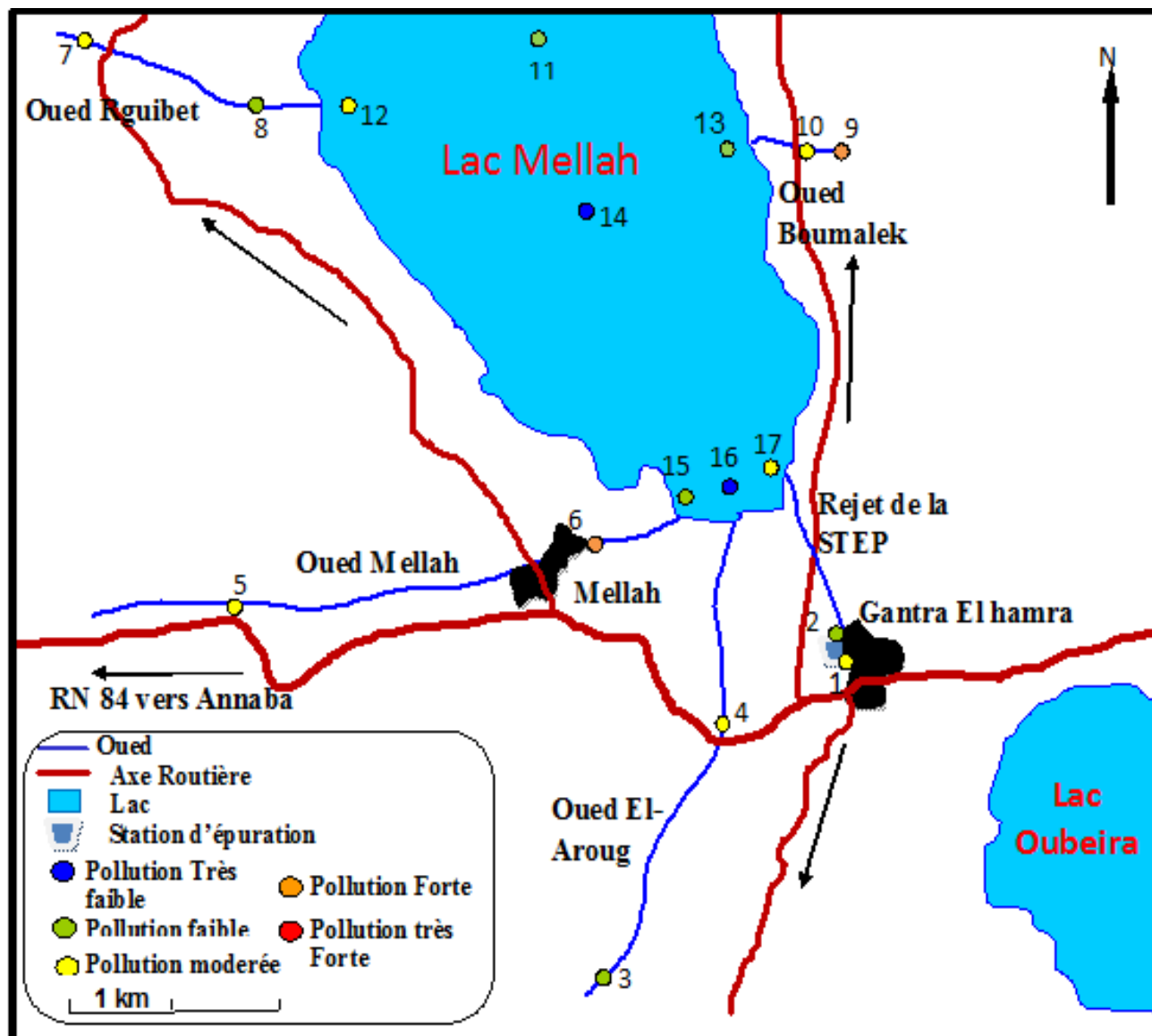


Figure 137. Carte d'indice de qualité bactériologique des eaux de la zone d'étude pendant la période des hautes eaux (Hiver 2012)

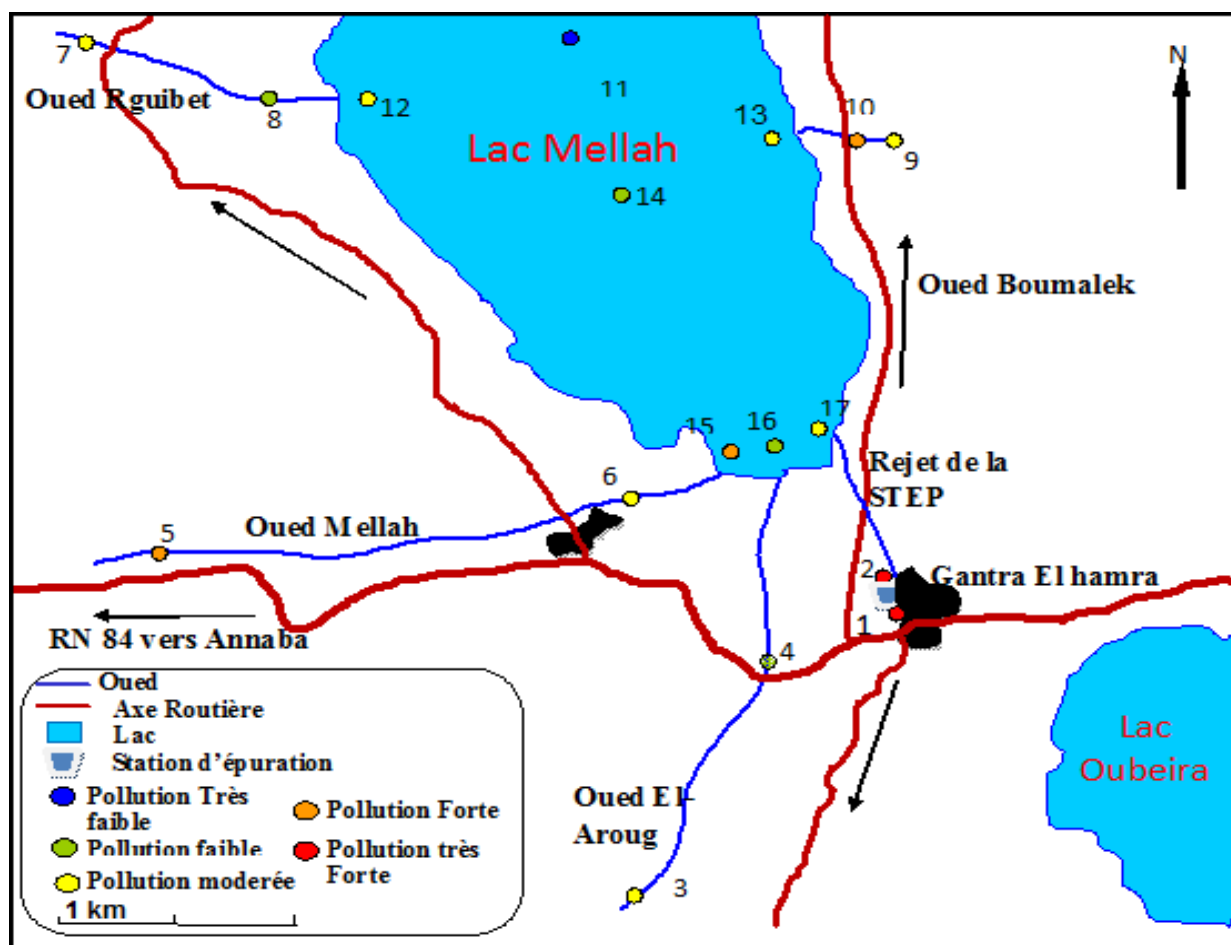


Figure 138. Carte d'indice de qualité bactériologique des eaux de la zone d'étude pendant la période des basses eaux (Printemps 2011).

Les indices de qualité microbiologique calculés et représentés sur les cartes reflètent bien le milieu ambiant qu'impose l'existence de ces micro-organismes. A travers ces cartes on peut dire que la variation saisonnière n'est pas très nette pour les différentes stations de prélèvement au niveau des affluents. Les germes dénombrés sont en concentrations très importantes et régulières et montrent une qualité microbiologique forte à modérée contamination fécale durant toute la période d'étude. Cependant, les autres stations, principalement au niveau du lac Mellah, présentent des quantités peu importantes pendant la période des basses eaux, où on assiste à une diminution du débit d'eau (évaporation), à un apport accru des eaux usées domestiques et agricoles et à l'augmentation de la température des eaux qui atteint les 25 degré Celsius en moyenne sachant que la température est l'un des facteurs les plus importants qui agit sur la croissance des microorganismes. A des températures comprises entre 20 et 50°C, elles vont se multiplier et coloniser (Leclerc H ,2002). En effet, chaque microorganisme a un domaine de température optimale favorisant son développement. Des températures situées en dehors de ce domaine gênent sa croissance. On note également une variation des indices de qualité à

l'intérieur du lac et à l'embouchure des Oueds, confirmant les remarques précédentes. Cependant, la représentation de la carte de pollution microbienne indique que dans la période des hautes eaux, l'apport d'eau de pluie et le ruissèlement peut jouer un rôle de dégradant la pollution par le fait de la dilution.

Les résultats de l'analyse des eaux permettent de conclure que les eaux usées de la station d'épuration du village d'El Gantra El Hamra et les eaux des Oueds et ceux relevés dans les eaux de surface du lac Mellah, ont un impact sur la qualité des eaux de la lagune à court et à long terme. Elles perturbent les conditions de vie et l'équilibre du milieu aquatique et compromettent les utilisations de l'eau. Ces cartes apporteront un grand intérêt dans la protection de l'environnement.

III. Etude de l'influence des paramètres physico-chimiques sur l'abondance microbienne dans le lac Mellah et son environnement

III.1. Méthode de traitement de l'influence des paramètres physico-chimiques sur l'abondance microbienne

Dans la présente étude, on se propose d'évaluer le risque de contamination fécale et de caractériser la charge fécale contenue dans les eaux des affluents jusqu'à leur exutoires (Lac Mellah), et d'estimer l'abondance microbienne en fonction des paramètres environnementaux dans deux périodes de saison (Haute et basse eau).

Devant le nombre important de mesures, nous avons utilisé un moyen statistique de traitement de données qui est l'Analyse en Composante Principale (ACP). L'estimation de la contamination des eaux et l'évaluation des paramètres environnementaux se fait par le biais des bactéries indicatrices de pollution fécale et des paramètres physico-chimiques des eaux (Jean Rodier, 2009)

Le traitement des paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh, Conductivité, Salinité, Turbidité, O₂) et bactériologiques (CT ; CTT et STERP) des eaux est effectué dans trois milieux ambiants différents (STEP, Oueds et dans le lac) à différents saisons : Saison chaude (septembre) et froide (février). Les analyses ont permis d'établir des corrélations entre les facteurs environnementaux et la qualité bactériologique du lac et de ses affluents ainsi que d'estimer l'influence des paramètres environnementaux sur l'évolution spatiotemporelle du comportement des micro-organismes.

III.2. Influence des paramètres environnementaux sur l'abondance microbienne

III.2.1. Influence des paramètres physico-chimiques sur l'abondance microbiologique dans la période des basses eaux

Le tableau 42 ci-dessous présente les coefficients de corrélations pendant la période estivale entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2. La Figure 139 et le tableau (43) nous révèle la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2. Ces considérations nous ont permis d'obtenir la matrice de corrélation des données et la représentation graphique le regroupement des sites d'échantillonnage.

Tableau 42. Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques (Période des basses eaux. Septembre 2011)

Les variables	CT	CTT	STREP	pH	Eh	Turbidité	T°	Cond	Salinité	O ₂
CT	1									
CTT	0,62	1								
STREP	0,28	-0,25	1							
pH	-0,50	-0,70	0,02	1						
Eh	0,54	0,73	-0,03	-0,99	1					
Turbidité	0,28	0,33	0,28	-0,48	0,47	1				
T°	-0,32	-0,65	0,36	0,54	-0,55	-0,27	1			
Conductivité	-0,66	-0,94	0,25	0,76	-0,79	-0,36	0,61	1		
Salinité	-0,66	-0,94	0,25	0,76	-0,79	-0,36	0,61	1,00	1	
O ₂	0,043	0,39	-0,42	-0,12	0,12	-0,30	-0,18	-0,26	-0,263	1

Tableau 42. Répartition de l'inertie entre les deux axes (F1x F2) dans la période des basses eaux (Septembre 2011)

Les variables	F ₁ (55,75%)	F ₂ (18,73%)
CT	-0,681	0,316
CTT	-0,937	-0,166
STREP	0,181	0,837
Ph	0,878	-0,181
Eh	-0,897	0,169
Turbidité	-0,468	0,622
T°	0,705	0,218
Conductivité	0,960	0,086
Salinité	0,960	0,087
O ₂	-0,260	-0,732

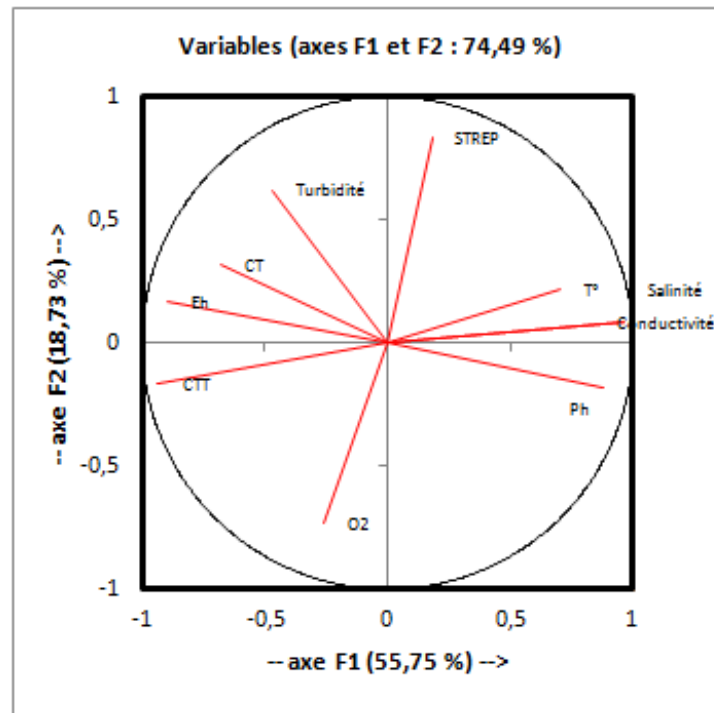


Figure 139. La projection des variables sur le plan factoriel (1x2)
(Période des basses eaux. Septembre 2011).

Ces axes montrent une bonne répartition et représentation des variables étudiées. L'axe F1(55.75%) est exprimé par son pôle positif par le pH, la température, la conductivité, la salinité opposés aux paramètres bactériologiques (CT ,CTT) et le Eh. Cet axe définit alors un gradient de minéralisation et de pollution microbiologique, il décrit aussi le milieu ambiant appartenant au lac.

Le sens positif, l'axe F2 (18.73 %) est constitué par la Turbidité, STREP, par contre l'oxygène dissous s'oppose à ces paramètres avec un coefficient de corrélation négatif.

La disposition des variables physico-chimiques et microbiennes (Figure 139), permet de mettre en évidence une relation entre les différentes variables, notamment l'existence d'un rapport étroit entre les données bactériologiques (CT, CTT, STREP) et les variables physico-chimiques (Température, salinité, conductivité et pH, Eh, Turbidité, O2) dans la période estivale. Ce rapprochement est souligné sur le tableau 42, des corrélations très hautement significatives ont été obtenues entre les paramètres environnementaux et la décroissance bactérienne.

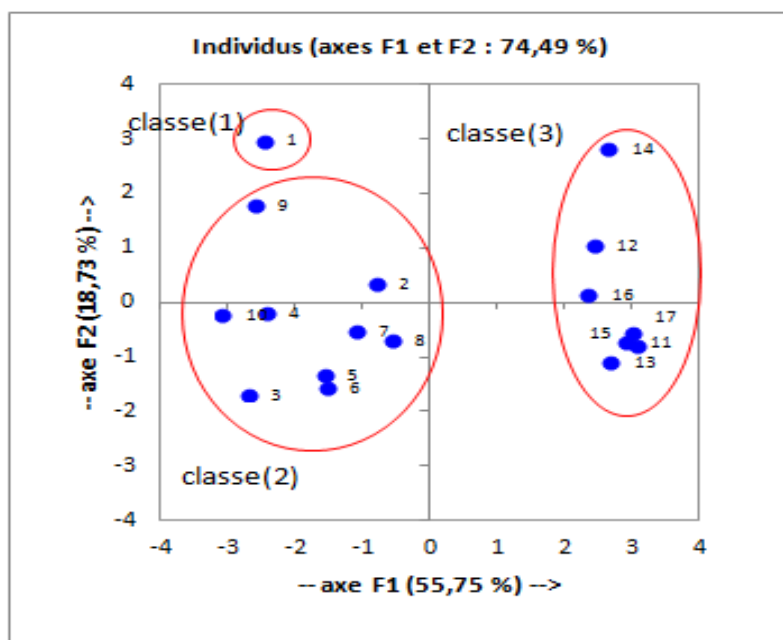


Figure 140. La projection des individus sur le plan factoriel (1x2)
(Période des basses eaux .Septembre 2011)

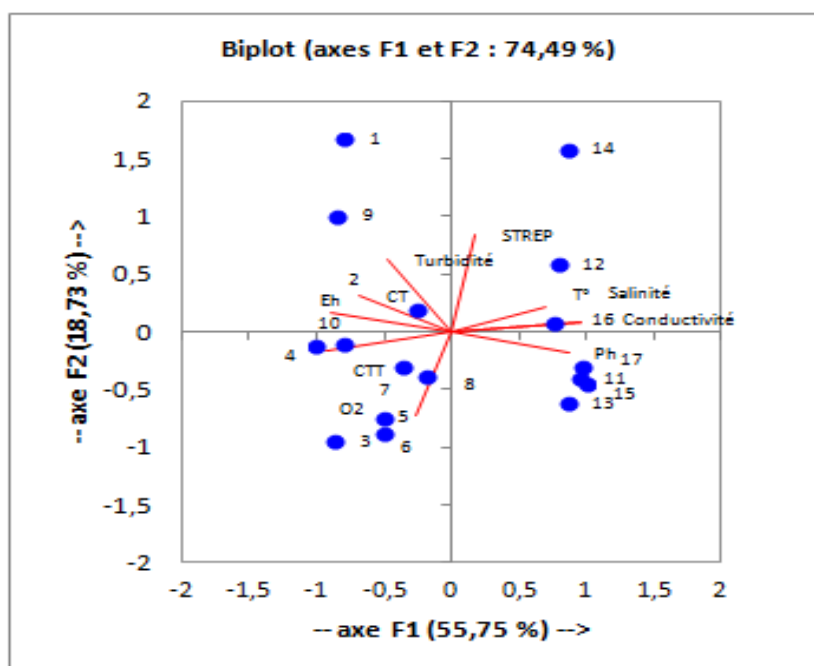


Figure 141. La projection des variables et des individus sur le plan factoriel (1x2)
(Période des basses eaux. Septembre 2011)

La figure 140 montre par la représentation graphique le regroupement des sites d'échantillonnage (les individus) dans le plan factoriel (F1-F2) pour la période estivale. D'après cette analyse statistique et graphique, on peut conclure que la distribution des valeurs des paramètres étudiés correspond à une répartition spatiale des points d'échantillonnage par trois classes : La première classe prend en compte les eaux sortantes de la STEP et les eaux des Oueds (amont et aval), dont la qualité de l'eau est chargée en CT, CTT et turbidité avec de faibles

oxygénations; La deuxième classe appartient aux eaux entrantes dans la STEP qui présentent une forte de turbidité; La troisième classe contient uniquement les eaux du lac Mellah qui présente les points dont la qualité de l'eau est exprimée par les STREP, la salinité, la conductivité et le pH (Figure141).

Dans la période estivale, les résultats montre que l'augmentation des taux de la salinité et du pH du milieu, et l'augmentation de la température ce sont des facteurs négatifs sur le comportement des bactéries .Certains auteurs ont souligné que l'augmentation des températures est accompagnée d'une destruction des cellules bactériennes (Chedad, K. and Assobhei, O. 2007). Contrairement, l'augmentation d'Eh et la turbidité ont un effet positif sur le développement des bactéries, ces résultats confirment les résultats de (Abdoulaye Demba N'diaye ,2011) et (Dahel Zanat Amina- Tania,2009 , Rozen et Belkin , 2001).

III.2.2. Influence des paramétrés physico-chimiques sur l'abondance microbiologique dans la période des hautes eaux

Le Tableau 43 présente les coefficients de corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2. La Figure 142 et le tableau 44 révèle la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2 .

Tableau 43. Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des échantillons dans la période des hautes eaux (Fevrier 2012)

Les variables	CT	CTT	STREP	pH	Eh	T°	Cond	Salinité	O ₂	Turbidité
CT	1									
CTT	0,13	1								
STREP	0,20	0,06	1							
pH	-0,46	-0,16	-0,78	1						
Eh	0,44	0,20	0,76	-0,96	1					
T°	0,39	0,15	0,44	-0,58	0,5	1				
Conductivité	-0,55	-0,24	-0,42	0,78	-0,84	-0,56	1			
Salinité	-0,55	-0,24	-0,42	0,78	-0,84	-0,56	1,00	1		
O ₂	-0,05	0,03	0,006	0,13	-0,22	-0,53	0,28	0,28	1	
Turbidité	0,25	0,05	-0,05	-0,31	0,29	0,58	-0,53	-0,53	-0,45	1

Tableau 44. Répartition de l’inertie entre les deux axes (F1x F2) dans la période des hautes eaux (Février 2012)

Les variables	F ₁ (52,05%)	F ₂ (15,85%)
CT	0,589	0,031
CTT	0,245	0,111
STREP	0,630	0,567
PH	-0,909	-0,316
EH	0,931	0,278
T°	0,752	-0,338
Conductivité	-0,926	0,038
Salinité	-0,926	0,037
O ₂	-0,364	0,706
Turbidité	0,543	-0,677

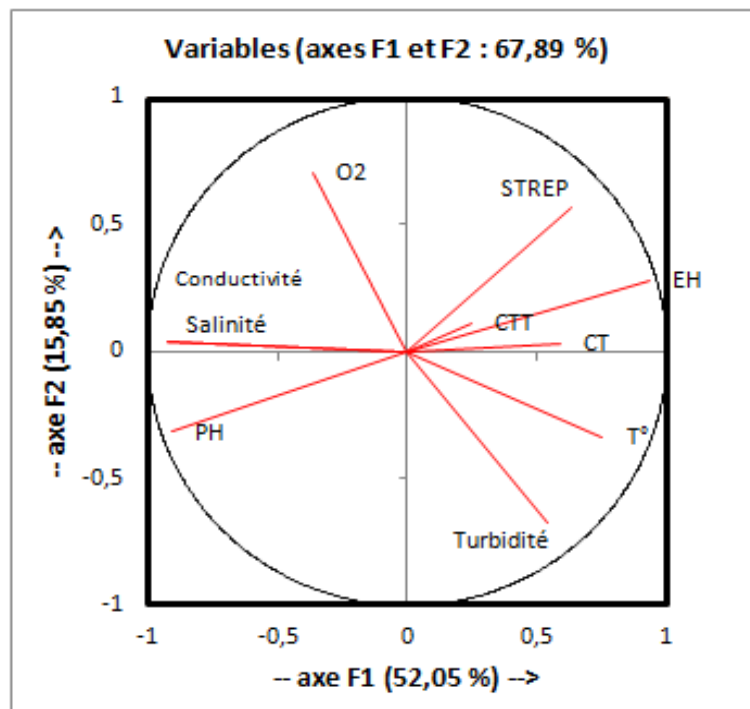


Figure 142. La projection des variables sur le plan factoriel (1x2) dans la période des hautes eaux (Février 2012)

La figure 142 représente le cercle de corrélation formé par les axes F1 et F2 et donnant 67,89 % de l’information totale montrée, selon l’axe F1 (52,05 %) où des variables sont corrélées positivement significatives entre elles. Les Streptocoques présentent une corrélation fortement significative, d’une part positive avec l’augmentation de la température et le Eh et d’autre part négative avec la conductivité, la salinité et le pH. L’axe F1 définit alors une pollution microbienne importante opposée et une minéralisation naturelle (les eaux sont légèrement

chargées des sels dissous). Tandis que la température est un facteur positive, les résultats montrent que l'augmentation de température favorisent la survie des bactéries (Olivier et al ,1995)

L'axe F2 exprime une faible information (15,85 %), cependant on note une corrélation opposée entre l'oxygène dissous et la turbidité.

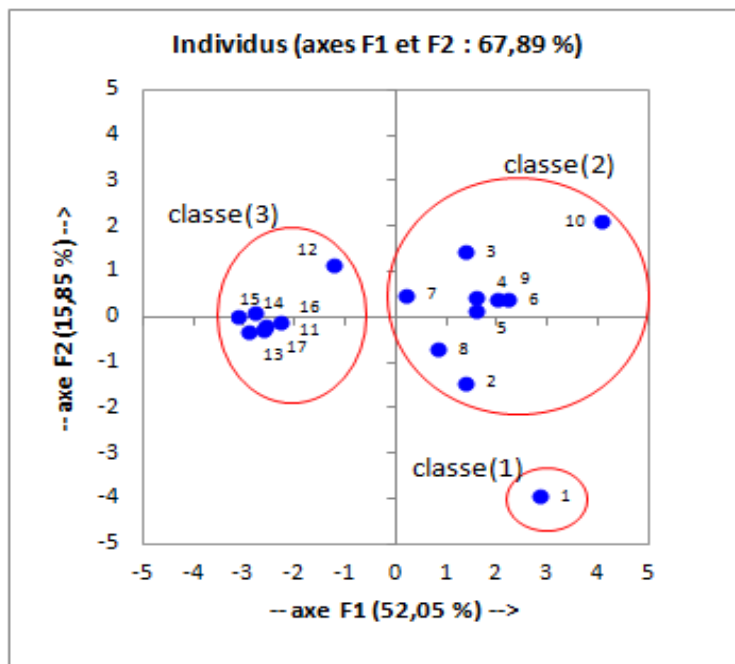


Figure 143. La projection des individus sur le plan factoriel (1x2) dans la période des hautes eaux (Février 2012)

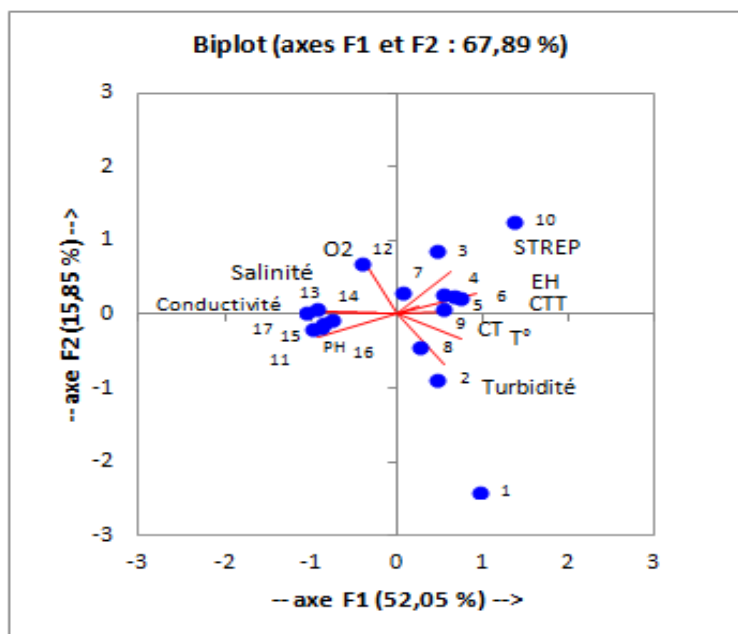


Figure 144. La projection des variables et des individus sur le plan factoriel (1x2) dans la période des hautes eaux (Février 2012)

La figure 143 montre que les eaux se regroupent en trois classes : les eaux entrants dans la STEP ; les eaux sortants de la STEP et les Oueds (amont et aval) et finalement les eaux du lac mellah. Dans la période des hautes eaux les points de prélèvement au niveau des Oueds et dans la STEP représentent les points dont la qualité d'une eau est chargée en CT, CTT, STREP et des teneur de turbidité importante. Par contre les points de prélèvement au niveau du lac Mellah représentent les points dont le pH, O₂ et la salinité et ou la conductivité des eaux est très importante (Figure 144). Les fortes variations de salinité d'un milieu à l'autre, ont tendance à empêcher l'accoutumance des bactéries allochtones à leur nouveau milieu, ce qui conduit à la décroissance de leur nombre malgré la dilution de l'eau au niveau du lac mellah.

III.3.Comportement des microorganismes en fonction des paramètres environnementaux

L'intensité et la répartition spatiale des contaminants fécaux dépendent du temps, de l'espace et des conditions environnementales (Hennani Mouna ; 2014).

En comparant l'abondance microbienne moyenne des CT et CTT, STREP en fonction de la salinité et/ ou la conductivité, pH, Eh, et la température dans les eaux de la région d'étude, on peut estimer l'effet de ces dernières sur la survie des bactéries.

III.3.1. Comportement des microorganismes en fonction de la salinité et la conductivité

Les résultats des mesures (Figure 145) aux niveaux des Oueds dans les deux périodes d'étude ont permis d'observer une conductivité et une salinité faible atteignant au maximum 270 µs/cm. Ces valeurs sont très proches de celles des eaux de pluie. Mais au niveau de la STEP, la conductivité ou la salinité atteint son maximum (1200µs/cm). Au niveau du lac la minéralisation est excessive car les eaux du lac sont relativement chargées en sels dissous pour les deux périodes d'observations. Cette augmentation est due au brassage important au niveau du chenal (contact lac-mer) (Gaudreau et Mercier, 1998).

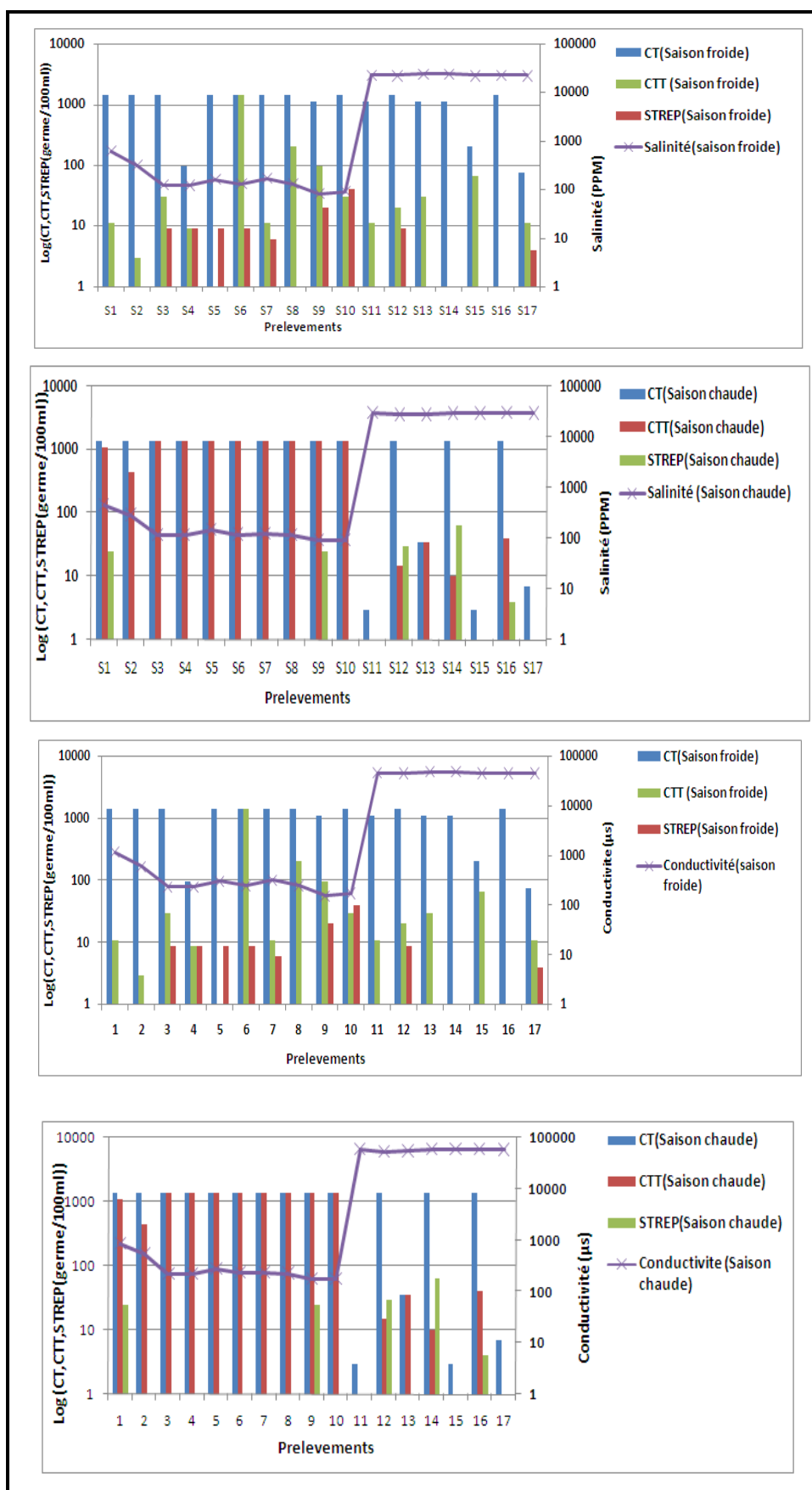


Figure 145. Comportement des microorganismes en fonction de la salinité et la conductivité dans deux périodes (basses et hautes eaux 2011/ 2012)

Les valeurs faibles de la salinité ou de la conductivité traduisent les concentrations maximales des germes bactériens au niveau des eaux de STEP et des Oueds dans les deux périodes qui est témoin d'une contamination directe ou indirecte par la matière fécale avec un gradient décroissant de l'amont vers l'aval. Globalement les microorganismes ont diminués au fur à mesure de l'éloignement de l'amont vers le point du rejet des eaux lagunaires salée, de 113,5 ppm à 28857,57 ppm de salinité moyenne, on passe d'une abondance de CT moyenne de 1400 germe/100ml (Oued) à 606 germe/100ml (Lac), ce qui montre clairement une diminution de l'abondance microbienne en fonction de la salinité dans les deux périodes d'étude. Mettant le facteur de salinité en jeu pour dégrader la pollution bactérienne des eaux. Ces résultats confirment bien les études antérieures faites par plusieurs auteurs (Servais et al 2003, Chedad et al 2007, Dahel Zanat Amina- Tania 2009).

Ces observations montrent l'existence de l'effet de la salinité sur la survie des bactéries dans le lac, confirmées par la même tolérance des bactéries fécales pour la salinité évoquée par certains auteurs comme (Dupray et al.1995).

III.3.2. Comportement des microorganismes en fonction de la température

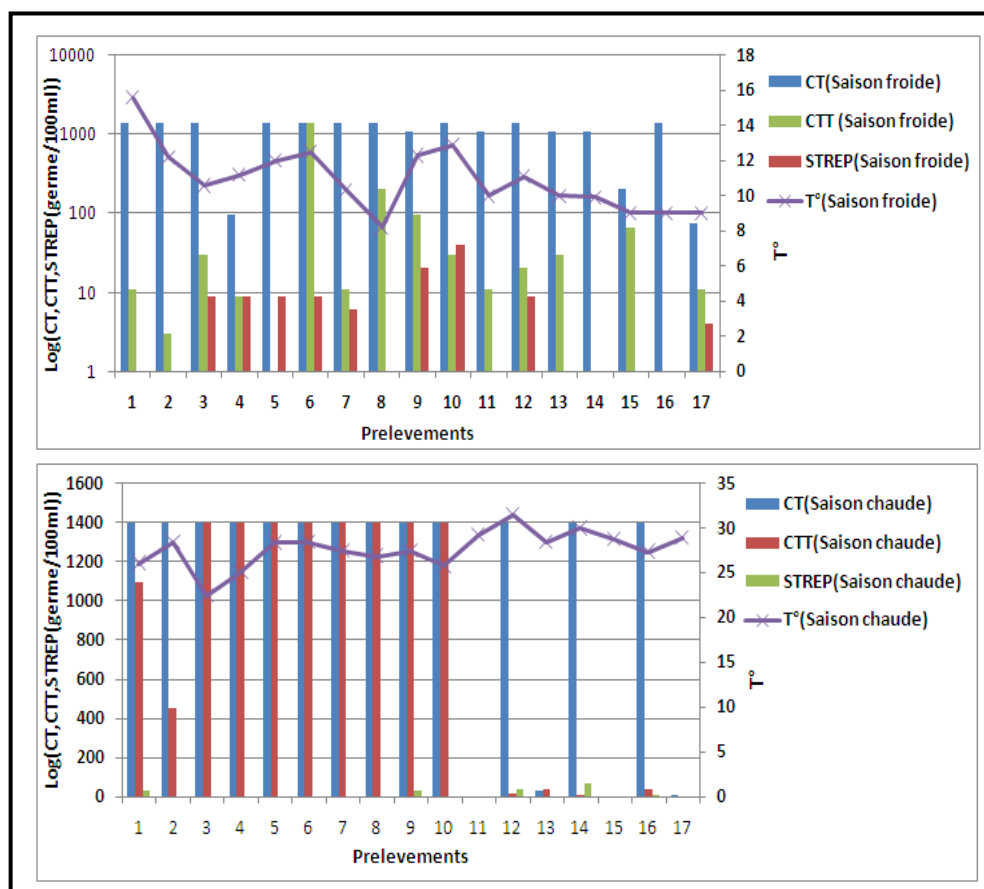


Figure 146. Comportement des microorganismes en fonction de la température dans deux périodes (basses et hautes eaux 2011/2012)

Les résultats obtenus (Figure146) montrent la présence d'une différence significative entre les trois milieux ambiants et entre les périodes de crue et les périodes de temps sec. Les températures élevées ne semblent pas favoriser la décontamination bactériologique des eaux notamment les CT et les CTT au niveau de la STEP et aux niveaux des Oueds pendant la saison chaude. Ces groupes bactériens sont capables de survivre à des températures élevées (Leclerc.1993). Au-delà de ces températures, le milieu est défavorable pour leur croissance. (Chedad et Assobhei, 2007) suggèrent que l'augmentation des températures est accompagnée d'une destruction des cellules bactériennes. D'autres auteurs ont souligné l'existence de fluctuations saisonnières importantes des coliformes totaux au niveau des cours d'eau (Aboukacem, 2007, Chahlaoui, 1996). Concernant les eaux du lac Mellah, pour les mêmes paramètres, les résultats montrent des contaminations fécales moyennes et constantes pendant les deux saisons. Ceci s'explique par l'altitude basse du plan d'eau qui est au niveau de la mer. Le chenal évacue à son niveau moyen les eaux de trop plein constituées par les apports hivernaux en eau douce. L'apport d'eau de pluie et le ruissèlement peuvent jouer le rôle de dégradant de la pollution par le fait de la dilution. Pendant la période estivale ce flux s'inverse dans le chenal ; Le déficit causé par l'évaporation et la rareté des précipitations provoque une baisse du niveau moyen et l'intrusion des eaux marines. La température des eaux atteint les 31,5 degré Celsius, aussi l'eau polluée ne peut se déplacer vers la mer.

III.3.3. Comportement des microorganismes en fonction du potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement acide à neutre dans toutes les stations des affluents des oueds et de la STEP, aussi bien en période sèche qu'en période de pluie (Figure147).

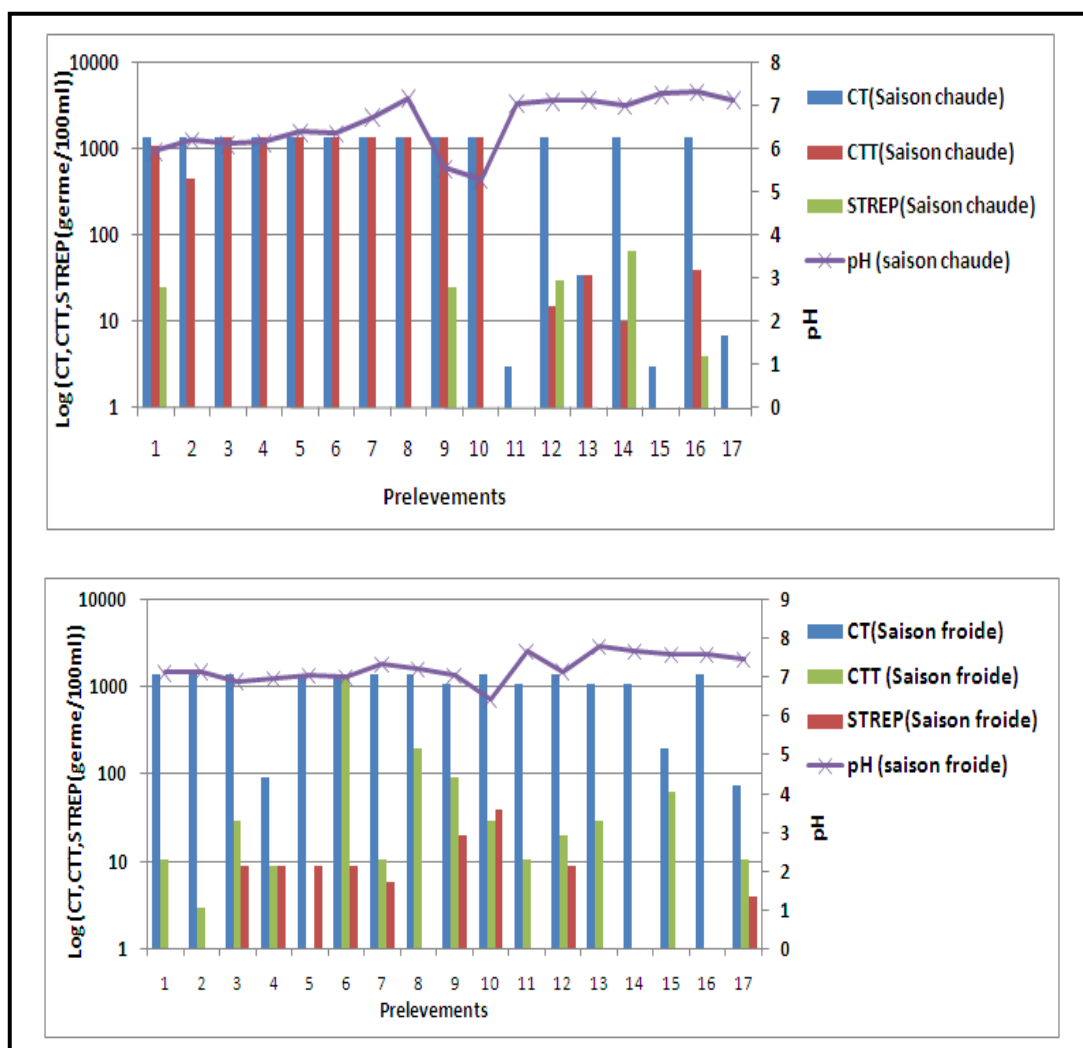


Figure 147. Comportement des microorganismes en fonction du potentiel hydrogène (pH) dans deux périodes (Basses et hautes eaux 2011/2012)

Le PH est très variable d’une station à l’autre et d’une saison à l’autre tout en enregistrant une augmentation en période de pluie pour les trois milieux ce qui peut être expliqué aussi par la dilution de l’eau par l’apport des eaux pluviales. En effet, cette analyse a montré que les variations d’abondance des CT, CTT et streptocoques fécaux étaient significativement corrélées (Coefficient de corrélation négatif) avec le pH dans les deux périodes. On note que l’augmentation du pH affecte l’abondance des coliformes c’est-à-dire les pH basiques entraînent une nette diminution de la survie des bactéries. Les résultats sont en accord avec l’ensemble des travaux qui sont réalisés jusqu’à présent (Mayo ;1995; Huguette Brésellec et al ; 2006 , Chedad 2007).

III.3.4. Comportement des microorganismes en fonction le potentiel d’oxydoréduction (Eh)

Le potentiel d’oxydoréduction (Eh) mesure la facilité avec laquelle un milieu perd ou gagne des électrons. Un milieu est oxydant quand il capte des électrons (son Eh est positif) ; et réducteur quand il perd des électrons (son Eh est négatif).

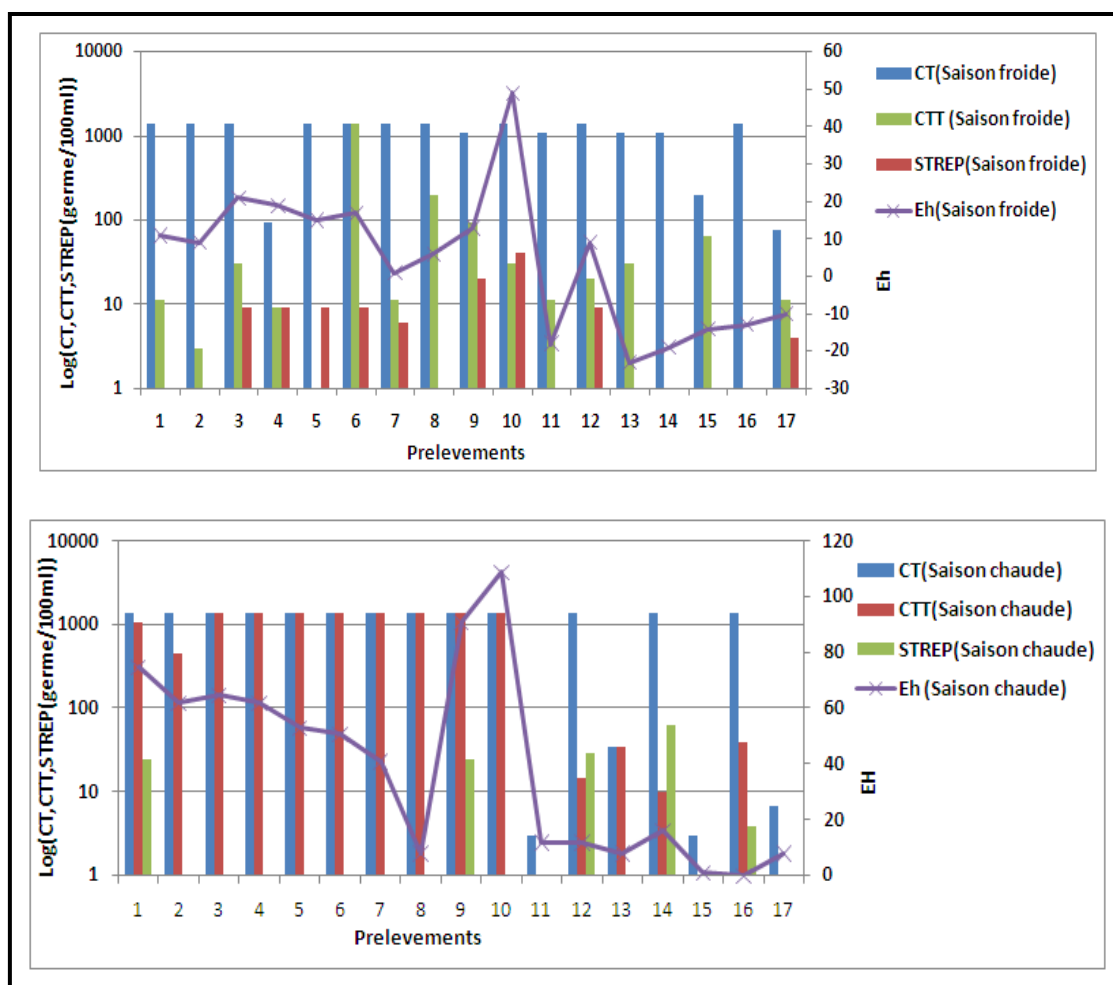


Figure 148. Comportement des microorganismes en fonction le potentiel d’oxydoréduction dans deux périodes (Basses et hautes eaux 2011/2012)

Les résultats obtenus dans la figure 148 ont montré que les eaux du lac Mellah présentent un milieu oxydant dans la période estivale et réducteur pendant la période hivernale. Ceci est dû à la présence des substances fortement hydrogénées. Mais les autres milieux tels que la STEP et les affluents des Oueds sont des milieux oxydants pendant les deux périodes. L’effet oxydant d’un milieu est dû essentiellement à la présence d’oxygène atmosphérique (Rodier ; 2009). Les valeurs d’Eh positifs traduisent des concentrations des CT, CTT et des STREP au niveau des eaux de la zone d’étude.

En conclusion, la variation de contamination bactériologique saisonnière n’est pas très nette pour les différentes stations de prélèvement au niveau des affluents (Oueds et STEP). Les germes dénombrés sont d’une concentration très importante et régulière durant les périodes d’observation. Cependant, les autres stations, principalement au niveau du lac Mellah, présentent des quantités peu importantes par les CT et CTT et STREP et plus apparentes pendant la période des basses eaux que les hautes eaux, où on assiste à une diminution du débit d’eau et à

un apport accrue des eaux usées et des effluents d'élevage. On peut constater que l'abondance microbienne dans les eaux du lac mellah est directement liée à la minéralisation, la température, le pH, et le Eh. Ces derniers paramètres influent sur les conditions de vie des bactéries (CT, CTT, STREP). Ainsi à travers les résultats d'analyses on peut dire que l'abondance microbienne moyenne des CT et CTT atteint leur maximum (1400 germes/100ml) dans les milieux (STEP et oueds) pendant les deux périodes de saison. Or dans le lac pendant la période hivernale, elle diminue à cause de la forte salinité, la diminution de température et les fortes des pluies. On remarque aussi que le milieu devient réducteur. Cependant, pendant la période estivale les eaux du lac Mellah présente des quantités en Streptocoque fécaux plus importantes que celles des points au niveau des affluents.

IV. Origine de la pollution microbienne des eaux de la zone d'étude

IV.1. Origine de la pollution selon le rapport de Bourgeois (1980)

Il est possible de connaître l'origine de la contamination fécale par l'utilisation du rapport (Coliformes fécaux /Streptocoques fécaux) (CTT/SF). Ce ratio est valable seulement quand la contamination est récente car les streptocoques fécaux persistent plus longtemps que les coliformes fécaux dans l'eau de mer (Bouchriti et al, 1992). Selon Bourgeois (1980), lorsque le rapport CF/SF est supérieur à 4, la contamination est essentiellement d'origine humaine, s'il est inférieur à 0.7, la contamination est d'origine animale et dans ce cas, le bétail et en particulier les moutons, semble jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau. Les rapports compris entre 0.7 et 4 indiqueraient que les bactéries proviennent des deux sources à la fois, où la contamination est d'origine mixte.

Tableau 46. Origine de la pollution selon le rapport de Bourgeois (1980)

Station	CTT/STREP (hivernale)	Source probable de contamination	CTT/STREP (estivale)	Source probable de contamination
1	1,5	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale	1,7	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale
2	0,5	0,7 > CTT/SF Contamination animale	2,2	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte
3	1,1	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte	3,8	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance humaine
4	1,0	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale	5,2	CTT/SF > 4 Contamination humaine
5	2,6	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte	3,5	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance humaine
6	2,2	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte	6,0	CTT/SF > 4 Contamination humaine
7	2,7	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte	2,6	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte
8	1,6	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale	1,7	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale
9	1,3	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale	2,0	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte
10	1,3	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale	2,9	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance humaine
11	0,5	0,7 > CTT/SF Contamination animale	2,9	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance humaine
12	0,4	0,7 > CTT/SF Contamination animale	0,8	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination animale
13	0,9	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale	1,5	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination animale
14	0,0	0,7 > CTT/SF Contamination animale	0,6	0,7 > CTT/SF Contamination animale
15	1,7	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination mixte prédominance animale	1,1	0,7 < CTT/SF < 4 Contamination animale
16	0,0	0,7 > CTT/SF Contamination animale	5,0	CTT/SF > 4 Contamination humaine
17	0,6	0,7 > CTT/SF Contamination animale	0,5	0,7 > CTT/SF Contamination animale

IV.2. Evolution spatiotemporelle du rapport Bourgeois

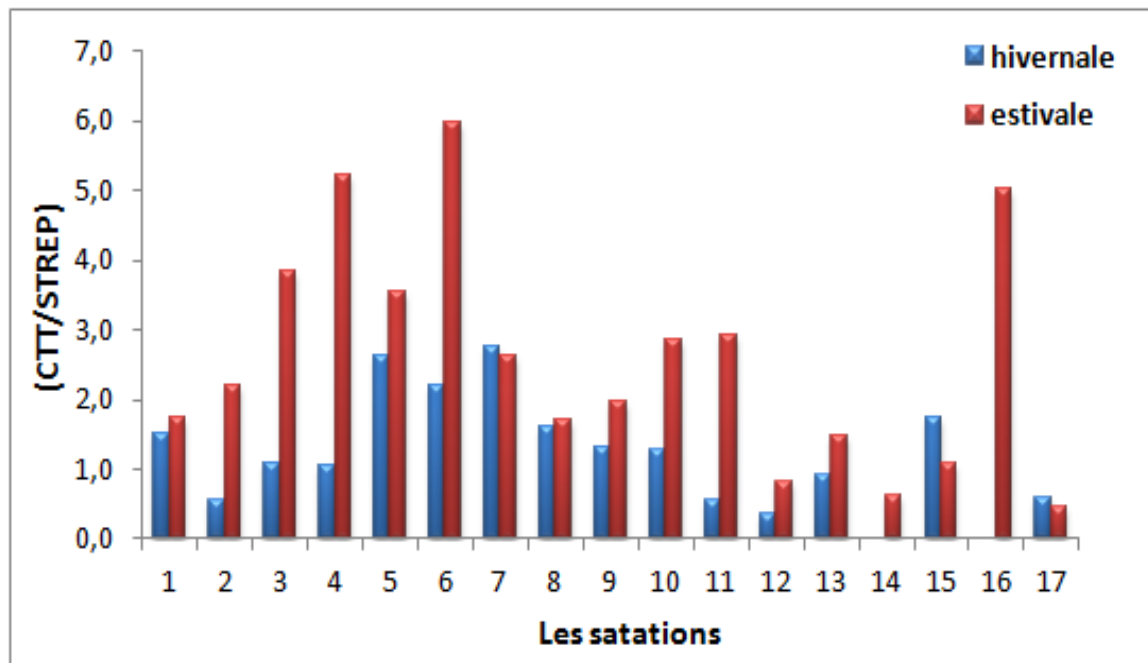


Figure 149. Evolution spatiotemporelle du rapport (Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux) (Hautes et basses 2011/2012)

La représentation graphique (Figure.149) due à l'évolution spatiotemporelle du rapport (Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux), montre que les valeurs du rapport de Bourgeois (CF/SF) dans la plus part des stations d'étude sont importantes dans la période estivale que la période hivernale, cette importance est très liée à l'effet de température élevée et la rareté des précipitations qui provoquent une baisse du niveau des apports d'eau qui favorise la contamination humaine ((CF/SF)>4). Ces résultats sont confirmés par d'autres auteurs (Mehanned.S, 2014). Le rapport CF/SF varie dans le temps (Jean-Luc, 2006). Quoique la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux observés ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matières organiques (Bartheet et al, 1998; OMS, 2000).

IV.3. Cartographie de l'origine de la pollution microbienne

Les valeurs de l'origine de la pollution microbienne varient dans le temps, on note des variations parfois significatives entre les deux périodes (Hautes et basses eaux). Pour mieux illustrer les données, des cartes de l'évolution spatiotemporelle du rapport Bourgeois ont été dressées.

IV.3.1. Représentation graphique de l'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude dans la période des hautes eaux

Le calcul de l'indice de Bourgeois (1980) est basé sur le rapport (Coliformes fécaux/Streptocoques fécaux).

La représentation de la contamination bactérienne à travers le rapport de Bourgeois nous a permis de dresser des cartes

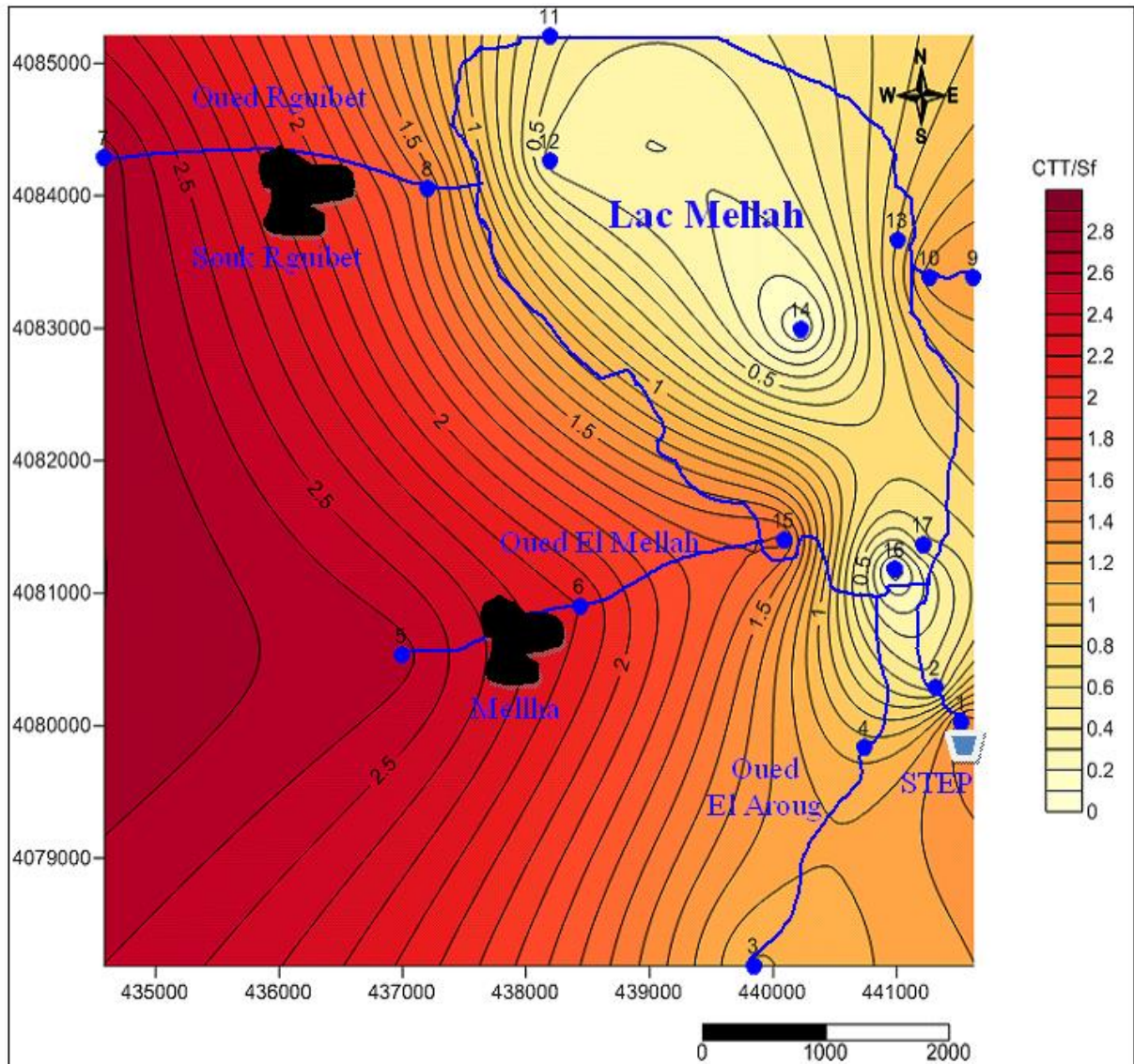


Figure150. Carte d'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude selon le rapport de Bourgeois pendant la période des hautes eaux

En figure 150, on note une plage de contamination est d'origine mixte prédominance animale importante s'étalant du Nord au Sud-Ouest à l'Est de la zone d'étude dont le rapport est supérieure à 1,5. La contamination est mixte provenant à la fois d'une pollution domestique et d'une pollution agricole liée aux effluents d'élevages et au fur et à mesure la prédominance

diminue ($R \leq 1,4$) dans le lac qui subit une contamination animale pure provenant des endroits où l'élevage est important, par conséquent la pollution provient des fumiers et des lisières. Globalement le rapport de Bourgeois diminue au fur et à mesure de l'éloignement de l'amont vers le point du rejet des eaux du lac. Ce qui montre clairement une diminution de ce rapport en fonction de l'apport d'eau de pluie dans les eaux des Oueds et de la STEP (dilution) d'une part, et d'autre part il dépend de la salinité au niveau du lac Mellah.

IV.3.2. Représentation graphique de l'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude dans la période des basses eaux

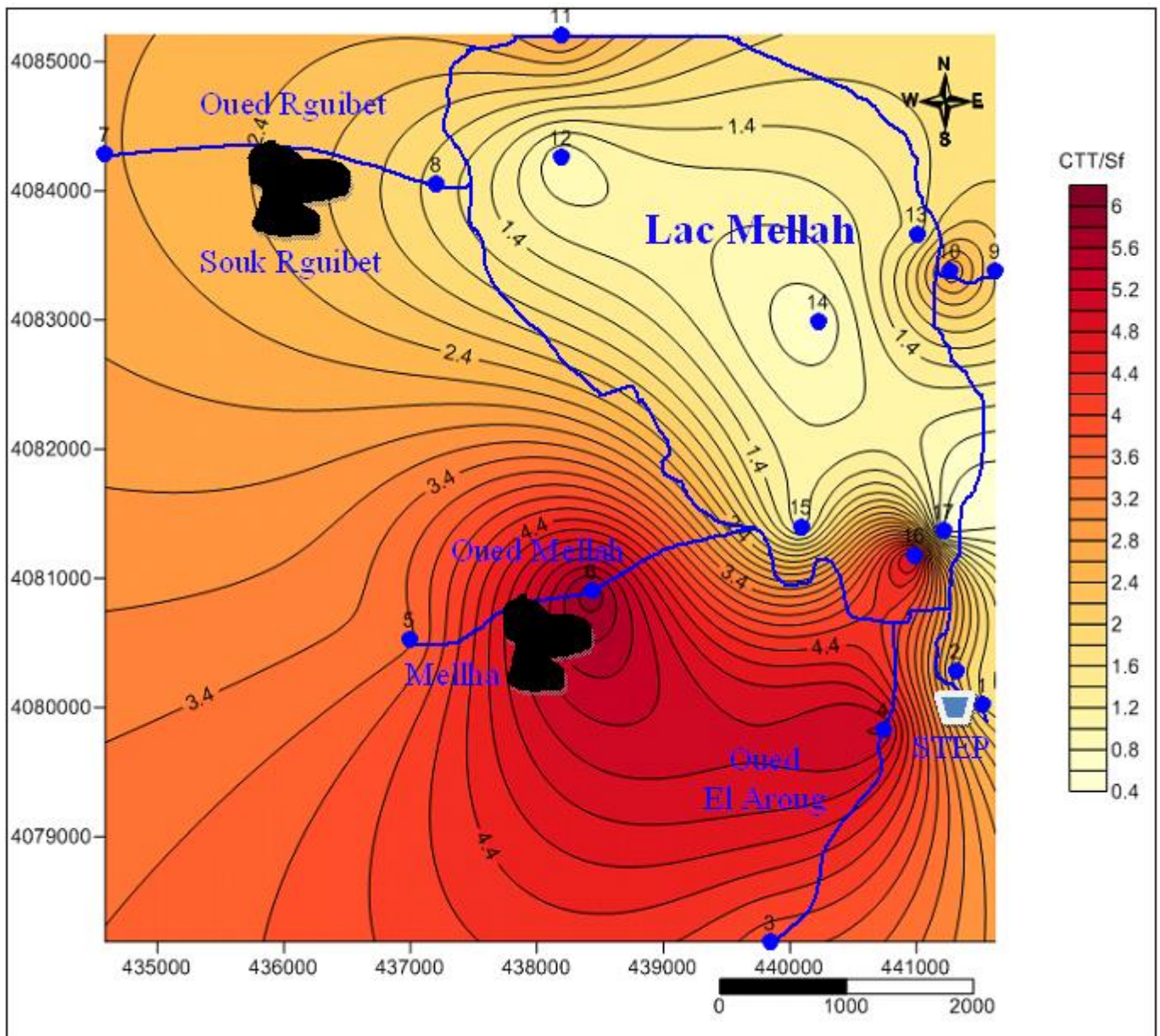


Figure151. Carte d'origine de la pollution des eaux de la zone d'étude selon le rapport de Bourgeois pendant la période des basses eaux

La représentation graphique pendant la période estivale du rapport de l'origine de pollution (Figure 151) montre le changement de la nature de contamination qui se traduit par une augmentation de valeur de ce rapport de l'entrée vers la sortie de station d'épuration et de l'amont vers l'aval des Oueds, tandis que ceux supérieurs à 4 indiqueraient une origine humaine à sortie de station d'épuration et en aval des Oueds. Ceci confirme d'une part que les températures élevées ne semblent pas avoir une influence sur la décontamination des eaux (Olivier et al., 1995) et d'autre part qu'elle peut être dépendante des apports d'eau usée urbaine en matière fécale qui alimente les Oueds en aval de l'agglomération. Cette nature de contamination est bien apparue aussi dans l'exutoire des principaux Oueds qui alimentent le lac Mellah, qui présentent : Oued El Mellah et Oued El Aroug.

La diminution du rapport au niveau du lac est due à la hausse de la salinité durant la période estivale. Le lac subit à une contamination animale sauf à la station (16) porte une contamination humaine, Ceci s'explique par le fait d'une action anthropique durant l'été en raison d'une intensification des activités touristiques en aval de lagune. Ces résultats ressemblent aux les résultats de la lagune Oualidia au Maroc qui est influencée par un certain nombre des facteurs avec une dominance des effets marins, du fait de l'absence d'un cours d'eau permanent qui alimente directement la lagune (Hennani Mouna, 2014).

Sur le plan cartographique, nos résultats constituent les premières références pour l'élaboration d'une base des données géographiques concernant la source probable de l'origine de la pollution du lac Mellah et de ses affluents. La pluviométrie et la salinité sont considérées comme des facteurs primordiaux à effets positifs de la répartition spatiotemporelle des bactéries fécales sur le lac Mellah et de ses affluents. Ainsi en période pluvieuse, le ruissellement des sols riches en fumier organique explique la condensation de contaminants fécaux d'origine animale au niveau du lac Mellah.

L'été est marqué par une pollution fécale d'origine mixte ou purement humaine concentrée en aval du lac. Cela s'explique par l'intensification des activités touristiques que connaît la région durant la période estivale. D'autres paramètres environnementaux tels que la température, la salinité et le pH des eaux, interviennent aussi dans la répartition spatio-temporelle.

V. Conclusion

Ce chapitre a permis d'enrichir les connaissances sur l'état de la répartition des bactéries et la modalité de comportement des bactéries face aux changements des conditions environnementales, une fois elles sont rejetées au niveau du lac Mellah. Ainsi ces données

pourront permettre une approche précise de la problématique de la contamination des eaux lagunaires par les bactéries fécales.

L'origine de cette pollution calculée à partir du rapport de Bourgeois réaffirme une pollution d'origine humaine en période de basses eaux et d'origine animale en période de hautes eaux.

En conclusion, il ressort de la présente étude que la qualité bactériologique des eaux du lac mellah est directement liée à la minéralisation, à la température des eaux et à l'oxydoréduction du milieu.

4^{ème} PARTIE

*Protection des eaux du lac
Mellah*

Chapitre VIII

*Projection et dimensionnement de
collecteur d'assainissement*

I. Introduction

Les chapitres précédents montrent l'impact des eaux usées rejetées dans le lac à partir des Oueds et de la station d'épuration d'El Gantra El Hamra. Ainsi il serait souhaitable d'intervenir par des actions adéquate pour sauvée la qualité des eaux du lac Mellah qui reste un danger à la vie aquatique ou aux autres activités tels que l'irrigation et l'activité piscicole.

Dans ce but, nous nous sommes intéressé à apporter une protection du lac par la collecte le traitement des eaux usées avant d'être rejetées dans le milieu récepteur.

L'étude du réseau d'assainissement urbain prend en considération le nombre d'habitant au niveau des communes et les équipements existants en calculant leurs besoins en eau potable. Cette étude doit reprendre aux conditions techniques, économiques et sociales, c'est à dire :

- Type d'écoulement.
- Tenir compte des installations existantes.
- Prendre en charge le développement des villes.
- Tenir compte de l'étude du sol.

II. Stratégie de l'étude

Pour la collecte et l'évacuation des eaux usées domestiques et pluviales des différentes communes vers le collecteur principal projeté, puis vers une station d'épuration projetée nous proposons ce qui suit :

- La projection d'un collecteur (A) de réception pour l'accumulation des eaux usées venant du parc animalier et prolonger vers les quatre agglomérations progressivement : STEP d'El Gantra El hamra, Douar Essalaa, Boumalek et El Gmuihat, ce collecteur assure le transport des eaux vers une station d'épuration.
- Le prolongement d'un autre collecteur (B), venant de l'agglomération d'El Mellah jusqu'à l'agglomération de Souk Rguibet vers une station d'épuration, ceci assurer l'évacuation des eaux usées.

En période des crues, une partie des eaux est déversée et rejetée directement dans le milieu naturel. Les collecteurs sont dimensionnés par le débit domestique et avec un taux de dilution.

$$Q_{eu} = Q_{eu} + n Q_{eu} \quad (27)$$

Vu de manque des données sur la topographie du la région d'étude, on s'est basé sur des cartes RTM et Google Earthe.

III. Evaluation des débits des eaux usées

Le débit des eaux usées évacué par un réseau d'assainissement représente 80 % des consommations en eau potable. En outre, prévoir l'évolution en situation future en fonction des prévisions de l'urbanisation.

III.1. Perspectives de développement des villes

L'accroissement de la population future et le développement d'autres facteurs de l'activité dans la région d'étude, influent considérablement sur les paramètres d'un réseau d'assainissement.

Les données de base utilisées pour le calcul de l'évolution théorique de la population sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 47. Données de base pour l'estimation de nombre d'habitants futur

Paramètre	El Gantra El Hamra	Melha El Frine	Douar Aslâa Bou Malek El Gmihet	Souk Reguibet
Population (2003)	946	632	536	498
Taux d'accroissement	6,5	2,25	2,5	2,25
Horizons de l'étude à moyen terme	2015	2015	2015	2015
horizons de l'étude à moyen Long terme	2040	2040	2040	2040

L'accroissement de la population de notre région d'étude aux horizons définis ci-dessous est déterminé à partir de la formule suivante :

$$P_N = P_0 (1 + T)^n \quad (28)$$

Avec :

P_N : Population future.

P_0 : Population résident à l'année considérée comme référence.

n : Nombre d'année séparant l'année de référence et l'année prise en compte.

T : Taux d'accroissement %.

L'évolution théorique de la population à l'horizon envisagé est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 48. Évolution de nombre d'habitants de Bassin versant du lac Mellah

Localité /Horizons	Pop totale 98	Pop totale 2003	Pop totale 2015	Pop totale 2040
El Gantra El Hamra	750	946	2014	9724
Melha El Frine	579	632	825	1440
Douar Aslâa Bou Malek El Gmihet	487	536	721	1336
Souk Reguibet	456	498	650	1134
Total	2272	2612	4211	13634

III.2. Evaluation des débits moyens des eaux potables

La consommation d'eau d'une agglomération n'est pas constante, ni uniforme, elle diffère d'une agglomération à une autre, d'une période à une autre et d'une catégorie à une autre.

III.2.1. La dotation

La dotation en eau potable diffère d'un horizon à un autre pour une même localité et ce en raison de:

- L'accroissement de la population.
- Mode de vie.
- Du progrès dus à l'hygiène.

III.2.2. Besoins domestique

Les besoins en eaux pour une agglomération est en fonction du nombre de la population de la zone à étudier et de la quantité d'eau nécessaire par personne et par jour (dotation), selon la relation:

$$C_{moy j} = \frac{P_f d}{1000} \quad \left(\frac{m^3}{j}\right) \quad (29)$$

Avec :

$C_{moy j}$: la consommation moyenne journalière

d : la dotation (le besoin en eau pour un habitant).

Pour une agglomération rurale de 15000 habitants et un élevage intense on peut prendre la dotation $d = 150 \text{ l/j/habitant}$.

Tableau 49 . Valeur de la dotation pour $P > 5000$

Nombre d'habitant	Dotation l/j/habitant
5000 – 20.000	150 – 200
20.000 – 50.000	200 – 300
50.000 – 100.000	300 – 400
> 100.000	> 400

En Algérie, la dotation moyenne varie en général entre 150 et 170 l/j/habitant quelque soit le nombre de population.

III.2.3. Besoins des équipements

On calcule les besoins des équipements de la même manière, à savoir, la connaissance de la nature des équipements et la quantité d'eau nécessaire par chaque équipement. Le tableau suivant présente les besoins de quelques équipements.

Tableau 50. Les besoins des équipements

Type de besoins	équipement	Quantité d'eau
Culture et école	Les écoles primaires et moyennes, sans le système interne	100 l/j/élève
	Crèche, des écoles, en moyenne, les écoles secondaires, les universités (système interne)	120 l/j/élève
	Maison de culture, cinéma, stade	(5 – 10) l/j/m ²
Les équipements administratifs	Siège (communes, ptt, la gendarmerie nationale, police, protection civile, le palais de justice) ou de toute autre gestion	(5 – 10) l/j/m ²
Les équipements De santé	les centres de santé, pharmacies, centres médicaux, multi-services	10 l/j/m ²
	Hôpital	300 – 400 l/j/lit
	Maternité	500 l/j/lit
Les équipements Commercial	Hôtel	125 – 200 l/j/lit
	Douche	150 – 200
	Stations, lavage de voiture	1200 l/j/voiture
	les abattoirs	500 l/j/tête
	Boulangeries	1200 l/j/unité
	café	1500 l/j/unité
	Restaurants	12 l/j repas
mosquée	50 l/j/fid	

La consommation moyenne journalière des agglomérations est calculée sur la base d'une dotation de : 150 l/j/habitant.

$$Q_{moy.j} = Np \times d \quad (30)$$

$$Q_{moy.j} = (n \times h) \times d \quad (31)$$

Avec :

$Q_{moy.j}$: débit moyen journalier domestique [l/j].

Np : population future.

d : dotation journalière [l/j/habitant].

n : nombre de lots et logements.

h : nombre moyen d'habitants par lot ou logement.

Donc, la consommation journalière moyenne est la somme des besoins journalier de l'ensemble des populations, des équipements actuels ainsi que l'agglomération future.

$$C_{moy.j} = C_{moy.j\ population} + C_{moy.j\ équipement} \quad (32)$$

Tableau 51. Tableau récapitule des débits moyens des eaux potables à l'horizon (Année 2040).

Localité	Pop 2040	Q moy j	Q moy j équipement	Qmoy j total (l/j)	Qmoy j total (l/s)
El Gantra El Hamra	9724	1458600	99300	1557900	18,03
Melha	1440	216000	1200	217200	2,51
Douar Aslâa	287	43050	/	43050	0,50
El Gmihet	162	24300	/	24300	0,28
Boumalek	746	111900	42800	154700	1,79
Souk Reguibet	1134	170100	35300	205400	2,38
Parc animalier	/	/	101000	101000	1,17
Total	13493,00	2023950,00	279600,00	2303550,00	26,66

III.3. Évolution des débits des eaux usées

Le débit de calcul est un débit maximum d'eaux usées, le rejet duquel doit être assuré par les ouvrages d'assainissement pour la période de calcul. Pour le calcul des ouvrages on définit les débits moyens et maxima journaliers, horaires et ceux par une seconde.

Les débits de calcul des eaux usées ménagères, en tenant compte une partie des eaux pluviales (on prend un taux de dilution de 2 fois), suivant les formules suivantes :

$$Q_{dim} = Q_{eu} + 2 Q_{ew} \quad (33)$$

- **Débit moyen journalier des eaux usées :**

$$Q_{moy.j} = \frac{d \cdot N_p \cdot K}{1000} \quad (34)$$

Avec :

d : la dotation en eau moyenne par un habitant = 150 l/j/hab.

N_p : la population future.

K : le coefficient des eaux usées : k = 0,8 (80%).

- **Débit de point par temps sec :**

$$Q_P = K_P \times Q_{moy} \quad (35)$$

Avec :

Q_{moy} : débit moyen des eaux usées ;

K_P : coefficient de pointe.

$$K_P = 1,5 + (2,5 / \sqrt{Q_{moy} (l/s)}) \quad (36)$$

Tableau 52 .Tableau récapitulatif des différents débits des eaux usées de la zone d'étude à l'horizon de l'année 2040.

Localité	Q myen (Eau usée) (l/s)	Q moyen (Eau usée) (m ³ /j)	kp	Débit de point (l/s)	Débit de pointe (m ³ /j)	Debit moyen (l/j)	Nombre d'équivalent habitant
El Gantra El Hamra	14,43	1246,32	2,16	31,13	2689,85	1246320	10386
Melha	2,01	173,76	3,26	6,56	566,96	173760	1448
Douar Aslâa	0,94	80,8	4,09	3,82	330,08	80800	673
El Gmihet	0,40	34,44	5,46	2,18	188,03	34440	287
Boumalek	0,23	19,44	6,77	1,52	131,62	19440	162
Souk Reguibet	1,43	123,76	3,59	5,14	444,16	123760	1031
Parc animalier	1,90	164,32	3,31	6,30	544,36	164320	1369
Total	21,33	1842,84		56,66	4895,06	1842840	15357

IV. Détermination des débits des collecteurs principaux (Unitaire)

Le collecteur à été dimensionné sur la base d'un débit des eaux domestiques et pluviales en cas des crues:

$$Q_{eu} = Q_{eu} + Q_{pluviales} \quad (37)$$

Le collecteur à été dimensionné sur la base d'un débit des eaux domestique diluée deux fois

$$Q_{dim} = Q_{eu} + 2 Q_{eu} \quad (38)$$

IV.1. Proposition d'un collecteur principal (A)

- Collecteur (A1)

La proposition de collecteur (A1) projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées provenant du parc animalier vers les rejets de station d'épuration d'El Gantra El Hamra. (Voir Annexe V)

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu} = 6,30 + 12,6 = 18,9 \text{ l/s}.$$

- **Collecteur (A2)**

La proposition de collecteur (A2) projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées provenant du parc animalier et de la ville d'El Gantra El Hamra vers la zone d'El Selaa. (Annexe V).

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu}=18,9 +93,39=112,29 (l/s).$$

- **Collecteur (A3)**

La proposition de collecteur A3 projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées domestiques du parc animalier et des rejets de STEP El Gantra El Hamra et El Selaa vers Boumalek. (Annexe V).

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu}=112,29+11,46=123,75(l/s).$$

- **Collecteur (A4)**

La proposition de collecteur A4 projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées domestiques du parc animalier de la zone d'El Gantra El Hamra et El Selaa et Boumalek vers El Gmihet (Annexe V).

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu}=123,75+4,56=128,31(l/s).$$

- **Collecteur (A5)**

La proposition de collecteur (A5) projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées provenant de collecteur (A4) vers une station d'épuration (lagunage) (Annexe V).

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu}=128,31+ 6,54=134,85(l/s).$$

IV.2. Proposition d'un collecteur principal (B)

- **Collecteur (B1)**

La proposition de collecteur B1 projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées provenant de la commune Melha 1 vers Melha 2 (Annexe V).

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu}=6,58+13,12=19,68(l/s).$$

- **Collecteur (B2)**

La proposition de collecteur B2 projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées provenant de la commune Melha 2 vers la zone de Souk Rguibet (Annexe V).

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu}=19,68 (l/s).$$

- **Collecteur (B3)**

La proposition de collecteur B3 projeté à pour objectif d'évacuer les eaux usées provenant de collecteur (B2) vers une station d'épuration (lagunage) (Annexe V).

Le débit à évacuée est de :

$$Q_{eu}=19,68+15,42=35,1(l/s).$$

V. Conditions d'écoulement et de dimensionnement du réseau

V.1. Dimensionnement de collecteur d'assainissement projeté

Les paramètres qui influent sur les conditions d'écoulement ainsi que le dimensionnement de réseau sont :

1. Diamètre minimal

On a fixé le diamètre minimal de (PVC) à 200 mm dans le cas d'un réseau unitaire.

Formule de bress :

$$D = 1.5 * (Q_p)^{1/2} \quad (39)$$

Avec :

Q_p : Débit de pointe.

2. Calcul de la pente

La pente de chaque canalisation est déterminée à partir de la formule suivante:

$$I = \frac{\Delta H}{L} \quad (40)$$

$$\mathbf{CP\ amont = CTN\ amont - P\ amont} \quad (41)$$

$$\mathbf{CP\ aval = CTN\ aval - P\ aval} \quad (42)$$

$$\mathbf{\Delta H = CP\ amont - CP\ aval} \quad (43)$$

Tel que:

ΔH : La différence entre deux côtes du projet du tronçon considéré (m).

L : La longueur du tronçon considéré (m).

P : Profondeur.

CTN : Côtes terrain naturel.

3. Vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement des eaux usées dans le réseau d'assainissement est limitée pour :

- Eviter les stagnations susceptibles qui provoquent les dépôts et entraînent les sédiments, sinon il y aura un risque d'obstruction des canalisations, et un dégagement des mauvaises odeurs dues à la composition des matières organiques.
- Prévenir l'érosion des conduites par les matières solides charriées par les eaux usées comme le sable et le gravier.
- Aux faibles débits, il faut assurer une vitesse d'écoulement empêchant les dépôts, cette vitesse minimale dite auto curage doit être égale ou supérieure à 0,4 m/s.

$$\mathbf{V_{aut} = 0,6 \cdot V_{ps}} \quad (44)$$

- Aux fort débits, la vitesse maximale (vitesse limite d'érosion), ne pas dépasser 4 m/s.

4. Mode de calcul

Le calcul hydraulique consiste à déterminer les débits, les vitesses et les hauteurs de remplissage d'eau dans les canalisations.

Pour chacun de ces grandeurs deux valeurs sont déterminées, l'une réelle et l'autre à pleine section.

Avant de procéder au calcul hydraulique du réseau on définit les paramètres suivants :

- Périmètre mouillé (P) : c'est la longueur du périmètre de la conduite qui est en contact avec de l'eau (m).
- Section mouillée (S) : c'est la section transversale de la conduite occupée par l'eau (m²).

- Rayon hydraulique (R_h) : c'est le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé. (m).
- Vitesse moyenne (V) : c'est le rapport entre le débit volumique (m^3/s) et la section (m^2).

Pour le dimensionnement de notre réseau on a utilisé la formule de CHEZY qui nous donne la vitesse moyenne :

$$V = c\sqrt{R_h \cdot I} \quad (45)$$

Avec :

C: Coefficient de Manning - Strickler, représenté par l'expression suivante :

$$C = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \quad (46)$$

$$V_{ps} = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (47)$$

n: Coefficient de rugosité qui dépend de la nature de parois de la conduite.

Pour le PVC : $n = 0,009$

Le débit en pleine section est donné donc par la relation :

$$Q_{PS} = V_{PS} \times S \quad (48)$$

La vitesse à pleine section est donnée par la formule de Manning-Strickler avec un rayon hydraulique égal à $D/4$.

Nous avons donc la première condition donnée par:

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{A} \quad (49)$$

- Rapport des débits

$$r_Q = \frac{Q_{ct}}{Q_{ps}} \quad (50)$$

- Rapport des hauteurs

$$r_h = \frac{h}{d} \quad (51)$$

$$r_h = 0,1 \cdot (r_Q^5) + 0,8(r_Q^{0,545}) \quad (52)$$

- Rapport des vitesses

$$r_v = \frac{v}{v_{ps}} \quad (53)$$

$$r_v = -0,5 \cdot (r_h^{11}) + 1,02 \cdot (r_h^{0,365}) \quad (54)$$

Avec :

Q_{ct} : Débit cumulé total [l/s].

V : Vitesse de circulation de l'eau [m/s].

h : Hauteur de remplissage dans la conduite [m].

I : Pente du collecteur [m/m].

Q_{ps} : Débit à pleine section [m³/s].

V_{ps} : Vitesse à pleine section [m/s].

D : Diamètre normalisé de la conduite [mm].

Les résultats du calcul hydraulique sont reportés dans le tableau ci dessous :

Tableau 53. Tableau récapitulatif de dimensionnement d'un collecteur principal d'assainissement

Agglomérations	Coll	Débit Total (l/s)	Longueur	Pente (m/m)	Ecoulement	DN. cal	DN. Commer	Qps l/s	Vps m/s	rQ	rH	rV	H (cm)	Vr m/s	Vaut m/s	
Parc animalier El Gantra El Hamra Douar Essalaa Boumalek El Gmihat	A1	18,9	720	-0,005	gravitaire	157,2	300	64,29	0,91	0,18	0,25	0,680	7,50	0,62	0,55	
	A2	112,29	520	-0,003	gravitaire	407,14	500	194,33	0,99	0,58	0,55	1,030	27,50	1,02	0,59	
	A3	123,75	680	-0,003	gravitaire	422,25	500	194,33	0,99	0,64	0,58	1,050	29,00	1,04	0,59	
	A4	128,31	3350	0,002	Refoulement	461,83	350								1,33	
	A5	134,85	110	-0,003	gravitaire	436,07	500	194,33	0,99	0,69	0,61	1,070	30,50	1,06	0,59	
El Melha Souk Rguibet	B1	19,68	2490	/	Refoulement	228,63	200								0,63	
	B2	19,68	2993	-0,0147	gravitaire	157,29	300	110,23	1,56	0,18	0,25	0,680	7,50	1,06	0,94	
	B3	35,1	290	-0,0103	gravitaire	208,88	300	92,27	1,31	0,38	0,40	0,900	12,00	1,18	0,79	

V.2. Proposition des équipements des deux collecteurs (A et B)

❖ Station de refoulement

- Station de refoulement (A)

D'après les différents types d'écoulement nous avons proposé une station de refoulement (A) pour refouler le collecteur A4 à partir des eaux usées de collecteur A3 vers Boumalek et El Gmihet.

- Station de refoulement (B)

Nous avons proposé une autre station de refoulement (B) afin de refouler le collecteur B2 des eaux usées de Melha (1et 2) directement vers le collecteur (B3) de Souk Rguibet (Annexe V).

❖ Station d'épuration de système de lagunage

La technique de traitement des eaux usées domestiques par lagunage a connu un large développement en Algérie .Dans notre étude nous avons opté pour un lagunage naturel, qui est un système non polluant et non consommateur d'énergie pour épurer nos eaux usées. Le choix de l'emplacement de ces stations d'épuration est fonction des données topographiques et les vents dominants, elle sera placée au point bas de la zone d'assainissement, à l'écart des zones d'habitations actuelles et futures.

- Station d'épuration du système de lagunage (A)

Nous avons proposé une station de lagunage (A) pour épurer les eaux usées de collecteur principale (A) (voir annexe).

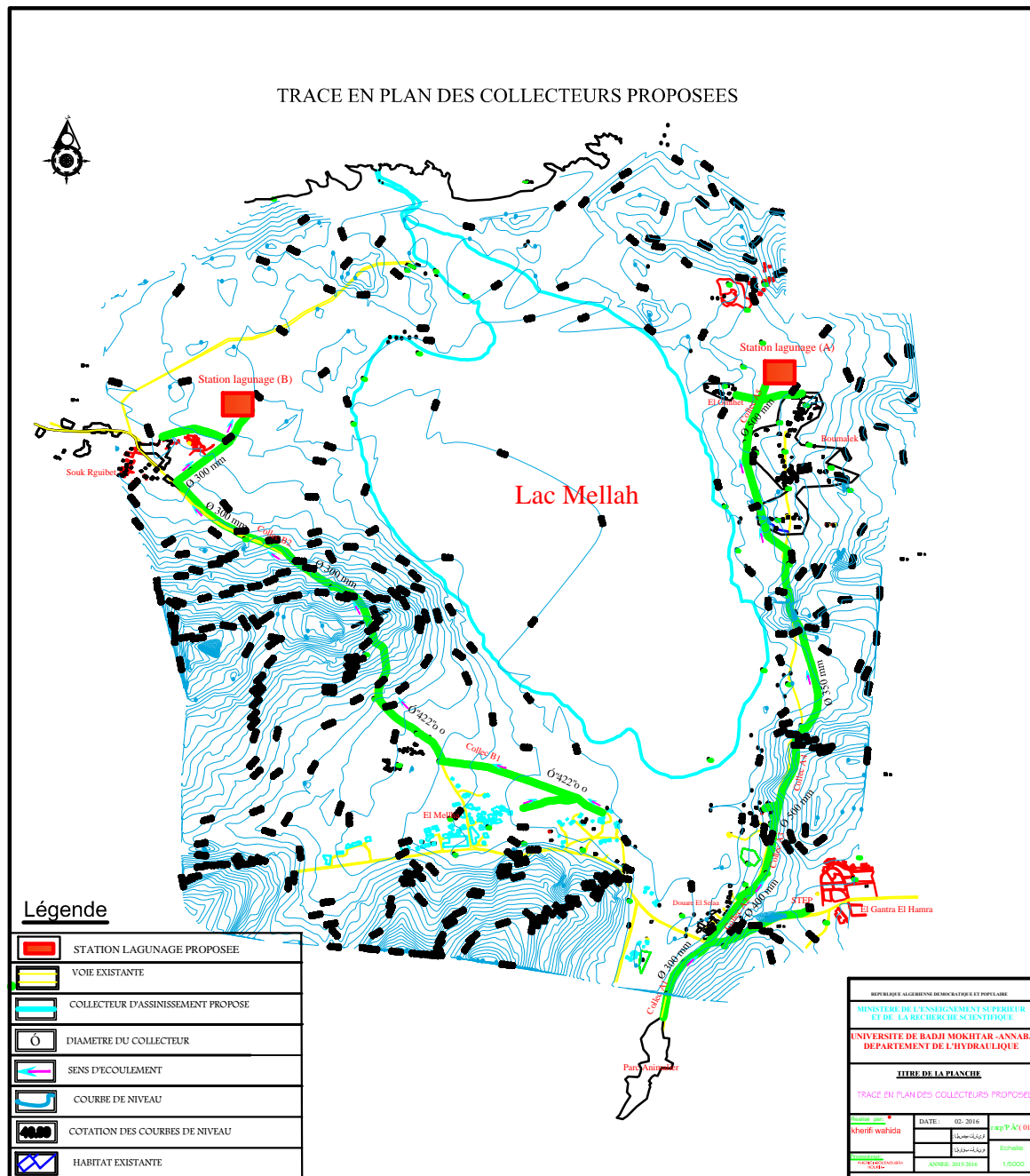
- Station du lagunage (B)

Nous avons proposé une station de lagunage (B) pour épurer les eaux usées de collecteur principale (B) (Voir annexe V).

VI. Conclusion

Alors , pour remédier et cerner le problème de l'augmentation de la dégradation de la qualité des eaux du lac Mellah ; en supposant des propositions pour l'implantation des collecteurs principaux d'assainissement (A et B) avec leurs équipements (Station de refoulement, Station du système lagunage), ces derniers sont collectés par différentes

communes existantes dans le bassin versant du lac Mellah, nous avons procédé au dimensionnement de ces collecteurs dans les agglomération alentour du lac Mellah à l'horizon de l'année 2040 , ces propositions pourraient atténuer les risques de pollution de ce système aquatique.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Il existe en Algérie des sites ornithologiques de très grande qualité, souvent méconnus en Europe: c'est le cas en particulier du parc national d'El-Kala situé au Nord-est du pays, à la frontière avec la Tunisie. Le lac mellah par sa diversité originale est considéré comme l'unique lagune de pays et est classé en 5^{ème} position par rapport aux 14 lagunes Nord-Africaines. L'eau de ce lac a des rôles alimentaires et socio-économiques très importants, il est relié à la mer par un estuaire étroit de 900m de long par lequel les eaux salines de la mer viennent se mélanger aux eaux douces du lac. L'une des caractéristiques de ce lac est l'abondance des activités liées surtout à la pêche. Avec l'augmentation de la population lacustre, le genre de vie des Hommes, il se pose des problèmes environnementaux dont la pollution est l'un des plus importants.

Le bassin versant du lac Mellah est entièrement circonscrit dans la commune d'El Kala. Il longe la côte sur 3 km et la plus grande partie de son territoire est montagneux. Le bassin versant du lac mellah s'étend sur une superficie de 8 250 ha soit 82,5 km². Il est moyennement peuplé et fait face à l'extension alarmante de constructions éparées autour du plan d'eau. Pour le cas du lac Mellah, l'exutoire est constitué par l'extrémité Nord du chenal, celle de ses trois affluents principaux à l'ouest (El Rguibet ; El Mellah ; El Aroug). Des petits cours d'eau qui se jettent également dans le lac et proviennent de la partie Est du bassin représentée par Oued Boumalek et rejet de STEP d'El Gantra El Hamra et par leurs embouchures au plan d'eau du lac. Le régime hydrologique du Mellah est influencé par les mouvements de l'eau marine pénétrant par le chenal et les apports directs d'eau douce lors des pluies et, enfin, les eaux charriées par les Oueds. Le site se caractérise par une diversité de situations hydrologiques, le gradient de salinité lui confère une grande richesse halieutique et limnologique.

La région d'El-Kala est marquée essentiellement par les deux ensembles structurables formés lors des deux époques :

- Tertiaire représentée par les argiles et les grès de Numidie ainsi que les dépôts de sables, conglomérats, et bancs d'argiles rouges ou grises du pontien.
- Quaternaire représentée par des formations dunaires et alluvionnaires.

La texture de cette région est sablonneuse à sablono-limoneuse. L'étude du sol des Aulnaies du Mellah montre l'acidité du milieu ainsi que sa richesse en matière organique.

Le système économique local de l'ensemble de la région d'étude est très peu développé, les atouts dont elle dispose tels que l'agriculture, l'élevage, la pêche et le tourisme sont mobilisés pour des activités informelles. Ces activités sont également en accroissement et influent sur la qualité par les rejets d'eau usées qui rejoignent le lac.

L'étude climatique montre que le climat de la région se caractérise par des précipitations annuelles élevées. Ces précipitations dépendent de l'environnement géographique augmentant de l'Ouest vers l'Est pouvant influencer négativement sur la qualité des eaux du lac Mellah et ses effluents, particulièrement au cours des années excédentaires. On remarque deux périodes pour les quatre stations: saison humide et l'autre sèche.

Dans la période humide les eaux stagnantes jouent un rôle prépondérant dans l'hydrologie de la région, elles forment de nombreux marais temporaires ou permanentes (les véritables lacs, les retenues collinaires, les barrages...etc). En outre également durant cette période des inondations, des crues.....etc. La période sèche c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue, afin de rattraper ce déficit les agricultures puisent l'eau des oueds souvent polluée et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraines.

L'objectif principal de cette étude est la détermination de l'impact des rejets d'eaux usées urbaines et agricoles sur les eaux du lac Mellah et ses affluents par l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'estimation de la pollution organique et microbiologique des eaux usées.

L'évolution spatio-temporelle des densités moyennes des paramètres physico-chimiques et microbiologiques ont montré également une variabilité saisonnière dans la majorité des paramètres. Cette variabilité a été remarquée dans les trois milieux ambiants différents (STEP, Oueds, Lac)

Du point de vue qualitative, les eaux montrent un respect pour certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques aux normes des eaux de l'OMS et les eaux de pisciculture. Par contre pour les paramètres organiques, certaines dépassent largement le seuil avec des valeurs de 2,8 mg/l pour l' NH_4 , et 30 mg/l pour le DBO_5 .

L'évaluation de l'état de la qualité des eaux des affluents du lac Mellah en vue d'un usage agricole a révélé que les eaux sont bonnes à très bonne qualité, à faible danger d'alcalinisation, d'où la possibilité de leur utilisation pour l'irrigation. Le traitement statistique et graphique des données a mis en évidence un rendement modéré à la station d'épuration et faible.

Le traitement engendre la présence des micro-algues et les matières en suspension a un impact direct sur l'environnement du lac. Pour évaluer la pollution organique, les indices de pollution mettent en évidence une contamination organique forte à très forte au droit du rejet de la station qui a tendance à se dissiper dans le lac.

L'analyse en composantes principales a mis en évidence les liens significatifs entre les éléments organiques et les minéraux. L'étude statistique révèle différents types de pollution dans

trois milieux différents avec une pollution organique à l'aval de la STEP (rejet à la sortie), une pollution minérale au niveau du lac Mellah et une pollution agricole au niveau des Oueds.

L'Etablissement des cartes de pollution organique (IPO) pendant les périodes des hautes et des basses eaux montrent aussi qu'au début de la période hivernale, les premières pluies qui tombent dans le bassin versant du lac Mellah (Les Oueds) ruissellent et lessivent un certain nombre d'éléments chimiques (N, P, K....) vers l'exutoire, augmentant ainsi la charge azotée et phosphatée du lac. Par conséquent, l'augmentation de ces paramètres favorise une multiplication anarchique des algues et un accroissement de la charge organique des eaux du lac Mellah.

Un chapitre sur la qualité microbiologique a été développé pour voir l'origine et la pollution fécale dans le lac et ses affluents, la répartition des bactéries et la modalité de leurs comportements sont directement liées aux changements des conditions environnementales (paramètres physico-chimiques et milieux ambiants).

Pour voir la nature de la contamination bactérienne nous avons utilisé le rapport de Bourgeois, lequel il stipule que la contamination humaine domine lors de la saison sèche provenant des eaux usées domestiques. Par contre en période d'hiver, le rapport montre une prédominance animal provenant essentiellement du parc animalier d'El-Kala

Au terme de cette évaluation de degré de pollution dans les eaux du lac, il résulte une évolution croissante de la dégradation de la qualité des eaux directement liée au développement socio-économique. Alors pour remédier et cerner le problème de la croissante de la dégradation de la qualité des eaux du lac Mellah nous essayons des propositions de protection par l'implantation d'un collecteur principal d'assainissement. Nous avons procédé au dimensionnement de ce collecteur dans les agglomérations alentours du lac Mellah à l'horizon de l'année 2040, ces propositions pourraient atténuer les risques de pollution de ce système aquatique.

Références

bibliographiques

Bibliographie

- **A**bdoulaye Demba N'diaye . Mohamed Ould Sid' Ahmed et Khalid Ibno Namr (2011), Evaluation des teneurs en coliformes fécaux par couplage avec des paramètres physicochimiques en ACP : Cas des effluents de la Périmètre STEP du Maraicher de Sebkha, Nouakchott Cameroon. Journal Of Experimental Biology Vol. 07 N°01, (35-40)PP.
- Ahoussi Kouassi Ernest Koffi Yao Blaise, Kouassi Amani Michel, Soro Gbombélé, Soro Nagnin, Biemi Jean. (2012). Caractérisation Physico-chimique et Bactériologique des Ressources en eau des localités situées aux abords de la lagune Ébrié dans la Commune de Marcory. (District d'Abidjan, Côte d'Ivoire): Cas du Village d'Abia Koumassi, European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol. 89 No 3 October, 2012, .359-383PP.
- Alami Samy (2011). Tutoriel d'utilisation de Surfer 9 ; Stagiaire Caribsat – Action 6.
- Agence de l'eau Loire-Bretagne (2006). Guide technique prélèvement d'échantillons en rivière techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques.
- Amina Sabri et Abderrahmane MEDJERAB (2011). Variabilité climatique et stratégies d'adaptation en Algérie. Cas du bassin versant du Cheliff. Communications orale .V Séminaire National sur l'Eau SNE5-UMMTO-2011 Tizi-Ouzou 05, 06 et 07 juin 2011.
- Aminot et Kérouel (2004) Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses Ed. Ifremer, 336 p
- **B**aba ahmed R et Benyacoub S, Louanchi M. (1998). Plan directeur de gestion du Parc National d'El Kala et du complexe des zones humides. Projet GEF (Global Environment Facility) - Banque Mondiale, 220 p. 28 cartes.
- Baba Ahmed et al. (2004). BNEDER. Expertise hydrologie du BV. Rapport ONDPA/MPRH.
- Baba- Ahmed Rafik. (2008). Identification des sources d'effluents domestiques et voies de contamination d'une zone humide : cas du lac Mellah ; mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister .
- Bakalowicz, M., (1979) .Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P et M Curie paris. 260P.
- Barthe C., Perron J., Perron J.M.R. (1998). Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire), ministère de l'Environnement du Québec, 155 p. et annexe.

- Baudisová D. (1997). Evaluation of Escherichia coli as the main indicator of faecal pollution. *Water Science and Technology* 35(11-12): 336-336PP.
- Belaid Nebil, (2010) .Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques these de doctorat de l'Université de Sfax École Nationale d'Ingénieurs de Sfax ,*Génie de l'environnement et de l'aménagement* de l'Université de Limoges 188P.
- Bénichou P., Lebreton O. (1987). «Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques». *La Météorologie*, vol. 19. 23-34.
- Benmarce souhila.(2012). Potentialités aquacoles de la lagune Mellah à travers la connaissance du chaînon de la macrofaune benthique .Mémoire de Magistère en écologie marine, option : Aquaculture. Université Badji Mokhtar – Annaba.80 P.
- Bennani .M, H. amarouch, A. Boukanjer, H. Nader, M. Lalaoui, M. Allali, N. ET Cohen (2012), Influence des facteurs environnementaux sur les charges des bactéries fécales dans le littoral méditerranéen du Maroc, *European Journal of Scientific Research*, P 71,24-35.
- Benyakhlef M. et al. (2011). Caractérisation physicochimiques des eaux usées industrielles du grand Agadir (Maroc), Cas d'une huilerie, *Sciencelib*, Vol. 3, n°110707.
- Benzinia. C. 2003.Mémoire de fin d'études, Tiaret 103P.
- Berne F. Cordonier J. (1991). *Traitement des eaux*. Edition Technique ;306P.
- 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 Mohammed V, faculté des sciences, Rabat, pp. 194.
- Bobée, B., et F. Ashkar (1991). *The gamma family and derived distributions applied in Hydrology*, water resources publications, littleton, colorado, 203 P.
- Bobée B. et S. El Adlouni (2015). *Éléments d'Analyse Fréquentielle*. Institut National de la Recherche Scientifique (INRS –ETE) ; 71P.
- Boller.T,Fink,H,Schaeidt,S.(1994),291,294PP.
- Boumezbeur, A., (2005) - Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar : Réserve intégrale du Lac El Mellah (Wilaya d'El Tarf). Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural Direction Générale des Forêts, Algérie, 16 P.
- Brahmi Djalal ,(2014). Analyse spatio-temporelle des pluies en Algérie ; Master en Hydraulique .Option : Eau Sol Et Aménagement, Universite Abou Bekr Belkaid; 49 P.
- Brohane et al ; (2006), Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850, *J. Geophys. Res.*, 111, D12106 .21P.

- Caloot G et al. (1982) .les interaction sol-racine ; institue nationale de la recherche agronomie. Paris . 305P.
- Carrega P., Garcia E. (2001). «Les fortes précipitations quotidiennes en Toscane et leur cartographie». In Maheras P. (éd. sc.), Publications de l'Association internationale de climatologie, actes du 13e colloque: «Cartographie des pluies, à fine échelle», Nice, 6-9 .Thessalonique: Département de météorologie et de climatologie, université de Thessalonique, vol. 13. 2001. 169-180.
- Chaïbi R. (1999) .Caractéristiques biologiques, pêche et potentialité piscicole de la lagune du Mellah (El Kala). Données préliminaires sur *Aphanius fasciatus*.
- Chapman D., Kimstach V. (1996). Selection of water quality variables. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed., E & FN Spon, London, 59-126PP.
- Chedad Kh. et Assobhei O. (2005). Etude des populations bactériennes de la lagune d'Oualidia (Maroc). Reviews in Biology and Biotechnology, 4, 2, 33-42PP.
- Chedad, K. et Assobhei, (2007). Etude de la survie des bactéries de contamination fécale (coliformes fécaux) dans les eaux de la zone ostréicole de la lagune d'Oualidia (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie. 29, 71 -79PP.
- Chigbu P ;Gordon S(2005) ; Strange T.R.Fecal coliform bacteria disappearance rates in a north-central Gulf of Mexico estuary.Estuarine,Coastal and Shelf Science.65,1-2, 309-318PP ;
- Compaore C, S. El Adlouni et B. Bobée (2013) .Analyse fréquentielle en hydrologie. Logiciel HYFRAN-PLUS. Stage- Coop de l'Université de Moncton.
- Coulet , (2005) .fleuve ,source de vie. Agence de l'eau Rhine Meuse.France.
- Creech T.G., McNab A.L. (2002). «Using NDVI and elevation to improve precipitation mapping». In 13th Conference on Applied Meteorology, Portland, 13-16 may 2002. Washington: American Meteorological Society. 184-187PP.
- Dahel Zanat Amina- Tania, (2009), Analyse de la qualité bactériologique des eaux du littoral Nord-Est algérien à travers un bioindicateur la moule *Perna* . En vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Sciences de la Mer; universite badji-mokhtar, annaba;116P.
- Daniel J. et al. (2009). «Interpolation par régressions locales: application aux précipitations en France». L'espace géographique, Vol. 38. /2. 157-170PP.
- De Belair (1999), Structure, fonctionnement et perspective de gestion de quatre éco complexe lacustres et marécageux (El Kala, Algérie), extrême orientale. Thèse de doctorat, Université USTL Montpellier II 193P + annexes.

- Debieche Taha-Hocine, 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien ; Thèse de doctorat en Hydrogéologie et Environnement. université de Franche-Comté, 235 P.
- De Casabianca-Chassany M.L., Samson- Kechacha F.L., Semroud R. (1986). Relation entre les paramètres hydrologiques dans une lagune méditerranéenne : le lac Mellah (Algérie). Rapp. Com. Int. Mer. Medit. : 30 (2) : 49-50PP.
- Descroix L., Nouvelot J. F., Estrada J. et Lebel T. (2001). « Complémentarités et convergences des méthodes de régionalisation des précipitations: application à une région endoréique du Nord-Mexique ». Revue des sciences de l'eau 14/3. 281-305P.
- DGF (2004). Direction Générale des Forêts ; ATLAS des zones humides Algériennes d'importance internationale. 107P.
- DGF (2005). Direction Générale des Forêts ; les parcs nationaux d'Algérie ; première réunion du comité de pilotage du « Réseau des parcs – INTERREG III C Sud » Naples-Italie, du 29 janvier au 1er février 2005. 6P.
- Drever, J.I., 1997. The geochemistry of natural water 3rd ED. Upper Saddle River, NJ; Prentice hall Inc, 436P.
- Dupray. E et Derrien. A. (1995). Influence de passage de Salmonella spp et de Escherichia coli dans les eaux usées sur leur survie de l'eau de mer. Wat. Res. 29 (4) 1005 à 1011PP.
- El addouli j. chahlaoui a, berrahou a, chafi , Ennabili a, (2011). Approche de la qualité biologique de l'oued Ouislane, au voisinage des effluents bruts de la région de Meknes, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre, pp. 21-33PP.
- El alaoui El fels Abd El Hafid Hajhouji Youssef ; (2010). L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc), mémoire de fin d'études ; 47P.
- ENAC (2003). Base de données d'exercices en Hydrologie Cours : Hydrologie Générale. Thématique : Bassin versant. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- Federica Oraison, Yves Souchon, Kris Van Looy (2011). Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref, Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune. Partenariat 2010. Restauration des milieux aquatiques.
- FIGARELLA J. ; LEYRAL G. et TERRET M. (2007), Paris. Microbiologie générale et appliquée. P : 103 -104-105PP.
- Fouchier C., Lavabre J., Gregoris Y., Sol B., Desouches C., Faure-Soulet A. 2004. « Prédétermination régionale des pluies d'occurrence fréquente à exceptionnelle. Application

au pourtour méditerranéen français». *Annales de l'Association internationale de climatologie*, vol. 1.33-44PP.

- **G**audreau et Mercier, (1998). La contamination de l'eau des puits privés par les nitrates en milieu rural. Montréal, Canada : Régie régionale de la santé et des services sociaux, Direction de la santé publique, Rapport 18, 38 PP.
- Gaujous D. (2001) .La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 220P.
- Geldreich E.E., Kenner B.A. and Kabler P.M. (1964). The occurrence of coliforms, fecal coliforms and streptococci on vegetation and insects. *Applied Microbiology*. 12(1): 63-69P.
- George P. (1984). *Dictionnaire de la géographie*. P.U.F. 485 P.
- Gouaidia L., Guefaifia O., Boudoukha A. and Hemila ML. ;(2013). Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : Exemple de la plaine de Meskiana, nord-est algérien. *Revue Geo-Eco-Trop.*, , 37, 1 : 81-92P.
- Grimes S. (1994) .Contribution à la connaissance des populations de *Cardium glaucum* (Bryguière, 1789) ; *Loripes lacteus* (Linnaeus, 1758) ;*Brachydontes marioni* (Locard, 1889) du lac Mellah,(Algérie), écologie et dynamique. Thèse de magister, ISMAL, 24P.
- Groot, Stuij, Finlayson, and Davidson (2007) ; Évaluation des zones humides Orientations sur l'estimation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides Techniques Ramsar rapport technique Ramsar n° 3 série des publications techniques de la CBD n° 27.
- Guasmi I; (2009). Pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l'Oued Medjerda (Nord-Est Algérien).Thèse de doctorat, Université de Annaba, Algérie; 163-185PP.
- Guelorget O., Ximenes M.C., Frisoni G.F. & Perthuisot J.P.,(1982). Diagnose écologique du lac Mellah (Algérie), pour l'évaluation de ses potentialités halieutiques et aquacoles. Rapport de la mission FAO, (ONUD/MEDRAP), Octobre 1982 : 130P.
- Guelorget O., Frisoni G.F., Ximenes M.C. & Perthuisot J.P., (1989). Expression biologique du confinement dans une lagune méditerranéenne : le lac Mellah (Algérie). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 22 (2) : 87-99PP.
- **H**ABES Sameh,(2013).Caractéristiques chimiques d'un lac appartenant aux écosystèmes humides du nord de l'Algérie; cas : lac Fetzara .nord - est Algérien. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba. Département de géologie.218P.

- Hamid Bou Saab. (2007). Nadine Nassif, Antione G. El Samrani, Rosette Daoud, Samir Medawar, Naim Ouaini, suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface, Laboratoire de Microbiologie, BP 446, Jounief, Liban ; Revue des Sciences de l'Eau 20(4) 341-352PP.
- Hamoudi, S, (2007). Problématique environnementale en agroalimentaire. Notes de cours. Université Laval. Département des sols et de génie agroalimentaire. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Maroc.
- Hani BOURBIA, (2011). Faisabilité de l'implantation de bassins d'alimentation d'un aquifère. cas du massif dunaire de bouteldja». (Extrême Nord-Est Algérien), diplôme de Magister ; Université Badji Mokhtar-Annaba.
- HÉBERT S. et S. LÉGARÉ (2000). Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec, envirodoq N° ENV-2001-0141, rapport N° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Helmer R., Hespanhol I. and Saliba L.J. (1991). Public health criteria for the aquatic environment: recent WHO guidelines and their application. Water Science and Technology 24(2): 35-42P .
- Hennani Mouna .(2014). Qualité bactériologique des eaux de la lagune Oualidia « cartographie et modélisation de la pollution fécale –Maroc- », Thèse de doctorat, Faculté des sciences , université chouaib Doukkali, Maroc. 187P.
- Hunter C ,Perkins J,TranterJ,GunnJ,(1999). Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire Peak District in the UK, Water Research.33, (3577-3586) P.
- Huguette Brésellec, Chantal Baudry (2006), Microbiologie, immunologie ;2eme Edition . Ruel-Malmaison :Groupe Liaisons (15-20)PP.
- Hypatia Nassopoulos, (2012). Les impacts du changement climatique sur les ressources en eaux en Méditerranée. Thèse de doctorat à l'université Paris-Est.
- IBGE (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général, l'eau à Bruxelles.
- Jean Rodier Bernard LEGUBE. (2009). Nicole MERLET et col. L'Analyse de l'eau 9e édition Entièrement mise à jour ; Dunod, Paris. 1600P .
- Jean-Luc bertrand-krajewski, (2006) .Les polluants des rejets urbains de temps de pluie :natures, concentrations, flux, caractéristiques physico-chimiques, solides en suspension, et répartition temporelle durant les événements pluvieux ; Cours d'Hydrologie Urbaine , partie N°7. URGC – Hydrologie Urbaine .54P.
- Journal Officiel de la République Algérienne (JORA) N°46, Juillet 1993.

- Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). N°26, (2006).
- Joleaud L (1936). Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull. serv. Carte géolog. Algérie, Imp. Typo – Litho et Cie, Alger, 2ème série, stat, n°12, 185 P., 4 pl, 25 fig et tab.
- **K**adri S.E.H. (1985). Qualité bactériologique des eaux du lac Mellah. Mémoire DES.87P.
- 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", universite d'Oran.20P
- **L**aama Chahinez .(2011). Contribution A L'étude Des Paramètres Physicochimiques Et Bactériologiques Des Eaux Du Port d'Alger, Mémoire De Fin D'études En Vue De L'obtention Du Diplôme D'études Universitaires Appliquées (d.e.u.a.) En Sciences De La Mer 110P.
- Labar Sofian (2003).Contribution a l'identification des aires inondables et qualite physico-chimiques des eaux stagnantes temporaires dans la vallee de la mafragh « Extreme Nord Est Algerien » mémoire de magister. Univ Annaba .110p .
- Laborde J.-P., Traboulsi M. (2002). «Cartographie automatique des précipitations: application aux précipitations moyennes annuelles du Moyen-Orient». In Kergomard C. (éd. sc.), Publications de l'Association internationale de climatologie, actes du 14e colloque: «Cartographie, outils et méthodes», Séville, 12-15 septembre 2001. Aix-en-Provence: AIC, vol. 14. 296-303PP.
- Lagarde J. (1995). Initiation à l'Analyse des Données. Ed. Dunod : Paris, 157. / Maliki AM. 2000. Etude hydrologique hydro chimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax (Tunisie). Thèse de Doctorat Fac. Sci. Sfax, 301P.
- Leclerc.H, Hasley.C (1993); microbiologie des eaux d'alimentation technique et documentation. Lavoisier Paris .52-86PP.
- Leclerc H., Devriese L.A. and Mossel D.A.A. (1996). Taxonomical changes in intestinal (faecal) enterococci and streptococci: consequences on their use as indicators of faecal contamination in drinking water. Journal of Applied Bacteriology 81: 459-466P.
- Leclerc H. (2002). Relationships between water bacteria and pathogens in drinking water. Presented at the NSF International/World Health Organization Symposium on HPC bacteria in drinking water, April 22-24, Geneva, Switzerland.
- Leclercq Louis (2001); Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau ; Station scientifique des Hautes-Fagnes.

- Le Pimpec P., Linéard A., Bonnard R., Lafont M., Cazin B., Bossard Ph., Hubert B., Bray M. (2002). Guide pratique de l'agent préleveur : chargé de la police des milieux aquatiques .Ed Maurice Merlin :159P.
- **M**ADR PNEK (2011). Plan de Gestion des Sites Ramsar du Parc National d'El-Kala T.A.D.
- Makhoukh .(2011). Contribution a l'Etude Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'oued Moulouya (Maroc Oriental) , Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Decembre, 149-169PP.
- MAP.(2001) .Ministère de l'Agriculture et de la Pêche , FNDAE n° 25 ,Document technique Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration – Origines et solutions. Gis-Biostep : coordination : J.-P. Canler. 79P .
- MAP.(2005) .Ministère de l'Agriculture et de la Pêche , FNDAE n° 33 ,Document technique Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration – Origines et solutions. Gis-Biostep : coordination : J.-P. Canler. 124P .
- Marc Bernard. (2008). Pierre Mange, ingénieur assainissement ; d'épuration des eaux usées en valais année,61P.
- Marre A. (1987). Etude géomorphologique du Tell Oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne. Université Aix-Marseille II U.E.R. de géographie, 559P.
- Marre A. (1987). Le Tell Oriental Algérien. Office des Publications Universitaires. Alger. Volumes I et II. 624P.
- Maoui Ammar, (2007). Evolution et origine du chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaâfrane : région de la steppe Sud Algéroise .Etude de la variation spatiale de la salinité et ses risques sur les sols et la végétation. These de doctorat en Hydrogéologie. Université d'Annaba, Algerie,279P.
- Mayo. (1995). Modelling coliform mortality in wast stabilization ponds .j. Approximately. Engineer, 121, 2, 140-152PP.
- Meddi M. (2003), étude de la persistance de la sécheresse au niveau de sept plaines algériennes par utilisation des chaines de Markov. Centre universitaire de Khemis Miliana.
- Mehanned S., Zaid A. CHahlaoui A. (2014). Etude Bactériologique Comparative Du Lac Réservoir Du Barrage Sidi Chahed Et Ses Effluents :Mekkes Et mellah , Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin, pp. 143-153PP.
- Mehanned.S , (2014) ;Estimation de la charge de pollution bactériologique des eaux deux affluents (Mikkés et Mellah) et son impact sur la qualité microbiologique des eaux du barrage Sidi Chahed (Maroc) ,IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) ,ISSN (e): 2250-3021, ISSN (p): 2278-8719PP .

- Meinck F, Stooff H., Kohl Schutter 1977. Les eaux résiduaires industrielles.-2 édition traduction par André GASSER institut de recherches hydrologiques Nancy.- Préface de René Calas- MASSON Paris New York Barcelone Milan.
- Mekaoussi Nadia, (2014) .Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de hammam Debagh (Est Algerien) .Diplôme de magister.Département d'hydraulique. Université de Batna 170P.
- Mermoud A. (2006). Maîtrise de la salinité des sols. Cours de physique du sol- Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne –Suisse.
- Messerer Y. (1999). Etude morphométrique et hydrologique du complexe lacustre d'El-Kala (Cas du lac Mellah et du lac Oubéira). Thèse de magister en Ecologie et Environnement, Univ. Annaba : 123P.
- Metcalf et Eddy (2003). Wastewater Engineering: Treatment . 4th ed, New York, NY: McGraw-Hill. 823P.
- Meybeck m., Friedrich g., Thomas r., Chapman D. (1996). Rivers, Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London,59-126P.
- MITCHELL, T. D., CARTER, P. D., JONES, M. et NEW, M. (2003). "A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: The observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)". Journal of Climate (in press).
- Mohamed Lamine Raach, (2007) .Étude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du lac tonga au nord-est algérien ; mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en géographie ; université du Québec à Montréal.
- N'diaye, M. O S. A. O Kankou., A. D. Sarr et B. Lo1, (2009).Caractérisation physico - chimique des eaux usées brutes de la ville de nouakchott (mauritanie). Rev. Ivoir. Sci. Technol., 14, 97 – 109PP.
- Ninyerola M., Pons X. et Roure J.M. (2000). «A methodological approach of climatological modeling of air temperature and precipitation through GIS techniques». International Journal of Climatology, vol. 20, no 14. 1823-1841P.
- OMS (2000). Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2. critères d'hygiène et documentation à l'appui, Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 1050P.
- ONA (2004) .Agence Régionale de Constantine. Prescription techniques de station d'épuration d'El Gantra .

- Ounissi M., Haridi A. & Rétima A,(2002). Variabilité du zooplancton de la lagune Mellah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. J. Rech. Océanographique, 27 (1): 1-13P.
- **P**anini et Amandier. (2005). Climat pluviométrique et thermique en région provence-Alpes cote d'Azur. Analyses des données météorologiques 1961-1996et cartographie par un système informatique géographique .Foret Médit .XXVI.4.299-308PP.
- Paquet E., Gailhard J. et Garçon R. (2006). «Évolution de la méthode du gradex : approche par type de temps et modélisation hydrologique.» La Houille Blanche, 5. 80–90PP.
- Patricia K, (2001). Fowler, Demographic, landscape, and meteorological factors controlling the microbial pollution of coastal waters ; Hydrobiologia 460: 185–193PP.
- PDAU De la commune d'el kala "urbain" 2004.
- Piper A.M, (1944); A graphique procedure in the geochemical interpretation of water analysis.Trans.Amer.Geophys.Union, 25,941-923PP.
- PRCP (2015). Première réunion du Comité de pilotage du «Réseau des parcs –interreg iiic sud » Naples-Italie, du 29 janvier au 1er février .
- **R**affestin M. (2005). «Pratiquer une analyse en composantes principales».
- Rejsek F., (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine (CRDP). Bordeaux. 358 P.
- Retima (1999). Incidences des échanges hydrologiques, chimiques, biochimiques et phytoplanctoniques sur la fertilité de la lagune Mellah et du littoral voisin (El-Kala, Algérie), selon le régime de la marée dix ans après l'aménagement du chenal de communication. Thèse de magister en Ecologie et environnement, Univ. Annaba : 87P.
- Richards,L. A., (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric.Handbook 60, USDA, Washington D.C. 160 P.
- Rodier J. (1996), L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8ème Edition, Paris. 1383 P.
- Roe G.H. (2005). Orographic precipitation. Annual Review of earth and planetary sciences, vol. 33. 645-671 P.
- Rouabhia Abdelkader ,(2006). Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocenes de la plaine d'el ma el abioud nord-est Algérien .Thèse de doctorat en Hydrogéologie. Université d'Annaba ,Algerie,152P.
- Roy J. M.. «Tutorial ArcGis». Université de Sherbrooke
- Rozen et Belkin , (2001) ;Survival of enteric bacteria in seawater. Federation of european microbiological societies microbiology Reviews, 25 (513-529)PP .

- **S**amraoui B. et Belair G. (1998). Les zones humides de la Numidie orientale. Bilan des connaissances et perspectives de gestion. Synthèse (numéro spécial), 4: 1–90PP.
- Sehili N; (2009). Evolution phytoplantoniques au niveau du lac Oubéira et la lagune El-Mellah. Thèse de Magister, Université de Annaba, Algérie; 19-27PP.
- Semroud R. (1983). Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéen : le lac Mellah (El Kala, Algérie). Thèse 3^{ème} cycle, USTHB, Alger, 137 P.
- Servais Pierre. Garcia Armisen Tamara, Lizin Patricia, Mercier Philippe Et Anzil Adriana (2003). Analyses Des Risques Chimiques Et Microbiens, Sources Et Dynamique Des Coliformes Fecaux Dans L'estuaire De La Seine ; Ecologie Des Systemes Aquatiques Universite Libre De Bruxelles, Mars.
- Servais P ;Garcia ;Armisen T ;Mercier P ;Lizin P ; Anzil A, (2003). Etude et modélisation de la qualité microbiologique des eaux du bassin de la Seine. Rapport PIREN Seine. 21P.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. et Miller, H. L., Eds. (2007). Climate Change .The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge et New York, 996 P.
- Strous M., Kuenen J. G., and Jetten M.S.M. (1999) Key physiology of anaerobic ammonium oxidation. *Applied and Environmental Microbiology*. **65**[7], 3248-3250P.
- **T**armoul Fateh .(2007). Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel "cas de la lagune de Beni-Messous" Mémoire de Fin d'Etudes.45P.
- Tardat-Henry M, Beaudry j. (1984), Chimie des eaux, Ed. Le Griffon d'argile, INC, Québec.
- Thomas J.P, Bougazelli N. et Attender M, (1973). Projet de parc national marin, lacustre et terrestre d'El-Kala, Annaba, Algérie : 64P.
- TOOTH, J., 1987. Effet des facteurs d'environnement sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas. Bull. Soc. et Nat. Vaucluse..13-49PP.
- **V**ayana dominique, (2009). Etudes de données physico-chimiques des eaux du secteur Nord du Piton des Neiges Ile de La Réunion ; master géosphère, Office de l'eau – Réunion.
- **W**ilcox L; 1948.The quality of water for agricultural use.DS Dept AgricultureTech Bul 962, Washington DC.
- **Z**aidi ahcen et al (1983) .Inventaire des points d'eau et classement hydrogéologique des terrains dans la région est du lac Mellah.Univ annaba rapport de DES.111P ;

ANNEXES

Annexe I

Les précipitations annuelles dans les quatre stations étudiées

Année	Salin	Ben M'hidi	El-Kala	Ain El-Assel
1975			1114,5	770,9
1976			974,9	850,8
1977			842,7	820,3
1978			870,6	908,3
1979	609,2	542,17	702,6	655,4
1980	633	614,97	942,2	813,2
1981	760	761,77	728,6	793,1
1982	678,1	523,52	682,9	787,5
1983	937,8	897,76	838,13	854,8
1984	927	908,67		963,2
1985	543	498,24	560,84	701,3
1986	909,3	905,35		1173,7
1987	491	411,43		614,1
1988	557	556,56	605,91	614,52
1989	535	540,55	714,9	560,3
1990	689,3	689,3	390,93	952,4
1991	684,6	684,6	756,34	893,9
1992	644,1	720,5	826,94	861,5
1993	519,7	550,9	707,16	577
1994	548,3	594,7	766,64	668,6
1995	807	656,7	990,06	
1996	422,8	322,2	794,1	
1997	941	809,6	794,1	1012,1
1998	841	751,8	807,5	881,9
1999	559,6	435,2	892	607,1
2000	550,7	514	574	860,5
2001	460,3	408,1	667,8	489,8
2002	842,1	783	552,3	1225
2003	708	531,8	1096,8	951,3
2004	987,7	875,46	770,93	1158,6
2005	802,1		442,3	613,7
2006	585,3		911,2	799,2
2007	733		650,8	646,6
2008	425,7		1063,9	1111,3
2009	945,3		897,4	839,4

Annexe II

Analyse les paramètres microbiologiques

1. Recherche et dénombrement des coliformes, coliformes thermo tolérants.

• *Principe*

Les coliformes fécaux sont des bactéries utilisées comme indicateurs de la pollution microbiologique d'une eau, ces bactéries proviennent des matières fécales produites par les humains et les animaux à sang chaud. Selon l'organisation internationale des standardistes ISO le terme coliforme correspond à des organismes en bâtonnets à Gram négative, non sporulés, oxydase, aérobies, ou anaérobies capable de ce croître en présence des sels biliaires et capable de fermenter le lactose avec une production d'acides et de gaz en 48h à une température de 25C° à 37C°.

Elle se fait en deux étapes consécutives :

- ❖ Le teste de présomption : réservé à la recherche des coliformes.
- ❖ Le teste de confirmation : réservé à la recherche des coliformes thermo tolérants.

A. Teste de présomption

• *Mode opératoire*

Après avoir bien homogénéisé l'échantillon afin d'obtenir une répartition homogène des microorganismes, nous avons réalisé trois dilutions décimales successives (10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}), avec trois répétitions par dilutions. Les dilutions sont toujours effectuées dans des conditions aseptiques (Rejsek, 2002).

- ✓ Nous prenons les tubes de BCPL (Bouillon lactose au pourpre de bromocrésol, simple concentration) munis d'une cloche de Durham.
- ✓ Prélever 1ml d'eau à analyser à l'aide d'une pipette pasteur stérile et la porte dans le premier tube de la série SI contenant 9ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- ✓ Nous prélevons 1ml de la dilution 1 /10 précédente et l'ajoute à un tube contenant 9 ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-2} .
- ✓ Transférer 1ml de la dilution 10^{-2} dans un tube contenant 9ml de BCPL, pour obtenir la dilution 10^{-3} .
- ✓ Refera la technique pour deux autres tubes afin d'obtenir 5 tubes de BCPL, et refaire pour deux autres séries SI, SII (Délarras, 2008).

• *Lecture*

Seront considérés comme positif, les tubes présentant à la fois

- ✓ un dégagement de gaz (supérieur au 1 /10 de la hauteur de la cloche).
- ✓ un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (la fermentation du lactose se manifeste par la production d'acide entraînant le virage du bromocrésol pourpre au jaune).
- ✓ Noter le nombre de tube positif dans chaque séries et déterminer le nombre caractéristique avoir le tableau de Mac Gradypour déterminer le nombre de coliformes présent dans 100ml d'échantillon (Délarras, 2008).

B. Test de confirmation

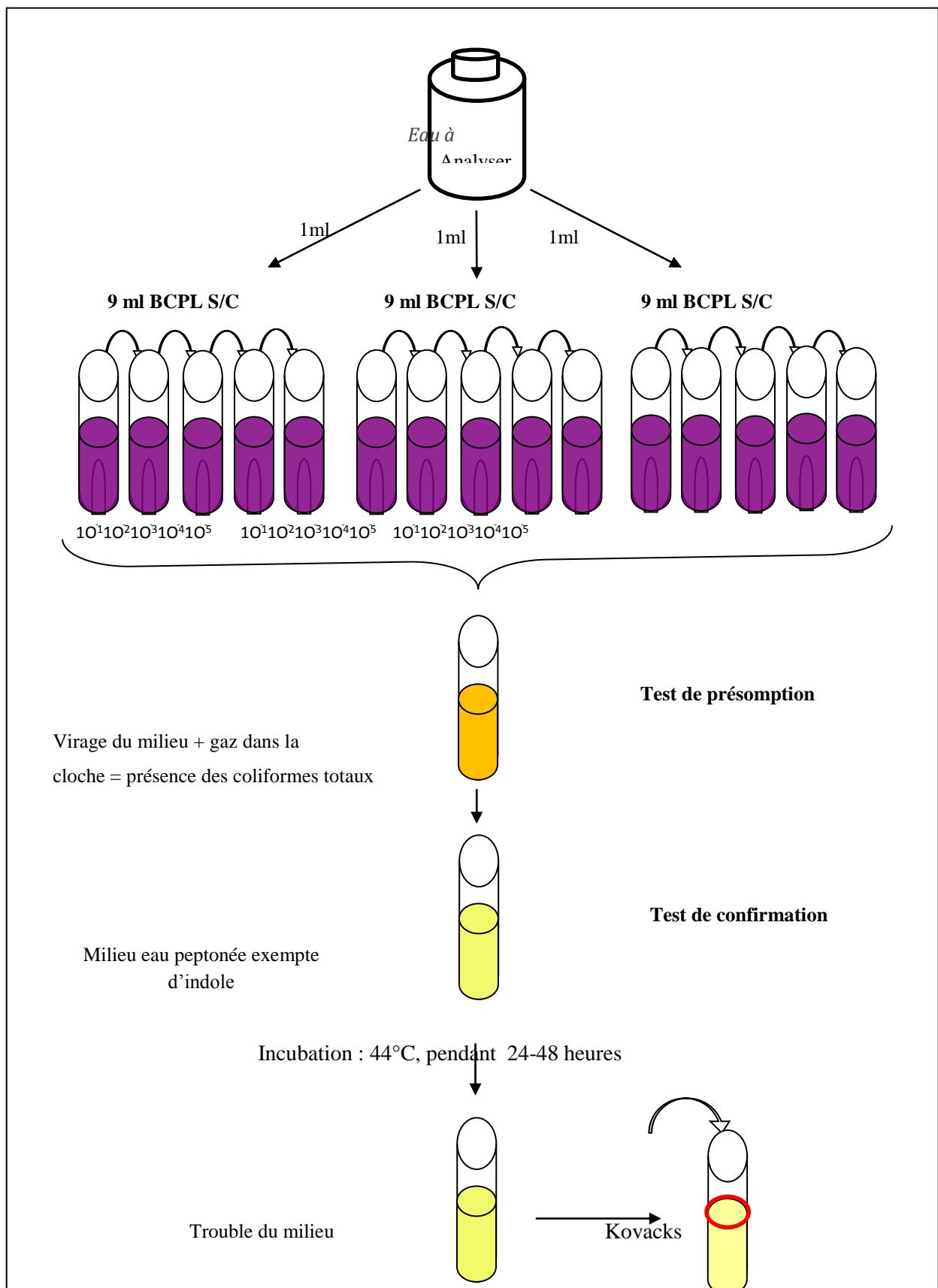
Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes thermo tolérants. Les coliformes thermotolérant ont les mêmes propriétés de fermentation que les coliformes mais à 44C°.

E. coli est un coliforme thermotolérant qui entre autre :

- ✓ produit de l'indole à partir de tryptophane présent dans le milieu à 44C°,
- ✓ donne un résultat positif à l'essai au rouge de méthyle,
- ✓ Ne produit pas de l'acétyle méthylecarbinol,
- ✓ N'utilise pas le citrate comme source unique de carbone.

• Mode opératoire

Les tubes du BCPL trouvé positifs lors du dénombrement des coliformes feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'un os bouclé dans un tube contenant le milieu Eau peptonée exemple d'indole. Bien mélanger le milieu et l'inoculum, l'incubation se fait à 44C° pendant 24heures.



Recherche et dénombrement des coliformes, coliformes thermo tolérants.

• **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant un anneau rouge en surface, témoins de la production d'indole par *E. coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacks (Rejsek, 2002).

Remarque : *Étant donné que les Coliformes fécaux font partie des Coliformes totaux, il est pratiquement impossible de trouver plus de Coliformes fécaux que de Coliformes totaux* (Labres, 2006).

2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des cocci Gram positif, formant quand ils sont cultivés en milieu liquide diplocoques, des chaînettes. Ils sont catalases négatives et possédant un antigène de groupe (D). Cet antigène correspond au polyside C pariétal, caractéristique des streptocoques et support de la spécificité du groupe. La recherche et le dénombrement des streptocoques du groupe (D) dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait aussi en deux étapes consécutives :

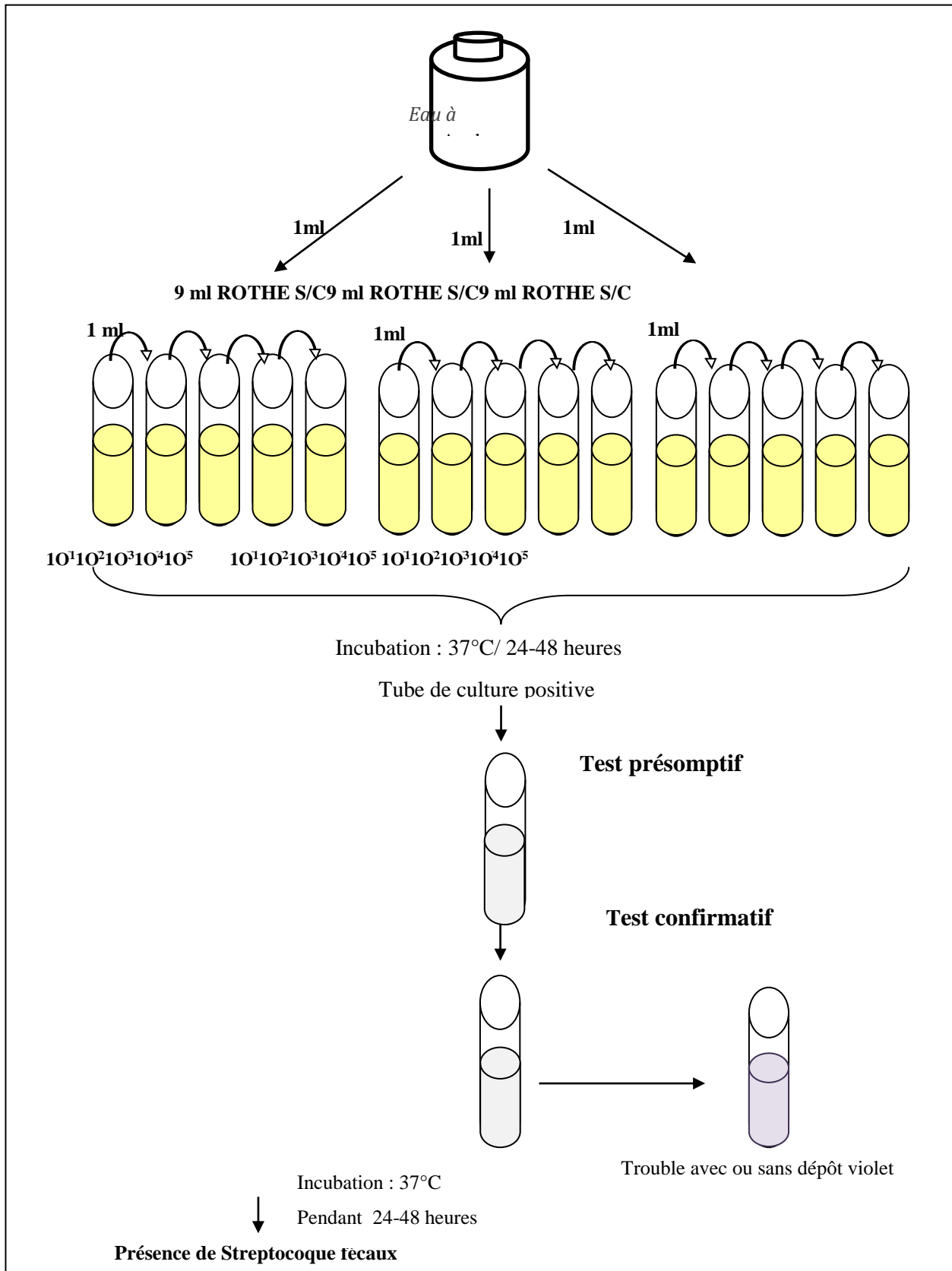
- ❖ l'étape présomptive : réservée à la recherche des streptocoques.
- ❖ L'étape confirmative : réservée à la confirmation réelle des streptocoques du groupe (D).

A. L'étape présomptive

Les dilutions et l'inoculation du milieu de culture s'effectuent comme le cas précédent pour le milieu BCPL. Le dénombrement est réalisé en milieu liquide sur bouillon glucosé à l'azoture (Rothe) à simple concentration. L'incubation des tubes ensemencés s'effectue dans l'étuve à 37°C pendant 24 heures. Si la réaction est négative les tubes sont laissés séjourner pendant 48 heures.

• **Lecture**

Les tubes considérés comme positifs sont les tubes pour lesquels nous observons un trouble due à une croissance bactérienne .



Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

B. L'étape confirmative

A partir de chaque tube positif du milieu Rothe, on a ensemencé à l'aide d'une anse calibrée un milieu Eva-Litsky qu'on a incubé à 37°C pendant 24 heures et/ou 48 heures.

- ***Lecture***

Dans le milieu Litsky, la présence de streptocoques D se caractérise par l'apparition d'un trouble du au développement bactérien avec ou sans dépôt violet.

Annexe III

STEP El Gantra El Hamra

Le procédé fonctionne sur la base de boues activées avec aération prolongée.

1) Filière du traitement :

- a) Dégrilleur fin mécanisé.
- b) Désableur désuilleur.
- c) Bassin d'aération prolongé.
- d) Décanteur lamellaire.
- e) Recirculation de boues.
- f) Extraction de boues en excès.
- g) Epaissement de boues.
- h) Déshydratation par séchage.

2) Dimensionnement des ouvrages :

-Déversoir d'orage ayant une charge Max 500m³/H.

-Dégrilleur :*Grille grossière :Longueur L : 1m.

Ecartement : 50 mm.

* Grille mécanisée : Longueur L : 1m.

Ecartement : 20 mm.

Profondeur : 1m.

-Désableurdésuilleur :

Diamètre : 2m.

Profondeur : 3m.

-Bassin d'aération :

Volume : 425m³.

Diamètre : 11m.

Hauteur : 4m.

-Décanteur lamellaire :

volume : 75m³.

Surface : 110m².

Longueur :2,5m.

-Epaississeur à boues :

Diamètre : 03m.

Hauteur : 03m.

Pente du fond : 1/7.

3) caractéristique de l'effluent :

-Type de réseau : unitaire.

-Alimentation en eaux usées domestiques.

-Capacité de la station: 3000eq/hab.

-Débit journaliers : 200 m³/j.

-Débit de pointe horaire : 1300Kg/j.

-Matière en suspension : 2500Kg.

4) dimension du canal d'entrée :

Longueur : 170cm.

Largeur : 40cm.

Profondeur : 50cm.

5) Garanties essentielles du traitement :

PH : 5,5 – 8,5.

MES : 30mg/l.

DBO5 : 30mg/l.

DCO : 90mg/l.

Le procédé suivi est à boues activées de faible charge, elle a été bâtit en 1982 où la gestion était assurée par l'APC pendant presque 7 ans puis elle a été mise en arrêt jusqu'au 21 mai 2006. C'était l'office national de l'assainissement (ONA) qui a pris la gestion de cette station en charge, en 2008 la fusion des deux sociétés qui sont l'office national de l'assainissement (ONA) et l'algérienne des eaux (ADE) à donner naissance à la Société de l'Eau et de l'Assainissement El TARF -ANNABA (SEATA) qui assure maintenant la gestion de la station .



Station d'épuration (STEP) d'El Gantra El Hamra.



Déversoir d'orage.



Bassin déssableur – déshuileur



Décanteur lamellaire



Silo à boues



Lit de séchage

Annexe IV

La réglementation des normes des eaux

Les normes d'OMS des eaux de surface

Caractéristiques	Normes	Unités
pH	6,5-8,5	
Température	<30	°C
Turbidité	5NTU	NTU
Conductivité	1000 (µS/cm)	(µS/cm)
Oxygène dissous	5 mg/l	mg/l
DBO ₅	<30	mg/l
MES	<20 mg/l	mg/l
NH ⁺ ₄	<0,5 mg/l	mg/l
NO ₂	1 mg/l	mg/l

Qualité bactériologique requise pour les eaux de baignade (Directive du Conseil des Communautés Européennes du 8/12/1975 (n° 76/160/EEC))

Paramètres	Norme guide	Norme impérative	Fréquence d'échantillonnage
Coliformes totaux	500 / 100 ml	10 000 / 100ml	bimensuelle pendant la période baignable
Coliformes fécaux	100 / 100 ml	2000 / 100 ml	bimensuelle pendant la période baignable
Streptocoques fécaux	100 / 100 ml	/	/

Les normes de qualité des eaux piscicoles en Algérie

Art.2. Au sens du présent décret, il est entendu par :

*Produit de la pêche : Tous les animaux ou partie d'animaux marins ou d'eau douce ou saumâtre comprise leurs oeufs, ovules et laitances, à l'exclusion des animaux aquatiques protégés.

Les poissons mollusques et les crustacés, de taille commerciale capturée dans le milieu naturel et conservés vivants en vue d'une vente ultérieure ne sont pas considérés comme des produits d'aquaculture dans la mesure où leur séjour dans les viviers n'a pour but que de les maintenir en vie et non de leur faire acquérir une taille ou un poids plus élevé ;

*Produit d'aquaculture : Tout produit résultant d'élevage ou de culture destiné à être mis sur le marché en tant que denrée alimentaire. Est également considéré comme produit d'aquaculture tout poisson, mollusque ou crustacé, de mer ou d'eau douce saumâtre, produit ou capturé à l'état juvénile ou alevin et naissant, gardé en captivité jusqu'à atteindre la taille commerciale souhaitée pour la consommation humaine ou à la transformation.

*Produit de la pêche et de l'aquaculture frais: Tout produit de la pêche et de l'aquaculture, n'ayant subi aucun traitement en vue de sa conservation.

*Produit de la pêche et de l'aquaculture réfrigéré : Tout produit de la pêche et de l'aquaculture dont la température est abaissée par réfrigération et maintenue au voisinage de 0°C.

*Produits de la pêche et de l'aquaculture congelé : Tout produit de la pêche et de l'aquaculture ayant subi une congélation permettant d'obtenir à coeur une température inférieure ou égale à -18°C après stabilisation thermique.

*Produits de la pêche et de l'aquaculture préparé : Tout produit de la pêche et de l'aquaculture ayant subi une opération modifiant son intégrité anatomique telle que l'éviscération, l'étêtage, le tranchage, le filetage et le hachage.

*Produit de la pêche et de l'aquaculture transformé : Tout produit de la pêche et de l'aquaculture qui a subi un procédé chimique ou physique tel que la conservation, le chauffage, la fumaison, le salage, la dessiccation, le marinage, le saumurage, la fermentation ou une combinaison de ces différents procédés.

*Emballage des produits de la pêche et de l'aquaculture : L'opération qui consiste à placer dans un contenant des produits de la pêche et de l'aquaculture conditionnés ou non et par extension, ce contenant

*Eau de mer ou saumâtre propre : eau ne présentant pas de contamination microbiologiques, de substances nocives et / ou de plancton marin toxique en quantité susceptible d'avoir une incidence sur la qualité sanitaire des produits de la pêche et de l'aquaculture

*Moyens de transport : Les parties réservées au chargement dans les véhicules automobiles, dans les véhicules circulant sur rails, dans les aéronefs ainsi que les cales des bateaux ou les conteneurs pour le transport par terre, mer et air.

*Halle à marée : Toute infrastructure conçue exclusivement pour la vente en gros des produits de la pêche et de l'aquaculture.

*Navire usine : Tout navire à bord duquel des produits de la pêche subissent une opération, transformation et congélation, obligatoirement suivies d'un conditionnement et éventuellement d'un emballage.

Ne sont pas considérés comme des navires usines, les navires de pêche qui ne pratiquent que la congélation et/ou la cuisson des crevettes et des mollusques à bord et ceux qui ne procèdent qu'à la congélation.

*Mise sur le marché : La détention ou l'exposition en vue de la vente des produits de la pêche et de l'aquaculture

Art.13. L'utilisation d'eau douce et d'eau de mer propre est imposée pour tous les usages.

Les normes de qualité des eaux piscicoles au Maroc

	Valeurs limites		
	Paramètres	Eaux froides	Eaux tièdes
1	Température (c°)	15 < T < 20	8 < T < 30
2	PH	5 à 9	5 à 9
3	Oxygène dissous (mg O ₂ /l)	5	3
4	Matière en suspension	<25	<50
5	DOC (mgO ₂ /l)	<20	<30
6	DBO ₅ (mgO ₂ /l)	<3 <6	
7	Chlore libre (mg/l)	<0,02	<0,02
8	Conductivité (µs/cm)	<350	<3000
9	Ammoniac non ionisé (mg/l NH ₃)	<0,025	<0,025
10	Ammonium (mg/l NH ₄ ⁺)	<0,50	<1
11	Nitrite (mg/l NO ₂ ⁻)	<0,5	<0,5
Bactériologiques			
13	Coliformes fécaux/100ml	<2000	<2000

La norme de qualité d'eaux piscicole en européenne

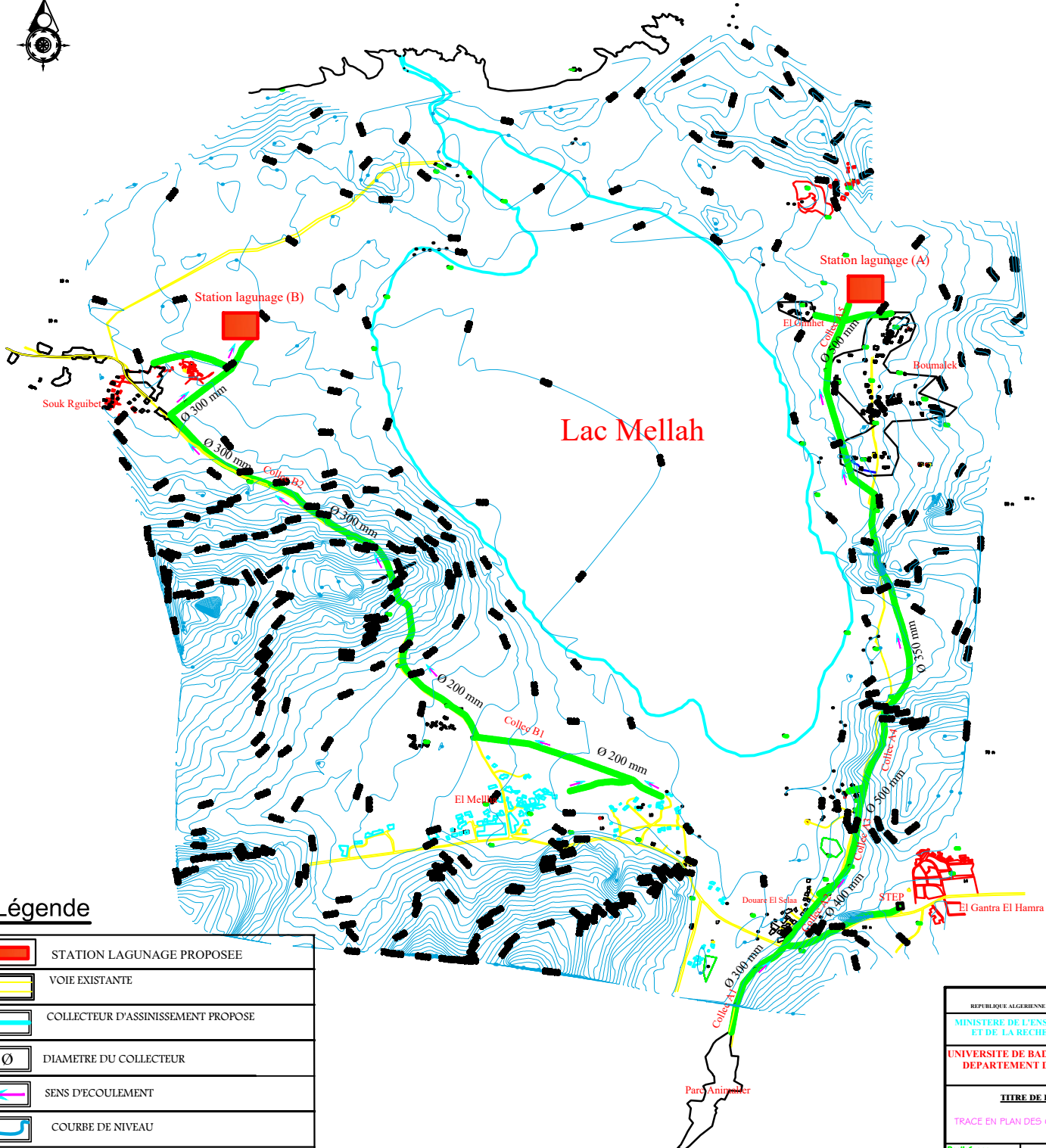
Paramètre	Eaux salmonicoles		Eaux cyprinicoles		Méthodes d'analyse ou d'inspection	Fréquence minimale d'échantillonnage et de mesure	Observations
	Guide	Impérative	Guide	Impérative			
1.Température (°c)	1	La température mesure en aval d'un point de rejet thermique (à la limite de la zone du mélange) ne doit pas dépasser la température naturelle de plus de:			thermométrie	Mensuelle, sauf au point de rejets thermiques où la fréquence doit être hebdomadaire, en aval et en amont du point.	Des variations trop brusques de température doivent être évitées
		1,5°C		3°C			
		Des dérogations limitées géographiquement peuvent être décidées par les états membres dans des conditions particulières si l'autorité compétente peut prouver que ces dérogations n'auront pas de conséquences nuisibles pour le développement équilibré des peuplements de poissons					
	2	Les rejets thermique ne doit pas avoir pour conséquences que la température dans la zone située en aval du point de rejet thermique (à la limite de la zone de mélange) dépasse les valeurs suivantes:					
		21,5(0)		28(0)			
		10(0)		10(0)			
		La limite de température de 10°C ne s'applique qu'aux périodes de reproduction des espèces ayant besoin d'eau froide pour leur reproduction, et uniquement aux					

		susceptible de contenir de telles espèces .Les limites de température peuvent toutefois dépassées pendant 2% du temps.					
2. Oxygène dissous (mg/o ₂)	50% ≥ 9 100% ≥ 7	50% ≥ 9 Lorsque la teneur en oxygène descend en des-sous de 6 mg/l, les états membres mettent en œuvre les dispositions de l'article 7 paragraphes 3. L'autorité compétente doit prouver que cette situation n'aura pas de conséquences nuisibles pour le développement équilibré des peuplements de poissons.			50% ≥ 9 100% ≥ 5	Method de winkler ou electrodes spécifiques (method électrochimique)	Mensuelle avec au moins un échantillon représentatif des faibles teneurs en oxygène se présentant le jour du prélèvement .Toutefois, s'il y a présomption de variations diurnes significatives au moins deux prélèvements par jour seront effectués.
3. PH		6-9 (0)(1)		6-9 (0) (1)	Electrométrie étalonnage au moyen de deux solutions tampons de ph connus voisins et de préférence situés de part et d'autre de la valeur du ph à mesurer	Mensuelle	
4. MES (mg/l)	≤ 25 (0)		≤ 25 (0)		Par filtration sur Membrane filtration 0,45 µm ou par centrifugation (temps minimal de 5minutes accélération moyenne de 2800-3200 g) séchage à 105°C et pesée.		Les valeurs indiquées se réfèrent à des concentrations moyennes et ne s'appliquent pas aux matières en suspension ayant des propriétés chimiques nocives .Les inondations sont susceptibles de provoquer des concentrations particulièrement élevées
5.DBO ₅ (mg/l)	≤ 3		≤ 6		Détermination		

					d'O ₂ par la méthode de Winkler avant et après incubation de 5 jours dans l'obscurité totale, à 20±1°C (sans empêcher la nitrification)		
6. Nitrites	≤ 0,01		≤ 0,03		Spectrophotométrie d'absorption moléculaire		
7. Ammon-iac non ionize (mg/l NH ₄)	0,005	≤ 0,025	≤ 0,005	≤ 0,025	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire au bleu d'indophénol ou selon la méthode de Nessler associée à la détermination du PH et de la température.	Mensuelle	Les valeurs pour l'ammoniac non ionisé peuvent être dépassées, à condition qu'il s'agisse de pointes peu importantes apparaissant.

Annex :v

TRACE EN PLAN DES COLLECTEURS PROPOSEES



Légende

	STATION LAGUNAGE PROPOSEE
	VOIE EXISTANTE
	COLLECTEUR D'ASSINISSEMENT PROPOSE
	DIAMETRE DU COLLECTEUR
	SENS D'ECOULEMENT
	COURBE DE NIVEAU
	COTATION DES COURBES DE NIVEAU
	HABITAT EXISTANTE

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE		
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE		
UNIVERSITE DE BADJI MOKHTAR-ANNABA- DEPARTEMENT DE L'HYDRAULIQUE		
TITRE DE LA PLANCHE		
TRACE EN PLAN DES COLLECTEURS PROPOSEES		
Realisé par: kherfi wahida	DATE : 02-2016	plan N°: (01)
Projeté par: Mouhammad El-Moussaoui	ANNEE: 2015/2016	Echelle: 1/5000