

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2020

FACULTE : SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE
Laboratoire des Recherches Géologiques LRG

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat LMD

SPECIALITE : Hydrogéologie

Thème

**Gestion des ressources en eau et lutte contre les
inondations dans le bassin versant de la Maffragh
(Nord- Est Algérien)**

Présenté par : BOUBGUIRA Selwa

Directeur de Thèse : M^r ZOUINI Derradji

Professeur Univ.Badji Mokhtar-Annaba

Devant le jury :

Président : DJORFI Saadane

Pr. Université Badji Mokhtar-Annaba

Examineurs : ATTOUI Badra

MCA. Université Badji Mokhtar-Annaba

BAHROUN Sofia

MCA Univ. Chadli Bendjedid - El Tarf

TITI BENRABAH Samia

MCA. Université Badji Mokhtar-Annaba

Remerciement

Je tiens à remercier en premier lieu le **Bon Dieu** tout puissant de m'avoir guidé durant toutes ces années et de m'avoir permis de réaliser ce travail en me donnant la force, la patience et la volonté.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur **ZOUINI Derradji** Professeur à l'Université d'Annaba, mon directeur de recherche qui a suivi et dirigé ce travail, ses précieux commentaires, et ses conseils pertinents m'ont grandement aidé tout au long des différentes étapes de la rédaction de ce mémoire. Je la remercie pour sa patience, pour la disponibilité constante, le soutien, et la confiance qu'elle m'a témoignée, afin de mener à terme ce mémoire. Merci encore.

Je tiens également à remercier, Monsieur **DJORFI Saadane** professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

J'adresse mes remerciements aussi à Mme **ATTOUI Badra** Maître de conférences à l'université Badji Mokhtar- Annaba, Mme **BAHROUNE Sofia** Maître de conférences à l'université Chadli Bendjedid - El Tarf et Mme **TITI BENRABAH Samia** Maître de conférences à l'université Badji Mokhtar- Annaba, d'avoir acceptés avec amabilité d'être membres examinateurs de ma thèse. Et **SAYAD Lamine** Maître de conférences à l'université d'Annaba, qu'ils trouvent ici mes vifs remerciements.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à **Mr Bouznade Imad** Maître de conférences à l'université de Djelfa, qui n'a épargné aucun effort pour m'aider et orienter durant la réalisation de ce travail.

Je voudrais aussi remercier ma famille pour son soutien, sa patience, et sa compréhension dans les moments les plus difficiles de cette expédition. Merci à tous.

À tous et à toutes, merci beaucoup.

RÉSUMÉ

Le bassin versant de la Maffragh, est situé dans le bassin Côtiers Constantinois à l' extrême Nord-Est algérien. D'une superficie de 2870 Km² est répartie en deux sous-bassins, l'Oued Kébir Est et Oued Bounamoussa. Il bénéficie d'un climat méditerranéen et possède d'importantes potentialités en eau, la région de la Maffragh est considérée comme région riche en matière de précipitations, elle reçoit jusqu' à 1200 mm/an. Ces pluies apportent un niveau d'eau estimé à une moyenne de 700 millions de m³, puisque seulement 54% de cette richesse en eau a été mobilisée. A l'échelle du bassin versant de la Maffragh, et près de 32 millions de m³ qui sont prélevés chaque année. 44.44 % des prélèvements sont réalisés dans les eaux superficielles et 55.55 % dans les eaux souterraines.

En appliquant le logiciel WEAP (Water evaluation and planning), il s'agit de développer un modèle de gestion des ressources en eau et de son utilisation, d'évaluer la proportion de l'équilibre ressources-besoins et d'analyser la situation future de l'eau selon différents scénarios. Cette approche permet d'identifier les sites les plus vulnérables aux pressions climatiques et anthropiques et évaluer la quantité des eaux usées rejetée dans la nature. L'estimation des besoins en eau potable et en eaux usées dans la région de la Maffragh a montré que ces besoins augmentent avec le temps et se produisent lorsque l'offre n'est pas en mesure de couvrir la demande de manière appropriée dans quelques communes.

Mots clés : Ressources en eau, Maffragh, demande en eau, modélisation, scénario, WEAP, eaux usées.

ABSTRACT

The Maffragh watershed is located in the Constantine Coastal Basin in the extreme northeast of Algeria. Covering an area of 2870 km² is divided into two sub-basins, Wadi Kébir East and Wadi Bounamoussa. It enjoys a Mediterranean climate and has significant water potential, the Maffragh region is considered a region rich in rainfall, it receives up to 1200 mm / year. These rains bring a water level estimated at an average of 700 million m³, since only 54% of this water wealth has been mobilized. On the scale of the Maffragh watershed, and nearly 32 million m³ which are withdrawn each year. 44.44% of the samples are taken from surface water and 55.55% from groundwater.

By applying the WEAP (Water evaluation and planning) software, the aim is to develop a model of water resources management and its use, to assess the proportion of the resource-needs balance and to analyze the future situation. of water under different scenarios. This approach makes it possible to identify the sites most vulnerable to climatic and anthropogenic pressures and to assess the quantity of wastewater discharged into nature. The estimate of drinking water and wastewater needs in the Maffragh region has shown that these needs increase over time and occur when the supply is not able to meet the demand adequately in a few municipalities. .

Keywords: Water resources, Maffragh, water demand, modeling, scenario, WEAP, wastewater.

ملخص

يقع مجرى مافراغ في حوض قسنطينة الساحلي في أقصى شمال شرق الجزائر. تغطي مساحة 2870 كم² مقسمة إلى حوضين فرعيين واد كبير شرق ووادي بوناموسة. تتمتع بمناخ البحر الأبيض المتوسط ولديها إمكانات مائية كبيرة، وتعتبر منطقة مافراغ منطقة غنية بالأمطار، حيث تصل إلى 1200 مم/سنة. هذه الأمطار تجلب مستوى مائي يقدر بمتوسط 700 مليون متر م³، حيث تم تعبئة 54٪ فقط من هذه الثروة المائية. وما يقرب من 32 مليون م³ التي يتم سحبها كل عام.

العينات مأخوذة من المياه السطحية و55.55٪ من المياه الجوفية. 44.44٪ من

من خلال تطبيق برنامج (تقييم المياه والتخطيط)، فإن الهدف هو تطوير نموذج لإدارة الموارد المائية واستخدامها، لتقييم نسبة التوازن بين احتياجات الموارد وتحليل الوضع المستقبلي من المياه في سيناريوهات مختلفة. هذا النهج يجعل من الممكن تحديد المواقع الأكثر عرضة للضغوط المناخية والبشرية وتقييم كمية مياه الصرف الصحي التي يتم تصريفها في الطبيعة.

أظهر تقدير احتياجات مياه الشرب ومياه الصرف الصحي في منطقة مافراغ أن هذه الاحتياجات تزداد بمرور الوقت وتحدث عندما لا يكون العرض قادرًا على تلبية الطلب بشكل مناسب في عدد قليل من البلديات.

الكلمات المفتاحية: موارد المياه، مافراغ، الطلب على المياه، النمذجة، السيناريو، برنامج تقييم المياه والتخطيط، مياه الصرف الصحي.

Sommaire

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

Introduction générale.....1

PARTIE I : CONTEXTE NATUREL DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH

CHAPITRE 01 : CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH

1. Aperçus socio-économique.....	4
1.1. Etude démographique.....	4
1.2. Répartition des populations par commune.....	4
1.3. Estimation de la population future par zone.....	4
1.4. Densité.....	5
1.5. Agriculture.....	6
1.5.1. L'élevage.....	8
1.5.2. Forêts.....	8
1.5.2.1. Série de Chêne Liège et Chêne Kermès.....	8
1.5.2.1.2. La Série de Chêne Zéen.....	9
1.5.2.1.3. Série de l'Oléo-Lentisque.....	9
1.5.2.1.4. Végétation de reboisements artificiels.....	9
1.5.3. Pêche.....	10
1.6. Industrie.....	10
1.7. Potentiel touristique.....	11
1.8. Facteurs de pollution.....	12
1.8.1 Pollution urbaine.....	12

Sommaire

1.8.2 Pollution industrielle.....	13
1.8.3 Pollution agricole.....	13
1.9. Conclusion.....	14

ChAPITRE 02 : LES CARACTERISTIQUES NATURELS DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH

2. Etude du bassin versant de la Maffragh.....	15
2.1. Situation géographique.....	15
2.1.1. Identification administrative.....	16
2.2. Géomorphologie.....	16
2.2.1. Les Plaines Littorales.....	17
2.2.1.1. La Plaine de Boutheldja (basse vallée du Kébir-Est).....	17
2.2.1.2. Les Bordures de la Plaine d'Annaba (Basse vallée de la Maffragh).....	17
2.2.2. Les Bassins Intérieurs.....	17
2.2.2.1. Les Bassins Montagnards.....	17
2.2.2.2. Le Bassin de la Cheffia.....	17
2.2.2.2. Le Bassin d'Ain el Karma.....	17
2.2.2.3. Le bassin de Bouhadjar.....	17
2.2.3. Le Bassin des Plaines.....	18
2.2.4. Les Bassins Littoraux.....	18
2.3. Les Hautes Montagnes (Djebels).....	18
2.3.1. Les Monts de la Cheffia.....	18
2.3.2. Les Monts de la Calle (El Kala).....	18
2.3.3. Les Monts de la Medjerdah.....	19
2.4. Le Cordon Dunaire.....	19
2.5. Formes de Relief Marqués par des Tranches d'Altitudes.....	19
2.5.1. Plaines et épandages de 0 à 50 m.....	20
2.5.2. Les Versants.....	20
2.5.3. Les Collines.....	20
2.5.4. Les montagnes.....	21
2.6. Sol.....	21

Sommaire

2.7. Les caractéristiques morphométriques du bassin de la Maffragh.....	22
2.7.1. La courbe hypsométrique.....	22
2.7.2. Caractéristiques géométriques.....	23
2.7.2.1. La superficie.....	23
2.7.2.2. Le périmètre.....	23
2.7.3. Indice de compacité (coefficient de Gravelius).....	23
2.7.4. Rectangle équivalent.....	24
2.7.5. L'indice de pente global (Ig).....	24
2.7.5.1. Dénivelée simple.....	25
2.7.6. L'indice de pente moyenne.....	25
2.7.7. Dénivelée spécifique.....	25
2.7.7.1. La classe (0-2 %)......	27
2.7.7.2. La classe (2-6 %)......	27
2.7.7.3. La classe de (6- 12%).....	27
2.7.7.4. La classe de (12-18%).....	27
2.7.7.5. La classe supérieure à 18 %	27
2.8. Densité de drainage.....	28
2.9. Temps de concentration.....	28
2.10. Altitude moyenne.....	29
2.11. Conclusion.....	29

ChAPITRE 03 : LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

3. Introduction.....	30
3.1. Station de mesure.....	30
3.2. Facteur Climatique.....	31
3.2.1. Les températures.....	31
3.2.1.1. Les températures moyennes mensuelles (1975/1976-2014/2015).....	31
3.2.2. Analyse des précipitations.....	32
3.2.2.1. Précipitations mensuelles.....	32
3.2.2.2. Les précipitations annuelles.....	33

Sommaire

3.2.2.3. Les courbes ombro-thermiques.....	35
3.3. Variations des précipitations dans le temps.....	36
3.3.1. Variations moyennes mensuelles et saisonnières.....	36
3.4. Coefficient pluviométrique (CP).....	37
3.5. Détermination du type du climat (indice de Martonne E. De).....	40
3.6. Le vent et l'ensoleillement.....	41
3.7. Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE.....	41
3.7.1. Evapotranspiration.....	42
3.7.2. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	42
3.7.3. La formule de C.W. Thornthwaite(1948).....	42
3.7.4. Le ruissellement.....	45
3.7.5. L'infiltration.....	46
3.7.6. Evapotranspiration réelle (ETR).....	47
3.8. Formule de Turc (1961).....	47
3.9. Conclusion.....	48

ChAPITRE 04 : LES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

4. Introduction.....	49
4.1. Aperçu géologique de la région d'étude.....	49
4.2. Stratigraphie.....	51
4.2.1. Les formations du Secondaire.....	52
4.2.1.1. Crétacé supérieur (Sénonien).....	52
4.2.2. Les formations du Tertiaire.....	52
4.2.2.1. Paléogène.....	52
4.2.2.1.1. Paléocène.....	52
4.2.2.1.2. Eocène.....	52
4.2.2.1.3. Oligocène.....	53
4.2.2.2. Néogène.....	53
4.2.3. Les formations du Quaternaire.....	54
4.2.3.1. Quaternaire ancien.....	54

Sommaire

4.2.3.2. Quaternaire moyen.....	54
4.2.3.2.1. Pléistocène ancien.....	54
4.2.3.2.2. Pléistocène moyen.....	54
4.2.3.2.3. Pléistocène récent.....	54
4.2.3.2.4. Quaternaire récent.....	54
4.2.3.3. Quaternaire actuel.....	55
4.3. Géologie et formation des dunes.....	55
4.4. Les Eboulis de Pente.....	55
4.5. Cadre structural.....	56
4.6. Tectonique et Paléogéographie.....	57
4.7. Conclusion.....	58

PARTIE II : RESSOURCES EN EAU DU BASSIN DE LA MAFFRAGH

CHAPITRE 5 : DIAGNOSTIQUE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

5. Identifications des différentes Nappes du Système Aquifère de la Maffragh.....	61
5.1. Introduction.....	61
5.2. Nappe des terrasses de la Plaine d'Annaba.....	61
5.2.1. Nappe des alluvions récentes et actuelles (superficielle).....	62
5.2.2. Nappe des graviers (profonde).....	62
5.3. Plaines d'El Asfour.....	62
5.3.1. La Nappe Semi-captive.....	63
5.3.2. La Nappe superficielle.....	63
5.4. La Plaine de Boutheldja.....	63
5.4.1. La Nappe Libre du Massif Dunaire.....	63
5.4.2. Nappe captive.....	64
5.4.3. Nappe superficielle.....	64
5.5. La Plaine d'El Tarf	65
5.5.1. Nappe profonde.....	65
5.5.2. Nappe superficielle.....	65

Sommaire

5.6. Les forages.....	65
5.7. Les puits.....	66
5.8. Les sources.....	67
5.9. Conclusion.....	68

CHAPITRE 6 : LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE, LUTTE CONTRE LES INONDATIONS ET SCHEMA D'AMENAGEMENT

6. Identifications des ressources en eaux de surface.....	70
6.1. Introduction.....	70
6.2. Le réseau hydrographique.....	70
6.2.1. Oued Bounamoussa.....	71
6.2.2. Oued El Kébir Est.....	71
6.2.3. Oued Maffragh.....	71
6.2.4. Oued Bougous.....	71
6.2.5. Oued Bouhaloufa.....	71
6.3. Les Barrages.....	72
6.3.1. Barrage de Mexa.....	72
6.3.2. Barrage de Chaffia.....	73
6.3.3. Barrage de Bougous.....	74
6.4. Les Barrages en cours de réalisation.....	74
6.5. Les retenues collinaires.....	75
6.6. Les marais de Mekhrada.....	76
6.7. Lac Oubeira.....	76
6.8. Les eaux non conventionnelles du bassin de la Maffragh.....	77
6.8.1. Les stations d'épuration de Zerizer et Asfour.....	77
6.8.2. Bilan de suivi de la qualité des eaux de la STEP de Zerizer.....	79
6.8.2.1. Les matières en suspension MES.....	79
6.8.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO5).....	80
6.8.2.3. La demande chimique en oxygène (DCO).....	80
6.8.3. Bilan de suivi de la qualité des eaux de la STEP d'Asfour.....	82
6.8.3.1. Les matières en suspension MES.....	82

Sommaire

6.8.3.2. La demande chimique en oxygène (DCO).....	82
6.9. Dessalement des eaux de la mer.....	83
6.10. Lutte contre l'inondation dans le bassin de la Maffragh.....	84
6.10.1. Introduction.....	84
6.10.2. Cause des inondations dans le bassin de la Maffragh.....	84
6.10.3. Situation actuelle des Barrages et Oueds.....	85
6.10.3.1. Situation des Oueds.....	85
6.10.3.2. Situation des Barrages en exploitation - Arrêté au 09/02/2017.....	85
6.10.4. Agglomérations exposées au risque d'inondation par degré de gravité à travers le bassin de la Maffragh.....	86
6.11. L'amélioration de la lutte contre les crues.....	88
6.11.1. Au niveau de la prévention.....	88
6.11.2. Au niveau de l'anticipation.....	88
6.12. Schéma d'aménagement et lutte contre l'inondation dans le bassin de la Maffragh.....	88
6.12.1. Réalisation du Curage, Reprofilage et Protection des Oueds et Affluents des zones Sud, Ouest et Est du bassin de la Maffragh.....	88
6.12.2. Aménagement du canal traversant la ville d'El Tarf dans le cadre de la protection contre les inondations.....	91
6.12.3. Programme de développement d'assainissement urbain.....	91
6.12.3.1. Programmes d'urgence 2012.....	91
6.12.3.2. Programme complémentaire 2013.....	92
6.12.4. Mesures prises à très court terme.....	93
6.12.5. Exemple l'inondation de 09 au 10 février 2017 au niveau du bassin de la Maffragh.....	95
6.13. Conclusion.....	98
CHAPITRE 7: QUALITE DES EAUX DE SURFACE DU BASSIN DE LA MAFFRAGH	
7. Introduction.....	100
7.1. Méthodologie.....	100
7.1.1. Echantillonnages des points d'eau.....	100
7.1.2. Mesures in situ.....	100

Sommaire

7.1.3. Analyse des éléments chimiques.....	100
7.1.4. La période d'échantillonnage.....	101
7.2. Matériel et méthodes.....	102
7.2.1. Lieu d'analyse des échantillons.....	102
7.2.2. Méthodes d'analyses.....	102
7.3. Analyse de la variation spatio- temporelle des eaux du bassin de la Maffrahg.....	105
7.3.1. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	105
7.3.2. L'oxygène dissous mg/l.....	105
7.3.3. La conductivité électrique $\mu\text{s}/\text{cm}$	106
7.4. Éléments minéraux	107
7.4.1. Les cations.....	107
7.4.1.1. Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}).....	107
7.4.1.2. Le Sodium Na^+ et le Potassium K^+	108
7.4.2. Les anions.....	108
7.4.2.1. Les Bicarbonates HCO_3^-	108
7.4.2.2. Les sulfate SO_4^{-2}	109
7.4.2.3. Les chlorure Cl^-	110
7.5. Éléments nutritifs.....	110
7.5.1. Les nitrate.....	110
7.5.2. Les nitrites.....	111
7.5.3. L'ammonium.....	112
7.6. Les nutriments.....	113
7.6.1. La DBO_5 mg/l.....	113
7.6.2. DCO.....	114
7.6.3. Phosphate PO_4^{3-} mg/l.....	114
7.8. Facies chimiques des eaux du bassin de la Maffrahg.....	114
7.8.1. Diagramme de piper.....	114
7.8.2. Diagramme de Schöeller-Berkalof.....	117
7.9. Analyse en composantes principales.....	119

Sommaire

7.9.1. Principes théoriques.....	119
7.9.2. Résultats et interprétations.....	119
7.9.2.1. Application de l'ACP aux données des eaux du bassin de la Maffragh.....	119
7.9.3. Période des basses eaux (Juillet 2018).....	120
7.9.3.1. Matrice de corrélation.....	120
7.9.3.2. Cercle de corrélation.....	121
7.9.4. Période des hautes eaux (Janvier 2018).....	122
7.9.4.1. Cercle de corrélation.....	123
7.10. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	124
7.10.1. Introduction.....	124
7.10.2. Qualité des eaux d'irrigation.....	124
7.10.2.1. Aptitude des eaux de surface du bassin de la Maffragh a l'irrigation	124
7.10.2.2. Risque de Salinité [Conductivité].....	126
7.10.2.3. Evolution temporelle et spatiale de la salinité.....	126
7.10.2.4. Classifications des eaux destinées à l'irrigation.....	127
7.10.3. L'indice d'adsorption du Sodium (SAR).....	127
7.10.3.1. Diagramme de Richards.....	128
7.10.3.2. Diagramme de Wilcox.....	131
7.11. Conclusion.....	133
CHAPITRE 8 : ESSAI DE GESTION INTEGRE DES RESSOURCES EN EAU ET UTILISATION DU MODEL WEAP	
8. Introduction.....	135
8.1. Les Stratégies pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau.....	135
8.2. Pluviométrie, Ressources et Usagers de l'eau dans le bassin de la Maffragh.....	136
8.3. Les usagers de l'eau dans le bassin versant de la Maffragh.....	136
8.3.1. Les usagers domestiques.....	136
8.3.1.1. Les eaux pour AEP par nature de ressource.....	136
8.3.2. Les usagers agricoles.....	137
8.3.2.1. Indicateurs d'irrigation agricole.....	137
8.3.2.2. Petite périmètre irrigué PPI.....	138
8.3.2.3. Grande périmètre irrigué Bounamoussa GPI.....	138

Sommaire

8.4. Perspectives sectorielles à long terme (moyen et long terme).....	139
8.4.1. Transfer inter barrages Est et Ouest.....	139
8.4.2. Objectifs du service Hydro agricole.....	141
8.5. L'industrie.....	141
8.6. Les contraintes liées aux ressources hydriques.....	142
8.7. La modélisation dans la gestion des ressources en eau.....	143
8.7.1. Le WEAP un modèle de modélisation des ressources en eau.....	143
8.7.2. Introduction.....	143
8.7.3. L'approche de WEAP.....	144
8.7.3.1. La modélisation par WEAP.....	144
8.7.3.2. La définition de l'étude.....	145
8.7.3.3. L'état Actuel.....	145
8.7.3.4. Les Scénarios.....	146
8.7.3.5. Les Scénarios sont Evalués.....	146
8.8. Introduction et traitement des données.....	148
8.8.1. Les sites des ressources d'eau.....	149
8.8.2. Les sites des demandes en eau.....	150
8.9. Présentation des méthodes de calcul.....	151
8.9.1. Demande annuelle.....	151
8.9.2. Demande mensuelle.....	151
8.9.3. Flux de site de demande.....	151
8.9.4. Flux de liaison de transmission.....	152
8.9.5. Flux de lien de retour de site de demande.....	152
8.10. Résultats et discussions.....	152
8.10.1. Demande en eau.....	152
8.10.1.1. Scénario de référence.....	153
8.10.1.2. Scénario 01.....	153
8.10. 1.3. Scénario 02.....	154
8.10. 1. 4. Scénario 03.....	154

Sommaire

8.10. 1.5. Demande en eau global mensuelle.....	155
8.10. 2. Estimation des rejets.....	156
8.10. 2.1.Débits de retour pour le scénario de référence.....	156
8.10.2.2. Débits de retour pour le scénario 01.....	157
8.10. 2.3.Débits de retour pour le scénario 02.....	158
8.10. 2.4. Débit de retour annuel pour le scénario de référence.....	159
8.10. 2.5. Débit de retour annuel pour le scénario 01.....	160
8.10. 2.6. Débit de retour annuel pour le scénario 02.....	160
8.10. 3. Demande non satisfaite.....	161
8.11. Choix de l'emplacement d'une station d'épuration.....	163
8.12. Conclusion.....	164
Conclusion générale.....	165
Références bibliographique	

LISTE DES FIGURES

Fig.01. Répartition de la population par commune incluse dans le bassin de la Maffragh en 2011(source DPAT2008).....	4
Fig.02. répartition de la densité en 2011 dans le bassin de la Maffragh.....	6
Fig.03. Carte de couverture végétale du bassin versant de la Maffragh.....	10
Fig.04. Carte de situation géographique du bassin de la Maffragh.....	15
Fig.05. Carte des unités géomorphologique du bassin de la Maffragh.....	16
Fig.06. Carte altimétrique du bassin versant la Maffragh.....	20
Fig.07. Carte des sols du bassin versant de la Maffragh.....	21
Fig.08. Courbe hypsométrique du bassin de la Maffragh.....	22
Fig.09. Carte de répartition de pentes du bassin versant de la Maffragh.....	26
Fig.10. Evolution des températures moyennes mensuelles des stations d'Ain Assel et Cheffia (1976/1977-2014/2015).....	32
Fig.11. Evolution des précipitations moyennes mensuelles des stations de Cheffia et d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015).....	33
Fig.12. Evolution des précipitations moyennes annuelles des stations de Cheffia et Ain Assel (1976/1977-2014/2015).....	34
Fig.13. Courbes Ombrothermiques de la station de Cheffia (1976/1977-2014/2015).....	35
Fig.14. Courbes Ombrothermiques de la station d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015).....	36
Fig.15. Répartition saisonnières des précipitations de la station d'Ain Assel et Cheffia (1975-2015).....	37
Fig.16. les Variations des coefficients pluviométriques pour la station d'Ain Assel (1976-2015).....	39
Fig.17. les Variations des coefficients pluviométriques pour la station de Cheffia (1976-2015).....	40
Fig.18. Représentation graphique du bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015).....	44
Fig.19. Représentation graphique du bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station de Cheffia (1976/1977-2014/2015).....	45
Fig.20. Schéma structural des Maghrébides (d'après M. Durand-Delga et J.M. Fontboté, 1980).....	49
Fig.21. Carte géologique du bassin versant de la Maffragh (ANRH 2008 modifiée).....	50
Fig.22. Colonne Stratigraphique de la région d'El Tarf (D'après Tchoulanov 1980).....	51
Fig.23. Contexte géologique du Nord-Est Algérien (Marre 1987).....	56

Liste Des Figures

Fig.24. Carte des ressources en eaux souterraines du bassin de la Maffragh.....	61
Fig.25. Coupe hydrogéologique au travers de la plaine d'El Asfour. (Khérici-Bousnoubra Houria 2002).....	62
Fig.26. Coupe hydrogéologique du massif dunaire de Boutheldja (Energo -project enhyd, 1992).....	64
Fig.27. Carte d'inventaire des forages d'eaux et des sources dans le bassin de la Maffragh....	68
Fig.28. Carte du réseau hydrographique du bassin de la Maffragh.....	70
Fig.29. Barrage de Mexa.....	73
Fig.30. La digue de barrage à matériaux Locaux.....	73
Fig.31. Barrage Bougous.....	74
Fig.32. Évacuateur bétonné de Barrage Bougous.....	74
Fig.33. Lac Oubeïra.....	77
Fig.34. Evolution mensuelle des volumes d'eaux brutes et épurées à la STEP de Zerizer 2019.....	79
Fig.35. Evolution mensuelle du MES de la STEP de Zerizer.....	79
Fig.36. Evolution mensuelle du DBO5 de la STEP de Zerizer.....	80
Fig.37. Evolution mensuelle du DCO de la STEP de Zerizer.....	80
Fig.38. Evolution mensuelle des volumes d'eaux brutes et épurées à la STEP d'Asfour 2019.....	81
Fig.39. Evolution mensuelle du MES de la STEP d'Asfour.....	82
Fig.40. Evolution mensuelle du DCO de la STEP d'Asfour.....	83
Fig.41. Carte des zones inondables dans le bassin de la Maffragh.....	87
Fig.42. Curage Des Fosses De Drainage De La Plaine.....	88
Fig.43. Lot N°12: BEN M'HIDI 9 500 ML (CW 44).....	88
Fig.44. Curage et Aménagement CHAABET FATTOUM (ZONE HAUTE).....	89
Fig.45. Curage et Aménagement CHAABET FATTOUM (ZONE BASSE).....	89
Fig.46. Curage et Aménagement CHAABET BOUTELLA ABDALLAH centre.....	89
Fig.47. Curage et Aménagement CHAABET TOUILA centre (ZONE EST).....	90
Fig.48. Curage et Aménagement CHAABET TOUILA centre (ZONE OUEST).....	90
Fig.49. Confortement et Aménagement CHAABET OUED ZITOUNE.....	90
Fig.50. Travaux D'aménagement Du Canal De BEN AMAR.....	90
Fig.51. Avant l'aménagement du canal traversant la ville d'EL Tarf.....	91
Fig.52. Aménagement du canal en cours traversant la ville d'EL Tarf.....	91

Liste Des Figures

Fig.53. Achevement des travaux.....	91
Fig.54. Aménagement des berges de l'Oued Maffragh.....	94
Fig.55. la position et l'orientation des deux jetées (en couleur bleue) devant encadrer le chenal.....	94
Fig.56. Levé bathymétrique d'Oued Meffragh.....	95
Fig.57. Pluviométrie du mois de Février 2017.....	95
Fig.58. El Tarf siège radio.....	96
Fig.59. El Tarf cité 168 logts.....	96
Fig.60. Ain Al Assel cité baffa.....	96
Fig.61. Digues N°06 et 07. Ain Khiair.....	97
Fig.62. Digues N°05 et 04. Berrihane (Passage sous la route W118 Berrihane).....	97
Fig.63. Ouvrage annexe oued Lahmar- Berrihane.....	97
Fig.64. Digue N° 05 Sebaa.....	98
Fig.65. LA Maffragh Plage El Battah.....	98
Fig.66. Position des points de prélèvement des eaux pour analyse physico-chimique.....	101
Fig.67. Protocole d'analyses des paramètres de pollutions.....	104
Fig.68. La variation spatio- temporelle du pH.....	105
Fig.69. La variation spatio- temporelle OD mg/l.....	106
Fig.70. La variation spatio- temporelle de la CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	106
Fig.71. Evolutions spatio- temporelle du Ca^{2+}	107
Fig.72. Evolutions spatio- temporelle du Mg^{2+}	107
Fig.73. Evolutions spatio- temporelle du Na^{+}	108
Fig.74. Evolutions spatio- temporelle du K^{+}	108
Fig.75. Evolutions spatio- temporelle du Bicarbonates HCO_3^{-}	109
Fig.76. Evolutions spatio- temporelle du sulfate SO_4^{2-}	109
Fig.77. Evolutions spatio- temporelle du chlorure Cl^{-}	110
Fig.78. Evolutions spatio- temporelle du NO_3^{-}	111
Fig.79. Evolutions spatio- temporelle du NO_2^{-}	112
Fig.80. Evolutions spatio- temporelle du NH_4^{+}	112
Fig.81. Evolutions spatio- temporelle du DBO_5	113
Fig.82. Evolutions spatio- temporelle du DCO.....	113
Fig.83. Evolutions spatio- temporelle du PO_4^{3-}	114

Liste Des Figures

Fig.84. Diagramme de Piper des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Juillet .2018]...	115
Fig.85. Diagramme de Piper des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Janvier .2018].....	116
Fig.86. Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Juillet2018].....	117
Fig.87. Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Janvier 2018].....	118
Fig.88. Projection des variables sur le plan factoriel (F1-F2) (Juillet 2018).....	121
Fig.89. Projection des variables sur le plan factoriel (F1-F2) (Janvier 2018).....	128
Fig.90. Diagramme de Richards (Juillet 2018).....	129
Fig.91. Diagramme de Richards (Janvier 2018).....	130
Fig.92. Diagramme de Wilcox (Juillet 2018).....	131
Fig.93. Diagramme de Wilcox (Janvier 2018).....	132
Fig.94. Les stratégies pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau.....	137
Fig.95. Répartition des eaux d'AEP par nature de ressource dans le bassin de la Maffragh...	139
Fig.96. Carte du grande Périmètre irriguée du bassin de la Maffragh.....	140
Fig.97. Transfert Oust Bounamoussa II- Boulatane.....	142
Fig.98. Répartition des eaux agricoles par nature de ressource.....	142
Fig.99. Répartition des eaux industrielles par nature de ressource.....	143
Fig.100. Organigramme de la création des scénarios.....	148
Fig.101. Carte de la zone d'étude dans le logiciel WEAP.....	149
Fig.102. Emplacement des sites de l'offre.....	149
Fig.103. Emplacement des sites de demande	150
Fig.104. Schéma finale du model WEAP.....	150
Fig.105. Evolution de la demande en eau - <i>Référence scenario</i>	153
Fig.106. Evolution de la demande en eau - <i>Scénario 01</i>	154
Fig.107. Evolution de la demande en eau - <i>Scénario 02</i>	154
Fig.108. Evolution de la demande en eau - <i>Scénario 03</i>	155
Fig.109. Comparaison entre l'évolution de la demande en eau agricole - <i>entre scénario 01 et Scénario 03</i>	155
Fig.110. Evolution de la demande en eau mensuelle pour tous les scénarios.....	156
Fig.111. Evolution des débits de retours pour toutes les zones de rejets, <i>Scénario référence</i> ..	157
Fig.112. Evolution des débits de retours pour toutes les zones de rejets, <i>Scénario 01</i>	158

Liste Des Figures

Fig.113. Evolution des débits de retours pour toutes les zones de rejets, <i>Scénario 02</i>	159
Fig.114. Evolution des débits de retours annuel, <i>Scénario référence</i>	159
Fig.115. Evolution des débits de retours annuel, <i>Scénario 01</i>	160
Fig.116. Evolution des débits de retours annuel, <i>Scénario 02</i>	161
Fig.117. Evolution de la demande non satisfaite, <i>Scénario référence</i>	161
Fig.118. Evolution de la demande non satisfaite, <i>Scénario 01</i>	162
Fig.119. Evolution de la demande non satisfaite, <i>Scénario 02</i>	162
Fig.120. Facteurs d'impact de l'implantation d'une station d'épuration.....	163

LISTE DES TABLEAUX

Tab.01. Evolution de la population de la commune du bassin de la Maffragh (2008-2019).....	5
Tab.02. Répartition de la SUA par groupes de cultures (source DSA El Tarf 2009).....	7
Tab.03. Répartition des industries dans le bassin de la Maffragh (Source DMI 2011).....	11
Tab.04. Caractéristiques des Z.E.T (Source Direction du tourisme2011).....	12
Tabl.05. Répartition des fréquences altimétriques du bassin de la Maffragh.....	22
Tab.06. Classification de relief selon la méthode de l'OR STOM à partir du Ds.....	26
Tab.07. Densité de drainage du bassin de la Maffragh.....	28
Tab.08. Les coordonnées des stations pluviométriques de la région de la Maffragh.....	31
Tab.09. Les températures moyennes mensuelles des deux stations Ain Assel et Cheffia.....	31
Tab.10. Les précipitations moyennes mensuelles des deux stations en mm.....	33
Tab.11. Les précipitations moyennes annuelles en (mm) des deux stations (1976-2015).....	34
Tab.12. Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station d'Ain Assel et Cheffia (1975-2015).....	36
Tab.13. Récapitule les résultats du coefficient pluviométrique de la station d'Ain Assel (1975-2015).....	38
Tab.14. Récapitule les résultats du coefficient pluviométrique de la station de Cheffia (1975-2015).....	39
Tab.15. Bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015)....	44
Tab.16. Bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station de Cheffia (1976/1977-2014/2015).....	45
Tab.17. Récapitulatif du bilan de Thornthwaite.....	46
Tab.18. Résultats du bilan hydrologique (en mm) des stations d'Ain Assel et Cheffia.....	46
Tab.19. L'évapotranspiration réelle selon la formule de Turc.....	47
Tab.20. Résultats comparatifs des valeurs de l'ETR.....	47
Tab.21. le volume des ressources en eau souterraine	66
Tab.22. Caractéristiques des sources thermales.....	67
Tab.23. Les Barrages en exploitation.....	72
Tab.24. Barrage de Boukhroufa (Bouhaloufa).....	74
Tab.25. Les Barrages programmés.....	75
Tab.26. Les retenues collinaires et les petits barrages en exploitation.....	75
Tab.27. Les caractéristiques techniques de la STEP du Zerizer et Asfour.....	77
Tab.28. Bilan de l'auto surveillance de la STEP de Zerizer pour l'année 2019.....	78

Liste Des Tableaux

Tab.29. Bilan de l'auto surveillance de la STEP d'Asfour pour l'année 2019.....	81
Tab.30. Dessalement des eaux de la mer.....	83
Tab.31. Situation d'Oued Bounamoussa.....	85
Tab.32. Situation d'Oued El Kébir Est.....	85
Tab.33. Situation de Barrage de Bounamoussa.....	85
Tab.34. Situation de Barrage de Mexa.....	86
Tab.35. Situation de Barrage de Bougous.....	86
Tab.36. Les agglomérations exposées au risque des inondations.....	86
Tab.37. Programme réalisé de développement d'assainissement urbain.....	92
Tab.38. Programme en cours de développement d'assainissement urbain.....	93
Tab.39. Les points de prélèvements sont désignés comme suit.....	102
Tab.40. Coefficient de corrélation entre les variables.....	120
Tab.41. Coefficient de corrélation entre les variables.....	122
Tab.42. Classe de salinité selon Richards (Faby et al, 2000).....	126
Tab.43. Convenance à l'irrigation des eaux du bassin de la Maffragh selon la conductivité.....	143
Tab.44. Taux de majoration liée aux autres usages (source DHW 2009).....	137
Tab.45. demande en eau industrielle (source DHW 2016).....	142

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La gestion efficace et durable des eaux est une opération complexe, qui nécessite une nouvelle approche permettant l'amélioration de la situation hydrique des pays et par la même réaliser le développement durable qui prend en compte les politiques et les conventions adoptées à l'échelle internationale. Toute approche ne peut réussir sans prendre en considération les intérêts de tous les acteurs et les besoins d'un état en matière de la gestion efficace des ressources en eau.

L'accroissement de la demande en matière d'eau alors que les ressources sont limitées, et parfois non renouvelables, et la parution des nouveaux modes de vie et des nouvelles industries ont abouti à la consommation excessive de l'eau. De même, le problème devient plus complexe lorsqu'il s'agit de pays partageant la même ressource ou le même cours d'eau.

La concurrence est de plus en plus rude entre la ville et la campagne, entre le secteur industriel et le secteur touristique en matière d'eau et d'irrigation.

De plus, la croissance démographique galopante, l'accroissement de l'urbanisation et de l'industrialisation ont eu pour conséquence l'accroissement de la demande en matière d'eau. Par ailleurs, la désertification, la pollution de l'environnement, l'impact négatif des changements climatiques (sécheresse, inondation) commencent à ravager des grandes superficies du monde ; sachant que les ressources en eau ont subi des modifications profondes sur le plan quantitatif et qualitatif, et ont entravées les cours d'eau et les lieux de stockage (barrages, lacs, aquifères souterrains) ce qui a eu un impact négatif sur la sécurité de l'approvisionnement en eau.

La gestion optimale des ressources en eau est le choix idoine pour planer sur ce problème de grande importance. En effet, sans une utilisation optimale de l'eau on ne peut répondre aux besoins de tous les secteurs en matière d'eau.

La disponibilité d'une eau de bonne qualité est un élément indispensable pour prévenir les maladies et améliorer la qualité de vie (Oluduro et Aderiye, 2007). Actuellement, la situation en Algérie se caractérise par une demande en eau croissante, alors que la qualité de l'eau se détériore.

La politique algérienne de gestion de l'eau est centrée de plus sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une utilisation rationnelle des ressources déjà disponibles. Les associations d'usagers, et d'une façon générale la société civile, sont encore peu

organisées et la consultation de leurs représentants des usagers demeure quasi-inexistante en Algérie (Plan Bleu, 2010).

Le concept de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est défini par le global water partnership (GWP) comme un processus facilitant les développement et la gestion coordonnées de l'eau, de la terre et des ressources qui leur sont liées, afin de maximiser le bien-être économique et social qui en découle, d'une manière équitable et sans compromettre la durabilité d'écosystèmes vitaux (Abu-Zeid, 1998).

Pour traiter la question de la GIRE dans le bassin d'étude, nous avons adopté l'approche WEAP (Water Evaluation and Planning System), qui se base sur l'analyse du bilan hydrique et tient compte de variables explicatives de natures diverses, tels que les précipitations, eaux de surface, eaux souterraines, installations de traitement, exigences des écosystèmes, demande en eau, génération de pollution, etc. Ce model "WEAP", applicable dans plusieurs domaines : municipal, agricole, aménagement des bassins versants, fluviaux, etc.

WEAP est une plate-forme de modélisation qui permet l'évaluation intégrée du climat d'un bassin versant, l'hydrologie, l'utilisation des terres, les infrastructures et les priorités de gestion de l'eau (Yates D. 2005).

La zone de recherche appartient au bassin versant transfrontalier de la Maffragh, qui compose le grand bassin Côtiers Constantinois, selon la division hydrographique, qui se trouve dans la zone la plus arrosée de l'Algérie et par conséquent elle est la plus riche en eau de surface et souterraine. Ce milieu est non seulement exceptionnellement riche en biodiversité et extrêmement productif, mais ils jouent également un rôle capital dans la conservation et la gestion des eaux douces (Zouini.2013).

Il existe plusieurs outils spécialisés dans la gestion des ressources en eaux, Pour notre étude nous avons opté pour le logiciel WEAP outil de planification des ressources en eau, basé essentiellement sur la méthodologie de modélisation et la simulation dynamique des changements de structures et de paramètres des systèmes qui rentre en compte du système hydraulique. La gestion des ressources en eau par WEAP nécessite la connaissance de la situation actuelle de futur de cette ressource, et cela afin de modéliser les ressources disponibles, les besoins en eau potable et agricole et aussi estimer les rejets des eaux usées de dans la région de la Maffragh.

Afin d'atteindre les objectifs visés, nous avons dégagé deux parties étalées sur huit chapitres.

La première partie : Contexte naturel du bassin de la Maffragh, fera l'objet d'une étude de reconnaissance des caractéristiques géographiques, géomorphologiques, géologiques, climatiques et socio-économiques du bassin de la Maffragh. Elle se développe sous quatre chapitres :

Le premier chapitre, présentation du Contexte socio-économiques du bassin de la Maffragh.

Le deuxième chapitre, vu générale sur les caractéristiques naturelles de la région.

Le troisième chapitre, est consacré à l'étude l'hydroclimatologique. A cet effet nous sommes basés sur des données établies par l'Agence Nationale des ressources hydriques pour une durée de 39 ans successives (1976/1977- 2014/2015).

Le quatrième chapitre, établir les caractéristiques géologiques de la zone d'étude.

La deuxième partie : fera l'objet d'une étude du ressources en eau, Elle comporte :

Le cinquième chapitre, traite les ressources en eau de surface, lutte contre les inondations, et schéma d'aménagement.

Le sixième chapitre, est consacré à l'étude hydro-chimique afin d'effectuer un suivi qualitatif des différents éléments chimiques au niveau de sept stations et d'étudier leur comportement au sein du bassin de la Maffragh durant une période de haute eau (Janvier) jusqu' à la basse eau au mois de Septembre de l'année 2018. Le traitement de données est fait par une méthode statistique (analyse en composantes principales (ACP)).

Le septième chapitre, donne un aperçu sur la diagnostique des ressources en eau souterraine.

Le huitième chapitre, est basé sur l'essai de gestion intègre des ressources en eau et utilisation du modèle WEAP.

Le présent travail se termine par une conclusion générale faisant apparaître les résultats de l'étude, des références bibliographiques.

PARTIE I

CONTEXTE NATUREL DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH

-  **ChAPITRE 01 : CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH.....**
-  **ChAPITRE 02 : LES CARACTERISTIQUES NATURELS DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH.....**
-  **ChAPITRE 03 : LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES.....**
-  **ChAPITRE 04 : LES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES.....**

A blue geometric graphic element consisting of several overlapping triangles and quadrilaterals, creating a dynamic, abstract shape that tapers to the right.

ChAPITRE 01 :

CONTEXTE SOCIO- ECONOMIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH

1. Aperçus socio-économique

1.1. Etude démographique

1.2. Répartition des populations par commune

Les statistiques disponibles annoncent les résultats présentés dans le (Fig.1) pour l'ensemble des communes incluses dans le bassin de la Maffragh estimation 2008 selon recensement 2008. Cette population est fortement concentrée dans les agglomérations les plus importantes telles que : El Tarf- Ben M'hidi-El Chatt -Besbes... , La densité moyenne de cette population est de 55 hab/km², avec un taux d'accroissement démographique moyen de l'ordre de 2,3% (DPAT, 2008).

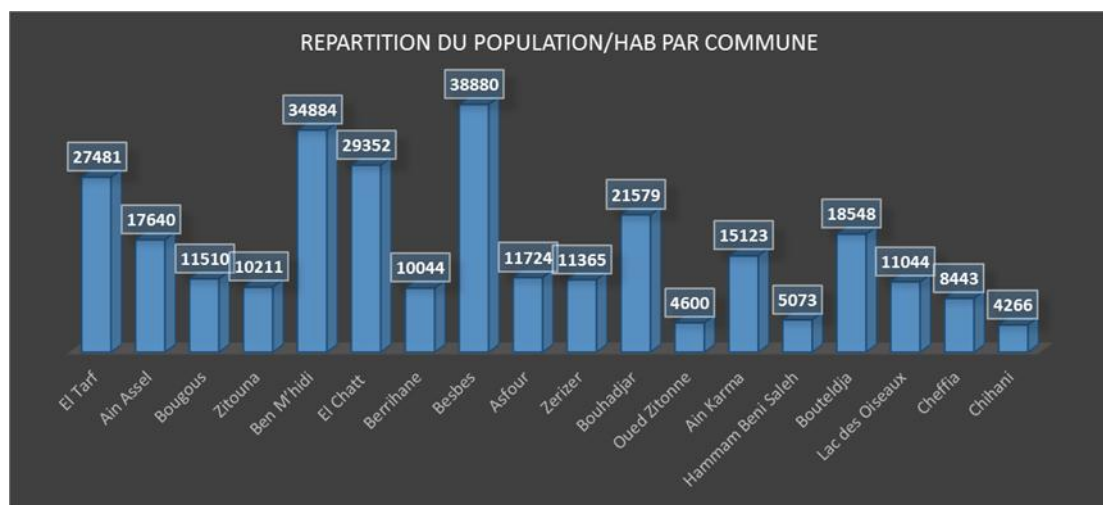


Fig.01. Répartition de la population par commune incluse dans le bassin de la Maffragh en 2011(source DPAT2008)

1.3. Estimation de la population future par zone

On fait une estimation de la population future en utilisant le taux d'accroissement annuel moyen, et en appliquant la formule suivante :

$$P_F = P_0 (1+a)^n$$

Avec :

P_F : Population Future

P_0 : Population recensée référence

$$n = P_F - P_0$$

a = Taux de croisement

L'application de la formule d'estimation de la population future, expliquée ci-dessus (Tab.1), nous conduit vers les résultats présentés dans le tableau suivant

Tab.01. Evolution de la population de la commune du bassin de la Maffragh (2008-2019)

Commune	nombre de population par		
	2008	2019	Taux d'accroissement (%)
El Tarf	27481	39572,64	3,39%
Ain Assel	17640	22050	2,06%
Ben Mhidi	34884	48837,6	3,16%
El Chett	29352	43734,48	3,71%
Besbes	38880	48211,2	2,03%
Asfour	11724	13951,56	1,66%
1Zerizer	113365	14206,25	2,10%
Bouhadjar	21579	28052,7	2,42%
Ain Karma	15123	16937,76	1,08%
Bouteldja	18548	24483,36	2,59%
Lac des Oieseaux	11044	13584,12	1,91%
Bougous	11510	13351,6	1,43%
Zitouna	10211	13172,19	2,36%
Berrihane	10044	12052,8	1,70%
Oued Zitoun	4600	5658	1,95%
H.Beni Saleh	5073	5580,3	0,92%
Cheffia	8443	10047,17	1,60%
Chihani	4266	5247,18	1,91%

1.4. Densité

La population de certaines communes est plus importante des unes des autres (Fig.2) bien que la superficie est presque la même ceci à cause de la vocation de la zone.

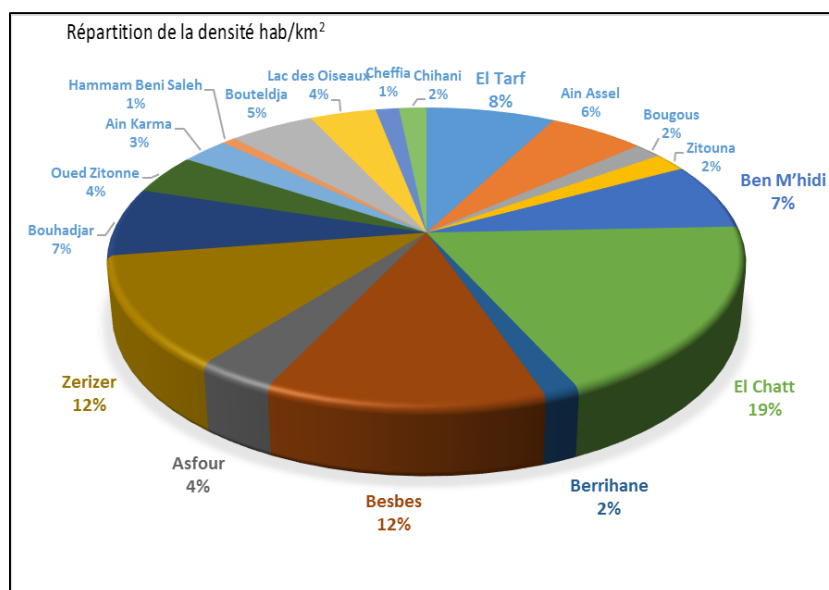


Fig.02. répartition de la densité en 2011 dans le bassin de la Maffragh

1.5. Agriculture

Les activités agricoles pratiquées par la population du bassin de la Maffragh sont toujours à l'état traditionnel ; représentées par les cultures maraîchères et fourragères pratiquées aux abords des sources et des zones humides et les cultures industrielles saisonnières [melon, pastèque, tomate, pomme de terre, haricots verts et poivron] qui prennent proches des points d'approvisionnement en eau, au détriment de la végétation qui protège les dunes et les aulnaies.

Le bassin versant se trouve sous l'influence d'un climat méditerranéen sub- humide de pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 700-1200 mm, aussi morphologie correspond plusieurs types de sols. Donc un tapis végétal diversifier.

Les sols des plaines de Besbes, Ben M'hidi, Lac des Oiseaux, Boutheldja, El Tarf et Ain Assel sont en général favorables pour le développement de toutes les cultures. Néanmoins certains facteurs naturels (platitude du terrain, faible pente, relief ...) limitent son expansion. L'agriculture vivrière est très répandue et occupe des petites surfaces favorisant le morcellement des terres. Seul le périmètre de la Bounamoussa est exploité à 30% de ses capacités. Le périmètre de la Bounamoussa a été réalisé en grande partie par la société Américaine "DRAVO. CORPORATION", il a été mis en exploitation pendant la campagne d'irrigation 1977-1978. Le périmètre occupe une superficie de 16 500 Ha, et une superficie nette irrigable de 13 721 Ha. Les pratiques culturales récentes sont les suivants (Tab.2) :

Tab.02. Répartition de la SUA par groupes de cultures (source DSA El Tarf 2009)

	SUA	Les céréales	Les Fourrages	Légumes Secs	Cultures industrielle	Jachère	Maraichage	Arboriculture
Ha	74131	16502	14500	439	3155	23777	8020	7738
%	100	22,24	19,54	0,59	4,25	32,07	10,81	10,43

- **Les cultures industrielles**

Les cultures industrielles ont l'avantage de fournir un revenu élevé à l'hectare et procurer un haut niveau d'emploi et semblent être pratiquées depuis plusieurs années dans la région. La culture industrielle la plus rencontrée est la tomate industrielle, son importance est liée à : l'augmentation de la demande en tomate concentrée, une culture pour laquelle il existe des débouchés ou unités de transformation et limiter les importations de la tomate.

- **Les cultures maraîchères**

Les cultures maraîchères ont connu une nette augmentation, liée non seulement aux potentialités agronomiques du périmètre mais surtout à la forte demande qui se fait sentir sur le marché local en particulier par sa diversification car les consommateurs des régions à passer cette évolution du niveau de vie et le changement dans les habitudes alimentaires qui donnent suivant préférence à des productions irriguées (légumes et fruits). Les cultures maraîchères qui semblent les plus réparties sont : pomme de terre, piment, vert, aubergine, salade, haricot vert, pois pastèque...etc.

- **Les cultures céréalières**

Ce type de culture a été retenu en faible par sachant que les céréales présentent l'avantage d'être : produits de première nécessité facile à conserver, largement connus dans le périmètre, ne demande peu de travail dont les techniques culturales sont maîtrisées et un produit qui peut constituer l'alimentation de base du bétail.

- **Les cultures fourragères**

La production du lait en effet un facile écoulement vers Annaba tant que le fumier produit contribuera à réduire le déficit en fumure organique des cultures maraîchères de même en vue de la production des protéines dont les besoins intérieurs vont en croissant et dont la carence

et de plus en plus manifesté en irriguée les fourrages : Sorgho et Raygrass. L'introduction du fourrage en sec et en irriguée permet :

- une amélioration des rendements de l'exploitation.
- une augmentation de nombre de têtes laitier.
- par une diminution des surfaces labourées conduisant à une réduction de la main d'œuvre.
- alimentation régulière sans période creuse.

1.5.1. L'élevage

Deuxième activité traditionnelle dans le bassin de la Maffragh après l'agriculture, les systèmes d'élevage qui sont pratiqués dans le bassin de la Maffragh ont une importance considérable pour l'économie rurale. La plupart de la population y compris des citadins dépendent d'un soutien de famille dont les principale sources de revenus est l'élevage. L'élevage est généralement pratiqué selon le mode traditionnel du type extensif, L'alimentation est basée essentiellement sur le pâturage naturel et auquel s'ajoutent les résidus de récolte [drèches de tomate,]

1.5.2. Forêts

Le PNEK près d'une superficie de 76,438 ha, dont près de 30000 ha sont située dans le bassin versant de la Maffragh. Le tapis végétal de la région d'étude est à vocation principalement forestière puisque Les forêts occupent 57.28 % du territoire de la Maffragh (Fig.3). Quatre types d'occupation du bassin versant de la Maffragh seront abordés :

- série du chêne liège et chêne kermès,
- série du chêne Zéen,
- série du l'Oléo- lentisque,
- Végétations des reboisements artificiels.

1.5.2.1. Série de Chêne Liège et Chêne Kermès

Elle représente près de 35.02 %, ce qui correspond au tiers de la couverture forestière totale. C'est l'association la plus répandue dans le bassin versant. Dans les situations

ombragées et en présence de sources, le Chêne Liège est accompagnés de Chêne Zéen. Le Chêne Kermès reste subordonné au Chêne Liège jusqu'à 300 m d'altitude, Alors que lorsque il y a un placage de sable sur les grès numidiens, une association de Chêne Kermès et de Chêne Liège se développe, car une certaine humidité est conservée au niveau des sols. Actuellement, le Chêne Kermès s'étend sur le cordon dunaire.

1.5.2.1.2. La Série de Chêne Zéen

Très peu développé, il ne représente que 4.98 % de la superficie forestière totale. Dans un milieu frais et ombragé, le Chêne Zéen élimine les autres essences à partir de 700m.

1.5.2.1.3. Série de l'Oléo-Lentisque

On les rencontre sur les terrains lourds et au niveau des piémonts dégradés, autrement dit sur les versants comme sur le versant méridional de Djebel Souani (entre Ain Karma et Bouhadjar), où elle se développe sur des marnes argileuses.

1.5.2.1.4. Végétation de reboisements artificiels

Ce sont des espèces introduites par divers reboisements d'Eucalyptus et de Pin Maritime soit 15.65 % de la couverture forestière. Les conditions écologiques qui prévalent dans chaque zone du bassin versant (à savoir le littoral, les plaines et les montagnes) sont déterminantes dans la distribution de ces espèces. C'est ainsi qu'il existe dans le littoral la plus grande réserve d'Aulnaies et le plus important reboisement de Pin Maritime (Région de Berrihane, Lac des Oiseaux et Boutheldja, Besbes et Chihani). La zone des plaines s'individualise par la forte concentration des reboisements d'Eucalyptus : les Communes de Cheffia, Zitouna, El Tarf et Ain Assel renferment les plus grandes surfaces.

En fin, l'Hygrophile

La stagnation temporaire des eaux a favorisée le développement de plusieurs types de végétations dont on peut citer : le Peuplier, le Tamaris et le Laurier-rose.

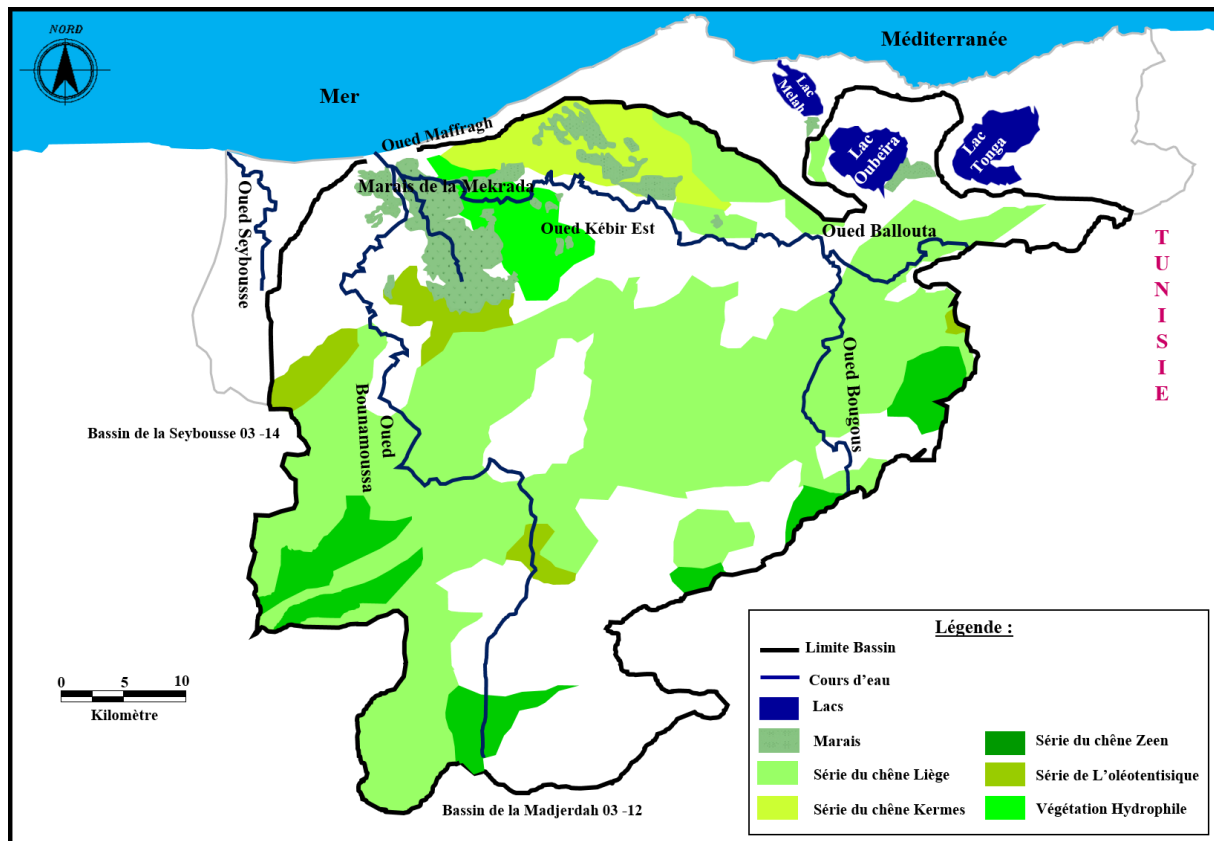


Fig.03. Carte de couverture végétale du bassin versant de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

1.5.3. Pêche

L'activité de pêche s'enregistre avec une grande importance que ce soit dans la côte maritime ou bien dans les lacs ou oued (Labar.S, 2003). La réglementation de pêche et la création de poste de pêche sur les rives des oueds EL kébir, Bounamoussa et au bord des lacs (Oubaira), seront d'un apport certain pour le développement de la région.

L'activité du pêche à l'embouchure de la Maffragh sont caractériser par les Poissons suivante :

- Poissons d'Eau Douce : Anguille, Barbeau, Carpe

-Poissons Marins : Rascasse, Sole, Marbre, Pageot, Latcha, Sar, Figue, Loup, Bouledogue, Rouget.

1.6. Industrie

Le bassin de la Maffragh par sa vocation agricole dont l'activité industrielle est moins importante par rapport aux autres secteurs de la région caractérise par quelques entreprises agroalimentaires, briqueterie, des carrières de sable (Tab.3).

Tab.03. Répartition des industries dans le bassin de la Maffragh (Source DMI 2011)

Industries	Désignation des unités	Activités principales	Commune
agroalimentaires	Minoterie de l'Est	Farine	Ben M'Hidi
	Minoterie de Littoral	Farine	El Chatt
	Carajus racherache	Boissons fruitées	El Chatt
	Unité Eaux minérales Bouglez	Eaux minérales palettes	Boutheldja
	Limonaderie Bambino	Eaux gazéifiées	Ben M'Hidi
	Laiterie conserverie royale	Lait et produits dérivés	Besbes
	Laiterie Oubeira	Lait et produits dérivés	Ben M'Hidi
	Conserverie les Aures	Concentré de Tomate	Besbes
	Conserverie El Bousten	Concentré de Tomate	Zrizer
	Conserverie Sijico	Concentré de Tomate	El Chatt
	Conserverie Saca	Concentré de Tomate	El Chatt
	Conserverie Carsi 1	Concentré de Tomate	Ben M'Hidi
	Conserverie Carsi 2	Concentré de Tomate	Boutheldja
ISMMS	Galva-Tubes	Produits Sidérurgiques	El Chatt
Chimiques et Pharmaceutiques	Buicare Médicament	Conditionnement produits Pharmaceutiques	Ben M'Hidi
	INPHA Médicament	Conditionnement produits Pharmaceutiques	Ben M'Hidi
	Morane Soudure d'Algérie	Emballage plastic	Ben M'Hidi
	Mini centre enfuteur NAFTAL	Mise en bouteille gaz butane	El Tarf
Matériaux de Construction	Briqueterie El Amel	Briques	Boutheldja
	Unité carrelage	Carrelage	Ben M'Hidi

1.7. Potentiel touristique

Le bassin de la Maffragh renferme un potentiel touristique indéniable grâce à ses zones humides telles que les lacs (Oubaira) et les Marais de la Mekhrada, les vestiges romains de Bougous, les sources thermales hammam sidi Trad, les écosystèmes forestiers, et un très riche faune et flore. La région dispose de trois (03) zones d'expansion touristiques (Tab.4)

Tab.04. Caractéristiques des Z.E.T (Source Direction du tourisme2011)

Commune	Dénomination de la Z.E.T	Superficie par décret (ha)
Berrihane	Hennaya	870
Berrihane	Maffragh- Est	1600
Ben M'Hidi et El Chatt	Maffragh- Ouest	1150

La zone d'expansion touristique Hennaya est accueillir un investissement touristique de rang international. Par contre les deux zones d'expansion touristique Maffragh- Est et Maffragh- Ouest sont destinées à un tourisme de rang moyen et de masse.

1.8. Facteurs de pollution

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe la vie aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et les eaux souterraines. Les origines de la pollution des eaux sont variées et intimement liées aux activités humaines : pollutions domestiques, urbaines, industrielles et agricoles. Les principales manifestations de la pollution des eaux de surface sont de nature chimique ou biologique et peuvent être pathogènes pour l'homme (Haddou 2010). Les substances polluantes de l'eau sont celles qui la rendent impropre à la consommation ou qui dégradent certaines de ses propriétés (Bliefert 2001). D'autres polluants, introduits dans l'environnement par l'industrie, sont pratiquement réfractaires à toute forme de dégradation par voie biologique. Leur teneur augmente dans les eaux, les sédiments et les organismes aquatiques (Zgheib 2009, Cicedd2011).

1.8.1 Pollution urbaine

Par temps sec, les eaux usées urbaines ont des caractéristiques qualitatives et quantitatives variables mais assez Reproductibles d'un cycle journalier à l'autre. La production d'eau usée domestique est variable mais assez reproductible sur un cycle journalier, toutes choses égales

par ailleurs. Il existe cependant des cas particuliers tels que les stations touristiques en saison (variation brutale et importante de la population sur une courte période) ainsi que les réseaux d'assainissement urbains qui reçoivent une part importante de rejets industriels. La production d'eaux usées observée par temps sec continue bien évidemment pendant le temps de pluie (Philippe 2003).

Les rejets urbains des agglomérations des bassins de la Maffragh déversées directement à ciel ouvert dans l'oued El Kébir Est et l'oued Bounamoussa, mais aussi le problème de mauvaises gestion des déchets solides urbains (les décharges sauvages).

1.8.2 Pollution industrielle

Le développement considérable des activités industrielles est la cause d'un croisement important des pollutions et des nuisances suite aux sous-produits organique et inorganiques des activités humaines. Ces derniers existent depuis des siècles, mais leur nocivité s'est exercée à cause de leur excès qui dépasse les capacités de destruction et de recyclage des organismes décomposeurs présents dans tout écosystème (Koller 2004).

Le bassin de la Maffragh riche par ses entreprises d'agroalimentaires et les unités des conserveries de tomate qui rejettent des eaux très chargées par les polluants et des quantités importantes de polluants dans l'environnement. Ainsi, les eaux usées ont une part importante dans la dégradation du milieu récepteur et risquent de constituer à l'avenir la cause essentielle de la pénurie d'eau et des problèmes de santé publique (Ghadbane, 2003).

1.8.3 Pollution agricole

De façon générale, l'agriculture est une grande consommatrice d'eau. Dans les conditions arides et semi arides, les exploitants agricoles sont amenés à utiliser différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures.

L'agriculture utilise également des quantités importantes de produits agrochimiques, comme des insecticides, des pesticides, des herbicides, des fongicides, des fertilisants et des produits vétérinaires (Corvaglia, 2006), qui sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des éléments nutritifs et des métaux lourds issus des déchets animaux et des engrais commerciaux. L'utilisation des pesticides peut entraîner la présence de résidus dans les denrées végétales

récoltées et dans les aliments d'origine animale mais également dans l'eau de distribution (Merhi 2008).

La région de la Maffragh avec une vocation agricole. Et les différentes cultures pratiquées, actuellement sont soumises à l'utilisation intensive des épandages d'engrais (riches en NO_3 , SO_4 , PO_4) et des pesticides, sous une forme ou en quantité telles qu'ils ne soient plus retenus par le sol et assimilés par les plantes. Ainsi, on observe un enrichissement en éléments chimiques des eaux de surface et des nappes où elles sont en contact (par drainante ou confondues). La menace des pollutions agricoles se fait sentir réellement en basses eaux en l'absence de précipitations (dilutions) et les pompages pour l'irrigation en été.

1.9. Conclusion

Situé à l'extrême Nord-Est Algérien, le bassin de la Maffragh, couvrant une surface soit environ de 2870 km². Et englobe un nombre de population de 378 730,91 habitants pour l'ensemble du bassin estimation (2019) selon recensement 2008.

Du point de vue climatique, le bassin de la Maffragh est parmi les régions les plus arrosées du Nord-Est Algérien avec une pluviométrie moyenne de 700- 1200 mm, le bassin de la Maffragh à vocation agricole, une activité qui demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures. Cette dernière menace par la pollution des rejets urbains des agglomérations, les pesticides et les entreprises d'agroalimentaires et les unités des conserveries de tomate qui rejettent des eaux très chargées par les polluants.

A blue geometric graphic element consisting of several overlapping triangles and trapezoids, creating a dynamic, abstract shape that points towards the right.

ChAPITRE 02 : LES CARACTERISTIQUES NATURELS DU BASSIN VERSANT DE LA MAFFRAGH

2. Etude du bassin versant de la Maffragh

Le bassin versant fonctionne comme un collecteur de précipitations qui vont se transformer en plusieurs types d'écoulements tout dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morphométriques (forme, relief, altitude, pente, réseau de drainage etc.) et la nature du sol ainsi que le couvert végétal. Ces caractéristiques qui interviennent de façon combinée pour expliquer les modalités de l'écoulement, s'appellent à une analyse quantitative. Dans cette première partie nous allons traiter les caractères physiques et climatologiques de notre région d'étude. L'analyse et l'interprétation de ces caractères sont d'une importance primordiale. (Affoun. 2006)

2.1. Situation géographique

Le bassin versant de la Maffragh est situé à l'extrême Nord Est Algérien (fig.4) ,faisant partie des bassins côtiers Constantinois , Selon les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques, il est inclus dans le bassin versant des côtiers Constantinois-Est et codifié sous le numéro 03 (ANRH)et s'étend de 7°45 à 8°45 de longitude Est et de 36°20 à 36° 55 de latitude Nord. Il est encadré par la mer méditerranée au nord, les montagnes de la Cheffia au sud, la Tunisie à l'Est et le bassin versant de la Seybouse à l'Ouest.

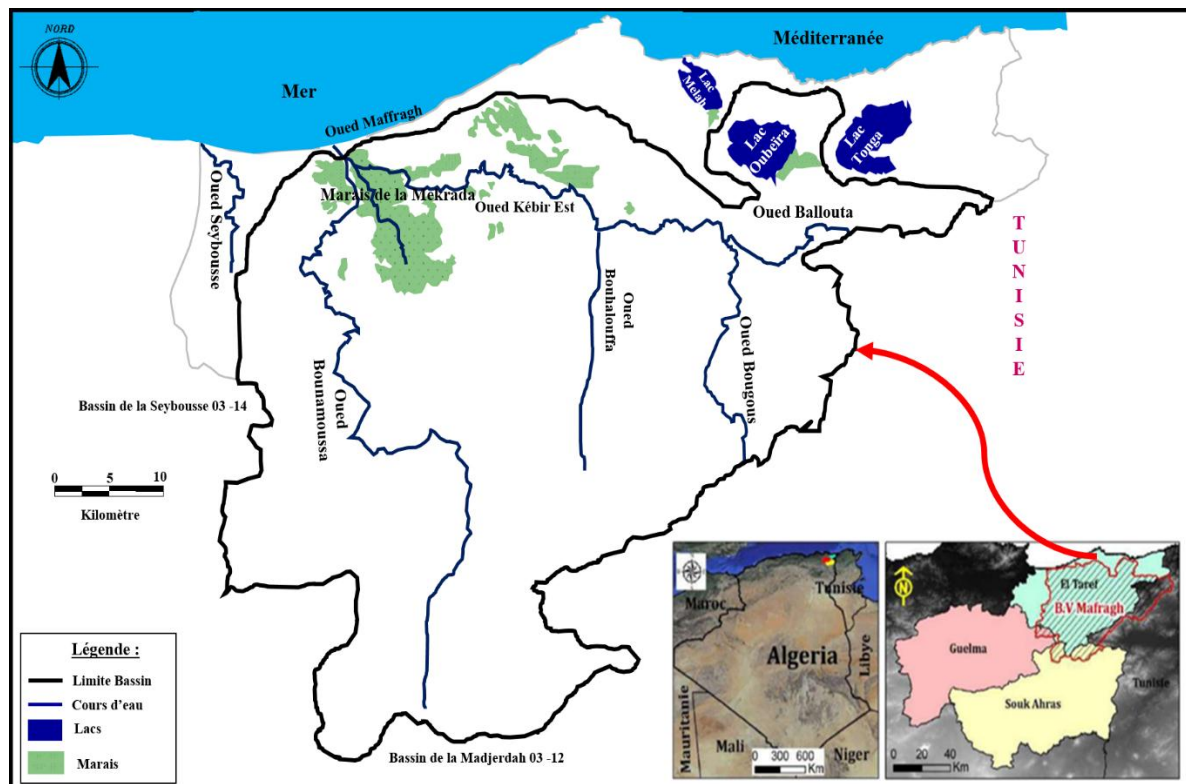


Fig.04. Carte de situation géographique du bassin de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

Le bassin de la Maffragh est drainé par deux oueds importants :

- L'Oued Bounamoussa à l'Ouest.
- L'Oued El Kebir-Est à l'Est.

Ces deux cours d'eau rejoignent la mer par un exutoire unique : L'Oued Maffragh. Le bassin versant de la Maffragh couvre une surface de 2870 Km², soit 70.30% de la superficie totale du côtiers Constantinois-Est.

2.1.1. Identification administrative

Signalons que le bassin versant de la Maffragh représente 77.87 % de la superficie totale de la Wilaya d'El Tarf. Donc l'espace physique du bassin versant de la Maffragh ne correspond pas à l'espace administratif de la Wilaya d'El Tarf.

2.2. Géomorphologie

Le bassin de la Maffragh est partagé entre deux entités totalement opposées, appartenant toutes les deux au domaine tellien. Au Nord dominée par les plaines, le cordon dunaire et le massif, la partie montagneuse au Sud (Fig.5).

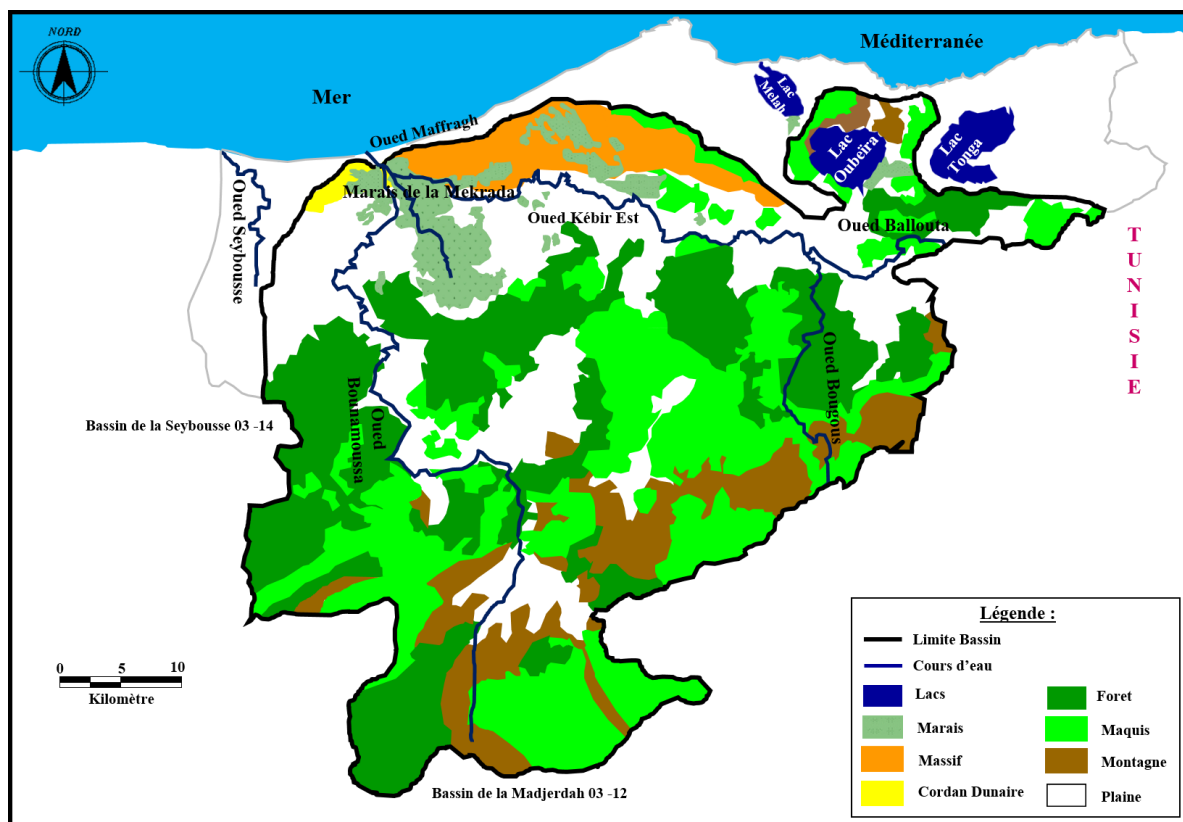


Fig.05. Carte des unités géomorphologiques du bassin de la Maffragh d'après Bahroun. S modifié par (Boubguira. S.2020)

2.2.1. Les Plaines Littorales

2.2.1.1. La Plaine de Boutheldja (basse vallée du Kébir-Est)

Tout à l'Est, la plaine de Boutheldja correspond à la basse vallée de l'Oued Kebir-Bougous. Occupée sur ses bordures par des étangs marécageux (Lac des Oiseaux, Région de Righia), elle est légèrement bombée de part et d'autre de l'oued.

2.2.1.2. Les Bordures de la Plaine d'Annaba (Basse vallée de la Maffragh)

La terminaison extrême Nord-Est de la grande plaine d'Annaba s'organise autour de Garaat M'Khada où convergent les Oueds El Kebir, Bou Namoussa et Bouhllalah donnant naissance à L'Oued Maffragh avant de se jeter dans la Méditerranée.

2.2.2. Les Bassins Intérieurs

Trois types de bassins internes peuvent être distingués : des bassins montagnards, un bassin de plaine et des bassins littoraux occupés par des lacs.

2.2.2.1. Les Bassins Montagnards

Ces bassins, à caractère montagnard, sont des fenêtres qui ont été creusées dans la nappe des grés numidiens, des failles normales ont conditionnées la localisation et les limites des bassins

2.2.2.2. Le Bassin de la Cheffia

Creusé dans des roches tendres, il présente deux parties avec au centre une ligne de hauteur qui joue le rôle de ligne de partage des eaux. La partie méridionale, occupée par le Lac du Barrage de la Cheffia (570 ha), est drainée par l'Oued Bounamoussa. La partie septentrionale, drainée par Oued Cheffia, présente une topographie de glacis. L'ensemble est dominé, sur toutes ses bordures, par des escarpements gréseux. Le bassin est drainé par Oued Cheffia qui rejoint Oued Boulathane par des gorges vers le Nord.

2.2.2.2. Le Bassin d'Ain el Karma

Ce bassin est drainé par l'Oued Yabous et Chaabet Rebiha avant de former Oued Zitouna vers le Nord. Il est caractérisé par une topographie morcelée où les altitudes varient. Elles sont de 1041m à Djebel Dir vers le Sud-Est, pour atteindre les 349m à Kef Ain Loulidja. En son centre, un promontoire «Cap » porte le nom de Bourdj Ain El Karma.

2.2.2.3. Le bassin de Bouhadjar

Il est caractérisé par une topographie plus accidentée où les altitudes atteignent les 808m à Djebel Souani, 1406m à Djebel M'Sid, 1015m à Kef El Boum et 740m à Draa Safsaf. Il est drainé par deux oueds importants : Oued Bouhadjar et Oued El Kebir. Ce bassin constitue la zone d'alimentation du barrage de la Cheffia qui se situe au nord de ce dernier.

2.2.3. Le Bassin des Plaines

Au Nord-Est, le bassin d'El Tarf -Ain Assel est une véritable plaine interne. L'altitude du fond plat varie de 2 à 28 m, et est parcourue par l'amont d'Oued El Kebir. .Au Nord, le Lac Oubëira qui occupe une dépression prolonge cette plaine. Plus au Sud l'ensemble du bassin est dominé par des escarpements gréseux qui le ceignent complètement. Des vallées étroites drainent ce bassin avant de rejoindre Oued Kebir qui met en communication le bassin d'El Tarf avec la plaine de Boutheldja vers l'Ouest par un couloir étroit.

2.2.4. Les Bassins Littoraux

Les crêtes de la ligne de partage des eaux au nord de l'Oued El-Kebir et qui sépare le bassin versant de la Maffragh des côtières de La Calle sont caractérisées par des altitudes basses allant d'Ouest vers l'Est de 177m à Djebel Bourdim à 156m à Djebel Hdjar Siah pour atteindre les 254m dans l'extrême Est à la limite Algéro-Tunisienne (Kef Maatallah).

2.3. Les Hautes Montagnes (Djebels)

2.3.1. Les Monts de la Cheffia

Parallèlement à la chaîne des Monts de la Medjerda, les Monts de la Cheffia constituent une deuxième barrière topographique, mais plus modérée, d'orientation SW-NE où l'altitude varie entre 996m à Bled Djemaat El Guerfi (Forêt de l'Oued Soudan), en allant vers le NE et 808 m à Djebel Souani, 659m à Djebel Oum Ali et 463m à Ras El Ourda. Elle est de l'ordre de 396m à Kef Rhorf Dbeïa et ne dépasse pas les 179 m à Kef El M'kouz.

2.3.2. Les Monts de la Calle (El Kala)

Les monts de la Calle font la continuité des Monts de la Cheffia à travers une zone de reliefs, sans lignes directrices bien marquées, découpés par les quatre vallées transversales (SSO-NNE), des oueds Cheffia, Bouhalloufa, Guergour et Bougous, tous tributaires de L'Oued El Kebir (haute Maffragh).

2.3.3. Les Monts de la Medjerdah

Le long de la frontière algéro-tunisienne, les Monts de la Medjerda constituent une barrière topographique d'orientation SW-NE dont le point le plus élevé culmine à 1406m (Djebel M'Sid). L'altitude s'abaisse progressivement vers le Nord-Est pour atteindre 1041m à Djebel Dir, 1202 m à Kef Rokba « Ghorrat el Hammam » et 821m à Kef Mzaza. La ligne topographique de la Medjerda est la troisième barrière topographique qui longe le bassin versant dans sa partie sud. Elle porte des escarpements rocheux et son versant nord (Algérien) en pente forte, a un commandement de 500m et plus.

2.4. Le Cordon Dunaire

Vers le nord, le massif dunaire constitue la limite nord du bassin versant de la Maffragh. Le long du littoral, un gros cordon dunaire s'étend depuis l'embouchure de la Seybouse jusqu'au Cap Rosa. Peu large et peu épais à l'Ouest, il se développe vers l'est où il atteint 120 m d'altitude et 7 à 8 km de large. Il constitue aussi une véritable barrière entre la plaine intérieure et la mer, ce qui gêne le drainage. Seul l'Oued Maffragh est capable de la traverser, bien qu'il soit souvent obstrué en hiver. Des séries de ligne de dunes isolent la grande plaine de Annaba de la méditerranée. Leur point culminant (89 m) se trouve à 1300 m de la mer.

Ainsi l'ensemble de la région dunaire dessine une pente plus raide vers la méditerranée que vers l'intérieur des terres. L'aire occupée par les dunes finit sur la mer par un abrupt de 40m de haut À l'ouest de l'embouchure de la Maffragh. Vers l'Est, le réseau de dune se développe largement dans la zone du Cap Rosa allant d'une largeur de 1,5km du côté Est de la Maffragh à 15 km vers El Tarf. Le massif dunaire est d'une longueur de 25km depuis la Maffragh jusqu'à El Tarf.

2.5. Formes de Relief Marqués par des Tranches d'Altitudes

La carte altimétrique donne plus de détails sur la morphologie du bassin versant. En effet la (Fig.6) de la répartition altimétrique nous permet de dégager les formes du relief les plus caractéristiques du bassin versant et leurs altitudes. On distingue 04 tranches d'altitude :

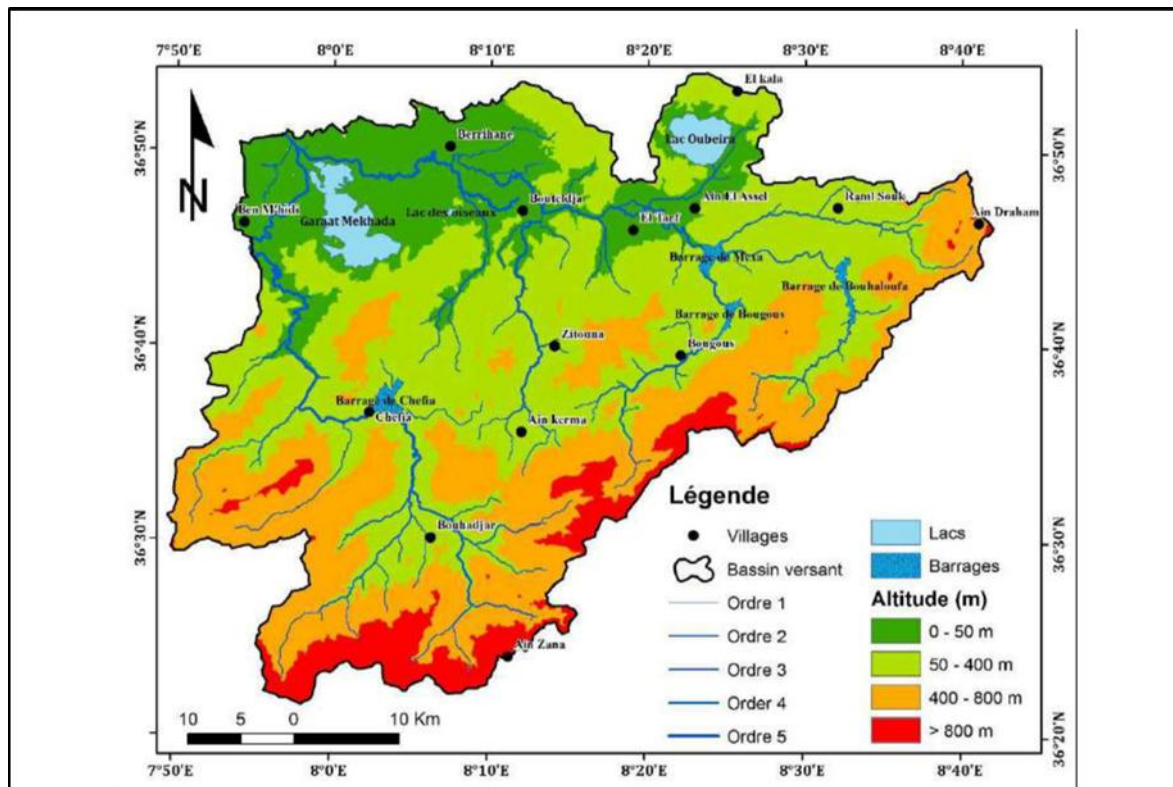


Fig.06. Carte altimétrique du bassin versant la Maffragh

2.5.1. Plaines et épandages de 0 à 50 m

Les plaines s'étalent d'Est en Ouest sur 1100 Km² d'une altitude inférieure à 10 m et atteignant les 50m. L'épandage forme la zone de contact entre la plaine et les versants où s'étalent les alluvions des cours d'eau formant alors des plaines d'épandages.

2.5.2. Les Versants

Ils apparaissent dans une tranche d'altitude allant de 50 à 400 m, comme dans les basses collines des Monts de la Cheffia qui entourent les bassins intérieurs de Bouhadjar, Cheffia, Ain Karma et Asfour, ainsi que dans la région de Bougous au niveau de Djebel Oum Ali, et occupent le centre du bassin versant.

2.5.3. Les Collines

Elles sont représentées sur la carte par la tranche d'altitude de 400-800m. Elles apparaissent sur les limites Ouest du Bassin versant sur Kef-el-Ouach, Kef el Ramoul et Kef Mzaza sur les frontières Algéro-Tunisiennes. Elles constituent les crêtes de la ligne de partage des eaux de l'Ouest vers l'Est.

2.5.4. Les montagnes

D'une altitude variant de 800 jusqu'à 1406 m, elles sont représentées par Kef el Boum, Kef Rekeb à l'Ouest et Djebel Dir, Djebel El Ghorra à l'Est. Elles représentent les crêtes de la ligne de partage des eaux du bassin versant dans sa partie Sud.

2.6. Sol

La répartition spatiale des sols dépend étroitement d'un certain nombre de facteurs, notamment le climat, la roche mère, la topographie et la végétation. Parmi ces facteurs, le climat revêt une importance capitale quant aux processus pédogénétiques. Son influence est mécanique et chimique. En effet conditionnant les précipitations, les écarts thermiques et la couverture végétale, il détermine le degré d'altération de la roche mère dont est issue la partie minérale du sol et ses propriétés physico-chimiques (Hedjal.S.2019)

Les sols les plus répandus dans le bassin de la Maffragh à l'Est, et au Sud sont des sols podzoliques développés sur les terrains montagneux et forestiers et le long de la frontière aussi des sols calcaires ou des sols insaturés. Comme il existe des sols dunaires le long de la bande littorale, au centre et à l'Ouest des sols alluviaux, sols salins et sols de marais (Fig.7).

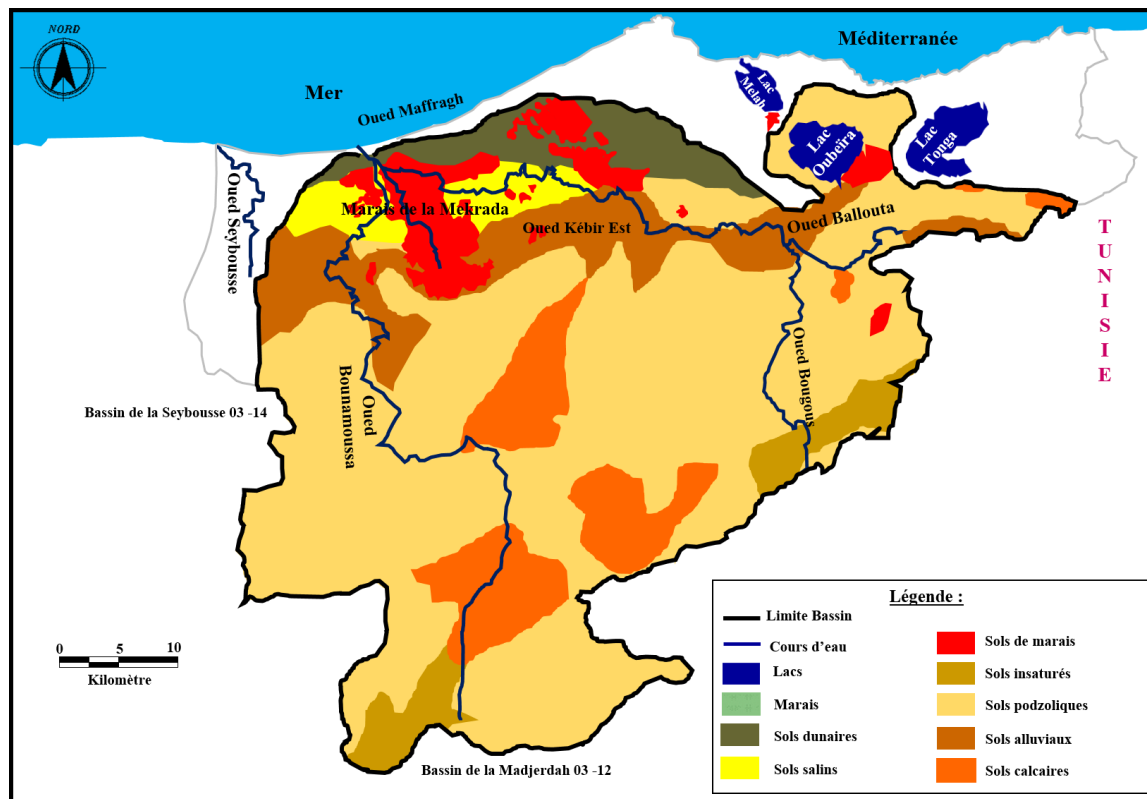


Fig.07. Carte des sols du bassin versant de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

2.7. Les caractéristiques morphométriques du bassin de la Maffragh

2.7.1. La courbe hypsométrique

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude du relief. Elle met en évidence le profil type du bassin et les pentes ; facteur déterminant de l'écoulement. Il devient donc impératif d'étudier la répartition de la superficie du bassin par tranche d'altitude. Les intervalles d'altitudes et les surfaces qu'elles occupent sont représentés dans le tableau ci-dessous (Tab.5). Ils permettent de tracer la courbe hypsométrique (Fig.8)

Tabl.05. Répartition des fréquences altimétriques du bassin de la Maffragh

Tranches d'altitudes (m)	Surface cumulée Ai	
	Ai (Km ²)	Ai (%)
1406 - 1300	3,444	0,12
1300 - 1200	11,767	0,41
1200 - 1100	24,969	0,87
1100 - 1000	45,920	1,60
1000 - 900	92,988	3,24
900 - 800	164,451	5,73
800 - 700	293,601	10,23
700 - 600	468,671	16,33
600 - 500	681,625	23,75
500 - 400	951,692	33,16
400 - 300	1288,056	44,88
300 - 200	1632,456	56,88
200 - 100	1951,313	67,99
100 - 0	2870	100

La courbe hypsométrique met en relation les altitudes et les surfaces dans un bassin, sous forme de fréquence de superficies inférieur à un seuil donné. D'après (Strahler 1952) une courbe hypsométrique est le reflet de l'état d'équilibre dynamique potentiel du bassin versant.

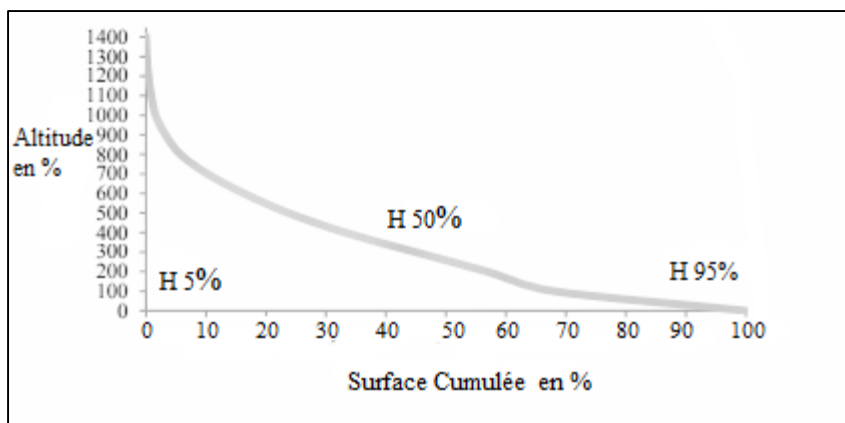


Fig.08. Courbe hypsométrique du bassin de la Maffragh.

2.7.2. Caractéristiques géométriques

2.7.2.1. La superficie

La superficie du bassin versant de la Maffragh a été évaluée à 2870 Km² par planimétrie sur la carte topographique Bône au 1/200.000 après avoir tracer les limites.

$$\mathbf{A = 2870 \text{ Km}^2}$$

2.7.2.2. Le périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, il est exprimé en Km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés (Riad.2003)

$$\mathbf{P = 313.8 \text{ Km}}$$

2.7.3. Indice de compacité (coefficient de Gravelius)

Cet élément peut être caractérisé par l'Indice de compacité de Gravelius KC (Roche M. 1963) ayant une influence certaine sur l'écoulement. La forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, où un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée. Ce coefficient est égal à 1 lorsque le bassin est parfaitement circulaire. Il est égal à 1.128 dans le cas d'un bassin carré, et il peut atteindre la valeur 3 pour des bassins très allongés (Liamas J. 1993).

La forme est exprimée par l'indice de compacité, qui correspond au rapport du périmètre P du bassin et sa surface A.

$$\mathbf{Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}}$$

D'où

A : Superficie du bassin en Km²

P : périmètre stylisé du bassin en Km

Si : $Kc \leq 1 \rightarrow$ Bassin versant de forme circulaire

$Kc = 1.12 \rightarrow$ Bassin versant de forme carrée

$Kc > 1.12 \rightarrow$ Bassin versant de forme allongée

Le bassin versant de la Maffragh est caractérisée par la forme allongée, sa valeur est de l'ordre de (1.73), ce qui favorise le temps de concentration des eaux élevé.

$$K_c = 1.73$$

2.7.4. Rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par (Roche 1963), (Mecibah.2017) permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

Le rectangle équivalent est défini comme le rectangle de longueur **L** et de largeur **I** qui a la même surface, même périmètre, même indice de compacité et même répartition hypsométrique que le bassin versant.

La formule qui nous permet de déterminer les dimensions de ce rectangle fait intervenir l'indice de Gravelius et la superficie du bassin, elle s'écrit (avec $K_c \geq 1.12$) :

$$L = \frac{K_c}{1.12} \times \sqrt{S} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$$L = 145,63 \text{ Km.}$$

$$I = \frac{K_c}{1.12} \times \sqrt{S} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$$I = 19,86 \text{ Km.}$$

L : Longueur du rectangle équivalent en Km

I : Largeur du rectangle équivalent en Km

A : Surface du bassin Km².

K_c : Coefficient de Gravelius

2.7.5. L'indice de pente global (Ig)

L'indice de pente global (Ig), exprimé en m/km, est le rapport de la différence des altitudes de fréquence 5% et 95% (D, en m); est également défini par (Roche, 1963). D'où :

$$Ig = D/L$$

Où :

D : étant la dénivelée simple.

L : Longueur du rectangle équivalent.

Le graphe de la courbe hypsométrique permet de déterminer les valeurs suivantes :

-L'altitude à 95 % de la surface, **(H 95%) = 15,62 m**

-L'altitude à 5 % de la surface, **(H 5%) = 829,71 m**

2.7.5.1. Dénivelée simple

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$$D = 814,09 \text{ m}$$

$$I_g = D/L$$

$$I_g = 814,09 / 145,63 = 5,59 \text{ m/km} = 0,0559\%.$$

2.7.6. L'indice de pente moyenne

Le but de cet indice est de caractériser les pentes d'un bassin ce qui permet des comparaisons et des classifications.

$$I_m = \Delta H / L$$

$$\text{avec : } \Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

$$I_m = 1406 - 0 / 145,63 = 9,65 \text{ m/km}$$

L : Longueur du rectangle équivalent.

2.7.7. Dénivelée spécifique

Elle sert à la classification du bassin versant, calculé à l'aide de la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{A}$$

$$D_s = 299,46 \text{ m.}$$

Selon la classification de relief selon la méthode de l'OR STOM à partir du **Ds**, le bassin versant de la Maffragh se trouve dans la classe **R6**, présente un relief fort (Tab.6)

Tab.06. Classification de relief selon la méthode de l'OR STOM à partir du Ds

Classe	D _s	Type de relief
R1	D _s < 10 m	Relief très faible
R2	10 m < D _s < 25 m	Relief faible
R3	25 m < D _s < 50 m	Relief assez faible
R4	50 m < D _s < 100 m	Relief modéré
R5	100 m < D _s < 250 m	Relief assez fort
R6	250 m < D_s < 500 m	Relief fort
R7	D _s > 500 m	Relief très fort

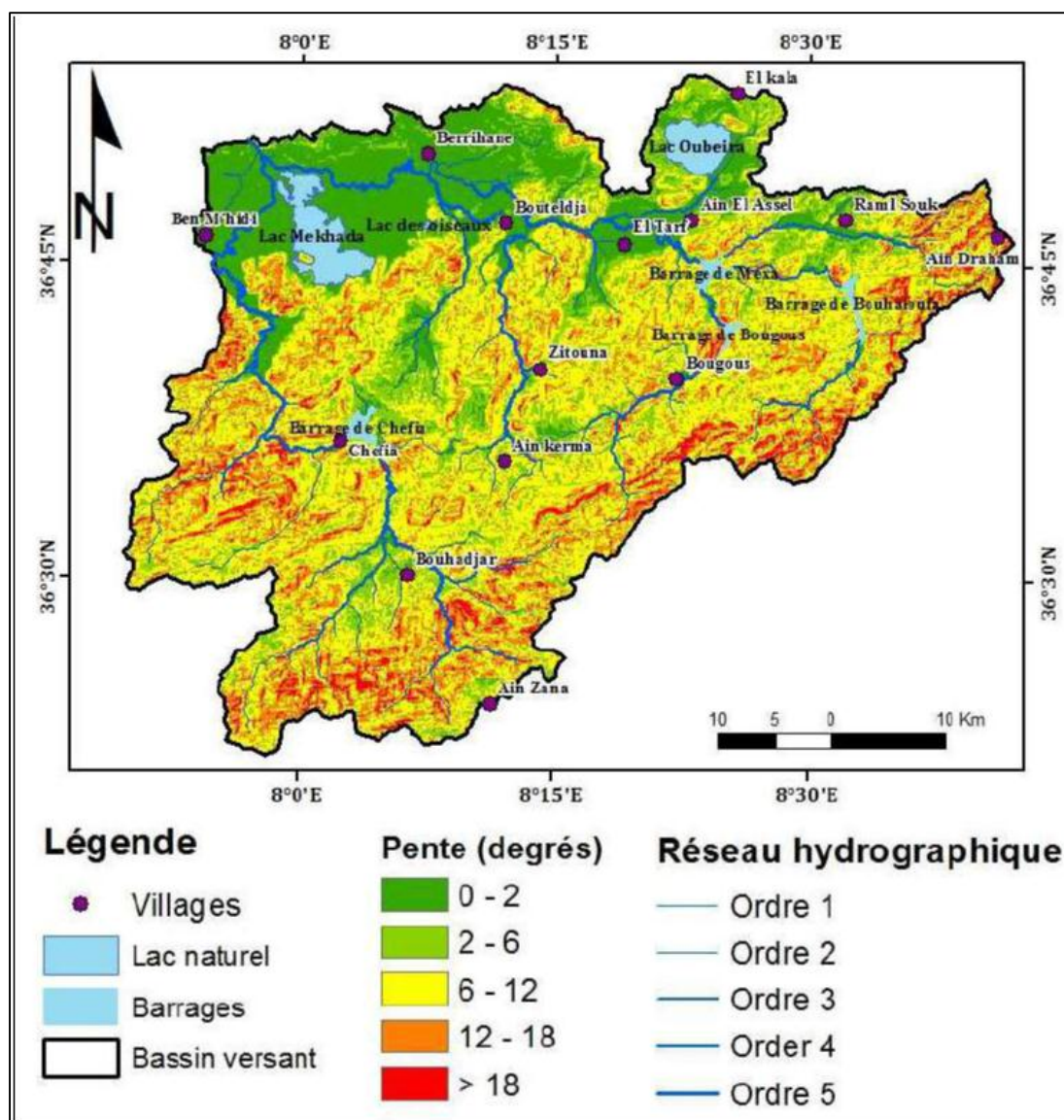


Fig.09. Carte de répartition de pentes du bassin versant de la Maffragh.

Les différentes classes de pentes (Fig.9), sont déterminées à partir du logiciel ArcGis qui consiste à établir une échelle millimétrique des distances qui correspondent à chaque pente

2.7.7.1. La classe (0-2 %)

Cette classe est localisée sur un matériel alluvionnaire (sablo-limoneux, sablo-argileux) de la basse vallée de la Maffragh (autrement dit Plaine de Annaba/Boutheldja et ElTarf/Ain Assel), et apparaît également sur les replats des sommets gréseux. Ces formes restent submergées durant la période pluvieuse en raison de la faible capacité d'évacuation de l'Oued Maffragh à cause de l'ensablement de l'embouchure ; ce qui provoque une stagnation et par conséquent un retour d'eau, surtout quand la mer est en haute eaux, d'où une mauvaise réception des eaux d'oueds par cette dernière.

2.7.7.2. La classe (2-6 %)

Cette classe apparaît sur les zones d'épandage et au pied des versants sous forme de glacis dans le bassin de Bouhadjar, Cheffia et Ain Karma comme les glacis de Djebel Oum-Ali, ainsi que sur le cordon dunaire qui se caractérise par une pente généralement faible

2.7.7.3. La classe de (6- 12%)

Cette classe de pente qui reste relativement faible, marque spatialement le Sud-Est du bassin versant. On la rencontre sur les versants des collines de Ksar Ouglaa, dans le bassin d'Ain Karma « Djebel Loulidja », sur le versant d'Oued Zitouna à Mechtat Bou Barouk et Haoud Safsafa, dans la partie Ouest

2.7.7.4. La classe de (12-18%)

Elle est essentiellement localisée sur les hauts piémonts de Djebel El Ghorra à l'Est et M'Sid au Sud, ainsi que djebel Souani qui fait limite entre le bassin de Cheffia et de Bouhadjar. Plus vers le Nord on la rencontre sur Djebel Bouabed et Djebel Bourdim (Mechtat Oum El Aguerb) au niveau du cordon dunaire, et à Djebel Ain Bagrat à L'Ouest. Cette zone connaît la même dynamique avec une intensité plus prononcée.

2.7.7.5. La classe supérieure à 18 %

Cette classe localisée sur la partie amont de Djebel Ghorra à l'Est, Bled Djemaa El Guerfi à l'Ouest, plus au Nord à Kef El Naoura et Kaf El Kourate (bassin de Asfour) et au Sud sur Djebel

M'Sid (Kef R'keb. Cette classe de pente synchronise aux escarpements rocheux des massifs gréseux.

La pente topographique exprime l'inclinaison des versants par rapport à l'horizontal. C'est un facteur essentiel de l'écoulement de l'eau de surface, puisque ce dernier a tendance à avoir plus d'énergie cinétique et vive en présence des fortes pentes et dénivelées. Et par conséquent, elle assure une réponse hydrologique rapide et une dynamique érosive agressive (Tricart 1957). L'intensité de l'écoulement est fonction de la pente comme suit : Un écoulement faible : pente inférieure à 10 %, un écoulement fort : pente égale à 10 % et enfin un écoulement très fort : pente supérieur à 20 % (Bourouga. 2019).

2.8. Densité de drainage

La densité de drainage peut donner un aperçu sur la lithologie du bassin versant et les caractéristiques du réseau hydrographique d. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Dd = \frac{\sum LX}{S}, Dd = 0,61 \text{ Km/Km}^2 \quad \text{ou}$$

Dd : densité du drainage en Km/Km²

$\sum L$ x : longueur totale du réseau hydrographique Km

S : surface du bassin versant en Km²

Tab.07. Densité de drainage du bassin de la Maffragh

Longueur totale des drains (km)	1760
Aire du bassin (km ²)	2870
Densité de drainage totale (km/km ²)	0,61

Le bassin de la Maffragh favorise l'écoulement d'une part et l'infiltration d'autre part ce qui explique la présence d'un réseau de drainage d'une densité de ramification moyenne à faible. La densité de drainage du bassin ($Dd=0.61 \text{ km/km}^2$), (fig.07) confirme que le réseau hydrographique est faible. Le temps de concentrations court à l'amont du bassin et très long à son aval sans oublier le couvert végétale assez dense.

2.9. Temps de concentration

Il est exprimé par la formule de Giandotti qui a la forme suivante :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} = T_c = 62 \text{ h } 52 \text{ min}$$

A : Superficie du bassin versant (Km²),

L : Longueur du talweg principal (Km).

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin (m).

H_{min} : Altitude minimale du bassin (m).

2.10. Altitude moyenne

Elle est donnée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i A_i}{A_t} = H_{moy} = 315,19 \text{ m}$$

Avec :

H_i: Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

A_i: Surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau (Km²).

A_t: Surface totale du bassin versant (Km²).

2.11. Conclusion

L'étude morphométrique a mis en évidence l'appartenance du bassin versant transfrontalier de la Maffragh à un milieu de montagne. Il est caractérisé par une forme allongée, ce qui fait que les eaux précipitées mettent du temps pour atteindre l'exutoire, ceci est confirmé par le résultat du temps de concentration qui est de 62 h 52 min, et la densité de drainage moyenne de l'ordre de 0,61 km/km².

Le relief du bassin est qualifié fort elles sont comprises entre 0 à 1406 m, selon les valeurs de l'indice de pente globale (I_g = 5,59 m/km) et de la dénivelée spécifique (D_s = 299,46 m). Enfin Les surfaces à faibles altitudes de la basse Maffragh forment une grande zone inondable.

A blue geometric graphic consisting of several overlapping triangles and quadrilaterals, creating a dynamic, abstract shape that tapers to the right.

ChAPITRE 03 : LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

3. Introduction

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre, le cycle global de l'eau. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain (Castany, 1967). Le climat est un facteur abiotique important dans l'étude de la typologie et le fonctionnement d'un milieu naturel (Fustec et Lefeuvre, 2000), il nous permet de déterminer les composants et les caractéristiques de ce dernier. L'étude des données climatologiques est une opération indispensable dans toute étude hydrologique et hydrogéologique, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles (Bahroun, 2016). Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, 1963). Une des principales caractéristiques du cycle hydrologique est l'état de mouvement de l'eau depuis la surface au réservoir.

Le climat méditerranéen est caractérisé par un climat sec et humide à deux saisons, il est défini comme un climat extratropical à photopériodisme saisonnier et quotidien, à pluviosité concentrée durant la saison hivernale. L'été est la saison la plus chaude sèche (Emberger, 1954).

La région du bassin de Maffragh est caractérisée par un climat de type méditerranéen : hiver doux et humide, été chaud et sec. La pluviométrie moyenne annuelle entre 800 et 1000 mm.

Ces paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

3.1. Station de mesure

Pour étudier les variations des caractéristiques climatiques de la région de la Maffragh dans le temps, nous avons pris en considération les données de précipitations et de températures de la station de Cheffia durant la période allant de 1976/1977 à 2014/2015 et la station de Ain Assel durant la période allant de 1976/1977 à 2014/2015 . Les coordonnées sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (Tab.8) :

Tab.08. Les coordonnées des stations pluviométriques de la région de la Maffragh.

Station	Altitude	Latitude	Longitude	Série d'observation
Cheffia	170 m	36° 37' N	08° 02'E	1976/1977-2014/2015
Ain Assel	32 m	36°35' 25'	8° 22'2''	1976/1977-2014/2015

3.2. Facteur Climatique

La Maffragh est soumis au climat type méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes la saison humide et la saison sèche. Les contrastes géomorphologiques font que les précipitations atmosphériques (P), la température (T), l'évapotranspiration (ETP) et l'infiltration (I), sont les principaux facteurs climatiques ayant une influence sur le régime hydrologique de la région.

3.2.1. Les températures

La température est un facteur important régissant le phénomène d'évapotranspirations et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Contrairement aux précipitations, les températures subissent un gradient thermique décroissant avec l'altitude, de la distance par rapport à la mer et varie également en fonction des saisons (Ozenda, 1982) et un facteur qui agit sur la répartition géographique des espèces (Dreux, 1980). Elle a un effet direct et de base sur le bilan d'eau.

3.2.1.1. Les températures moyennes mensuelles (1975/1976-2014/2015)

La température est un élément important dans l'étude du climat, elle joue un rôle important dans la détermination des paramètres climatiques particulièrement la détermination du bilan hydrique et dans les pertes en eau par le phénomène de l'évapotranspiration.

La température maximale moyenne mensuelle de la région d'étude est de l'ordre de 25.98°C au mois d'août à la station de Cheffia, et de 25.7°C à Ain Assel (Fig.10). Les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de janvier (12.51° C à Cheffia et 10.9°C à Ain Assel), où on remarque que le mois le plus froid est le mois de janvier. Par contre les valeurs les plus fortes caractérisent les mois de juin, juillet et août correspondant à la saison d'été (Tab.9).

Tab.09. Les températures moyennes mensuelles des deux stations Ain Assel et Cheffia.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Cheffia 1975/1976-2014/2015	23.54	21.1	16.75	13.63	12.51	12.78	14.95	16.94	19.33	23.39	25.77	25.98
Ain Assel 1975/1976-2014/2015	23.6	20.9	16.3	12.6	10.9	11.39	13.2	15.01	18.4	21.92	24.5	25.7

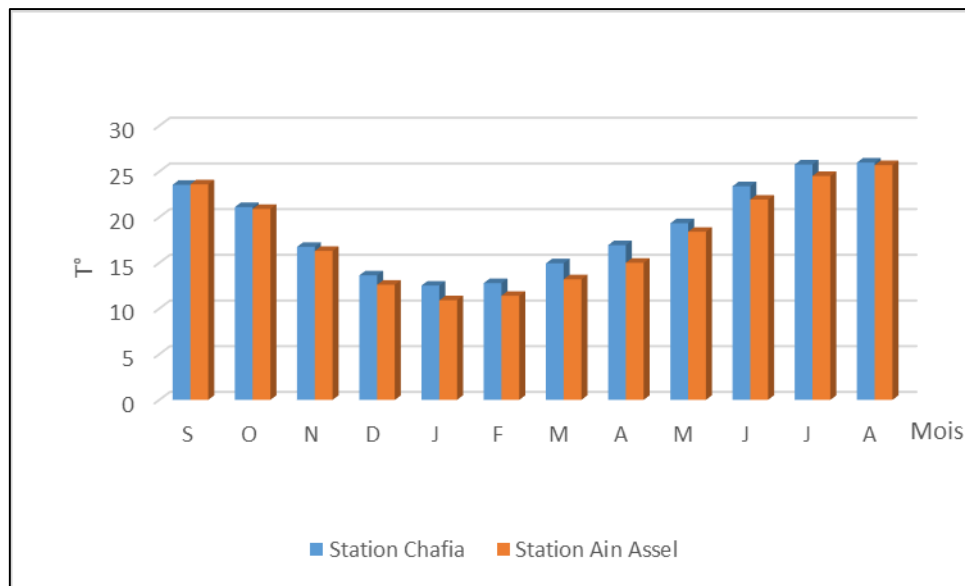


Fig.10. Evolution des températures moyennes mensuelles des stations d'Ain Assel et Cheffia (1976/1977-2014/2015).

3.2.2. Analyse des précipitations

Les précipitations constituent le premier facteur important dans le cycle de l'eau. Leur distribution dans le temps et dans l'espace conditionne la forme d'écoulement. Ce sont les quantités de l'eau météoriques qui tombent sur la surface de la terre sous forme liquide (la pluie, la neige, brouillard, grêle, rosée). On entend par précipitations la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre.

Nous prenons en considération uniquement les précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur fondamental dans le comportement hydrologique de la région. Elles jouent un rôle primordial dans l'alimentation des nappes aquifères.

Sous l'influence conjuguée de la mer, du relief, du sol et de la latitude, des zones climatologiques se succèdent à partir du littoral et se caractérisent par leurs faibles largeurs. La région du bassin versant de la Maffragh jouit d'un climat du type méditerranéen, caractérisé par deux saisons d'inégale durée, l'une froide et humide allant du mois d'Octobre à Avril et l'autre sèche et chaude allant de Mai à Septembre (Affoun, 2006). L'irrégularité des précipitations constitue une donnée fondamentale du climat de l'Algérie (Seltzer.P, 1946).

3.2.2.1. Précipitations mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles permettant de donner un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations en se basant sur les calculs de la moyenne

arithmétiques (Tab.10). Des hauteurs des pluies du mois considéré pour un nombre d'années d'observation (Période de 39 ans).

Tab.10. Les précipitations moyennes mensuelles des deux stations en mm.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ain Assel 1975/1976- 2014/2015	43.5	74.5	125.9	128.5	115.7	106.8	86.12	85.67	32.30	14.9	2.00	6.7
Cheffia 1975/1976- 2014/2015	42.3	65.05	110.7	124.3	118.4	104	84.3	95.2	51.4	15.1	2.6	9.8

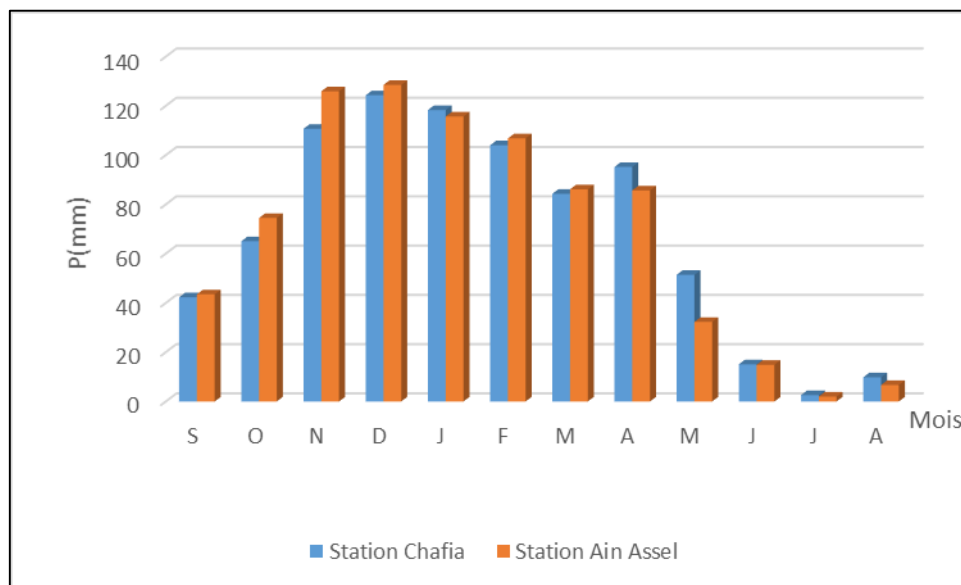


Fig.11. Evolution des précipitations moyennes mensuelles des stations de Cheffia et d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015).

L'établissement de l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles pour la période 1975/-2015(Fig.11) des deux stations (Ain Assel et Cheffia) montre un accroissement des précipitations allant du mois de septembre jusqu'à mois de février où atteindre une valeur maximale au mois de décembre de l'ordre de 128.5 mm et 124.3mm respectivement à la station d'Ain Assel et celle de Cheffia. Les valeurs minimales des précipitations sont observées aux mois de juin, juillet, et août au niveau de deux stations.

3.2.2.2. Les précipitations annuelles

Les précipitations moyennes annuelles représentent la seule source d'alimentation des nappes aquifères et des réservoirs superficiels de la région .elles sont exprimées sous forme de hauteurs de pluie(Fig.12). Les hauteurs de pluies moyennes annuelles enregistrées par les deux stations

pour 39 ans d'observations (Ain Assel et Cheffia) présentées dans le tableau (Tab.11) ci-dessous :

Tab.11. Les précipitations moyennes annuelles en (mm) des deux stations (1976-2015).

Année hydrologique	Station Ain Assel	Station Cheffia	Année hydrologique	Station Ain Assel	Station Cheffia
1976/1977	849	849	1997/1998	1012,2	1113,6
1977/1978	820,3	820,3	1998/1999	875,5	921,6
1978/1979	908,4	908,4	1999/2000	601,8	704,2
1979/1980	654,5	654,5	2000/2001	858,6	696,8
1980/1981	816,5	816,5	2001/2002	489,3	502,5
1981/1982	826	826	2002/2003	1225	1139,1
1982/1983	788,2	788,2	2003/2004	951,3	959,1
1983/1984	854,8	854,8	2004/2005	1158,6	1124,5
1984/1985	1013,7	1013,7	2005/2006	622,4	642,2
1985/1986	761,2	761,2	2006/2007	855,1	730,2
1986/1987	1162,4	1162,4	2007/2008	706,9	594
1987/1988	608,7	608,7	2008/2009	807	1013,4
1988/1989	613,6	613,6	2009/2010	422,8	729,3
1989/1990	564	564	2010/2011	616,5	854,8
1990/1991	1005,6	850,3	2011/2012	954	877,8
1991/1992	892,8	908,3	2012/2013	622,3	835,9
1992/1993	860,5	789,5	2013/2014	483	669,5
1993/1994	567,7	691	2014/2015	814,1	1074,7
1994/1995	668,6	658,1			
1995/1996	945,2	1050,3			
1996/1997	438,1	439,2			

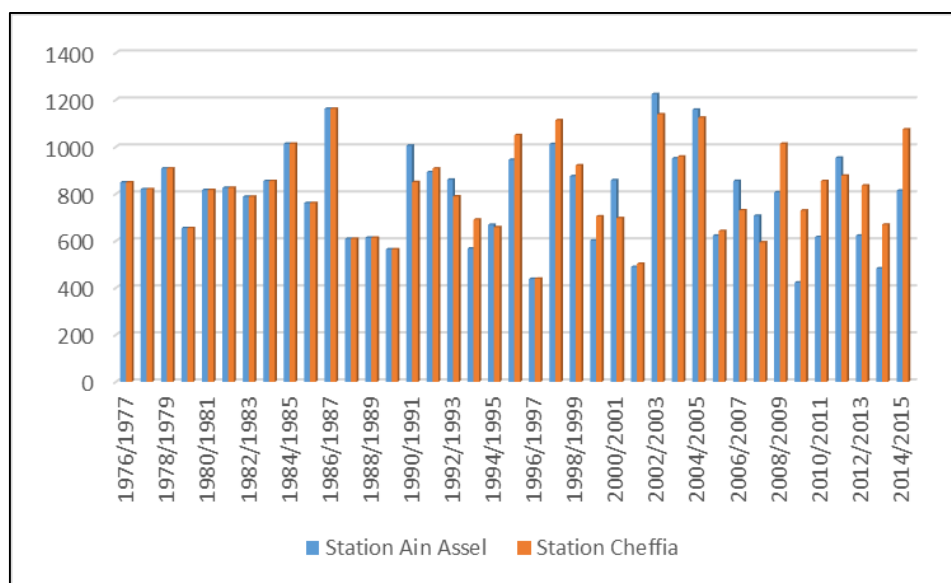


Fig.12. Evolution des précipitations moyennes annuelles des stations de Cheffia et Ain Assel (1976/1977-2014/2015).

3.2.2.3. Les courbes ombro-thermiques

Les courbes ombrothermiques sont les résultats de la combinaison de la courbe des températures et de l'évolution des précipitations mensuelles moyennes, dans lesquels les températures sont portées à l'échelle double des précipitations ($P=2T$) pour déterminer les saisons.

D'après les courbes ombrothermiques des deux stations, on distingue une saison humide allant de la fin de septembre au mois de mai et une saison sèche, qui s'étend de début de mai au mois de septembre avec une hauteur importante atteignant son maximum au mois de décembre (124.5 mm à Cheffia (Fig.13), 128.3 mm à la station d'Ain Assel (Fig.14)). Sur le plan temporel, on constate une nette coïncidence typiquement méditerranéenne entre le maximum thermique et le minimum pluviométrique, ce qui se traduit par une sécheresse marquée où l'évapotranspiration atteint son maximum.

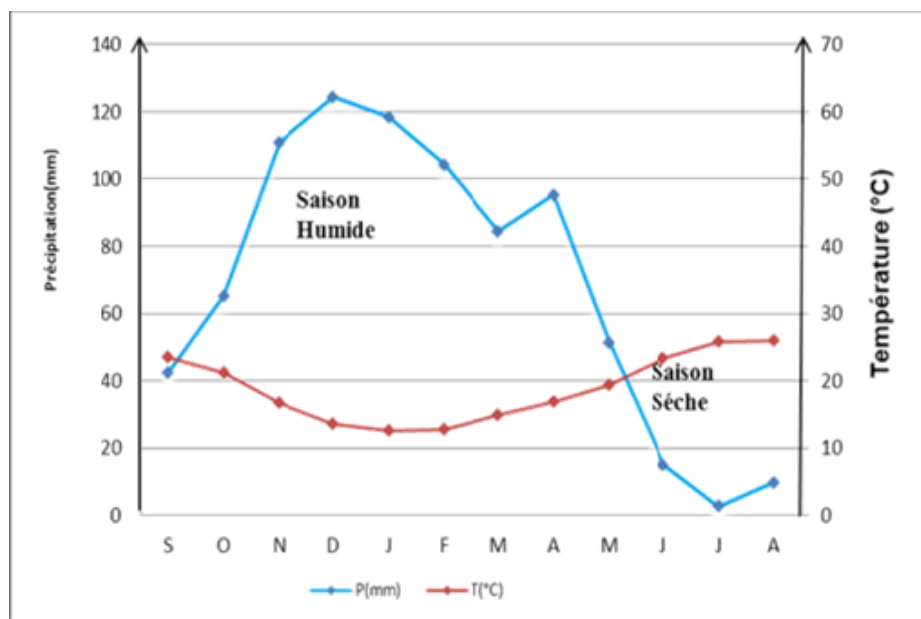


Fig.13. Courbes Ombrothermiques de la station de Cheffia (1976/1977-2014/2015).

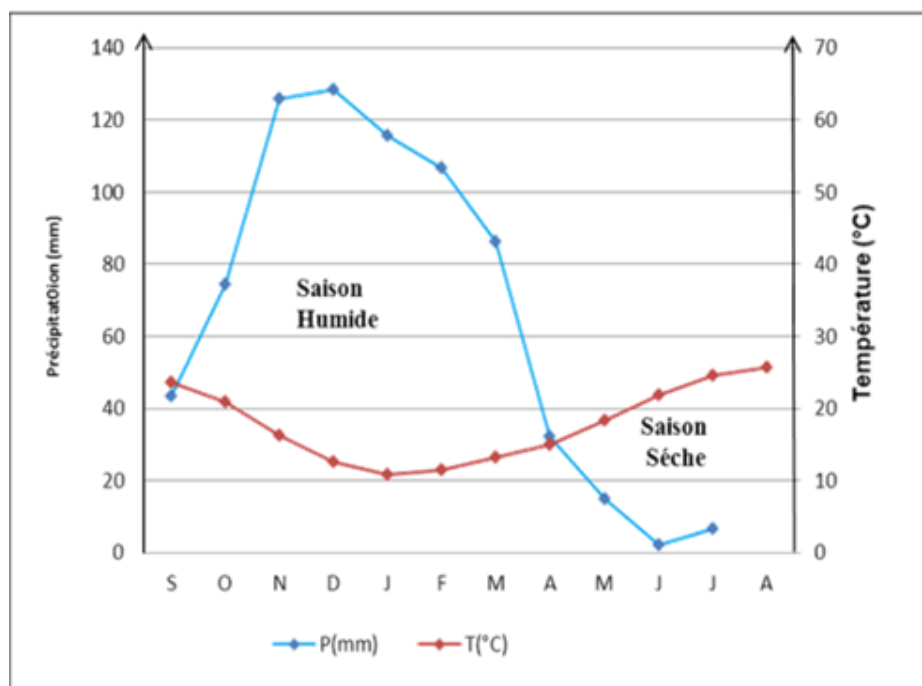


Fig.14. Courbes Ombrothermiques de la station d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015).

3.3. Variations des précipitations dans le temps

3.3.1. Variations moyennes mensuelles et saisonnières.

Le tableau suivant donne un aperçu sur la répartition des précipitations moyennes mensuelles au niveau des stations d'Ain Assel et Cheffia sur une période d'observation qui s'étale sur 39 ans.

Tab.12. Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station d'Ain Assel et Cheffia (1975-2015).

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Été			Année (mm)
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Ain Assel 1975/1976- 2014/2015	43.5	74.5	125.9	128.5	115.7	106.8	86.12	85.67	32.30	14.9	2.00	6.7	822.59
	243.90			351.00			204.09			23.60			
	29.65 %			42.67 %			24.81 %			2.86 %			
Cheffia 1975/1976- 2014/2015	42.3	65.05	110.7	124.3	118.4	104	84.3	95.2	51.4	15.1	2.6	9.8	823.15
	218.05			346.7			230.9			27.5			
	26.48 %			42.11 %			28.05 %			3.40 %			

Le tableau montre que les mois les plus pluvieux sont octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars et avril. Par contre, les mois de juin, juillet et août sont les moins pluvieux. On constate qu'au niveau des stations d'Ain Assel et Cheffia le mois de décembre enregistre le maximum de pluie (128.5 et 124.3 mm).

L'examen des résultats du (Tab.12) montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse pour les quatre stations avec un taux de 42,67 % et 42.11%. La répartition des précipitations sur la saison du printemps et celle de l'Automne est presque identique. En outre, L'été correspond à la saison sèche elle représente seulement 2.86 % et 3.40% de la totalité des pluies (Fig.15) au niveau des stations de Ain Assel et Cheffia.

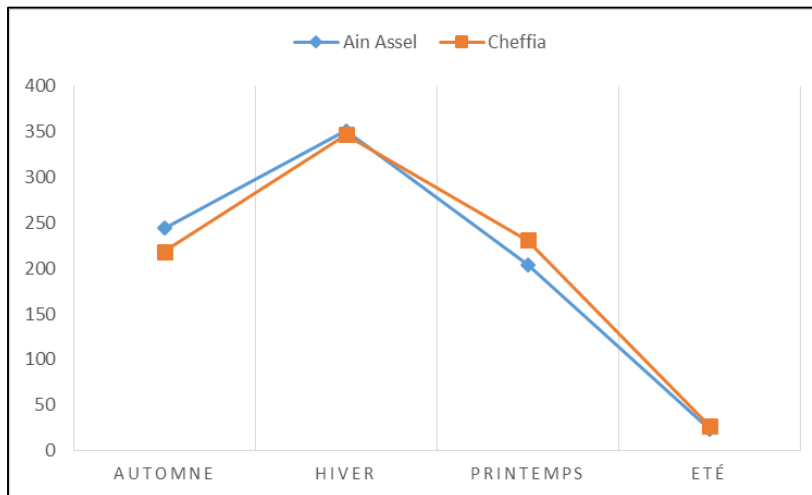


Fig.15. Répartition saisonnières des précipitations de la station d'Ain Assel et Cheffia (1975-2015).

3.4. Coefficient pluviométrique (CP)

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP). Ce paramètre est très important dans la détermination des années excédentaires et les années déficitaires. Il est défini par le rapport de la pluviométrie (P) d'une année à la pluviométrie moyenne P^- d'une période d'observation.

$$CP = \frac{P}{\bar{P}}$$

Avec : CP : Coefficient pluviométrique,

P : Pluviométrie d'une année (mm).

P^- : Pluviométrie moyenne annuelle (mm).

Les hauteurs moyennes annuelles des précipitations (p) enregistrées durant la période d'observation dans le de station de Ain Assel est de l'ordre de **822.59** mm.

Les hauteurs moyennes annuelles des précipitations (p) enregistrées durant la période d'observation dans le de station de Cheffia est de l'ordre de **823.15** mm.

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie.

Nous avons deux cas

- Si l'année est excédentaire ($CP > 1$)
- Si l'année est déficitaire ($CP < 1$).

Tab.13. Récapitule les résultats du coefficient pluviométrique de la station d'Ain Assel (1975-2015).

Année hydrologique	Hauteur annuelle des précipitations (mm)	Coefficient pluviométrique	Année hydrologique	Hauteur annuelle des précipitations (mm)	Coefficient pluviométrique
1976/1977	849	1,03	1997/1998	1012,2	1,23
1977/1978	820,3	0,99	1998/1999	875,5	1,06
1978/1979	908,4	1,10	1999/2000	601,8	0,73
1979/1980	654,5	0,79	2000/2001	858,6	1,04
1980/1981	816,5	0,99	2001/2002	489,3	0,59
1981/1982	826	1,00	2002/2003	1225	1,48
1982/1983	788,2	0,95	2003/2004	951,3	1,15
1983/1984	854,8	1,03	2004/2005	1158,6	1,40
1984/1985	1013,7	1,23	2005/2006	622,4	0,75
1985/1986	761,2	0,92	2006/2007	855,1	1,03
1986/1987	1162,4	1,41	2007/2008	706,9	0,85
1987/1988	608,7	0,73	2008/2009	807	0,98
1988/1989	613,6	0,74	2009/2010	422,8	0,51
1989/1990	564	0,68	2010/2011	616,5	0,74
1990/1991	1005,6	1,22	2011/2012	954	1,15
1991/1992	892,8	1,08	2012/2013	622,3	0,75
1992/1993	860,5	1,04	2013/2014	483	0,58
1993/1994	567,7	0,69	2014/2015	814,1	0,98
1994/1995	668,6	0,81			
1995/1996	945,2	1,14			
1996/1997	438,1	0,53			

Pendant les années fortement excédentaires, l'année hydrologique 2002-2003 correspond à un coefficient pluviométrique de l'ordre de 1.48, la pluviométrie atteint 1225 mm/an (Tab.13). C'est l'année la plus arrosée.

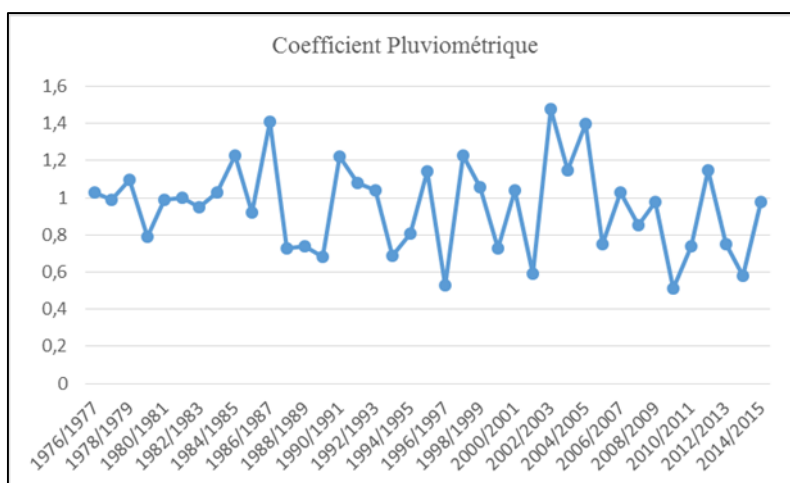


Fig.16. les Variations des coefficients pluviométriques pour la station d'Ain Assel (1976-2015).

L'analyse des courbes des variations du coefficient pluviométrique (Fig.16), montre que le nombre des années déficitaires est presque identique pour les années excédentaires. Les années excédentaires sont : 1976/1977, 1978/1979, 1981/1982, 1983/1984, 1984/1985, 1986/1987, 1990/1991, 1991/1992, 1992/1993, 1995/1996, 1997/1998, 1998/1999, 2000/2001, 2002/2003, 2003/2004, 2004/2005, 2006/2007, 2011/2012, le reste des années sont des années déficitaires.

Tab.14. Récapitule les résultats du coefficient pluviométrique de la station de Cheffia (1975-2015).

Année hydrologique	Hauteur annuelle des précipitations (mm)	Coefficient pluviométrique	Année hydrologique	Hauteur annuelle des précipitations (mm)	Coefficient pluviométrique
1976/1977	849	1,03	1997/1998	1113,6	1,35
1977/1978	820,3	0,99	1998/1999	921,6	1,11
1978/1979	908,4	1,10	1999/2000	704,2	0,85
1979/1980	654,5	0,79	2000/2001	696,8	0,84
1980/1981	816,5	0,99	2001/2002	502,5	0,61
1981/1982	826	1,00	2002/2003	1139,1	1,38
1982/1983	788,2	0,95	2003/2004	959,1	1,16
1983/1984	854,8	1,03	2004/2005	1124,5	1,36
1984/1985	1013,7	1,23	2005/2006	642,2	0,78
1985/1986	761,2	0,92	2006/2007	730,2	0,88
1986/1987	1162,4	1,41	2007/2008	594	0,72
1987/1988	608,7	0,73	2008/2009	1013,4	1,23
1988/1989	613,6	0,74	2009/2010	729,3	0,88
1989/1990	564	0,68	2010/2011	854,8	1,03
1990/1991	850,3	1,03	2011/2012	877,8	1,06
1991/1992	908,3	1,10	2012/2013	835,9	1,01
1992/1993	789,5	0,95	2013/2014	669,5	0,81
1993/1994	691	0,83	2014/2015	1074,7	1,30
1994/1995	658,1	0,79			

1995/1996	1050,3	1,27
1996/1997	439,2	0,53

Pendant les années fortement excédentaires, l'année hydrologique 1986-1987 correspond à un coefficient pluviométrique de l'ordre de 1.41, la pluviométrie atteint 1162,4 mm/an (Tab.14). C'est l'année la plus arrosée.

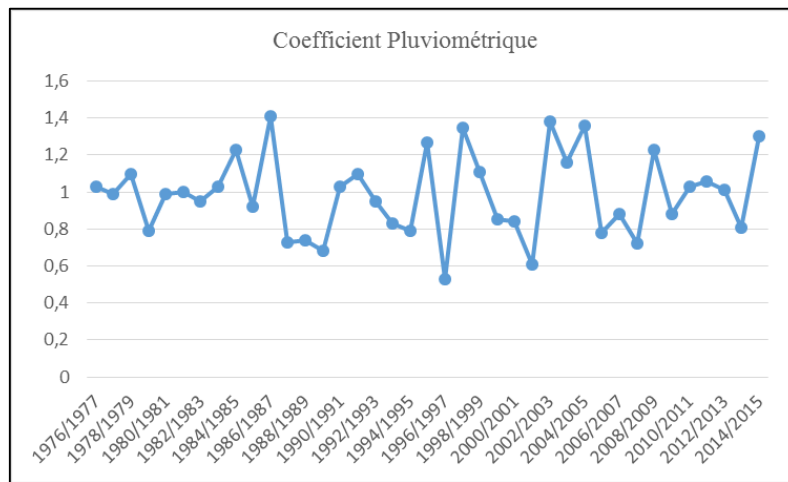


Fig.17. les Variations des coefficients pluviométriques pour la station de Cheffia (1976-2015).

L'analyse des courbes des variations du coefficient pluviométrique (Fig.17), montre que le nombre des années déficitaires est presque identique pour les années excédentaires. Les années excédentaires sont : 1976/1977, 1978/1979, 1981/1982, 1983/1984, 1984/1985, 1986/1987, 1990/1991, 1991/1992, 1995/1996, 1997/1998, 1998/1999, 2002/2003, 2003/2004, 2004/2005, 2008/2009, 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2014/2015, le reste des années sont des années déficitaires.

3.5. Détermination du type du climat (indice de Martonne E. De) :

Pour la détermination du type du climat (De Martonne E.1926), a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyenne annuelle :

$$A = P / (T + 10)$$

Avec :

A : indice d'aridité annuelle

P : précipitations moyenne annuelle en mm

T : température moyenne annuelle en °C

Selon Martonne E. De :

$A < 5$: le climat est hyper aride.

$5 < A < 10$: le climat est très sec.

$10 < A < 20$: le climat est sec.

$20 < A < 30$: le climat est tempère.

$A > 30$: le climat est humide (écoulement abondant).

Pour la station d'Ain Assel :

$P = 822.59 \text{ mm}$

$T = 17,86 \text{ °C}$

$$A = \frac{822.59}{(17,86 + 10)} = 29,52$$

Les résultats de l'indice d'aridité trouvés pour la station d'Ain Assel montrent que le climat est de type tempéré.

Pour la station de Cheffia :

$P = 823.15 \text{ mm}$

$T = 16,72 \text{ °C}$

$$A = \frac{823,15}{(16,72 + 10)} = 30,80$$

Les résultats de l'indice d'aridité trouvés pour la station de Cheffia montrent que le climat est de type humide (écoulement abondant).

3.6. Le vent et l'ensoleillement

Les vents dominants dans la région d'étude sont du secteur Nord-Ouest. Ils soufflent avec une vitesse moyenne variant de 2.18m/s à 3.7m/s surtout en hiver. Le Sirocco vent chaud du sud souffle principalement en été, ce vent joue un grand rôle dans l'assèchement des mares et cours d'eau et il favorise par ces températures très élevées les incendies de forêts. Quant aux vents de l'Est, ils sont minimales, pour les centres urbains, ils sont limités par la présence de la barrière montagneuse et boisée.

En résumé pendant la saison humide, les vents dominants sont de secteurs Nord-Ouest à Ouest, et durant la saison sèche les vents soufflent du Sud au Sud-Est.

3.7. Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE

Le but du bilan hydrique est d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, écoulement et évapotranspiration).

Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

3.7.1. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est définie comme étant l'ensemble des pertes par transformation de l'eau en vapeur (Daifallah.T,2017), autrement dit, le phénomène de l'évapotranspiration se compose, d'une part, de l'évaporation directe qui s'effectue à partir des sols humides et des différents plans d'eau, mais aussi de la transpiration des végétaux (Baudry et Jouin, 2003).on distingue ;

- Evapotranspiration potentielle (ETP).
- Evapotranspiration réelle (ETR).

Dans le bilan hydrique, l'évapotranspiration est le terme le plus important après les précipitations. Elle est aussi difficile à évaluer à cause de sa pluri dépendance avec les facteurs tant biologiques que physiques (Jacob et al, 2002 ; Olioso et al, 2006). L'évapotranspiration peut être réelle (ETR) (Hallaire, 1959, Scheoller, 1962) dite aussi "évapotranspiration réduite" ou effective (Lambert, 1996) ou potentielle (ETP) en fonction du pouvoir évaporateur de l'atmosphère (Coutagne, 1954 ; Serra, 1954, Scheoller, 1962). Cependant, il est important de faire la distinction entre la notion de l'évapotranspiration réelle (ETR) définit la quantité d'eau réellement évaporée et transpirée (Bouchet, 1963) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est la quantité d'eau théoriquement évaporable par une surface d'eau libre.

3.7.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer et respirer sur une surface limitée et pendant une période bien définie. Pour l'estimation de l'évapotranspiration, on utilise la formule de C.W. Thornthwaite (1948)

3.7.3. La formule de C.W. Thornthwaite(1948)

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée

dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum (Gaude 1976 in Debieche, 2002).

Elle permet à partir des données de base : précipitations (P en mm), Températures (T en °C) [Moyennes mensuelles], le coefficient d'ajustement (k) et l'indice thermique : mensuel (i) / annuel (I) ; de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP selon la relation suivante :

$$ETP = 16 (10t / I)^a \cdot K$$

Avec:

$$a = 0.016 I + 0.5 \rightarrow I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Avec} \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,5}$$

t : température moyenne du mois considéré en (°C).

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

K : facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

i : indice thermique mensuel.

I : la somme des indices mensuels de l'année.

Cette méthode se base sur la notion de la réserve en eau facilement utilisable (RFU), on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne calculée par la méthode de Thornthwaite.

On rencontre alors trois cas :

$$1^{\text{er}} \text{ cas : } P \geq ETP \quad \quad \quad ETR = ETP.$$

Il ya une reconstitution de la réserve du sol jusqu'à saturation, et on a alors un excédent.

$$2^{\text{eme}} \text{ cas : } P < ETP \quad \quad \quad ETR = P + RFU.$$

Le RFU va s'épuiser jusqu'à satisfaction de l'ETP.

$$3^{\text{eme}} \text{ cas : } P < ETP \text{ et } RFU = 0 \quad \quad \quad ETR = P.$$

Dans ce cas donc il aura un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation. Et pour le RFU On admettant qu'il soit égal à 100m (Fig.18, Fig.19) les résultats obtenus par cette méthode sont reportées sur les tableaux (Tab.15, Tab.16) suivant :

Tab.15. Bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	T
P (mm)	43,47	74,5	125,9	128,5	115,8	107	86,12	85,67	32,3	14,93	2,06	6,79	822,90
T(C°)	23,6	20,9	16,3	12,6	10,9	11,4	13,2	15,01	18,4	21,92	24,5	25,7	/
ETP (mm)	113,6	78,76	41,08	23,87	19,07	22,1	37,9	54,13	90,37	125,7	154,2	157	917,8
ETR(mm)	43,47	74,5	41,08	23,87	19,07	22,1	37,9	54,13	90,37	56,86	2,06	6,79	472,19
RFU(mm)	0	0	84,82	100	100	100	100	100	41,93	0	0	0	/
EXD(mm)	0	0	0	89,49	96,69	84,8	48,22	31,55	0	0	0	0	350,71
DA (mm)	70,17	4,26	0	0	0	0	0	0	0	68,8	152,2	150,21	445,59

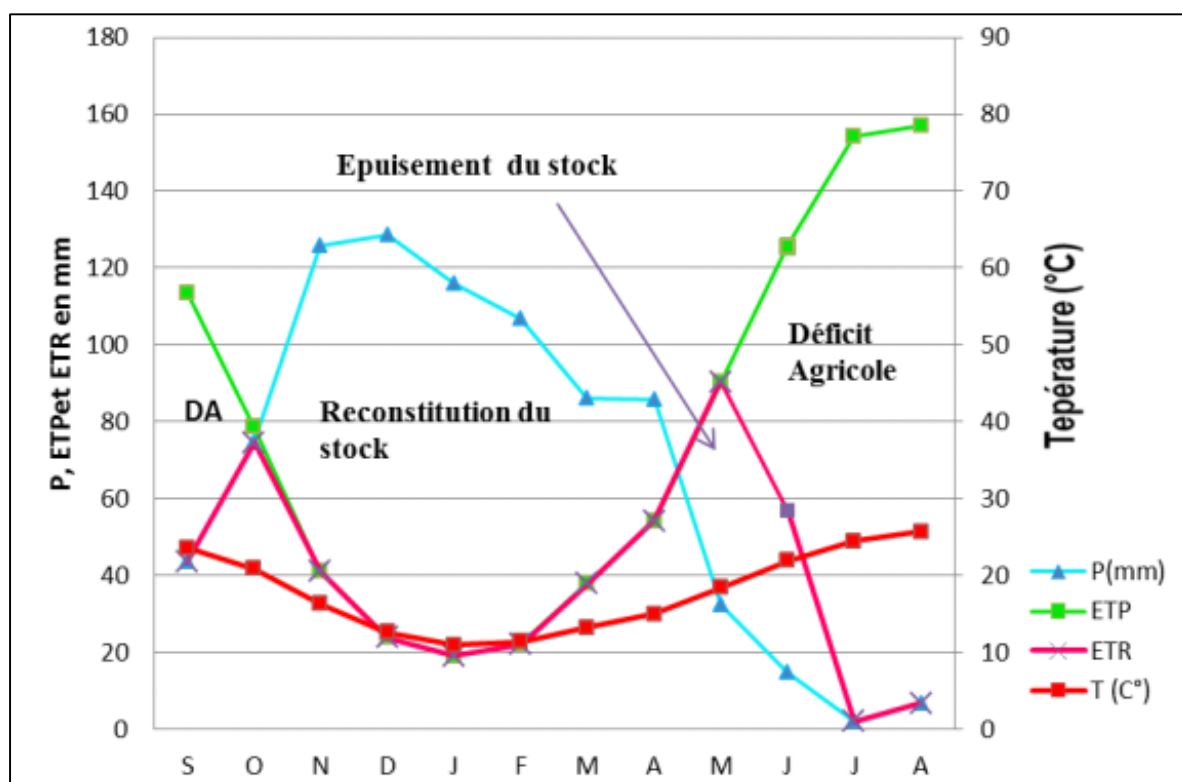


Fig.18. Représentation graphique du bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station d'Ain Assel (1976/1977-2014/2015).

Tab.16. Bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station de Cheffia (1976/1977-2014/2015).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	T
P (mm)	42,26	65,06	110,7	124,37	118,4	104,4	84,33	95,21	51,46	15,19	2,62	9,82	823,85
T(C°)	23,54	21,1	16,75	13,63	12,51	12,78	14,95	16,94	19,33	23,39	25,77	25,98	/
ETP (mm)	108,1	75,74	39,88	24,95	22,03	24,54	43,51	62,51	92,69	135,19	163,16	154,53	946,79
ETR(mm)	42,26	65,06	39,88	24,95	22,03	24,54	43,51	62,51	92,69	73,96	2,62	9,82	503,83
RFU(mm)	0	0	70,85	100	100	100	100	100	58,77	0	0	0	/
EXD(mm)	0	0	0	70,27	96,37	79,86	40,82	32,7	0	0	0	0	320,02
DA (mm)	65,8	10,68	0	0	0	0	0	0	0	61,23	160,54	144,71	442.96

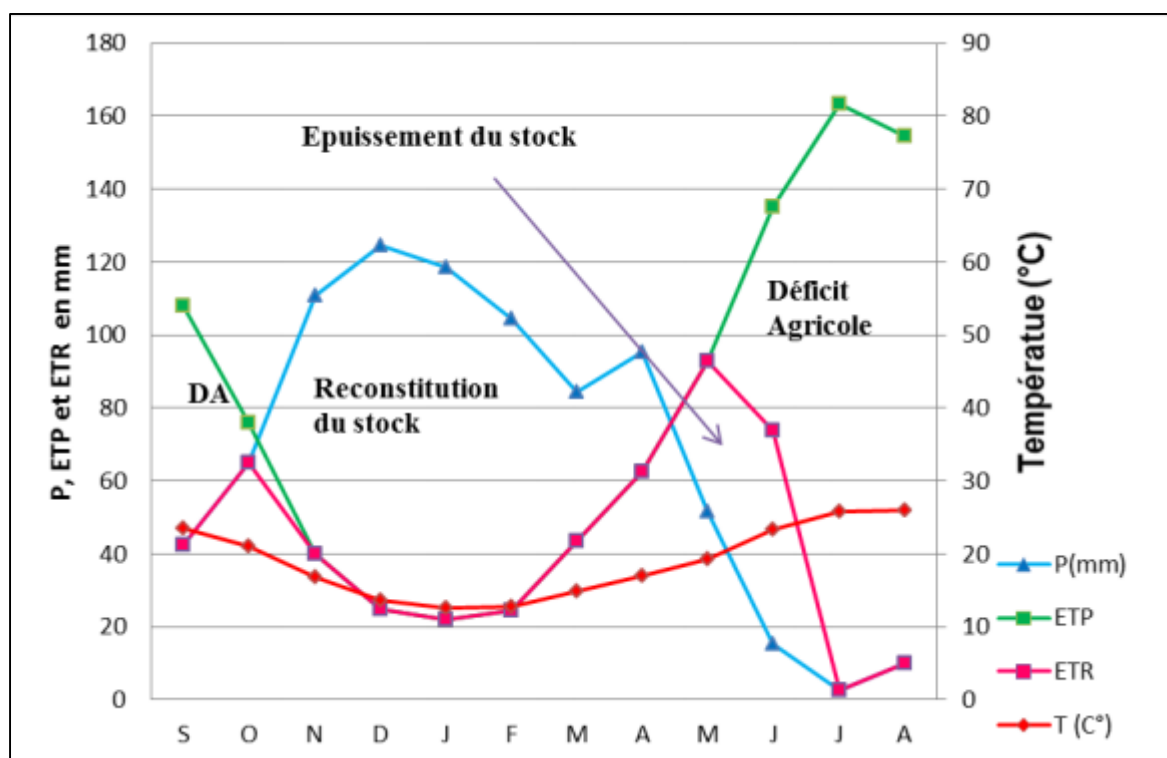


Fig.19. Représentation graphique du bilan d'eau de C.W. Thornthwaite –station de Cheffia (1976/1977-2014/2015).

3.7.4. Le ruissellement

C'est la quantité d'eau qui s'écoule à la surface du sol, leur évaluation est d'une importance pour l'évaluation des risques d'érosion en surface du sol. Le coefficient de ruissellement R a été estimé par la formule de Tixeront-Berkaloff comme suivant :

✓ Formule de Tixeront Berkaloff ;

$$R = P^3 / 3(ETP)^2 ; \quad \text{Si } P < 600.$$

Formule de Tixeront Berkaloﬀ modifiée par Romantchouk (1974)

$$R = P^3/3 ; \quad \text{Si } P > 600.$$

Où

P, R et ETP sont, respectivement la pluie, le ruissellement et l'évapotranspiration potentielle exprimés en mètres. Le secteur de la décharge caractérisé par des pluies supérieures à 600 mm. Les résultats obtenus de son t reportées au tableau suivant (Tab.17) :

Tab.17. Récapitulatif du bilan de Thornthwaite.

Stations	P (mm)	R (mm)
Station Ain Assel	822.90	185.74
Station Cheffia	823.85	186.39

3.7.5. L'infiltration

Elle définit comme étant la quantité d'eau franchissant la surface du sol (Tab.18) .elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologique perméable du sous-sol (Castany, 1982).

$$I = P - R - ETR$$

On rencontre deux cas :

$I > 0 \rightarrow$ les entrées sont supérieures aux sorties.

$I < 0 \rightarrow$ les entrées sont inférieures aux sorties.

Avec :

R : ruissellement en mm

P : précipitation moyenne annuelle en mm

I : infiltration en mm

Tab.18. Résultats du bilan hydrologique (en mm) des stations d'Ain Assel et Cheffia.

Stations	P (mm)	ETR (mm)	R	I
Station Ain Assel	822,59	472,19	185.74	164.97
Station Cheffia	823,15	503.85	186.39	133.61

3.7.6. Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement, la somme de l'évapotranspiration et de transpiration réelle pour une surface donnée. Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle (Tab.19) nous utilisons la formule suivante :

3.8. Formule de Turc (1961)

Cette formule tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climats, la formule est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Où ;

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

$L = 300 + 25t + 0,05t^3$; pouvoir évaporant de l'atmosphère.

T : Température moyenne annuelle (°C).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant (Tab.20).

Tab.19. L'évapotranspiration réelle selon la formule de Turc.

Station	P (mm)	L	T(C°)	ETR (mm/an)
Ain Assel	822.90	1032.07	17.87	664.02
Cheffia	823.85	1109.28	18.89	686.54

Tab.20. Résultats comparatifs des valeurs de l'ETR.

Station	Thornthwaite	Turc
Ain Assel	503.83	633.62
Cheffia	472.19	686.54

3.9. Conclusion

Les résultats obtenues à partir de calcul de bilan d'eau selon les deux stations, nous permettent de trier les observations suivantes :

La région de notre étude reçoit :

- des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 823.37mm.
- Une température moyenne annuelle de l'ordre de 18.38mm.
- Evapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum pendant les mois de juin, juillet et août, ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones de cultures.
- Pendant les mois de décembre, janvier, février, on observe la nappe avec une valeur max 100mm/mois. Et lorsque la recharge dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir soit sous forme d'infiltration vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.
- A partir des bilans il se déduit une ETR élevée et un déficit considérable caractérisé par des mois hyper secs.
- Enfin, il semble que la répartition de la majorité des précipitations pendant la saison humide favorise un excès d'eaux ce qui peut exposer la région durant cette période à des inondations répétées d'une année à l'autre.

A blue geometric graphic consisting of several overlapping triangles and quadrilaterals, creating a dynamic, abstract shape that tapers to the right.

ChAPITRE 04 : LES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

4. Introduction

L'analyse de l'environnement géologique permet d'identifier les matériaux et les structures des formations géologiques susceptibles d'être aquifères et qui conditionnent l'écoulement des eaux souterraines et superficielles (Zahi 2014).

Le tracé hydrographique est très influencé par la géologie de la région étudiée. La lithologie joue un double rôle, d'une part sur le régime des cours d'eaux et d'autre part sur l'érosion et le transport solide. C'est dans ce contexte que nous allons aborder l'étude géologique. Nombreux sont les géologues qui ont étudié la géologie de l'Algérie.

Vu l'importance de cette étude, on s'est inspiré pour l'accomplir des travaux de (J.M.VILA. 1980), (Joleaud. 1936), (Flandrin. 1955), Hilly. 1962), (Walter Wildi. 1979). Sur la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens.

La géologie de l'Algérie du Nord est représentée du Nord vers le Sud par deux chaînes (Fig.20) : La chaîne alpine dite Maghrébide, qui fait de l'orogénèse alpin et la chaîne Atlasique (Delga. 1969).

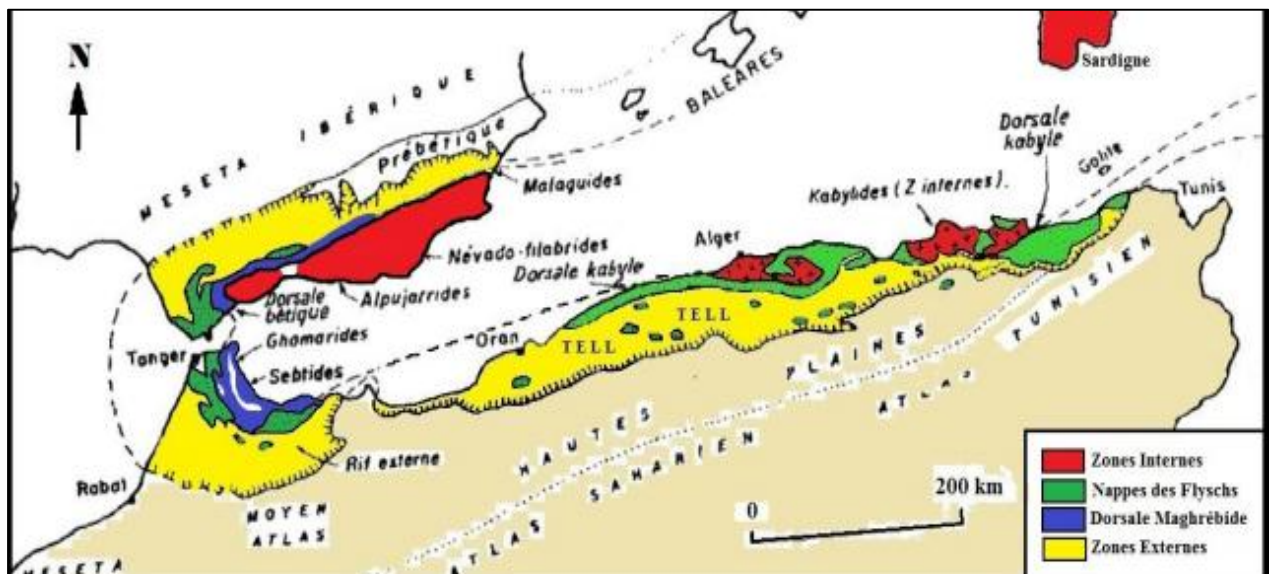


Fig.20. Schéma structural des Maghrébides (d'après M. Durand-Delga et J.M. Fontboté, 1980)

4.1. Aperçu géologique de la région d'étude

En effet, la géologie de la zone d'étude (Fig.21), comme pour le reste de la région frontalière Algéro-Tunisienne, se résume grossièrement dans les terrains telliens à la limite du domaine interne des Maghrébides formant l'essentiel du littoral Est Algérien. Il s'agit d'une région formée essentiellement de terrains secondaires et tertiaires surmontés par des formations

néogènes et quaternaires. Ce territoire occupe la marge Est, du domaine interne qui n'affleure que dans la région de Annaba. Ceci dit que l'ensemble du territoire du bassin appartient au domaine tellien externe où affleurent plusieurs sous unités nappées.

Ainsi, l'histoire géologique de cette région ne débute qu'à partir du Secondaire et du Trias et où se développent, principalement, les formations crétacées et oligo-éocènes et marginalement les affleurements miocènes et plio-quaternaires. En effet, cette région est développée juste à la limite Est, et Sud Est de l'accident délimitant par le sud les terrains appartenant au domaine interne, ex du massif de l'Edough autour d'Annaba.

Cependant, pour mieux étudier la géologie de cette région, il serait judicieux de l'examiner sur la base d'une étude stratigraphique, en allant du plus ancien des affleurements au plus récent.

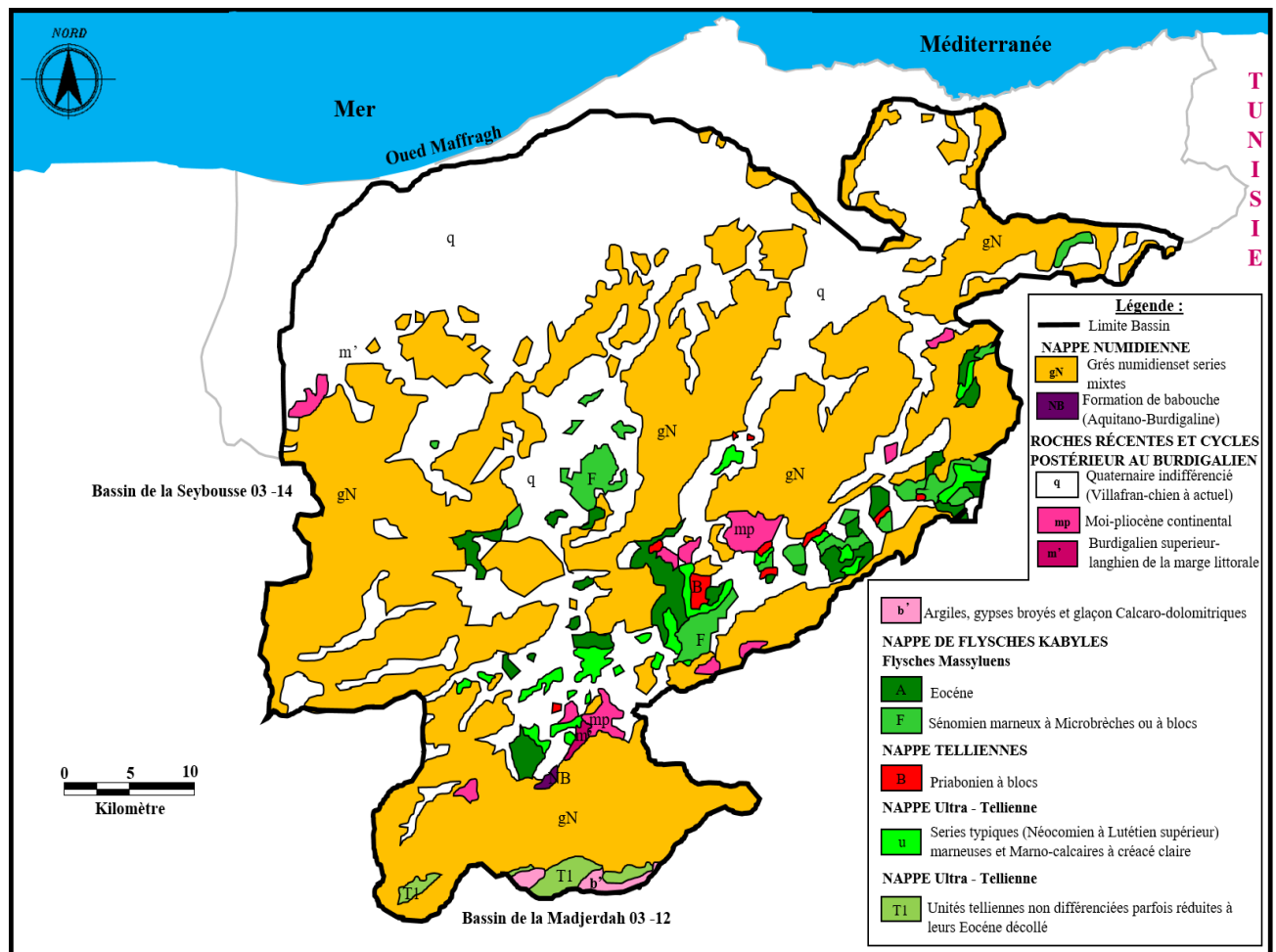


Fig.21. Carte géologique du bassin versant de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

4.2. Stratigraphie

L'analyse stratigraphique des principaux affleurements développés à travers le territoire du bassin (Fig.22) met en évidence la succession de terrains variés dont l'âge des plus anciens débute au Secondaire. Un massif appartenant au domaine interne des Maghrébides. Ainsi la géologie de la région se résume dans les affleurements appartenant au domaine tellien externe, dont l'histoire géologique varie du Secondaire jusqu'au Miocène moyen. Le Néogène et le Quaternaire constituent pour cette région l'équivalent du domaine post-nappes.

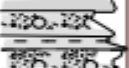
SYSTEME	SERIE	ETAGE	INDICE	COLONNE LITHOLOGIQUE	EPAISSEUR en m	description lithologique
TERTIAIRE	MIOCENE		m		> 10	Conglomérats gravelot-blocageux à ciment sablo-argileux
			gN		> 430	Assise supérieure: grès quartziteux feldspathiques à intercalation des gravelles, des conglomérats des aleurolites et des argiles
	PALEOGENE	Oligocene	e _{AN} ^s		> 100	Assise inférieure: Argile gris foncée à intercalations de grès et des aleurolites
			e _{AN} ^a		> 150	Marnes argileuses et calcaireuses d'une teinte foncée à rares intercalations de calcaires A la base de l'assise : horizon des calcaires
		LUTITIEN	e _{AN} ^a		> 200	Argiles, marnes argileuses gris-foncée à intercalations des aleurolites et des silex. A la base horizon tufs et silex.
		YPRESIEN	e _{AN} ^a		> 200	Argiles, marnes argileuses gris-foncée à intercalations des aleurolites et des silex. A la base horizon tufs et silex.
	PALEOCENE		e _{AN} ^a		> 162	Argiles à intercalations d'aleurolites (5-10cm), de grès (15-20cm), calcaires (15-20cm) et des marnes (15-20cm)
CRETACE SUPERIEUR			e _{AN} ^s		> 200	Calcaires argileux d'une teinte gris foncée à marnes argileuses et calcaireuses (20-40cm)
			e _{AN} ^s		80	Quatrième assise: marnes argileuses
			e _{AN} ^s		360	Troisième assise: alternance répétée de couches de marnes, calcaires, grès, gravelles et aleurolites.
			e _{AN} ^s		> 300	Deuxième assise: marnes gris verdâtres à des intercalations et des lentilles de calcaires sidérifiés.

Fig.22. Colonne Stratigraphique de la région d'El Tarf (D'après Tchoulanov 1980).

4.2.1. Les formations du Secondaire

4.2.1.1. Crétacé supérieur (Sénonien)

Le seul étage dans le secondaire occupe presque la totalité des monts de Cheffia, où il a été réalisé des forages de reconnaissance dans le cadre d'une étude géologique au droit de l'emplacement du barrage et de la galerie d'amenée ont recoupé.

Il comprend de bas en haut : Des schistes plus ou moins argileux de couleur bleu ardoise avec des passées calcaires ou de micro-brèches épais de 5 à 10 cm interstratifiés à microfaune déterminant un âge sénonien supérieur. Il s'agit de l'ultra tellien (Hamzaoui, 2011).

4.2.2. Les formations du Tertiaire

Il est largement représenté par des formations gréseuses argileuses du Numidien (Au-dessus de ses formations argileuses viennent se superposer les grès numidiens en position allochtone d'âge aquitainien (Ramdani, 1996), qui couvrent d'Ouest en Est, particulièrement les secteurs de montagnes allant d'Ain Berda à El Kala, ainsi il est le plus répandu affleurant sous les systèmes et séries suivant :

4.2.2.1. Paléogène

Se distingue par l'achèvement total de l'étape géosynclinale (fin du remplissage du bassin sédimentaire) du développement orogénique (système montagneux à plis). Se compose du :

4.2.2.1.1. Paléocène

Composé des assises de l'étage Danien et du Montien indifférenciées. Ces dépôts affleurent aux bassins des Oueds Bounamoussa, Kébir Est, Chaffia, Zitouna et Bougous. Ces affleurements constituent des fenêtres d'érosion dans l'allochtone Numidien. Il est constitué d'argile foncée finement silicifiée à intercalations rares (jusqu'à 0,30 m) de calcaire argileux, d'aleurolites, de grès quartzeux finement grenus, et grès quartzeux à mélange de tuf. L'épaisseur du Paléocène est de 140 m.

4.2.2.1.2. Eocène

Présente des traits caractéristiques dans sa structure et sa composition lithologique, à savoir silicification syngénétique, présence de roches volcaniques (Liparito-dacite). Les dépôts de l'Yprésien participent à la structure du socle de la série Numidienne aux bassins des oueds. Ses assises sont composées d'une alternance d'argiles finement stratifiées, d'aleurolites calcaireuses

et de calcaires dont l'épaisseur apparente atteint 50 m, avec des horizons volcano siliceux constitués de marnes argileuses foncées et d'argiles à intercalations minces (jusqu'à 0,2 m) de tufs, de liparites. L'épaisseur de l'Yprésien est de 260 m.

Le Lutétien, se rencontre sur une épaisseur supérieure de 230 m. Il est constitué de marnes argileuses et calcareuses de teinte foncée à rares intercalations de calcaires. Le Priabonien est constitué de dépôts de phases finales du développement de la région. Ils sont reconnus comme des « Argiles Numidiennes ». Celles-ci sont répandues et associées au mur de l'allochtone Numidien. Elles affleurent aux bassins d'Oued Kébir Est, Seybousse et Bounamoussa. Elles renferment des intercalations des grés et des aleurites (aleuros : poussière).

4.2.2.1.3. Oligocène

Il comprend un groupe original de dépôts connus sous le nom de « grés Numidiens ». Le terme Numidien fut introduit par (Fischer 1989) pour désigner les facies typiques des roches Oligocènes largement répandues au Nord du continent africain. Ces formations constituent la plus grande partie d'une structure charriée importante « allochtone Numidien ». Son développement régional, complique considérablement les possibilités de l'étude en profondeur vu que la série allochtone des dépôts n'est accessible à l'observation que dans les fenêtres d'érosion de la nappe. Les formations des grés Numidiens sont largement répandues, les traits particuliers de ces dépôts sont : la structure et la persistance de la composition lithologique. Ils servent comme un bon repère géologique. Ils sont en contact tectonique avec les argiles de l'Eocène supérieure. L'épaisseur apparente totale des grés Numidiens dépasse 400 m.

4.2.2.2. Néogène

Caractérisé par l'accumulation des assises de molasses fixant nettement le début de la nouvelle étape (Post-orogénique) du développement de la région. Ces dépôts font partie de la série post nappe composée de conglomérats et de sable de la série du Miocène et de l'étage du Pontien (Miocène terminal). Les zones représentant le Miocène sont, dans leurs quasi-totalités, détruites par le processus de dénudation. Les molasses ne sont conservées qu'en petites surfaces. Elles se trouvent en amont de l'Oued Chaffia et au bord droit de la vallée de l'Oued Bougous. La coupe est généralement constituée de conglomérats gravélo-blocageux a lentilles de grés quartzeux et argileux de teinte brune. Les galets roulés et les blocs de dimensions jusqu'à 0,5 m, sont constitués par les grés du Numidien supérieur. La molasse du Pontien est constituée à sa base de conglomérats bien cimentés par une matière sablo- carbonatée sur une épaisseur de 300 m. Vers le sommet, on rencontre une alternance lenticulaire de conglomérats ainsi que des

grés stratifiés obliquement et faiblement cimentés par du sable et d'argiles rouges. L'épaisseur totale de la molasse du Pontien atteint 70 m.

4.2.3. Les formations du Quaternaire

Les dépôts Quaternaires sont largement répandus, ils sont constitués de limons, de sables et graviers sur les rives des oueds. On distingue :

4.2.3.1. Quaternaire ancien

Il caractérise les plaines de la région qui sont une vaste zone d'épandage des oueds Bounamoussa et Kébir Est.

4.2.3.2. Quaternaire moyen

Il est présent le long des versants des oueds, défini généralement par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux ; on distingue de dans le :

4.2.3.2.1. Pléistocène ancien

Il définit les hautes terrasses et se caractérise par des formations avec des cailloux roulés et des blocs de grés Numidiens enrobés ensembles dans une matrice argileuse.

4.2.3.2.2. Pléistocène moyen

Il correspond aux moyennes terrasses qui traversent la région d'El Tarf jusqu'à Ain Assel et parfois les rives de l'oued Kébir Est et qui sont constituées de cailloux roulés, de sables et de limons.

4.2.3.2.3. Pléistocène récent

Correspond aux basses terrasses, aux versants des oueds et présente un grano-classement naturel défini par les galets à la base, surmontés par les graviers et à la surface se trouvent les sables et les limons.

4.2.3.2. Quaternaire récent

Il correspond aux dépôts alluvionnaires, sables, cailloux et limons fins avec dominance d'argiles parfois canalisant ainsi les lits des oueds. Il caractérise les lagunes marines (lac Tonga, Oubeïra et Mellah).

4.2.3.3. Quaternaire actuel

Généralement, il constitue les lits des oueds par des dépôts alluvionnaires (sables, cailloux) et les plages actuelles (cordon dunaire) constituées par des sables d'origine marine.

4.3. Géologie et formation des dunes

Cependant, les dépôts du massif dunaire résultent de l'érosion des paléo-reliefs argilo-gréseux et gneissique, qui ont été ravinés par les cours d'eaux, conduisant une grande quantité de matériels détritiques vers la mer. Le sable, roche détritique, provient de la délapidification des grés numidiens. Il est blanc ou jaune clair, fin, meuble, et renfermant une proportion d'argile qui augmente en profondeur.

La formation de ces dunes de sable a été effectuée en deux cycles de régression et transgression marines. (Nouacer, 1993).

Le premier cycle (régression) : a donné des dunes anciennes qui ont été déposées en bordure de mer. C'est dans cette formation que les paléothalwegs se creusaient en conservant jusqu'aujourd'hui l'allure qu'ils avaient, avant la mise en place des sables.

Le second cycle (transgression) : moins remarquable, a abouti à la formation des dunes récentes et actuelles suivi par une phase d'érosion aboutissant aux éboulis récents provenant des massifs numidiens. Par la suite, ces dunes ont été fixées par une végétation jusqu'à ce qu'elles deviennent inactivés.

4.4. Les Eboulis de Pente

Tous les versants des vallées des Monts de la Cheffia portent des coulées qui sont souvent le résultat d'un important déséquilibre (Marre. A, 1987). La tendance au déséquilibre a existé pendant tout le quaternaire où les versants furent toujours favorables aux glissement et aux coulées, d'autant plus que les conditions climatiques étaient particulièrement froides et humides. Après l'important creusement que les cours d'eau ont réalisé en sapant la base des versants, la pente s'accélère alors et la force de la pesanteur est plus forte que les forces de cohésion des roches. Des dépôts d'éboulis tapissent leurs cicatrices de départ permettent de les situer dans le temps au début de la dernière période froide du Quaternaire. (Marre. A, 1987).

C'est cette humidité qui est responsable des altérations, du colluvionnement, et aussi des coulées des versants. Les versants dominés par les abrupts sont recouverts d'éboulis

de pente et de colluvions ; ces derniers proviennent de la dégradation des escarpements gréseux et du remaniement des formations d'argiles sous-numidiennes.

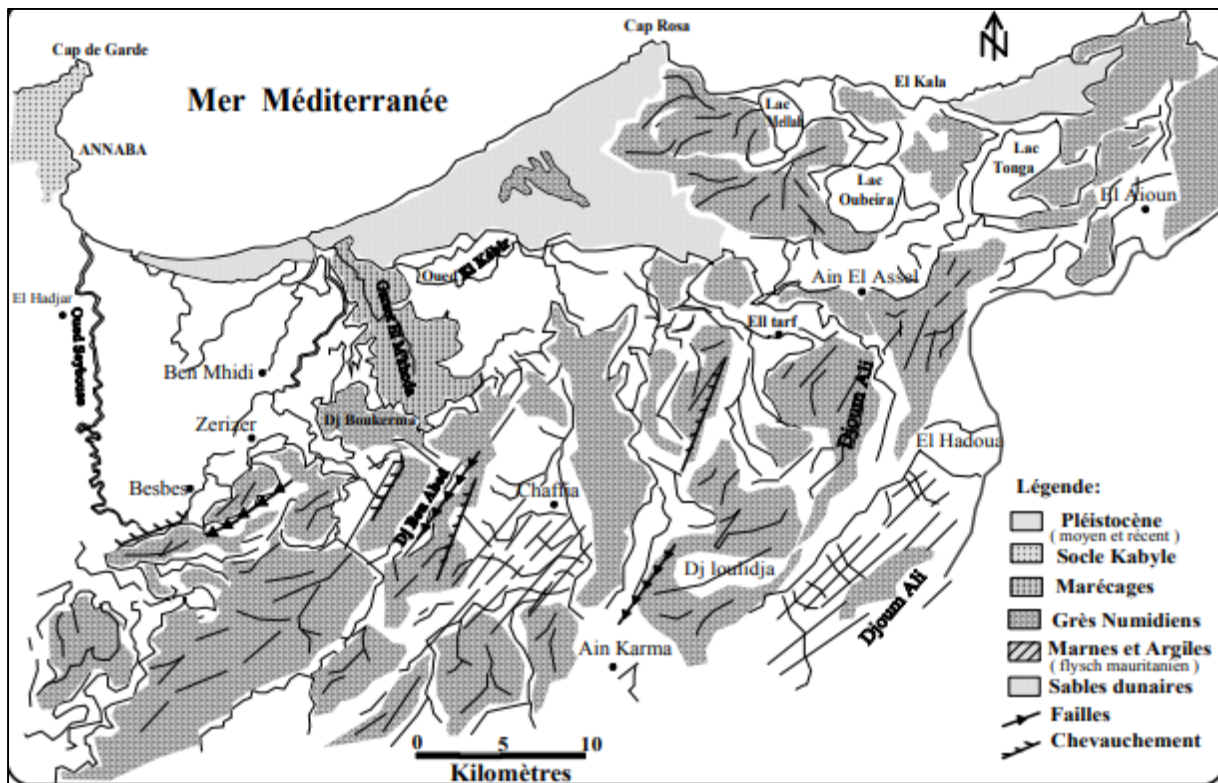


Fig.23. Contexte géologique du Nord-Est Algérien (Marre 1987)

4.5. Cadre structural

La région d'étude est structuralement divisée en deux ensembles :

- 1- Les monts gréseux de Cheffia et leur prolongement jusqu'au Cap Rosa.
- 2- La terminaison orientale de la plaine d'Annaba occupée par le marécage de Mekhada, pôle subsidé d'un vaste fossé d'effondrement comblé au cours du Mio-pliocène et du Quaternaire. D'après la carte structurale de (Walter Wildi 1979, Marre 1987) nous remarquons l'existence d'un ensemble de terrains accidentés (plis, faille,...) au niveau de la nappe numidienne, formant de petits chevauchements (fig.23). Les argiles jouent un rôle plastique sur les plans faillés. Les résultats de ces accidents représentent deux ensembles, l'un inférieur et l'autre supérieur.

Le premier est composé de synclinaux et d'anticlinaux et le second est formé par le synclinal du Lac Oubeïra. Ce lac s'est installé dans une large cuvette synclinale, bordée au Nord de plis en genou du Dj Bouliff et au Sud par le chevauchement du Dj Ach Lahmar sur le Dj Hellilif. Le remplissage argileux de cette cuvette, généralement réparti sur tous les massifs, a pu se

maintenir en créant au-dessus des grès, une couverture imperméable permettant le ruissellement des eaux vers le lac.

La bordure Sud-Ouest du massif de Cap Rosa est liée à une faille normale de direction Nord-Ouest et Sud-Est. Cette dernière est postérieure à la mise en place des nappes et recoupe en oblique toutes les structures de la nappe numidienne.

La présence d'un grand nombre de sources le long de cet accident est un argument indiquant que cette faille a joué au Quaternaire. Le massif dunaire est cloisonné par un réseau de fractures Sud-Ouest, Nord Est et Nord-Ouest, Sud Est.

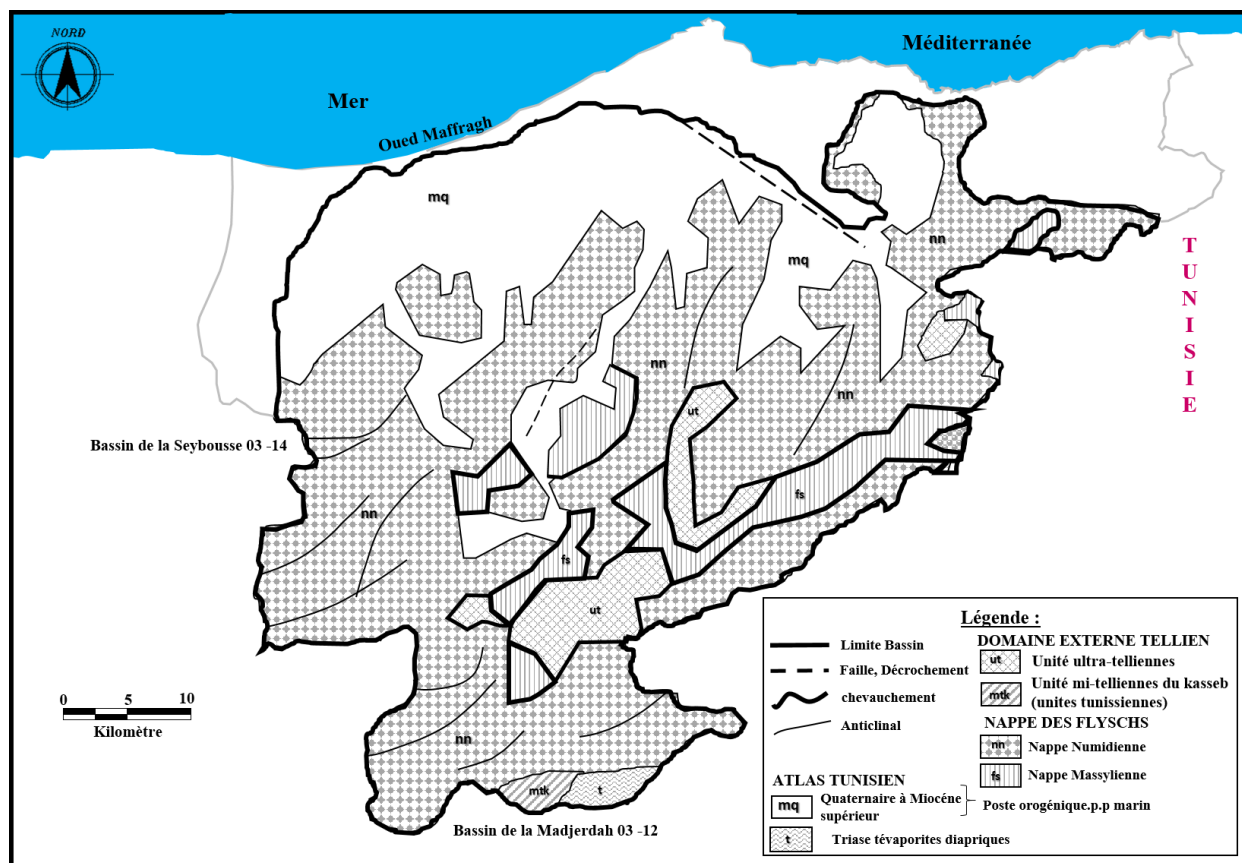


Fig. Carte structurale du bassin de la Maffraghd'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

4.6. Tectonique et Paléogéographie

C'est au cours du Quaternaire (Pléistocène ancien et moyen) que le creusement des vallées de l'Est Algérien a vu le jour avec la mise en place du réseau hydrographique. A la fin du miocène le commencement du jeu de failles bordières.

A l'Est de Bouteldja et au Sud de la plaine d'El Tarf, un puits a recoupé des marnes bleues pliocènes (Alain Marre, 1987), ce qui met en évidence l'existence de cette zone au moment de la transgression pliocène. L'avancement de la mer méditerranéenne jusqu'à la vallée de l'oued Kébir Est, a formé ce qu'on appelle un détroit. Le retrait progressif de la mer durant le Quaternaire récent et la formation d'un cordon dunaire littoral ont favorisé la création des lagunes marines. Ces dernières se sont transformées peu à peu en zones marécageuses et lacs où se décantent les sédiments Argilo-limoneux durant la période sèche.

Ainsi en période de fin régression et retrait total de la mer un enfoncement progressif des grès Numidiens et un remplissage des plaines El-Tarf , et d'Annaba en matériaux détritiques d'âge paléo-quaternaire . Ainsi, un effondrement de ces plaines est marqué par l'existence de deux fosses séparées par l'élévation de Daghoussa.

- fosse de Ben Ahmed d'orientation Sud-Nord.
- fosse de Ben M'hidi de direction Sud- Ouest et Nord- Est.

Finalement un golfe au Miopliocène plonge le long des grandes vallées et présente des matériaux du quaternaire récent caractérisant le cordon dunaire et les lacs de la région.

Ces phénomènes multiples orogéniques et de morphogenèse ont permis des contacts par faille de plusieurs directions :

- Contact entre les oueds Seybousse et Bounamoussa par faille de direction N.E-S.W
- Contact au niveau du Cap Rosa par faille de direction N.W-S.E
- Les failles par contact de Bouteldja et El-Tarf de direction générale N.W.S.E

4.7. Conclusion

Il ressort que le bassin de la Maffragh caractérisant la région d'El-Tarf est défini par la prédominance des ensembles morpho- structuraux suivants :

- La nappe Numidienne caractérisée par les grès Numidiens et qui longe toute les collines de la vallée Maffragh.
- les formations récentes d'âge quaternaires qui remplissent les bas-fonds des collines, les basses plaines et les zones plates du bassin, favorisent la stagnation des eaux superficielles, ce qui permet en périodes pluvieuses l'apparition de surfaces d'eaux stagnantes temporaires.

Evidemment, du point de vue hydrogéologique et hydrologique d'importants aquifères se localisent dans les formations récentes. Parmi les conséquences des phases orogéniques de la phase alpine du miocène supérieur, produites dans la plaine d'Annaba et qui continue encore actuellement, il y a un enfouissement progressif des grès Numidiens vers le Nord-Ouest jusqu'à 300m, sous un remplissage de formations continentales Plio-Quaternaires. Ce remplissage constitue l'essentiel du réservoir aquifère de la plaine d'Annaba -La Mafragh du fait de sa nature lithologique (Khérici, 1993). Les formations de bordure (grès numidien, glacis, terrasses) de la plaine sont de moindre potentialité hydrologique. Cependant, elles constituent généralement des zones d'alimentation pour les systèmes aquifères.

L'étude stratigraphique des principaux affleurements rencontrés montre bien que les terrains les plus anciens sont ceux du Secondaire, quant aux terrains les plus dominants à travers le territoire de ce bassin, surtout dans le domaine montagneux, ce sont ceux de l'Eocène et l'Oligocène qu'on peut regrouper sous le nom de terrains numidiens qui affleurent avec une série d'argiles et de grès, ces terrains sont généralement nappés sur les quels reposent des terrains miocènes argilo sablo conglomératiques datés du Pontien. Notons enfin que les terrains les plus récents dans l'espace de cette région sont ceux du Quaternaire, à la fois marins et continentaux. Mais il est fort probable que le Pliocène soit inclus ou confondu avec ceux du Quaternaire ancien.

PARTIE II

RESSOURCES EN EAU DU BASSIN DE LA MAFFRAGH

- + CHAPITRE 5 : DIAGNOSTIQUE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE.....**
- + CHAPITRE 6 : LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE, LUTTE CONTRE LES INONDATIONS ET SCHEMA D'AMENAGEMENT.....**
- + CHAPITRE 7 : QUALITE DES EAUX DE SURFACE DU BASSIN DE LA MAFFRAGH.....**
- + CHAPITRE 8 : ESSAI DE GESTION INTEGRE DES RESSOURCES EN EAU ET UTILISATION DU MODEL WEAP.....**



CHAPITRE 5 :

DIAGNOSTIQUE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

5. Identifications des différentes Nappes du Système Aquifère de la Maffragh

5.1. Introduction

Le système hydrogéologique du bassin versant de la Maffragh est complexe du point de vue structural, lithologique et hydrodynamique .ce système pourrait être schématisé de la façon suivante :

- ❖ Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques.
- ❖ Une nappe profonde reconnue par les forages profonds.

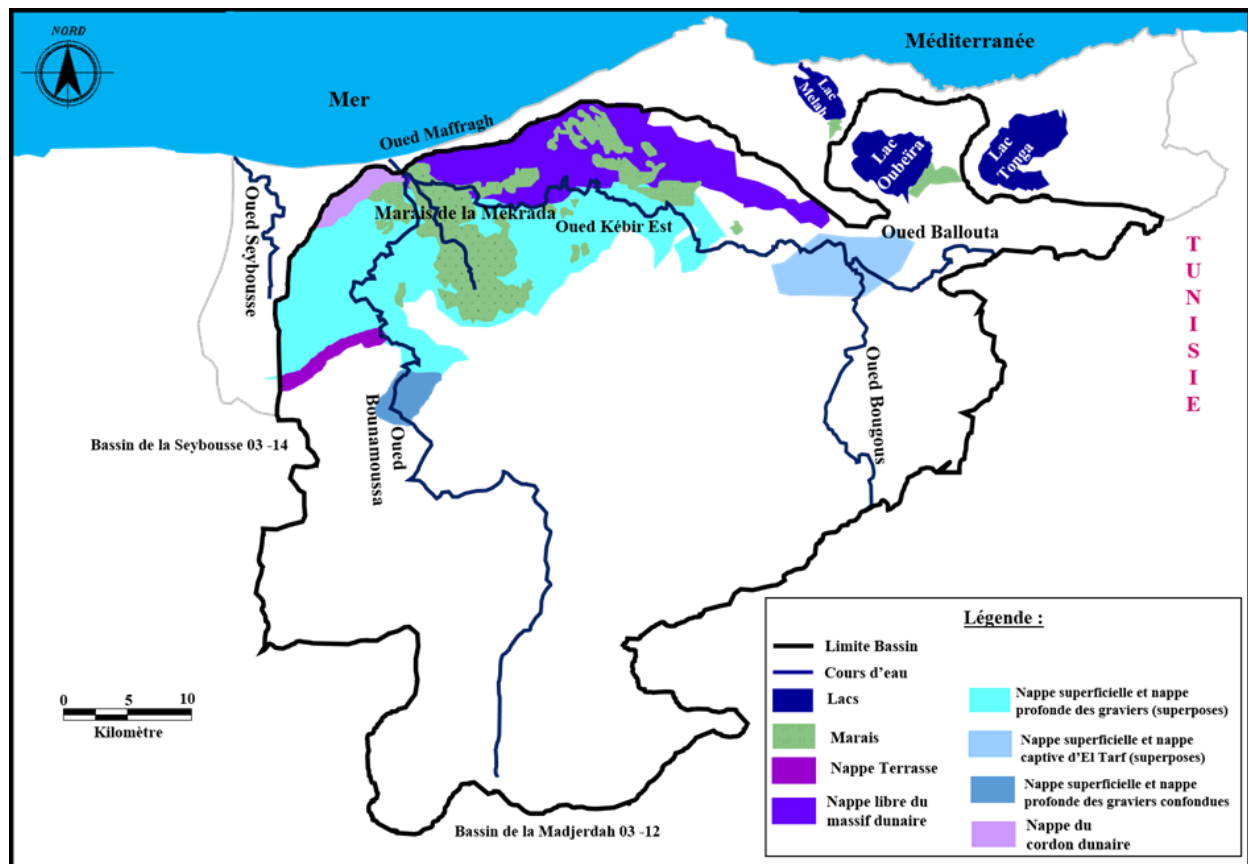


Fig.24. Carte des ressources en eaux souterraines du bassin de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

5.2. Nappe des terrasses de la Plaine d'Annaba

En réalité les nappes de la plaine d'Annaba sont des nappes qui chevauchent les deux bassins la Maffragh et la Seybousse. Un examen cartographique nous a permis d'estimer que plus de 60 % de la surface géographique des nappes de la plaine d'Annaba se localise dans le bassin de la Maffragh (Fig.24) sachant que la circulation des eaux souterraines n'obéit à aucune limite géographique.

5.2.1 : Nappe des alluvions récentes et actuelles (superficielle)

Cette nappe couvre la majorité de la plaine d'Annaba, soit une superficie de 320 km². Elle est contenue dans les alluvions récentes et actuelles à texture argilo sableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse avec quelques lentilles de sables.

5.2.2 : Nappe des graviers (profonde)

Cette nappe est située en dessous de l'aquifère superficiel, elle s'étend sur toute la superficie de la plaine. Contenue dans les graviers, sables et galets plio-quaternaires et encaissé dans un bassin d'effondrement. L'épaisseur de l'horizon aquifère est variable de 2 à 70 m d'Ouest en Est et du Sud vers le Nord. Son toit est perméable, semi-perméable à imperméable formé de sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles. A travers ce toit intervient le phénomène de drainance dans la zone centrale.

5.3. Plaines d'El Asfour

Le bassin d'El Asfour correspond à une plaine alluviale (Fig.25) avec un fond parfaitement plat.

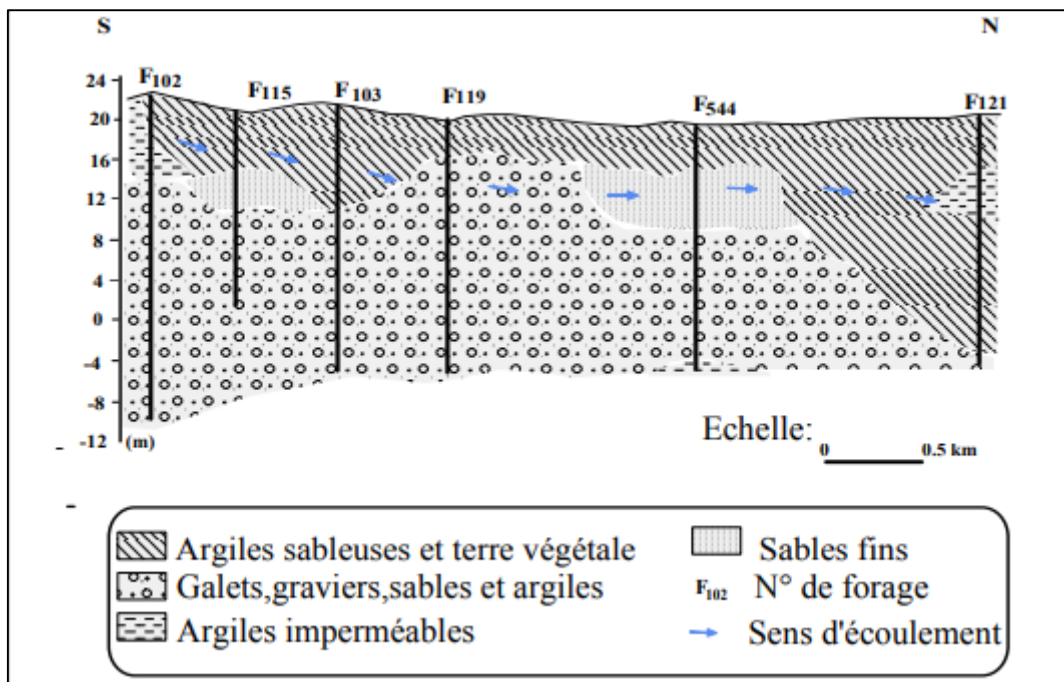


Fig.25. Coupe hydrogéologique au travers de la plaine d'El Asfour. (Khérici-Bousnoubra Houria 2002)

5.3.1. La Nappe Semi-captive

La Nappe semi-captive repose sur un substratum imperméable argileux par endroit et limoneux par d'autres. Les sables argileux forment le toit semi-captif de la nappe, et les graviers constituent le réservoir de cette nappe avec une épaisseur qui varie de 15 à 20m.

5.3.2. La Nappe superficielle

Cette nappe est contenue dans les cailloutis, entre cette nappe alluviale et celle des graviers se forme un horizon sablo-argileux semi-perméable . Dans certaines zones de la plaine, les deux nappes sont totalement confondues en une seule à surface libre. L'alimentation et le drainage de la nappe sont en étroite liaison avec l'Oued Bounamoussa (Labar. S, 2003).

5.4. La Plaine de Boutheldja

5.4.1. La Nappe Libre du Massif Dunaire

Le long du littoral, un énorme massif dunaire s'amplifie de l'Ouest vers l'Est. Il prend alors une orientation NW-SE conforme aux vents dominants. Le massif dunaire de Boutheldja forme une nappe libre reposant sur un substratum argilo-gréseux imperméable à semi-perméable. Il est constitué de sables éoliens épais de 20m (Est) à 120m (Ouest) souvent à intercalations argileuses sous formes de lentilles (Khérici. N, 1985), (Ramdani. D, 1996). Cette nappe exploite des relations souterraines perméables avec la Méditerranée au Nord, les terrasses de l'Oued El Kébir-Est et la nappe profonde des graviers dans lesquelles elle se décharge (limite perméable de fuite) au Sud, les marécages à l'Ouest.

Elle jouit de deux limites à Est, l'une perméable au niveau des grés numidiens et l'autre imperméable à la limite des formations argileuses (Fig.26). En plus des précipitations qui constituent la principale source du massif dunaire, les marécages (Marais Righia et Oum-Agareb), les eaux qui ruissellent des sommets numidiens et les affluents de L'Oued El Kébir-Est sont des sources additionnelles. Cet aquifère est considéré comme vulnérable du fait de la présence de la mer et des marécages salés à son pourtour (Derradji, F, 2004). La profondeur de la nappe des dunes varie de 2 à 8 m, et les variations piézométriques de 0.7 à 3 m.

La nappe est alimentée par l'infiltration des précipitations (25-40 %), et les eaux qui ruissellent des sommets numidiens ont un débit d'environ 1100 l/s ou $35 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (ENERGOPROJECT-ENHYD, 1992). Les eaux du massif dunaire sont captées et exploitées par 28 forages qui fournissent 600 l/s d'eau.

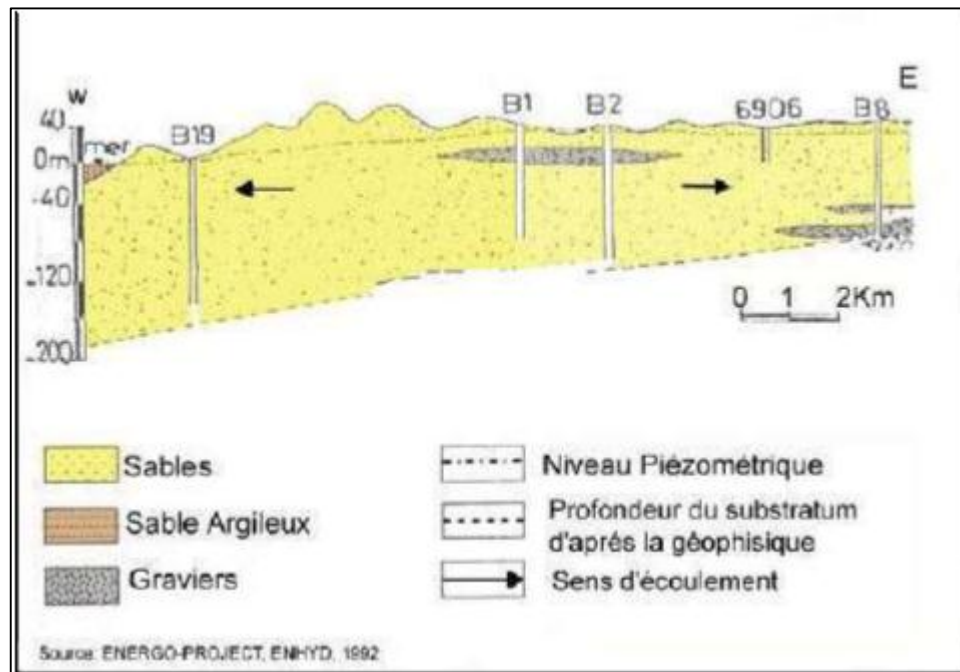


Fig.26. Coupe hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja (Energo -project enhyd, 1992)

5.4.2. Nappe captive :

Selon la coupe hydrogéologique dans la plaine de Boutheldja, il s'avère qu'il y a un contact entre les sables dunaires et les graviers par passage latéral de faciès qui induit des variations des caractères hydrochimiques, car la nappe du massif dunaire se décharge dans la nappe des graviers. Cette dernière repose sur une couche argileuse assurant l'étanchéité du substratum. Elle est constituée de graviers, galets et sables d'origines gréseuses issus des formations numidiennes, avec des passages de marnes, le tout surmonté par une couche argilo-limoneuse qui constitue le toit de la nappe captive (Fellah. R, 1998). Selon la morphologie de l'aquifère, l'épaisseur varie de 50 à 150m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 7,0 - 35 l/s.

5.4.3. Nappe superficielle

Elle se distingue dans les formations argilo-sableuses et limoneuses et dans les argiles compactes avec un passage latéral de sables fins, d'une épaisseur allant de 40 à 50m. L'alimentation de cette nappe s'effectue par les eaux de pluie et l'Oued Kébir Est Selon la carte

de fluctuation piézométrique, l'amplitude est de l'ordre de 2.5 m au Sud de la plaine, due probablement au drainage de la nappe par l'Oued Boulathane et le Lac des Oiseaux car dans cette zone les puits ont une faible influence sur la nappe. Au centre de la plaine une fluctuation de 2 à 2.5 m due à l'influence des puits et des forages.

5.5. La Plaine d'El Tarf

5.5.1. Nappe profonde

Cette nappe s'étend de l'Est vers l'Ouest avec un substratum marneux et un toit argileux d'épaisseur importante, le réservoir est constitué de galets et de graviers. La puissance de la nappe varie suivant la morphologie du substratum de 5 à 15m. La productivité d'un forage de cette nappe est de 4.0- 10.0 l/s. (ENERGO PROJECT ENHYD, 1992).

5.5.2. Nappe superficielle

Elle couvre la totalité de la plaine d'El Tarf, elle est contenue dans les formations alluvionnaires et les argiles plus au moins sableuses, elle est séparée de la nappe captive par un horizon argileux qui constitue le toit de la nappe captive et le substratum de cette nappe. Ce sont les précipitations efficaces qui alimentent cette nappe. Au centre de la plaine la fluctuation est très importante avec une amplitude maximale de 4.5 m, cela est dû à l'exploitation par de nombreux puits, en allant vers le Nord de la plaine la fluctuation diminue ; ceci est peut-être dû au drainage des Oueds : El Kébir-Est et Messida par la nappe. Par ailleurs au Sud-Ouest de la plaine la fluctuation varie de 1.5 à 2.5 m cela est dû à l'alimentation de la nappe par Oued Guergour.

5.6. Les forages

La connaissance d'un aquifère exploitable et de son potentiel repose sur l'étude de tous ses paramètres. Le volume souterrain capté dans le bassin versant de la Maffragh sont estimées à environ 58,66 Hm³/an (Tab.21) La majorité du potentiel hydrique souterrain est extraite par pompage à partir d'une batterie de forages (soit les forages de l'AEP ou bien les forages de l'irrigation) implantée dans le bassin.

Tab.21. le volume des ressources en eau souterraine

Les Communes	Distribution Hm ³ /an			Volume Hm ³ /an	Nombre de forage	Les Nappes
	Industrie	Irrigation	AEP			
26 Forages AEP pour l'alimentation d'Annaba (16.70Hm ³ /an) 21 Forages AEP pour berrihane, El Tarf, Ain Assel, Boutheldja, Ben Mhidi 15.3Hm ³ /an 01 Forage pour l'irrigation. 01 Forage pour l'industrie.	0.1	0.4	32.5	33	50 Forage 03 Sources Boglez. Bourdime. Oued El Bhaim	Nappe Dunaire Bouteldja
08 Forages AEP pour El Tarf , Ain Assel, Bougous.	-	-	2.6	2.6	08	Nappe alluviale Ain Assel
03 Forages AEP pour Ain Assel, Bougous.	-	-	0.56	0.56	03	Nappe de grés
06 Forages AEP pour Annaba 05 Forages AEP pour Cheffia. Lac des Oiseaux. 01 Forages pour l'industrie.	0.25	-	7.04	7.65	12	Nappe alluviale Bouteldja
08 Forages AEP pour Asfour, Ben Mhidi , Zerizer	-	-	3.85	3.85	08	Nappe alluviale Bounamoussa
3 Forages AEP pour Drean, Echatt, Besbes. 90 Forages pour l'irrigation. 06 Forages pour l'industrie.	2	17.5	24.5	44	129	Nappe alluviale Seybouse
	2.35	17.90	71.05	58.66	213	Total

5.7. Les puits

Selon le plan national de l'eau la Maffragh compte un nombre important des puits avec un débit important (Fig.27).

5.8. Les sources

L'inventaire des sources d'eau naturelle identifier un nombre important des sources

1- Les sources froides, trois sources sont captées avec un débit de 120 l/s (Bourdim, Oued Bahaim, Bougles), destiné pour l'alimentation des agglomérations. D'autres sources de moins importance sont recensées au sein du bassin.

2- Il est à noter l'existence des sources thermales d'importance thérapeutique et touristique exploitées dans la zone, est dotée de six sources thermales (Tab.22).

Tab.22. Caractéristiques des sources thermales

Commune	Désignation	Débit l/s	T °C	Longitude	latitude	Thérapeutiques
Zitouna	H. Sidi Trad	2.5	63	8.3166	36.5905	Affection, rhumatismales Neurologique...
Bougous	H. Mexna	0.9	38	8.4001	36.6884	Affection, rhumatismales Neurologique...
Beni Salah	H. Beni Salah	1.5	48	7.9817	36.5433	Affection, rhumatismales Vasculaires
Lac des oiseaux	H.Sidi Djaballah	0.4	37	8.1531	36.7490	Affection, vasculaires...
Bouhadjar	H. Zatout	1.0	45	8.1534	36.4764	Affection, respiratoires...
	H. Sidi Zid	0.5	41.8	8.1098	36.5516	Affection, rhumatismales Neurologique...

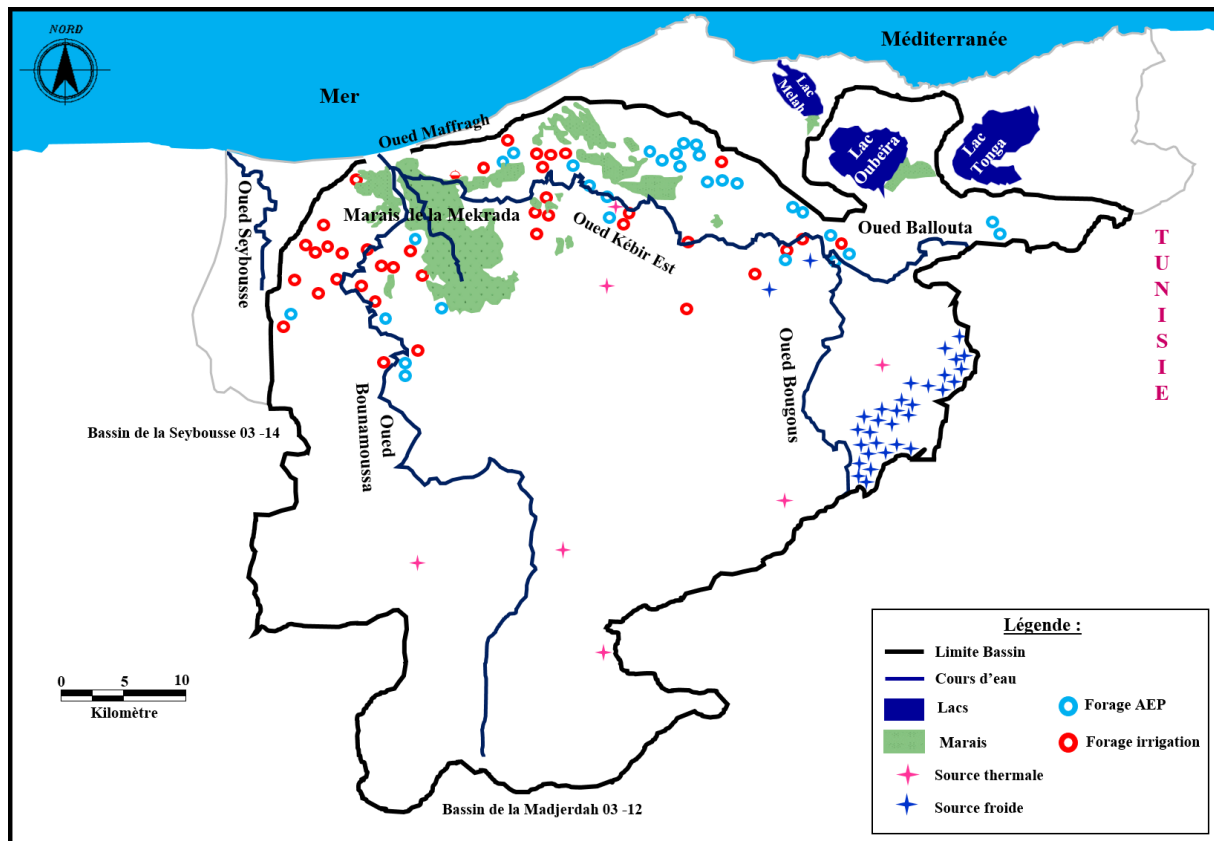


Fig.27. Carte d'inventaire des forages d'eaux et des sources dans le bassin de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

5.9. Conclusion

L'étude hydrogéologique du bassin de la Maffragh a mis en évidence l'existence d'un important réservoir d'eau souterraine contenue surtout dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable, avec parfois des intercalations argileuses). Cet ensemble est divisé en fait en plusieurs nappes dont les plus importantes :

- 1- Un système aquifère constitué du massif dunaire de Boutheldja d'une superficie de près de 180 km² et d'une plaine alluviale résultant des dépôts de l'Oued Kébir-Est et ses affluents d'une superficie de 20 km². Le massif dunaire est essentiellement alimenté par les précipitations et par les reliefs bordant les sables à l'Est.
- 2- Au Sud, le passage latéral aux graviers de la plaine de Boutheldja est marqué par de nombreux marécages (nechaats et garaas) d'une superficie de 15 km², ceux-ci correspondent au niveau piézométrique de la nappe dunaire.

3- En ce qui concerne la plaine de Annaba d'une superficie de près de 320 Km², elle est caractérisé par : Une nappe superficielle exploitée en grande partie par des puits domestiques. Une nappe profonde, reconnue par les forages profonds.

L'analyse piézométrique (Derradji, 2004), a permis de mettre en évidence le rôle très important des précipitations dans la recharge des nappes. La relation Oued-nappe qui est mixte en plusieurs points a été également montrée. Par ailleurs, il faut souligner que les zones aquifères les plus vulnérables sont celles où le niveau de la nappe est le plus proche du de la surface du sol, et que le milieu non saturé constitue une barrière momentanée jouant un rôle de retard sur la migration verticale des polluants de surface (Derradji, 2004). Les nappes superficielles qui jouent un rôle indispensable dans l'alimentation des nappes profondes sont soumises à une exploitation intensive là où l'agriculture le nécessite.

A blue geometric graphic element consisting of several overlapping triangles and trapezoids, creating a dynamic, abstract shape that tapers to the right.

CHAPITRE 6 :

LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE, LUTTE CONTRE LES INONDATIONS ET SCHEMA D'AMENAGEMENT

6. Identifications des ressources en eaux de surface

6.1. Introduction

Les eaux de surface tel que : les cours d'eau, les étendues libres (lacs) et les barrages est l'une des richesses capitales du pays. Le bassin versant de la Maffragh représente un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles par son apport moyen annuel important et ce malgré la variabilité pluviométrique d'une année à une autre.

6.2. Le réseau hydrographique

Les principaux oueds qui drainent le bassin versant de la Maffragh sont le Kébir-Est et la Bounamoussa, ainsi que leurs affluents, qui sont moins importants mais qui jouent un rôle complémentaire dans l'écoulement superficiel, l'alimentation et surtout le drainage des nappes superficielles. Ils convergent vers le marais et rejoignent la mer par un exutoire unique, l'Oued Maffragh (Fig.28).

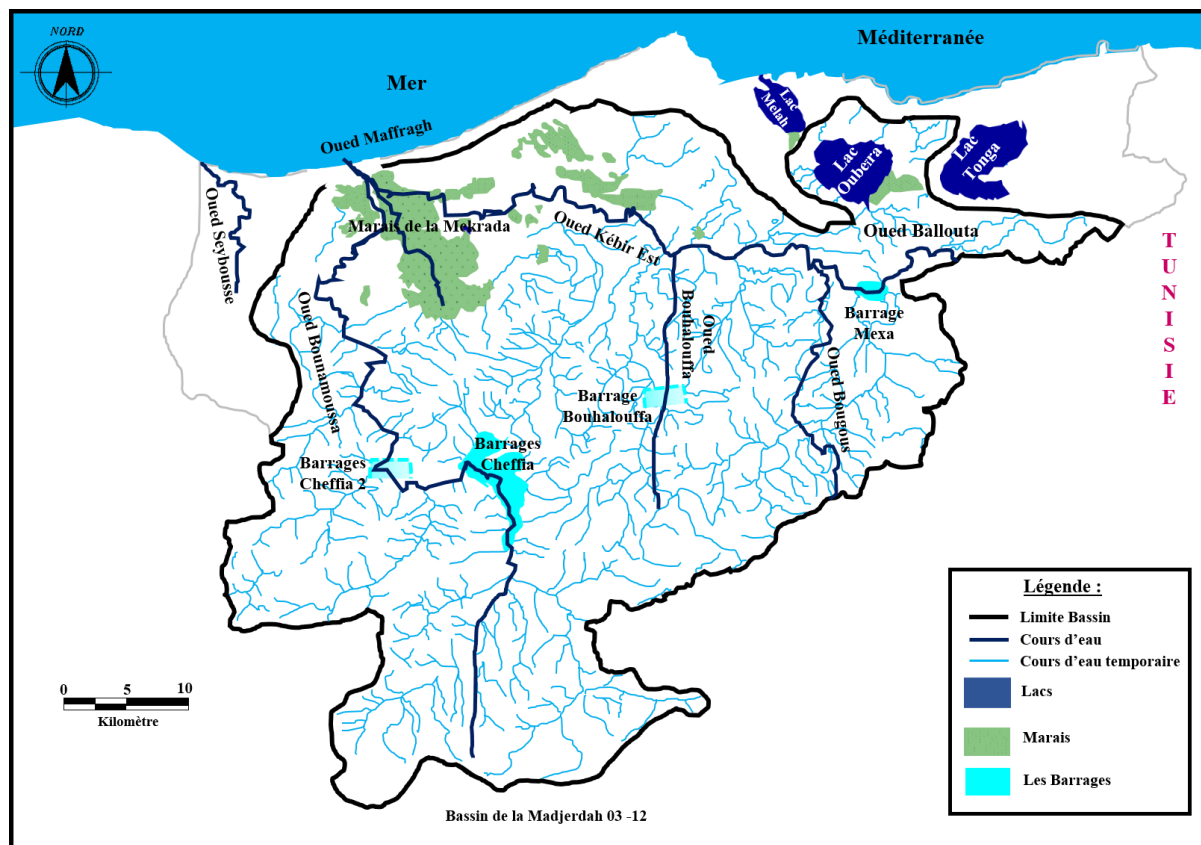


Fig.28. Carte du réseau hydrographique du bassin de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

6.2.1. Oued Bounamoussa

Est l'un des impermanents qui traverse la wilaya d'El Tarf du Sud au Nord sur une distance de 50 Km avec un apport moyen annuel de 127 Hm³ (23.26%). Il traverse en grande partie les massifs montagneux du Sud de la plaine Ouest jusqu'au marais de la Mekhrada aux niveaux de la plaine, son tracé est rectiligne et sa direction Est Nord- Sud et il draine versant de 575 Km² de superficie. L'Oued Bounamoussa prend sa naissance à la hauteur de la ville de Bouhadjar par la confluence d'Oued El Kebir et Oued Bouhadjar. Il présente au départ de son parcours une pente régulière jusqu'à l'entrée de la Cheffia où il a été construit un barrage de Chaffia.

6.2.2. Oued El Kébir Est

L'oued El Kebir-Est avec un apport moyen annuel de 295 Hm³ (54.02%) est formé par la confluence de deux principaux affluents, l'oued Ballouta qui prend sa naissance à l'est et l'oued Bougous à l'ouest, la jonction forme l'oued El kebir Est à Mexa, El Kebir Est prend son parcours parallèle à la côte traverse la plaine d'El Tarf et reçoit à gauche l'oued Guergour , puis la plaine de Boutheldja recevant sur sa même rive gauche l'oued Bouhalloufa ensuite l'oued Boulathane, alors que sur sa rive droite il collecte les eaux de ruissellement des oueds Bou Redim.et Bougles étant exutoires du massif dunaire de Boutheldja .Le barrage Mexa est réalisé sur cet oued.

6.2.3. Oued Maffragh

L'oued Bounamoussa à l'Ouest et Oued El Kébir Est à l'Est rejoignent la mer par un exutoire unique c'est l'oued Maffragh. Avec un potentiel annuel mobilisable en eau est de l'ordre 546 Hm³/an.

6.2.4. Oued Bougous

Représentant un tracé avec de multiples coudes qui le font passer de petits bassins en petits bassins par des secteurs de vallées étroites avec parfois de courtes gorges, draine le versant Algérien à partir des sommets qui constituent la frontière Algéro-Tunisienne Le barrage Bougous est réalisé sur cet oued.

6.2.5. Oued Bouhaloufa

L'oued Bouhaloufa prend naissance aux environs de la cote 600 m, aux alentours de Mchta Hanachir, la longueur de l'oued jusqu'à son affluence avec EL kébir Est et de 41 Km avec une pend de 32 % et une surface du bassin versant 176.5 Km². avec un apport moyen annuel de Hm³ 49 (8.97%).

6.3. Les Barrages

Tab.23. Les Barrages en exploitation

Région alimenté Hm ³ /an	Volume régularisé en Hm ³	Capacité Hm ³	Date de création	Nom de Barrage
AEP : Annaba : 35 Hm³/an AEP : Bouhadjar : 06 Hm³/an Eaux pour l'usine d'El Hadjar : 20 Hm³/an Irrigation périmètre de Bounammossa : 40 Hm³/an Taux de stockage 2019 : 74 % . Jusqu' au mois d'octobre 2019.	101	158,827	1965	Chaffia
AEP : Annaba : 18.90 Hm³/an El Tarf : 12.60 Hm³/an Taux de stockage 2019 : 100 % . Jusqu' au mois d'octobre 2019.	32	30	1988	Mexa
AEP : Annaba et El Tarf. Régularisation des crues de l'Oued El Kébir Est et réduire les inondations vers la plaine d'ELTarf. Taux de stockage 2019 : 83% . Jusqu' au mois d'octobre 2019.	57	66	2004	Bougous

6.3.1. Barrage de Mexa

C'est une retenue de stockage des eaux de sur l'oued El-Kébir Est en amont du pont de la RN 44. C'est un barrage en terre compactée (argile locale du complexe argilo-gréseux du numidien). Cet ouvrage qui a été réceptionné en juillet 1988 (Tab.23) d'une capacité de 47 Hm³ d'eau douce est devenue depuis d'une importance économique et écologique dans le territoire (Fig.29, Fig.30). Leur alimentation se fait à travers les oueds : El-Kébir, Bougous et Ballouta.

Il est destiné pour :

- l'alimentation d'eau potable des collectivités d'El-Tarf et Annaba,
- l'irrigation des périmètres de la plaine de Boutheldja et El-Tarf,
- Régularisation des crues de l'Oued El Kébir et réduire les inondations vers la plaine d'El Tarf.



Fig.29. Barrage de Mexa



Fig.30. La digue de barrage à matériaux Locaux

6.3.2. Barrage de Bounamoussa (Chaffia)

Situé sur l'oued Bounamoussa à 40 Km Sud- Est à l'amont de la ville de Annaba et 42 Km au Sud- Ouest d'El Tarf sur la commune de Chaffia s'étend sur une superficie de 1000 ha, contrôlé un bassin versant d'une superficie de 579Km². Il est destiné pour l'alimentation d'eau potable des collectivités d'El-Tarf et Annaba et l'irrigation du périmètre de Bounamoussa. Il est destiné pour :

- l'alimentation en eau potable de la ville d'Annaba et la Daïra de Bouhadjar relevant de la wilaya d'El Tarf,
- Alimentation des complexes industriels et en particulier la SNS El Hadjar,
- L'irrigation du périmètre de la Bounamoussa et éventuellement le périmètre de la Cheffia,
- Régularisation des crues de l'oued Bounamoussa et réduire les inondations vers la plaine.

6.3.3. Barrage de Bougous

Le barrage de Bougous (Fig.31, Fig.32) en amont de celui de Mexa sur Oued Bougous d'une capacité de 60 millions de m³ qui va jouer un double rôle, d'écarter de la crue forte sur Oued Bougous en pente et laminer la lame d'eau importante drainée par ce dernier et pour l'alimentation de l'eau potable. La création de Bougous en 2005, sa mise en eau a été faite en 2009 et son remplissage complet s'est réalisé à l'hiver 2010. C'est un barrage en terre, avec une longueur de 635,61 m et une hauteur de 71,40 m, le niveau de crête 143,60 m, la largeur de crête 9m.



Fig.31. Barrage Bougous



Fig.32. Évacuateur bétonné de Barrage Bougous

6.4. Les Barrages en cours de réalisation

Le barrage de Boukhroufa est l'une des installations techniques les plus importantes qui contribuent au développement du secteur de l'irrigation agricole et aussi à protéger les plaines d'El Tarf contre les inondations (Tab.24) le taux d'avancement des travaux de 87% et entre en emballage fin 2019 et en exploitation 2020. ET trois barrages sont programmés Boulathane, Bounamoussa II, Medjez Mlila (Tab.25).

Tab.24. Barrage de Boukhroufa (Bouhaloufa)

L'effet	Volume Hm ³ /an	Capacité Hm ³ /an	Nom du Barrage
Protection contre les inondations Irrigation des aires irriguées superficie de 9200 h	95.00	125	Boukhroufa Ou Bouhaloufa

Tab.25. Les Barrages programmés

Remarque	L'effet	Volume Hm3/an	Capacité Hm3/an	Nom du Barrage
L'étude est terminée, en attente d'inscription	Protection contre les inondations Irrigation des aires irriguées superficie de 9200 h	20.5	24.4	Boulathane
		41.63	73	Bounamoussa II
Achèvement de l'étude de faisabilité	Il vise à renforcer la bande frontalière avec de l'eau potable et à irriguer les terres agricoles	-	60	Medjez Mlila

6.5. Les retenues collinaires

Les retenues collinaires dans le bassin versant de Kébir Ouest, sont destinées essentiellement à l'irrigation des moyens et petits périmètres et l'abreuvement des cheptels, elles sont au nombre de 17 depuis les années 80 mobilisant un volume total approximative de 4,5 Hm³ d'eau de surface (Tab.26).

Tab.26. Les retenues collinaires et les petits barrages en exploitation

Nom de l'ouvrage	Commune	Année de réalisation/ de mise en service	Superficie du B.V (Km2)	Capacité (Hm3)		Utilisation actuelle/ S.I (Ha)	O.B.S
				Initial	Actuelle %		
<i>Boufara I</i>	<i>Dréan</i>	<i>1960</i>	<i>3.50</i>	<i>0.50</i>	<i>100</i>	140	E. Moy (petit barrage)
<i>Boufara II</i>	<i>Dréan</i>	<i>1960</i>	<i>2.88</i>	<i>0.25</i>	<i>100</i>	120	E. Moy (petit barrage)
<i>Khmisti</i>	<i>Chihani</i>	<i>1987</i>	<i>2.30</i>	<i>0.056</i>	<i>100</i>	25	E. Moy (petit barrage)
<i>Nadjoua Bakhouch</i>	<i>Besbes</i>	<i>1987</i>	<i>2.30</i>	<i>0.056</i>	<i>100</i>	12	E. Moy
<i>Righioua</i>	<i>Besbes</i>	<i>1960</i>	<i>1.68</i>	<i>0.056</i>	<i>100</i>	50	E. Moy
<i>Hashassia</i>		<i>1987</i>	<i>1.20</i>	<i>0.025</i>	-	02	E. Moy
<i>Garouni</i>	<i>El Kala</i>	<i>1986</i>	<i>1.37</i>	<i>0.040</i>	<i>100</i>	09	E. Moy
<i>Khaldoun</i>	<i>El aioun</i>	<i>1986</i>	<i>1.12</i>	<i>0.065</i>	<i>100</i>	18	E. Moy
<i>Oued djenane</i>	<i>El aioun</i>	<i>1983</i>	<i>2.60</i>	<i>0.060</i>	<i>100</i>	10	Bon Etat
<i>Ben sebti</i>	<i>Bougous</i>	<i>1983</i>	<i>0.90</i>	<i>0.040</i>	<i>80</i>	-	Bon Etat
<i>R 'Mel Boumediene</i>	<i>Bouhadjar</i>	<i>1985</i>	<i>5.20</i>	<i>0.038</i>	<i>100</i>	05	E. Mauv (petit barrage)

<i>Bibeta</i>	<i>Bouhadjar</i>	<i>2009</i>	<i>5,6</i>	<i>0,850</i>	<i>100</i>	<i>05</i>	<i>Bon Eta(petit barrage)</i>
<i>Ben Seghir 1</i>	<i>Zitouna</i>	<i>2013</i>	<i>-</i>	<i>0,06</i>	<i>100</i>	<i>-</i>	<i>Bon Etat</i>
<i>Ben Seghir 2</i>	<i>Zitouna</i>	<i>2013</i>	<i>-</i>	<i>0,07</i>	<i>100</i>	<i>-</i>	<i>Bon Etat</i>
<i>Louguibet</i>	<i>Zitouna</i>	<i>2013</i>	<i>-</i>	<i>0,045</i>	<i>100</i>	<i>-</i>	<i>Bon Etat</i>
<i>Feddaoui</i>	<i>El Tarf</i>	<i>2013</i>	<i>1,15</i>	<i>0,040</i>	<i>100</i>	<i>-</i>	<i>Bon Etat</i>
<i>Feddaoui</i>	<i>El Tarf</i>	<i>2013</i>	<i>3,80</i>	<i>0,240</i>	<i>100</i>	<i>-</i>	<i>Bon Etat (petit barrage)</i>

6.6. Les marais de Mekhrada

Est un marécages profond de 0.4 m à 1 m durant la période des hautes eaux. En grande partie temporaire cette marécage est l'espace de convergence des oueds Bouhallalah, Bounamoussa et El Kébir Est, Le Marais de la Mekhrada se situe à 20 Km à l'Est de la ville d'Annaba et à 45 Km à l'Ouest de la ville d'El Kala (Latitude 36° 48' N longitude 8°00' E). Au Nord, le marais est bordé par des dunes littorales le séparant de la mer Méditerranée, et au Sud, par les massifs argileux et forestiers de la Cheffia.

Lors de son assèchement, et même quand la nappe d'eau émerge, elle est utilisée comme terre de pacage par les riverains. Du fait de l'influence directe de la méditerranée qui se propage à l'intérieur de ces terres, des tamarins couvrent une partie de la région et les poissons marins arrivent durant cette saison dans la nappe d'eau comme (les Aloses et les Muges). Vers le Nord, l'altitude des collines qui surplombe Les marais de Mekhrada atteint les 356 m à Djebel Bou-Kerma.

6.7. Lac Oubeira

Le lac Oubeïra (Fig.33) est situé dans la partie occidentale d'EL kala (L'altitude : 36°50 N et Longitude : 8°23 E), à la côte 25 m, couvre une superficie de 2200 ha ,avec un profondeur de 04 m entre le lac Mellah et lac Tonga d'un volume d'eaux de 3253096.80 m³ Il est occupé par de l'eau douce et est alimenté essentiellement par le oued Messida Lors des averses d'hiver (période des hautes eaux) les eaux de l'Oued El Kebir s'écoulent vers le lac. En été, le système hydrologique fonctionne en sens inverse.



Fig.33. Lac Oubeira

6.8. Les eaux non conventionnelles du bassin de la Maffragh

6.8.1. Les stations d'épuration de Zerizer et Asfour

Le traitement des eaux usées représente une composante essentielle de gestion durable des ressources en eau. Les impacts les plus importants peuvent être résumés comme suit :

- ✓ Amélioration de la situation écologique des systèmes hydrographiques ;
- ✓ Réduction des risques pour la santé,
- ✓ Réutilisation des eaux usées traitées en tant que nouvelle ressource,
- ✓ Amélioration de la qualité de l'eau dans les cours d'eau et ainsi que la mise à disposition de ressources supplémentaires de meilleure qualité.

Les deux stations est destinée à traiter les eaux usées domestiques avant leur rejet dans l'Oued de Bounamoussa (Tab.27).

Tab.27. Les caractéristiques techniques de la STEP du Zerizer et Asfour

Désignation	STEP Zerizer	STEP Asfour
Wilaya :	El Tarf	El Tarf
Unité :	El Tarf	El Tarf
Nom (STEP et Lagune) :	Zerizer	Asfour
localisation (commune)	Zerizer	Asfour
Gestionnaire :	ONA	ONA
Procédé d'épuration :	Boue Activée	Boue Activée
Capacité actuelle et à l'horizon en EQ/Hab :	3000	7000
Volume nominal actuelle et à l'horizon en m ³ /j :	150	1100
Volume réel entrant à la STEP ou lagune en m ³ /j :	202	1084
Taux de collecte (raccordé à la STEP ou lagune) % :	98	98
Volume annuel traité en hm ³ :	0,06963915	0,37578636
Rendement de la STEP	94	95
Milieu récepteur des eaux sortant de la STEP	Oued	Oued
Etat de la STEP (en marche, a l'arrêt ,,,)	En marche	En marche
Qualité de l'eau entrante (moyenne) mg/l	Domestique	Domestique
Destination des boues	Aire de Stockage	Aire de Stockage

Tab.28. Bilan de l'auto surveillance de la STEP de Zerizer pour l'année 2019

MOIS	Volume eau brute m ³	Volume eau épurée m ³
JANVIER	1584	1504
FEVRIER	3600	3420
MARS	4660	4427
AVRIL	4372,47	4153,8465
MAI	3904,5	3709,275
JUIN	3274	3110
JUILLET	4931	4684,45
AOUT	3382,56	3212,85
SEPTEMBRE	3480	3306
OCTOBRE	3480	3306
NOVEMBRE	3480	3306
DECEMBRE	3480	3306
Rendement	94%	

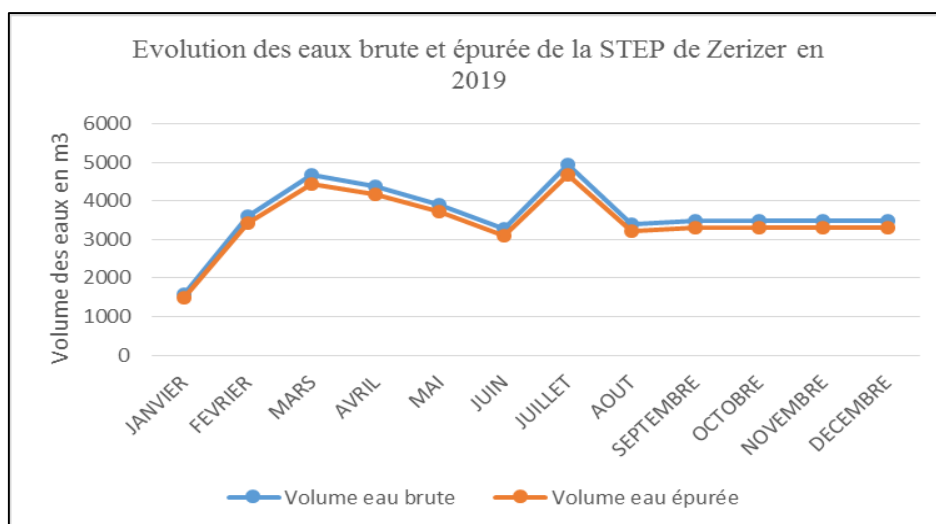


Fig.34. Evolution mensuelle des volumes d'eaux brutes et épurées à la STEP de Zerizer 2019

6.8.2. Bilan de suivi de la qualité des eaux de la STEP de Zerizer

Durant l'année 2019, la station d'épuration de Zerizer a épuré un volume d'eau brute de 121.7 m³/j (Fig.34) ce qui représente une capacité de 150 m³/j. Le rendement d'épuration de la station est de 94% (Tab.28).

Le suivi de la qualité des eaux s'est limité aux paramètres physico-chimiques de pollution suivants : Les MES, la DBO₅ et la DCO.

6.8.2.1. Les matières en suspension MES

Les valeurs des effluents à l'entrée varient de 76 à 256 mg/l et celles de la sortie de entre 9 et 30mg/l, qui sont inférieures à la norme algérienne pour les eaux usées de 35mg/l (Fig.35).

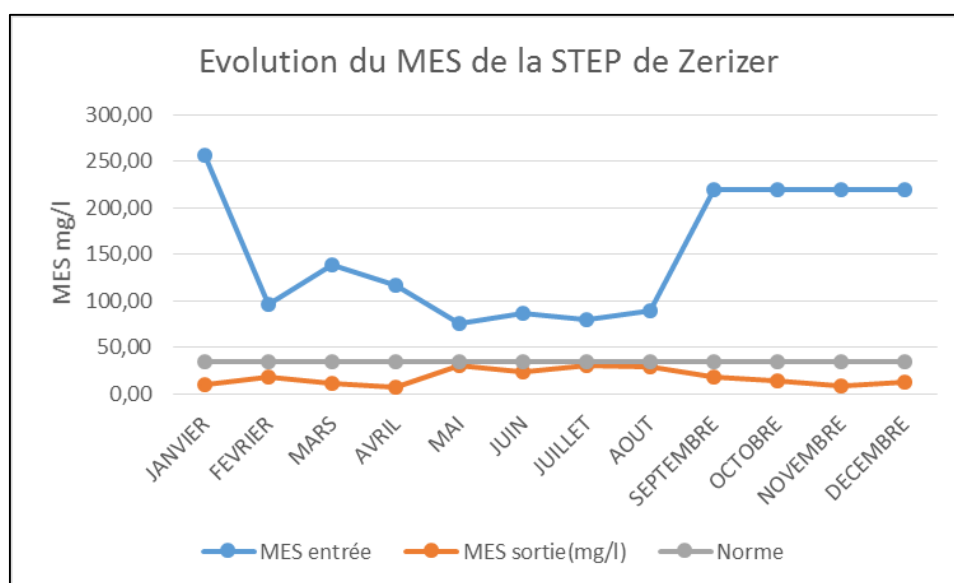


Fig.35. Evolution mensuelle du MES de la STEP de Zerizer

6.8.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO5)

Les valeurs des effluents à l'entrée varient de 50 à 190 mg/l et celles de la sortie entre 2 et 15 mg/l, qui sont inférieures à la norme algérienne pour les eaux usées de 35mg/l (Fig.36).

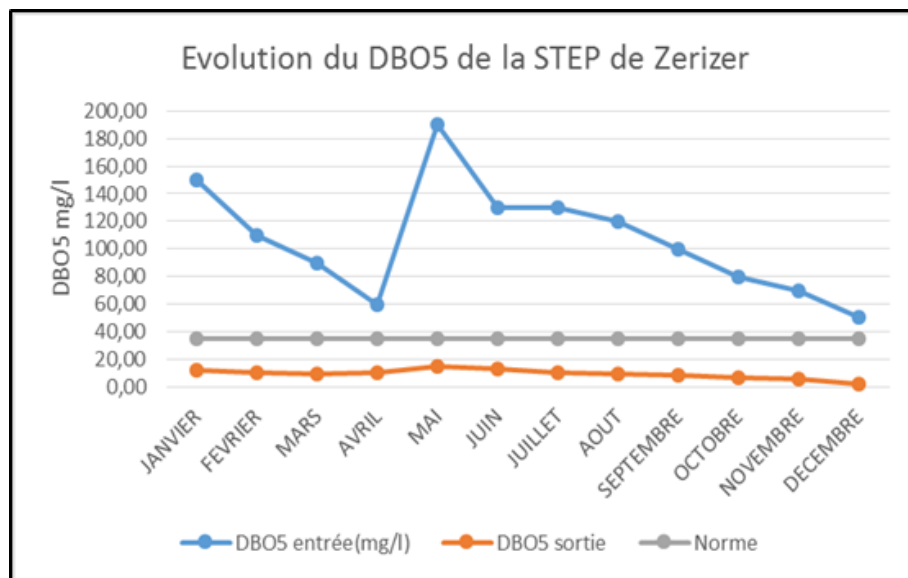


Fig.36. Evolution mensuelle du DBO₅ de la STEP de Zerizer

6.8.2.3. La demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs des effluents à l'entrée varient de 86 à 200 mg/l et celles de la sortie de entre 13 et 43 mg/l qui sont inférieures à la norme algérienne pour les eaux usées de 120 mg/l (Fig.37).

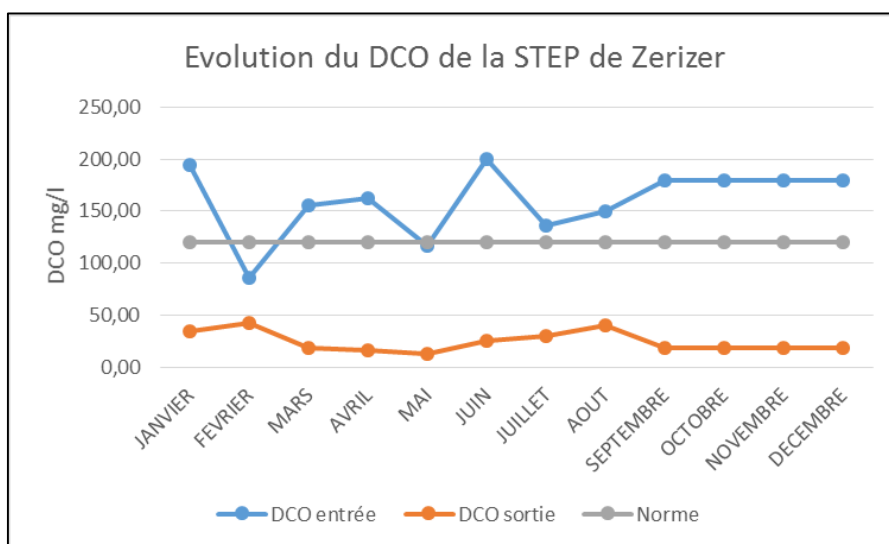


Fig.37. Evolution mensuelle du DCO de la STEP de Zerizer

L'examen du bilan de la station d'épuration de Zerizer, quantitativement est avec un taux de collecte de 98%, et sur le plan qualitatif et avec un volume annuel traité de 0,06963915hm³,

les eaux épurées présentent des valeurs des paramètres physico-chimiques de pollution inférieures aux normes algériennes requises, ce qui démontre l'efficacité du processus d'épuration des eaux usées.

Tab.29. Bilan de l'auto surveillance de la STEP d'Asfour pour l'année 2019

MOIS	Volume eau brute m ³	Volume eau épurée m ³
JANVIER	12600	11970
FEVRIER	23550	22372,5
MARS	20472,48	19448,4
AVRIL	13517,28	12841
MAI	25484,76	24210,522
JUIN	12531,96	11905
JUILLET	26744	25406,8
AOUT	22450	21327
SEPTEMBRE	18283	17368
OCTOBRE	18283	17368
NOVEMBRE	18283	17368
DECEMBRE	18283	17368
Rendement	95%	

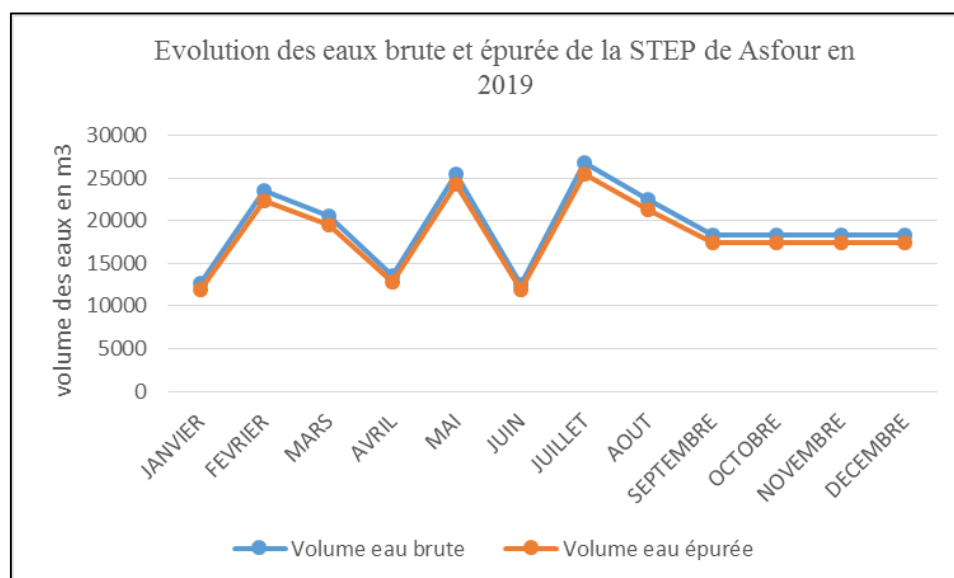


Fig.38. Evolution mensuelle des volumes d'eaux brutes et épurées à la STEP d'Asfour 2019

6.8.3. Bilan de suivi de la qualité des eaux de la STEP d'Asfour

Durant l'année 2019, la station d'épuration d'Asfour a épuré un volume d'eau brute de 608.00 m³/j (Fig.38) ce qui représente une capacité de 1100 m³/j. Le rendement d'épuration de la station est de 95% (Tab.29).

Le suivi de la qualité des eaux s'est limité aux paramètres physico-chimiques de pollution suivants : Les MES, la DBO5 et la DCO.

6.8.3.1. Les matières en suspension MES

Les valeurs des effluents à l'entrée varient de 53 à 263mg/l et celles de la sortie de entre 14 et 66 mg/l, qui sont supérieur à la norme algérienne pour les eaux usées de 35 mg/l (Fig.39).

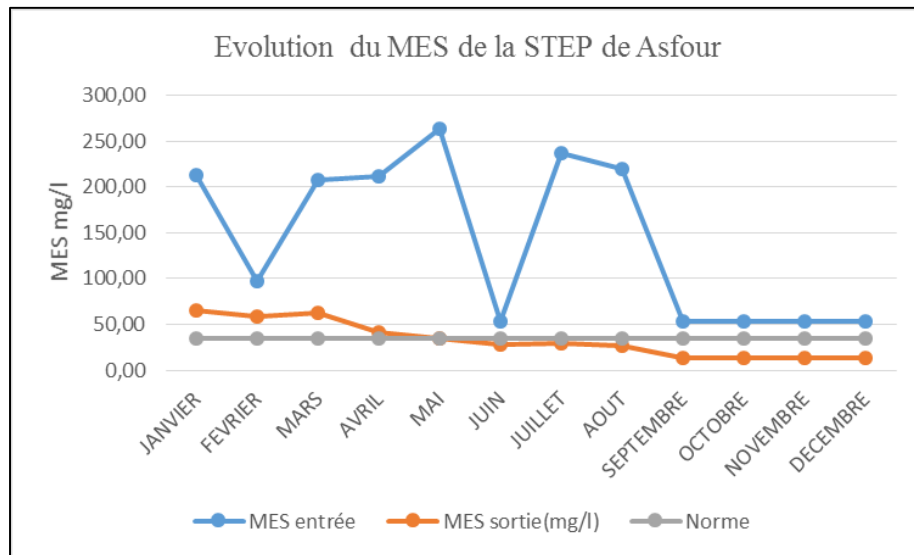


Fig.39. Evolution mensuelle du MES de la STEP d'Asfour

6.8.3.2. La demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs des effluents à l'entrée varient de 50 à 508 mg/l et celles de la sortie de entre 71et 101mg/qui sont inferieur à la norme algérienne pour les eaux usées de 120 mg/l (Fig.40).

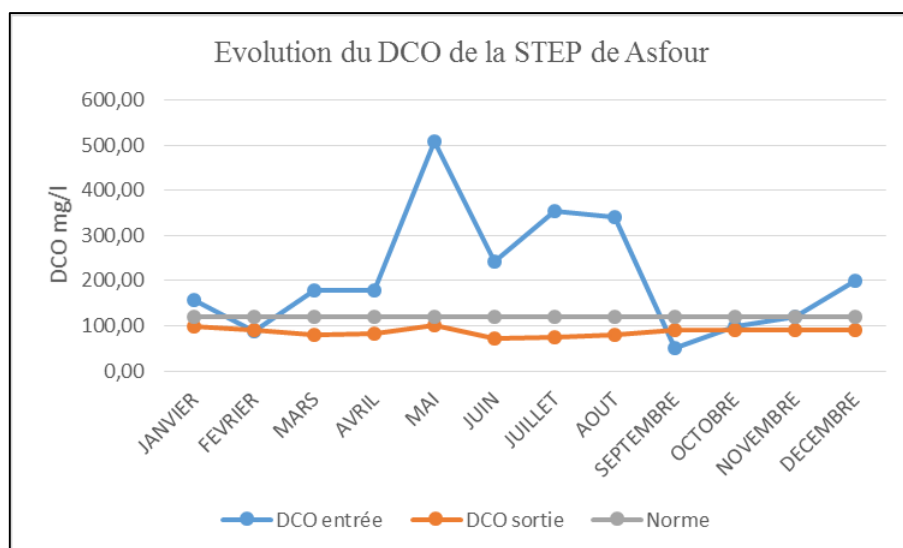


Fig.40. Evolution mensuelle du DCO de la STEP d'Asfour

L'examen du bilan de la station d'épuration d'Asfour, quantitativement est avec un taux de collecte de 98 %, et sur le plan qualitatif et avec un volume annuel traité de 0,37578636 hm³, les eaux épurées présentes des valeurs des paramètres du MES supérieure aux normes algériennes requises.

6.9. Dessalement des eaux de la mer

Le projet de la station de dessalement d'eau de mer, initialement retenu dans la commune d'El Chatt, sera délocalisé vers la commune de Berrihane (Tab.30), ce mégaprojet, devant être concrétisé sur une superficie de 12 hectares, a une capacité de dessalement de 300 000 m³/d'eau, appelée à renforcer et sécuriser l'alimentation en eau potable d'une large zone géographique de l'est du pays (El Tarf, Annaba, Guelma, Skikda et Souk Ahras), cette station de dessalement de l'eau de mer, peut s'enorgueillir et se targuer de devenir, indéniablement, une plaque tournante pour l'eau potable à destination de toutes les wilayas de l'est du pays.

Tab.30. Dessalement des eaux de la mer

Source	Localisation	Date de confection	Quantité m ³ /j	Les régions concernées
Eaux de la mer	Berrihane	En cours de réalisation	300000	El Tarf, Annaba, Guelma, Skikda

6.10. Lutte contre l'inondation dans le bassin de la Maffragh

6.10.1. Introduction

Le bassin de la Maffragh est l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie, la pluviométrie atteint parfois les 1200 mm/an. Cette forte pluviométrie engendre souvent des inondations à travers la région (plaine d'El Tarf et plaine de Bounamoussa). Cette pluviométrie d'une intensité qui dépasse les 130 l/s/ha s'abat sur la région sous forme d'averse très concentrée dans le temps et dans l'espace provoquant des pluies torrentielles ne pouvant être absorbées par infiltration dans les nappes ou contenue dans les oueds et se répand sur la plaine engendrant des inondations spectaculaires à travers toute la région.

Le bassin de la Maffragh a connu plusieurs inondations qui par le passé ont toutes provoquées des dégâts. A ce titre nous, rappelons les inondations de 1973, 1984, 1985, 2003, 2005, 2009, 2012 et 2017.

L'année pluviométrique 2016-2017 à travers Le bassin de la Maffragh peut être considérée comme particulière par rapport à une année pluviométrique normale du fait de son irrégularité dans la distribution de ces pluies dans le temps et dans l'espace.

La moyenne annuelle a atteint les 680 mm dont 243,20 durant le mois de février (journée du 09 au 10 février 131,50 mm), et c'est justement la cause essentielle qui a provoqué l'inondation à travers la zone d'EL Tarf et de Boutheldja.

6.10.2. Cause des inondations dans le bassin de la Maffragh

- La forte intensité des pluies [Ex : 09 au 10 février 2017 soit plus de 131,50 mm en 24 h]
- La saturation du sol, suite au cumul de précipitations,
- Pentes très faibles provoquant un écoulement très lent,
- Nature argileuse des sols ne permettant pas une bonne perméabilité :
 - Présence d'obstacles dans les lits des oueds tels que des dépôts d'alluvions, troncs d'arbres ainsi que des méandres.
 - Charriage constant de matériaux solides provenant des terrassements (chantiers de construction) autoroute Est– Ouest.

Tous ces facteurs ont provoqué la saturation des réseaux hydrographiques, par conséquent leur débordement sur les terres agricoles et les habitations.

L'incapacité de l'embouchure de la Maffragh (principal exutoire des oueds et leurs affluents : Kébir-Est, Bounamoussa et Bouhlala) à évacuer tout le débit de ces oueds vers la mer.

Ce débit estime à 2494 m³/s, est nettement supérieur à la capacité d'évacuation de la Maffragh qui est de l'ordre 1215 m³/s.

6.10.3. Situation actuelle des Barrages et Oueds

6.10.3.1. Situation des Oueds

La situation actuelle des deux Oueds principales (Bounamoussa et El Kébir Est) du bassin de la Maffragh (Tab.31, Tab.32).

Tab.31. Situation d'Oued Bounamoussa

Oued Bounamoussa			
Volume déversé Hm ³	Apport Hm ³	Débit d'évacuation max M ³ /S	Précipitation mm
---	15.373	---	156.40

Tab.32. Situation d'Oued El Kébir Est

Oued El Kébir Est			
Volume déversé Hm ³	Apport Hm ³	Débit d'évacuation max M ³ /S	Précipitation mm
106.321	120.36	1094	109.43

6.10.3.2. Situation des Barrages en exploitation - Arrêté au 09/02/2017

Les équipements des barrages de Bounamoussa, Mexa et Bougous sont en bon état (Digue, évacuateur de crue puits vanne) (Tab.33), (Tab.34), (Tab.35).

Tab.33. Situation de Barrage de Bounamoussa

Barrage Bounamoussa					
Capacité Hm ³	Volume actuel Hm ³	Volume déverse Hm ³	Apport Hm ³	Taux de remplissage %	Pluviométrie mm
158.000	53.898	---	15.373	33.98	57.31

Tab.34. Situation de Barrage de Mexa

Barrage Mexa					
Capacité Hm ³	Volume actuel Hm ³	Volume déverse Hm ³	Apport Hm ³	Taux de remplissage %	Pluviométrie Mm
30.000	39.526	106.321	104.278	100	114,10

Tab.35. Situation de Barrage de Bougous

Barrage Bougous					
Capacité Hm ³	Volume actuel Hm ³	Volume déverse Hm ³	Apport Hm ³	Taux de remplissage %	Pluviométrie Mm
66.000	62.602	- - -	16.258	94,85	157,5

6.10.4. Agglomérations exposées au risque d'inondation par degré de gravité à travers le bassin de la Maffragh

Tab.36. Les agglomérations du bassin de la Maffragh exposées au risque des inondations

COMMUNE	SUPERFICIES (HA)	SUPERFICIES INONDABLES (HA)	RISQUES
Echatt	6215	80	FAIBLE RISQUE
Ain Assel	9480	400	
Bougous	21580	36	
Boutheldja	11353	637	MOYEN RISQUE
Berrihane	20250	206	
El Tarf	11140	600	HAUT RISQUE
Lac des Oieseaux	8588	412	
Ben Mhidi	1506	12	
Besbes	512155	6160	
Asfour	10452	120	
Chihani	20082	66	
Cheffia	19247	/	
Total		8729 Ha	

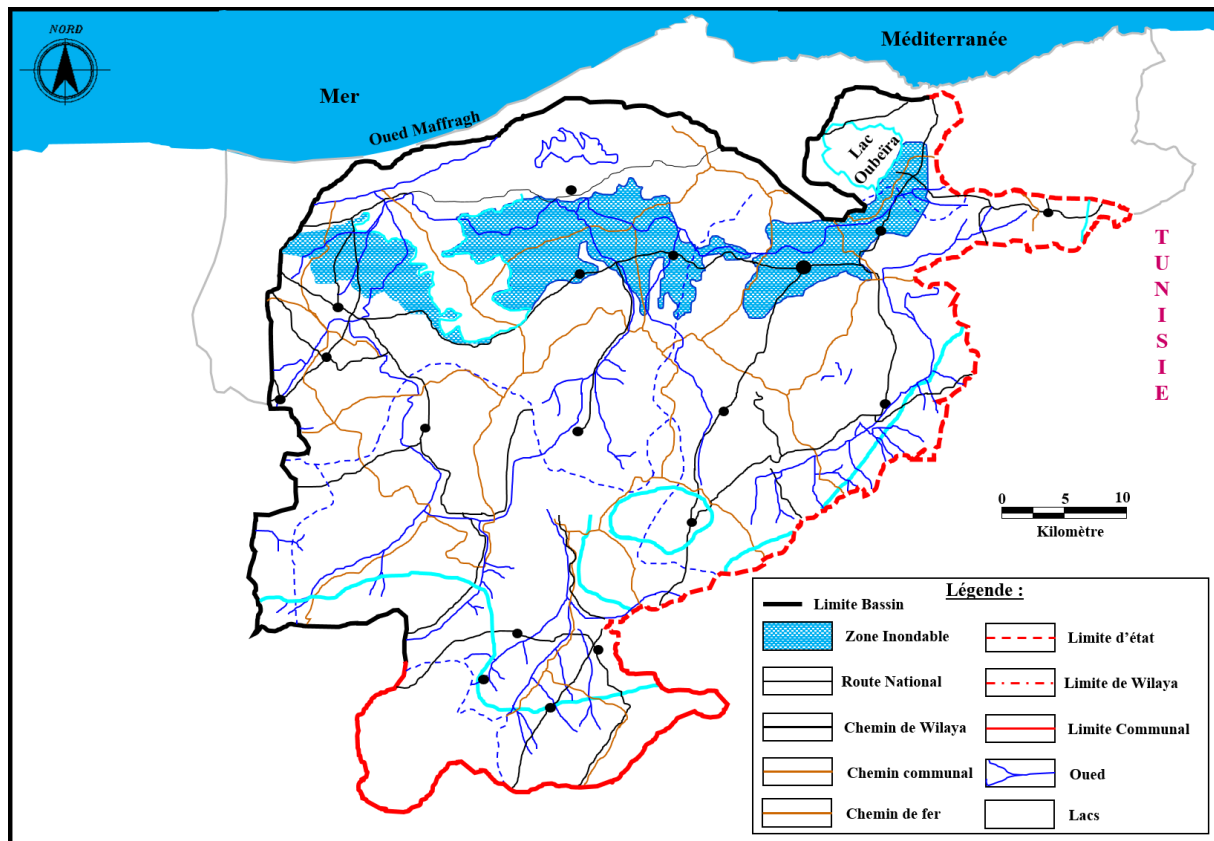


Fig.41. Carte des zones inondables dans le bassin de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national, mais également en Afrique et dans le monde entier. Au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde.

Le bassin de la Maffragh est confrontée aux phénomènes des crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes. La réduction des dommages causés par ces calamités nécessite d'abord une parfaite identification des régions présentant le risque d'inondabilité et des facteurs favorisant et amplifiant l'ampleur des dégâts et des pertes engendrées par ces catastrophes.

L'élaboration d'une carte des **zones inondables** du bassin de la Maffragh (Fig.41) serait un outil précieux pour les planificateurs dans la définition des plans d'occupation des sols, la construction des ouvrages de protection et des systèmes de prévision et d'alerte de crues qui réduisent l'ampleur des dégâts provoqués par ces inondations.

En raison de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations et des biens.

Pour remédier à cette situation, l'amélioration de la prévision et de la prévention des inondations reste l'outil essentiel de l'État. Une meilleure information des populations exposées (Tab.36) et la diminution de la vulnérabilité des biens situés dans les zones inondables sont à privilégier. Cependant, si l'État et les communes ont des responsabilités dans ce domaine, chaque citoyen doit aussi contribuer à se protéger efficacement et diminuer sa propre vulnérabilité.

6.11. L'amélioration de la lutte contre les crues

6.11.1. Au niveau de la prévention

L'objectif est alors d'améliorer la connaissance de ces crues en les reproduisant par la modélisation établie sur de longues chroniques d'observation. Les applications de telles modélisations sont essentiellement orientées vers la planification de l'ensemble des mesures à prendre pour informer en avance sur le risque.

6.11.2. Au niveau de l'anticipation

L'objectif est alors de modéliser en temps réel l'arrivée imminente de la crue, afin de gérer la crise et l'organisation des secours.

6.12. Schéma d'aménagement et lutte contre l'inondation dans le bassin de la Maffragh

6.12.1. Réalisation du Curage, Reprofilage et Protection des Oueds et Affluents des zones Sud, Ouest et Est du bassin de la Maffragh.

Cette opération a permis de régler les points noirs au niveau de 46 Oueds et affluents sur une longueur total de 313 Km. Quelques exemples par commune.

(Fig.42, Fig 43, Fig 44, Fig 45, Fig 46, Fig 47, Fig 48, Fig 49, Fig 50, Fig 51, Fig 52, Fig 53)

- **Commune de Ben Mhidi et plaine de Bounamoussa**



Fig.42. Curage Des Fosses De Drainage De La Plaine



Fig.43. Lot N°12 : BEN M'HIDI 9 500 ML (CW 44)

- **Commune Ain Karma**



Fig.44. Curage et Aménagement CHAABET FATTOUM (Zone haute)



Fig.45. Curage et Aménagement CHAABET FATTOUM (Zone Basse)

- **Commune AIN ASSEL**



Fig.46. Curage et Aménagement CHAABET BOUTELLA ABDALLAH centre

- **Commune BESBES**



Fig.47. Curage et Aménagement CHAABET TOUILA centre (Zone Est)



Fig.48. Curage et Aménagement CHAABET TOUILA centre (Zone Ouest)

- **Commune OUED ZITOUNE**



Fig.49. Confortement et Aménagement CHAABET OUED ZITOUNE

- **Commune BEN M'HIDI**



Fig.50. Travaux D'aménagement Du Canal De BEN AMAR-

6.12.2. Aménagement du canal traversant la ville d'El Tarf dans le cadre de la protection contre les inondations

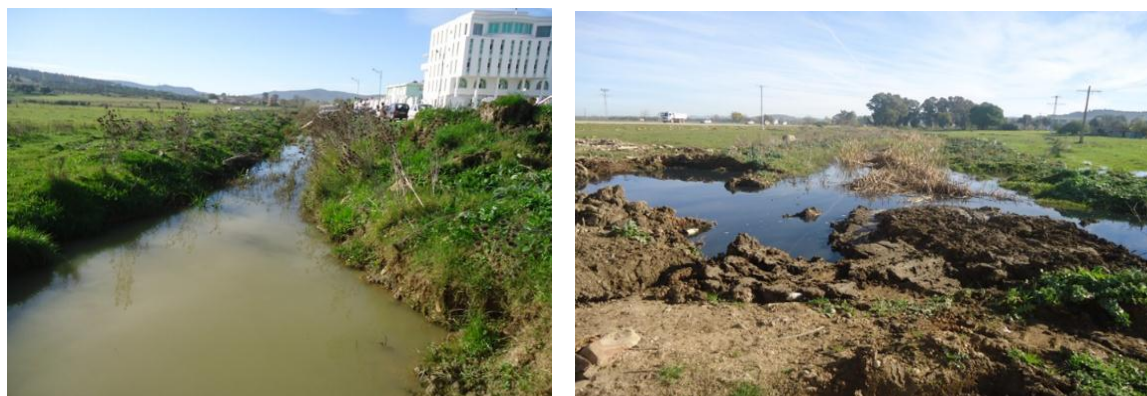


Fig.51. Avant l'aménagement du canal traversant la ville d'EL Tarf



Fig.52. Aménagement du canal en cours traversant la ville d'EL Tarf



Fig.53. Achèvement des travaux

6.12.3. Programme de développement d'assainissement urbain

6.12.3.1. Programmes d'urgence 2012

Suite aux inondations du 22 au 23 février 2012, un programme d'urgence a été destinée à la réhabilitation des (équipements électriques et hydromécaniques de deux stations d'épuration de dix (10) stations de relevage et de 28 forages avec aménagement de 20 000 ML de pistes d'accès, et 03 études portant sur l'aménagement du bassin versant de l'Oued Maffrag, et une partie de la Seybouse, le renforcement des capacités de rétention et la réalisation d'un Musoir au niveau du débouché de la Maffragh.

6.12.3.2. Programme complémentaire 2013

Le programme complémentaire (Tab.38) qui consiste en la réalisation de plusieurs opérations se rapportant à :

- Curage des fossés de drainage du périmètre Bounamoussa,
- Curage et reprofilage des canaux d'assainissement de la Zone Ouest du bassin et sur une longueur total de 326 Km à travers les communes de : Besbes, Ben M'hidi, Asfour et Drean pour pallier à la stagnation d'eau dans les terrains agricoles (Tab.37).

Tab.37. Programme réalisé de développement d'assainissement urbain

Intitulé de l'opération	Taux physique (%)	Impact de l'opération
-------------------------	-------------------	-----------------------

Réalisation de la protection contre les inondations des agglomérations à travers la wilaya LOTS : Ain el Assel, El Tarf 1, El tarf 2, zone est El Tarf centre, l'extension POS El tarf, guergour2, matroha inferieur, Ain kerma, Zitouna, Lac des oiseaux, Sidi kaci1, Sidi kaci2, Asfour, Ben Ammar commune Echatt, Chbaita mokhtar, Boukhris (Chbaita)	100%	Protection des agglomérations contre les inondations (population touchée environ 93 000hab)
Réalisation d'un collecteur d'assainissement pour le raccordement de 1050 logts de Besbes	100%	Protection des agglomérations contre les inondations (population touchée environ 5 300hab)
Rénovation des collecteurs d'assainissement à travers la wilaya Lots : réalisation et équipement d'une station de relevage pour les eaux usées sidi belgacem et transférés du barrage (commune TARF)	100%	unification des rejets et transfert des eaux usées vers la station de relevage à fin de pallier aux rejets à ciel ouvert (localités touchées : Sidi Belgacem-cité des transférés du barrage et Sabaa Ergoud)

Tab.38. Programme en cours de développement d'assainissement urbain

Intitulé de l'opération	Taux physique (%)	Impact de l'opération
Réhabilitation électrique et hydromécanique des stations de relevages à travers la wilaya	98%	augmentation de débit des pompes : -Djenene Echouk - Zerizer centre - El Frine -Houari Boumediene (Ben m'hidi) * rénovation des pompes des stations : -Messoudi Lakhdar(Echatt) -Hallala Aissa (Besbes) -20 Aout 1956 (Echatt) -Daira Mostafa (Ben m'hidi) -1300 logts -Chaabet El Hamra (Zerizer) -Belgroune (Asfour) El Tarf Centre * toutes ces stations sont en service
réalisation de la protection de la ville d'EL TARF contre les inondations institut-centre universitaire centre universitaire- RN 82 centre universitaire- POS nouvelle ville	92%	protection Du chef-lieu de la wilaya contre les inondations (population touchée 15000 hab)

réalisation d'un collecteur d'assainissement liant lycée El Tarf centre à la station de relevage N°02	90%	raccordement des EU et EP des quartiers d'El Tarf centre *EP vers le canal en BA * EU vers la station de relevage sur la route de Zitouna *Nombre d'avaloirs réalisés 42 U
Réalisation d'un collecteur d'assainissement pour le raccordement de 1050 logts de Besbes	95%	raccordement de 6000 Hab au nouveau collecteur d'assainissement (commune Besbes)
Réalisation d'un collecteur d'assainissement pour le raccordement de l'hôpital de Besbes	97%	raccordement en EU et EP de l'hôpital 240 lits Besbes

6.12.4. Mesures prises à très court terme

Réalisation de l'ouvrage sur la RN 82 cite administratif.

- ✚ Densification des passages sous la route RN 44 au niveau de l'évitement de Boutheldja et Ain Assel pour permettre l'écoulement des eaux en provenance du bassin versant.
- ✚ Procéder au curage par endroit des cours d'eau ou la décantation des dépôts solides
Entretien périodique des réseaux urbain, canaux, collecteurs et avaloirs.
- ✚ Reprise d'une partie de la digue N°04, 05,06 et 07 au niveau d'Ain Khiair et Berrihane.
- ✚ Oued Maffragh, étude d'aménagement des berges de l'oued Maffragh avec réalisation d'un Musoir (Fig.50, Fig.51, Fig.52).



Fig.54. Aménagement des berges de l'Oued Maffragh

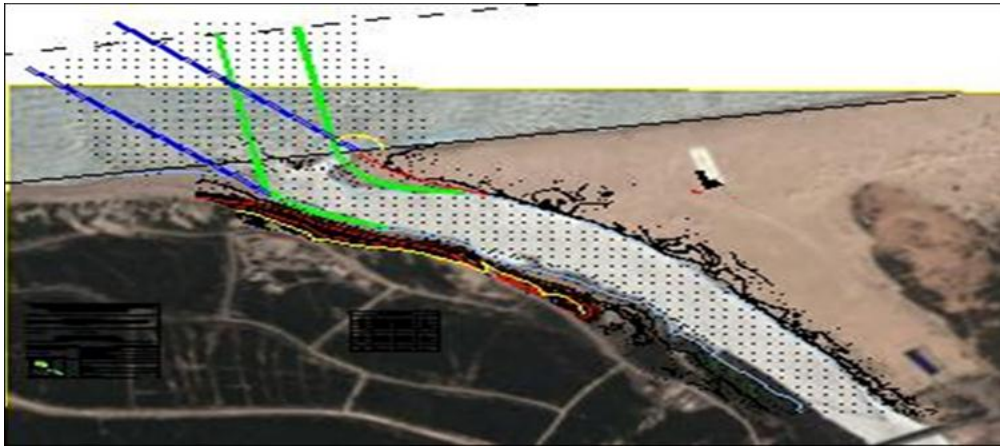


Fig.55. la position et l'orientation des deux jetées (en couleur bleue) devant encadrer le chenal.

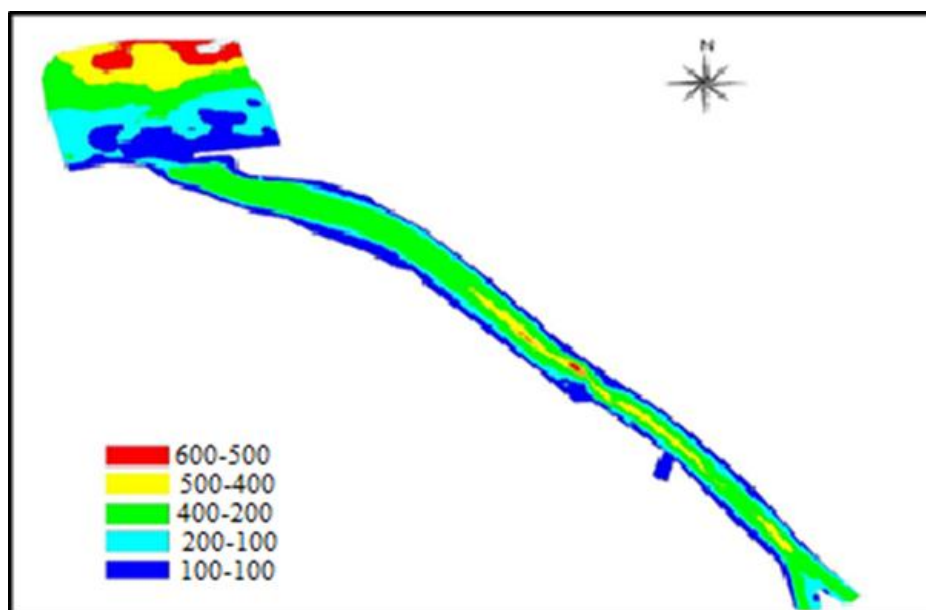


Fig.56. Levé bathymétrique d'Oued Meffragh

6.12.5. Exemple l'inondation de 09 au 10 février 2017 au niveau du bassin de la Maffragh

La forte pluviométrie engendre souvent des inondations à travers la région (plaine d'El Tarf et plaine de Bounamoussa). Cette pluviométrie d'une intensité qui dépasse les 130/l/s/ha (Fig.53) s'abat sur la région sous forme d'averse très concentrée dans le temps et dans l'espace provoquant des pluies torrentielles ne pouvant être absorbées par infiltration dans les nappes ou contenue dans les oueds et se répand sur la plaine engendrant des inondations spectaculaires à travers toute la région (Fig57,58,59,60,61,62,63,64,65).

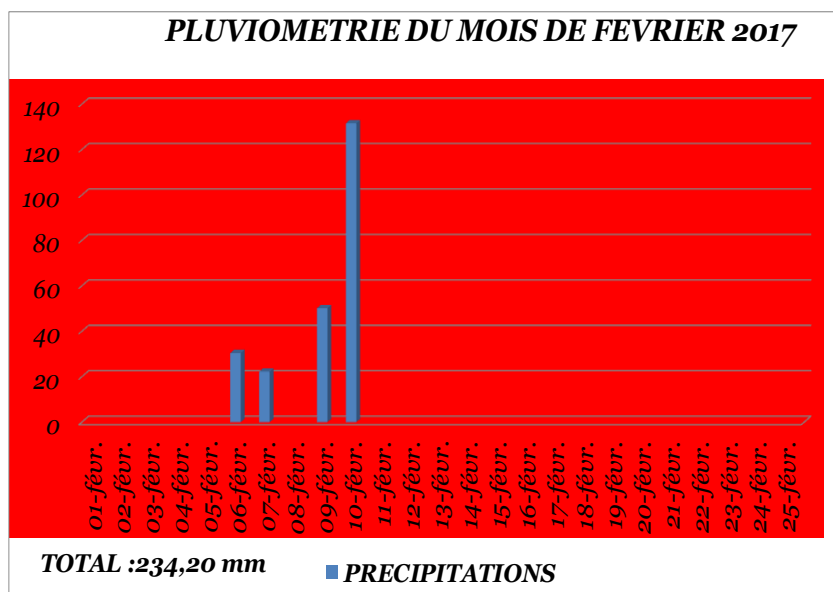


Fig.57. Pluviométrie du mois de Février 2017



Fig.58. El Tarf siège radio



Fig.59. El Tarf cité 168 logts



Fig.60. Ain Al Assel cité baffa



Fig.61. Dignes N°06 et 07. Ain Khia



Fig.62. Dignes N°05 et 04. Berrihane (Passage sous la route W118 Berrihane).



Fig.63. Ouvrage annexe oued Lahmar- Berrihane.



Fig.64. Digue N° 05 Sebaa

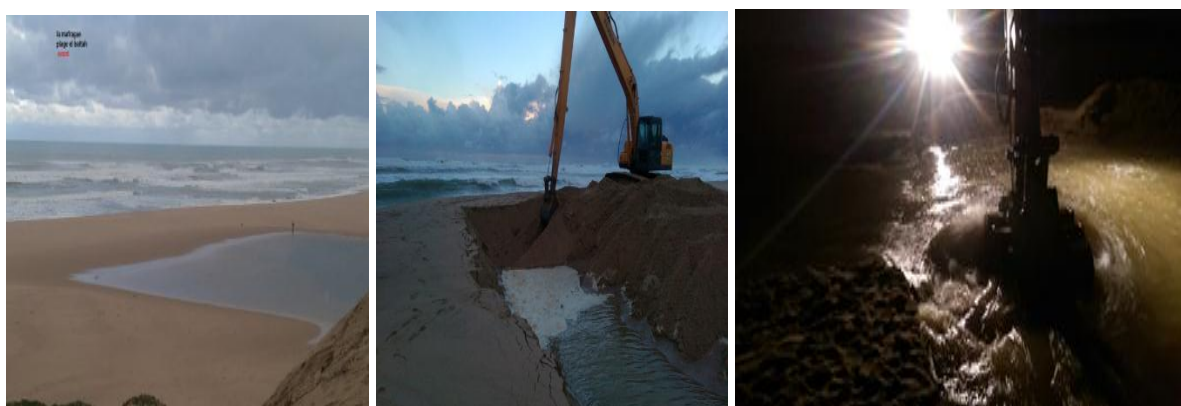


Fig.65. La Maffragh Plage El Battah

6.13. Conclusion

Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national, mais également en Afrique et dans le monde entier. Au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde.

Le bassin de la Maffragh est confrontée aux phénomènes des crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes. La réduction des dommages causés par ces calamités nécessite d'abord une parfaite identification des régions présentant le risque d'inondabilité et des facteurs favorisant et amplifiant l'ampleur des dégâts et des pertes engendrées par ces catastrophes.

L'élaboration d'une carte des zones inondables du bassin de la Maffragh serait un outil précieux pour les planificateurs dans la définition des plans d'occupation des sols, la construction des ouvrages de protection et des systèmes de prévision et d'alerte de crues qui réduisent l'ampleur des dégâts provoqués par ces inondations.

En raison de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations et des biens.

Pour remédier à cette situation, l'amélioration de la prévision et de la prévention des inondations reste l'outil essentiel de l'État. Une meilleure information des populations exposées et la diminution de la vulnérabilité des biens situés dans les zones inondables sont à privilégier. Cependant, si l'État et les communes ont des responsabilités dans ce domaine, chaque citoyen doit aussi contribuer à se protéger efficacement et diminuer sa propre vulnérabilité.

A blue geometric graphic consisting of several overlapping triangles and trapezoids, creating a dynamic, abstract shape that tapers to the right.

CHAPITRE 7 :

QUALITE DES EAUX DE SURFACE DU BASSIN DE LA MAFFRAGH

7. Introduction

La composition chimique de l'eau joue un rôle important pour la détermination de sa qualité, et son attribution pour l'alimentation en eau potable, irrigation, industrie....etc, (Debieche. 2002). La chimie des eaux (eaux de surface, nappe superficielle et nappe des graviers) est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole (Nafaa .1985), (Kherici .1993), (Djabri .1996), (Lauhi .1996), (Zenati .1999). Et, en raison de l'utilisation multiple de ces eaux, L'objet de ce chapitre, est : Le suivi des variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux de surface du bassin de la Maffragh.

L'évaluation, la quantification de la pollution ou Les principales manifestations de la pollution des eaux de surface sont de nature chimique ou biologique et peuvent être pathogènes pour l'homme (Haddou 2010). Cette qualité se trouve souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets domestiques et l'activité agricole (Guasmi, 2009).

7.1. Méthodologie

7.1.1. Echantillonnages des points d'eau

A cet effet, 07 points d'échantillonnage (Fig.66) largement réparties sur le bassin ont été choisies de telle sorte qu'elles soient représentatives, accessibles, témoins des caractéristiques réelles de ces eaux au niveau des différents sites prospectés et permettant de cerner l'ensemble des processus physiques et chimiques définissant le fonctionnement de cet écosystème, on s'est intéressé Uniquement aux eaux de surface du bassin de la Maffragh.

7.1.2. Mesures in situ

Les paramètres physico-chimiques (le potentiel d'hydrogène, l'oxygéné dissous, et la conductivité électrique) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une valise multi-paramètres de terrain WTW. Multi 340i / SET. Un étalonnage préalable est effectué avant chaque campagne de mesure.

7.1.3. Analyse des éléments chimiques

Les méthodes d'analyses pratiquées sont celles préconisées par les normes (Rodier. 2009)

- ✓ Les analyses chimiques ont été effectuées sur les principaux éléments responsables à la minéralisation des eaux, appelés couramment les éléments majeurs ; les cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) et les anions (chlorures, sulfates et bicarbonates).
- ✓ Les analyses des éléments des pollutions : nitrites, nitrates, l'ammonium, phosphates, DBO5, DCO.

7.1.4. La période d'échantillonnage

Pour l'étude et le suivi de la variation de la composition physico-chimique des eaux de surface du bassin de la Maffragh et d'apprécier l'impact des effluents urbains, sur ces eaux de surface (Tab.39). Deux 2 campagnes de prélèvements (basses eaux, hautes eaux), ont été effectuées pendant la période du mois de janvier 2018 et juillet 2018 aux niveaux de sept stations (Fig.66).

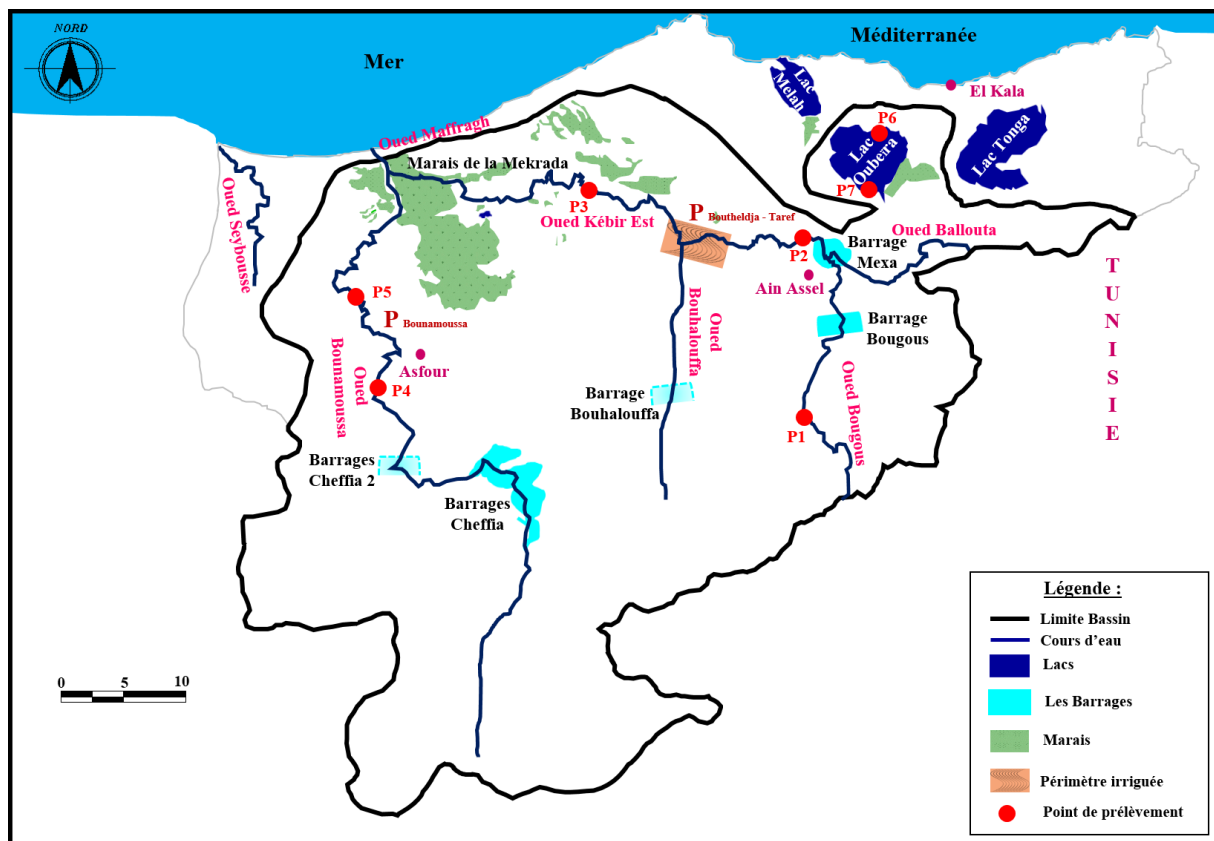


Fig.66. Position des points de prélèvement des eaux pour analyse physico-chimique d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

Tab.39. Les points de prélèvements sont désignés comme suit :

Points	Coordonnées géographiques	Localisation
P1	X=8°7'27.7'' Y=36°42'35.6''	Oued Bougous au pont de Bougous
P2	X=8°21'53.8'' Y=36°46'2.6''	Oued El Kébir en aval du Barrage de Mexa
P3	X=8°6'7.37'' Y=36°49'40''	Oued El Kébir au pont du sabaa
P4	X=7°58'46.2'' Y=36°38'42''	Oued de Bounamoussa en amont d'Asfour
P5	X=7°55'22.7'' Y=36°45'23.9''	Oued de Bounamoussa, pont de Bouzitoun en aval d'Asfour
P6	X=8°23'7.5'' Y=36°51'45.6''	Site Oubeira Nord
P7	X=8°22'1.5'' Y=36°50'40''	Site Oubeira Sud-pant vanne

7.2. Matériels et Méthodes

7.2.1. Lieu d'analyse des échantillons

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de surface de bassin de la Maffragh, ont été effectuées au laboratoire *Horizon laboratoire d'analyses sols et eaux*.

Les échantillons d'eau sont prélevés sur le terrain dans des bouteilles en polyéthylène et transportés à froid (4°C) dans une glacière jusqu'au laboratoire. Les analyses physicochimiques des eaux, ont porté sur les paramètres figurant dans les tableaux ci-dessous selon les normes préconisées par : ISO et AFNOR (Afnor, 1999) ou celles homologuées par RODIER (Rodier, 2009).

7.2.2. Méthodes d'analyses

L'analyse des eaux étudiées et le suivi des composés détectables ont été réalisés à l'aide des techniques suivantes :

Les paramètres enregistrés in situ (Fig.67), sont : le pH (potentiel d'hydrogène), la conductivité électrique, l'oxygène dissous. L'appareil de mesure est un multi-paramètre 340I-SET WTW (Wissenschaftlich-Technische- Werkstätten GmbH & Co.KG. Il est doté d'une sonde de Sen Tix 41-mesure de pH et de température, d'une sonde à Oxygène dissous CelloX 325, d'une cellule de conductivité standard Tetra Con 325.

Aux laboratoires, les différents dosages volumétriques et colorimétriques ont été effectués selon Jean Rodier, Aminot et Keronel préconisés par les normes ISO, AFNOR et RODIER.

Les paramètres organiques tels-que les nitrites, nitrates, l'ammonium et les phosphates, ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS 6705 JENWAY ; à des longueurs

d'onde respectivement de 543 nm, 630 nm et 880 nm pour les nitrites, ammonium et phosphates, les résultats obtenus sont en mg/l. Le paramètre de la DBO5 et DCO a été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre DIN EN 1899-1-H51 et spectrophotomètre DIN ISO15705 :2002.

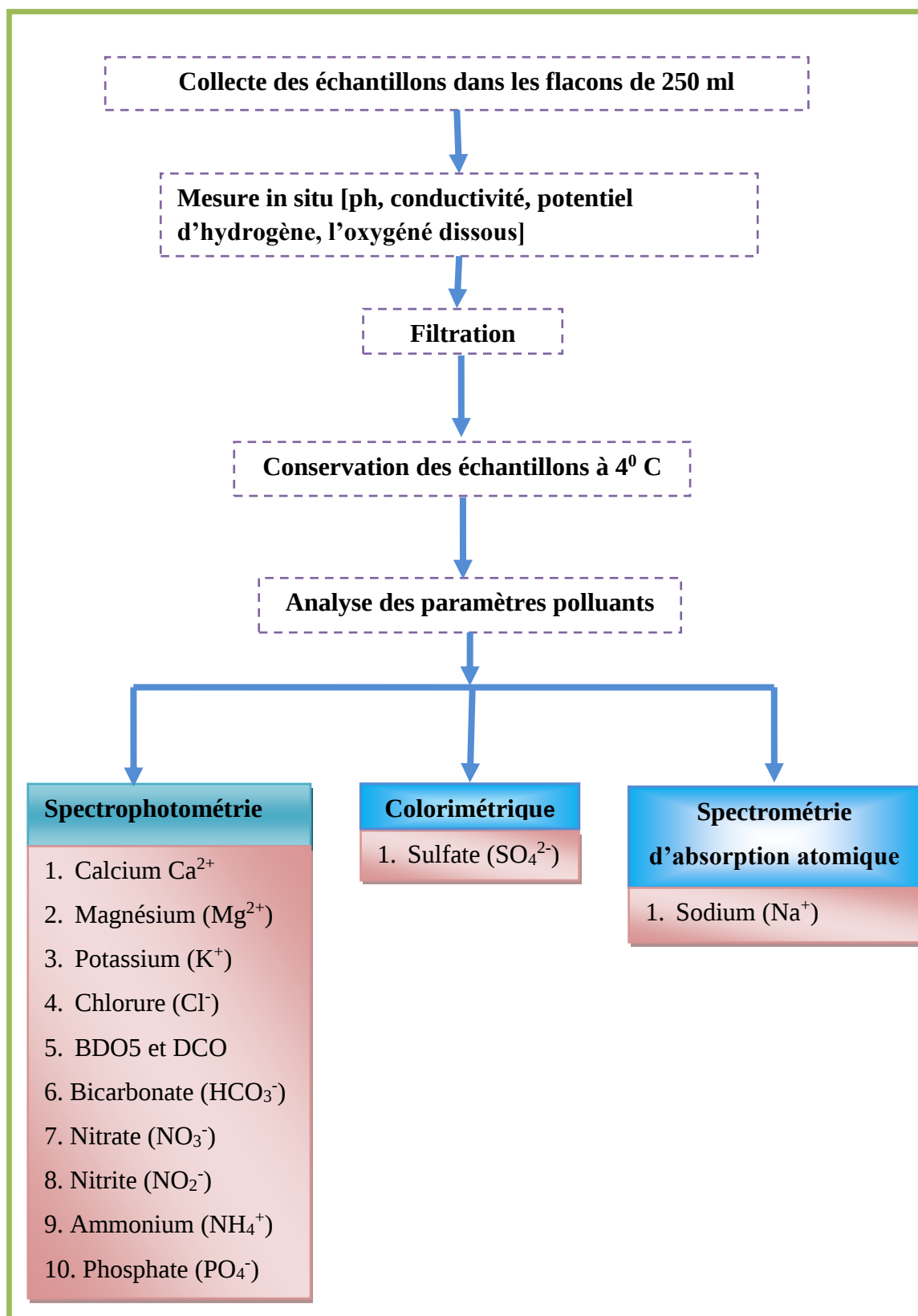


Fig.67. Protocole d'analyses des paramètres de pollutions

7.3. Analyse de la variation spatio- temporelle des eaux du bassin de la Maffrahg

7.3.1. Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques en solution dans l'eau. Il est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau (WHO 2011). Les valeurs de Ph mesurés varient de 8 à 8,68 (fig.68) pendant les deux campagnes.

Aucune valeur guide fondée sur la santé est proposé pour le pH. Bien que le pH n'a pas généralement d'impact direct sur les consommateurs (WHO 2011). Les activités biologiques au sein de bassin de la Maffrahg consommant plus de CO₂ que sa dissolution, il s'en suit alors une augmentation du pH en étiage. Par contre en période de crue, les quantités importantes de matières organiques apportées par les eaux de ruissellement vers les zones humides contribuent par le processus de minéralisation de la matière organique à l'augmentation du CO₂ dissous donc à une baisse du pH entraîner une acidification de l'eau.

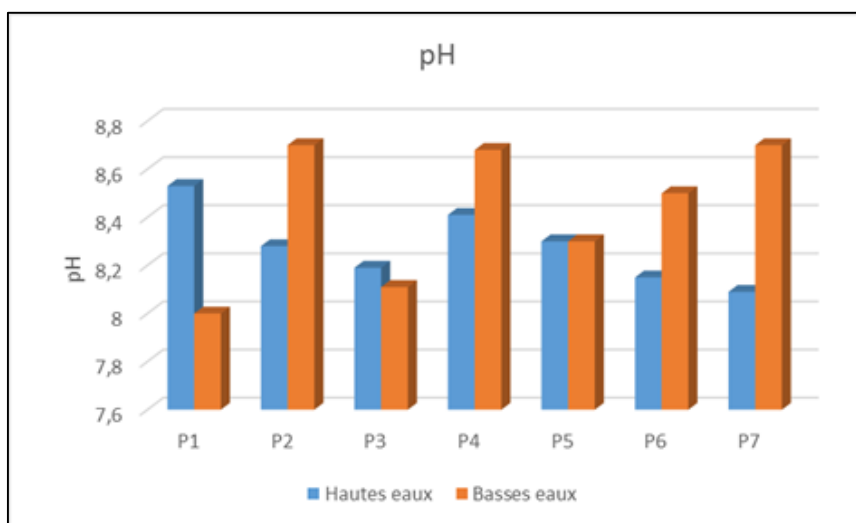


Fig.68. La variation spatio- temporelle du pH

7.3.2. L'oxygène dissous mg/l

La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction. La concentration en oxygène dissous mesurés dans les eaux du bassin de la Maffrahg est admissible à la limite standard. Ces valeurs oscillent entre 4,2 mg/l(P1) et 8,5 mg/l (P6) en hautes eaux été et 9,1 mg/l(P6) et 10,6 mg/l(P1) en basses eaux, (fig.69). L'oxygène dissous est nécessaire pour convertir la matière organique biodégradable d'une forme à une autre par des organismes vivants principalement des bactéries afin de maintenir le processus

métabolique et produire de l'énergie pour leur croissance et leur reproduction (Alam et al. 2012).

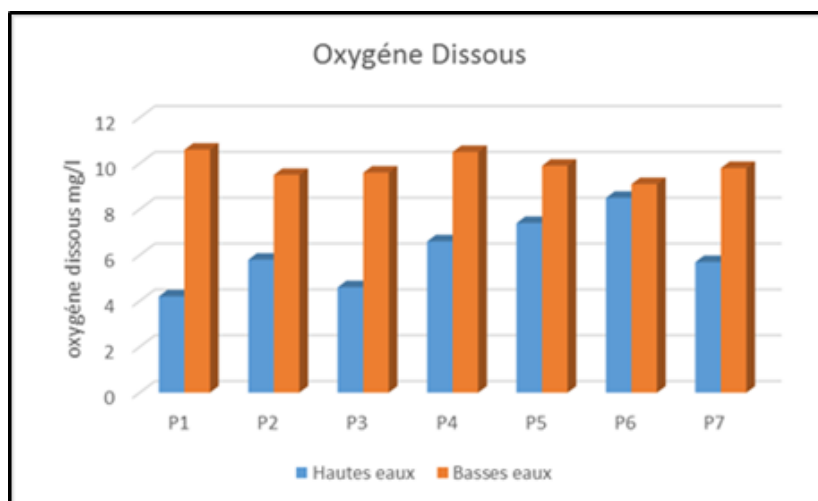


Fig.69. La variation spatio- temporelle OD mg/l

7.3.3. La conductivité électrique $\mu\text{s}/\text{cm}$

La mesure de la conductivité est directement liée à la concentration de la substance ionisée dans l'eau et peut également être liée à des problèmes de dureté excessive et d'autres contaminants minéraux (Alam et al. 2012). La conductivité électrique des eaux du bassin de la Maffragh fluctue entre 427 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P5) et 495 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P1) (Fig.70) enregistré en hautes eaux et 433 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P4) et 796 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P1) ont noté en basses eaux. Ces faibles valeurs indiquent que les eaux du bassin de la Maffragh ne présentent pas un risque de salinité donc (utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols).

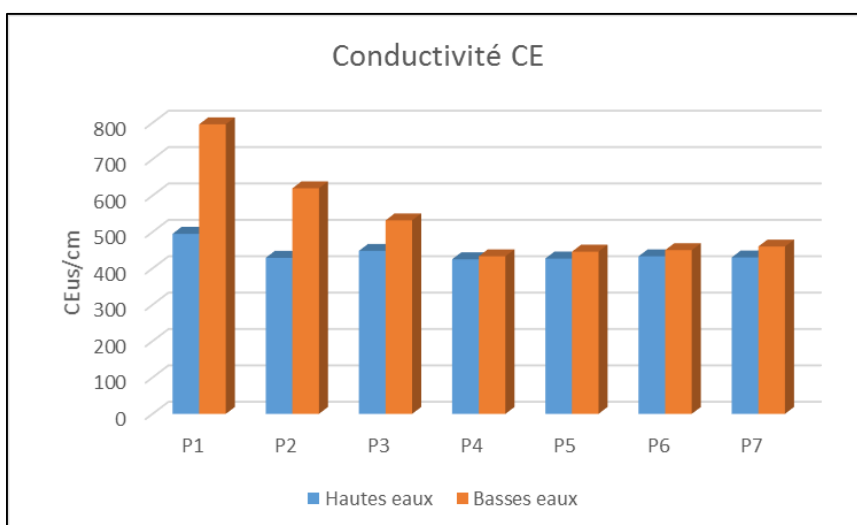


Fig.70. La variation spatio- temporelle de la CE $\mu\text{s}/\text{cm}$

7.4. Éléments minéraux

7.4.1. Les cations

7.4.1.1. Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}) en mg/l

La présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3 , MgCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).

Les ions du calcium et du magnésium présents dans les eaux souterraines des zones côtières voisines sont dérivées de lessivage du calcaire, de la dolomie, le gypse et anhydrites, tandis que les ions calcium peuvent dériver de processus d'échange de cations (Garrels. 1976).

Les concentrations du calcium et du magnésium mesurées sont conformes aux valeurs admissibles normes ($\text{Ca}^{2+} < 140 \text{ mg/l}$ et $\text{Mg}^{2+} < 150 \text{ mg/l}$) montre que les concentrations de calcium sont inférieures à la norme pour La majorité des points (Fig.71), on note que l'évolution des teneurs en Mg^{2+} est identique à celle du calcium et restent inférieures aux normes de potabilité (Fig.72).

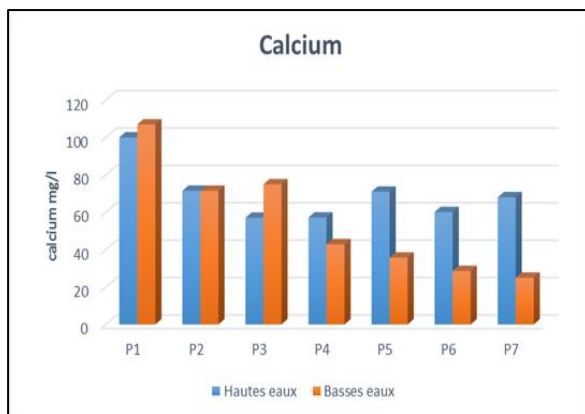


Fig.71. Evolutions spatio- temporelle du Ca^{2+}

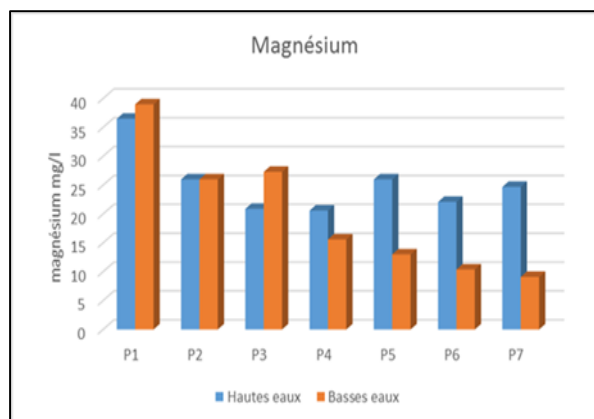


Fig.72. Evolutions spatio- temporelle du Mg^{2+}

7.4.1.2. Le Sodium (Na^+) et le Potassium (K^+) en mg/l

Le sodium est souvent présent dans les eaux naturelles. En proportions très variables, il provient des apports atmosphériques et de l'altération des minéraux silicatés, échanges des cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques.

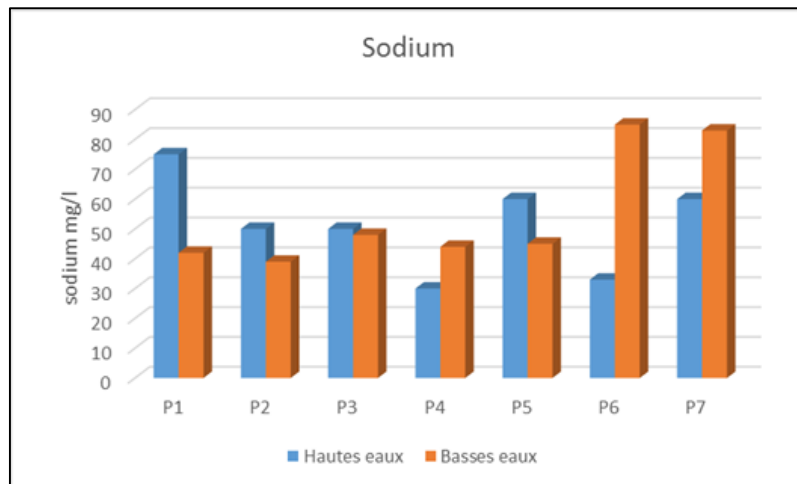


Fig.73. Evolutions spatio- temporelle du Na^+

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques. L'épandage des engrais chimiques augmente les concentrations en sodium (Plagnes 1997).

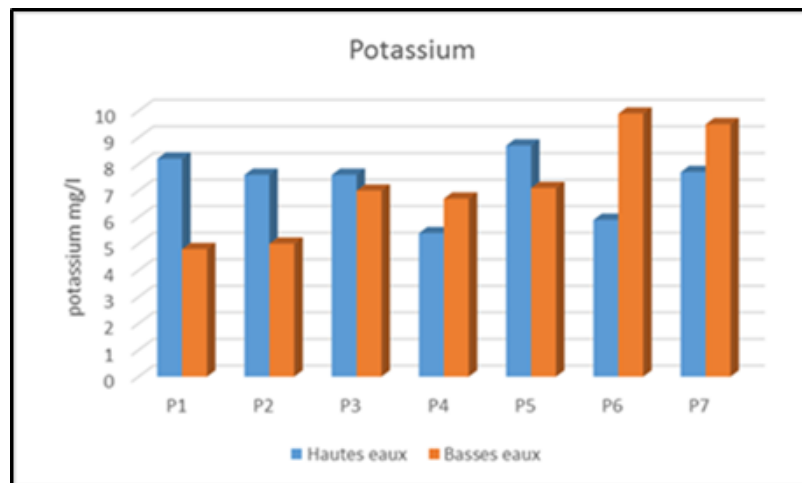


Fig.74. Evolutions spatio- temporelle du K^+

Les concentrations du sodium et potassium sont très faibles, (fig.73, Fig.74) On peut constater que cet élément participe moins à la minéralisation des eaux de surface du bassin de la Maffragh. Les teneurs du sodium et du potassium présentent en général des valeurs acceptables à la valeur limite fixé par l'OMS (K^+ 12mg/l et 150 mg/l Na^+). La principale

source de potassium dans l'eau douce naturelle est l'altération des roches, mais les quantités augmentent dans l'eau polluée en raison de l'élimination des eaux usées (Trivedy & Goel 1984).

7.4.2. Les anions

7.4.2.1. Les Bicarbonates HCO_3^- en mg/l

La dissolution des minéraux carbonates et l'action du CO_2 des eaux météoriques et du sol sont, d'une manière générale, à l'origine des Bicarbonates (Parizot 2008). Les résultats montre une faible variation des concentrations des bicarbonates pendant les deux campagnes des prélèvements (Fig.75) et reste inférieur aux normes (250mg/l).

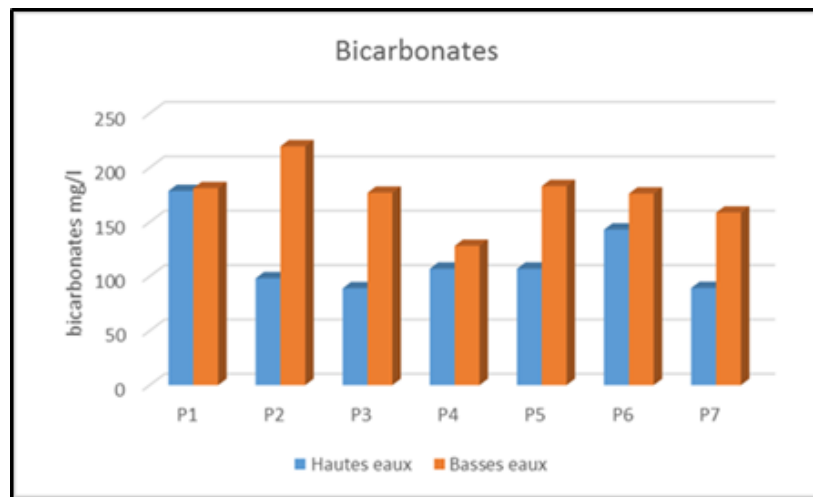


Fig.75.Evolutions spatio- temporelle du Bicarbonates HCO_3^- mg/l

7.4.2.2. Les sulfates SO_4^{2-} en mg/l

Les ions du sulfate ne provoquent pas d'effets nocifs particuliers sur les sols ou les plantes, Toutefois, ils contribuent à augmenter la salinité de la solution du sol (Nag 2014). La teneur en sulfate change de manière significative avec le temps lors de l'infiltration des précipitations et des eaux souterraines.

La concentration de sulfate est susceptible de réagir avec les organes humains si la valeur dépasse la limite maximale autorisée de 400 mg/l et de provoquer un effet laxatif sur l'organisme humain avec l'excès de magnésium dans les eaux souterraines (Alam et al. 2012). Cependant, La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses d'une part, et aux pesticides provenant des eaux d'irrigation d'autre part.

Les concentrations du sulfates mesurées sont conformes aux valeurs admissibles normes (250 mg/l) pour La majorité des points, sauf au niveau de (P1) dépassé les normes 250 mg/l pendant les Basses eaux (Fig.76).

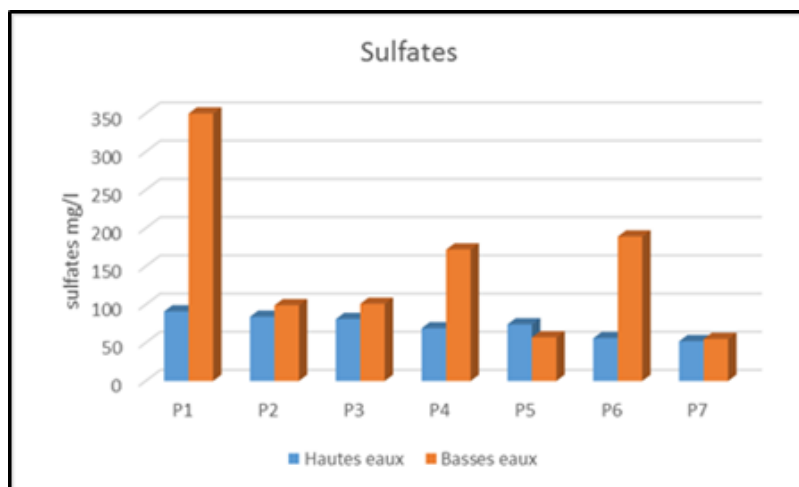


Fig.76. évolutions spatio- temporelle du sulfate SO_4^{-2} mg/l

7.4.2.3. Les chlorure Cl^- en mg/l

La concentration en chlorure sert d'indicateur de la pollution causée par les eaux usées. Les gens habitués au chlorure supérieur dans l'eau sont soumis à des effets laxatifs (Dahiya et Kaur 1999). La concentration en chlorure dans les eaux de surface de la zone d'étude ne dépasse pas la limite souhaitable de 200 mg / l dans les sept points d'échantillonnage(Fig.77).

Bien que les chlorures ne posent pas de danger pour la santé humaine mais à des niveaux supérieurs à 250 mg/l, le gout de l'eau deviendra salé. Cependant, des niveaux élevés de chlorure peuvent même rendre impropre pour l'irrigation.

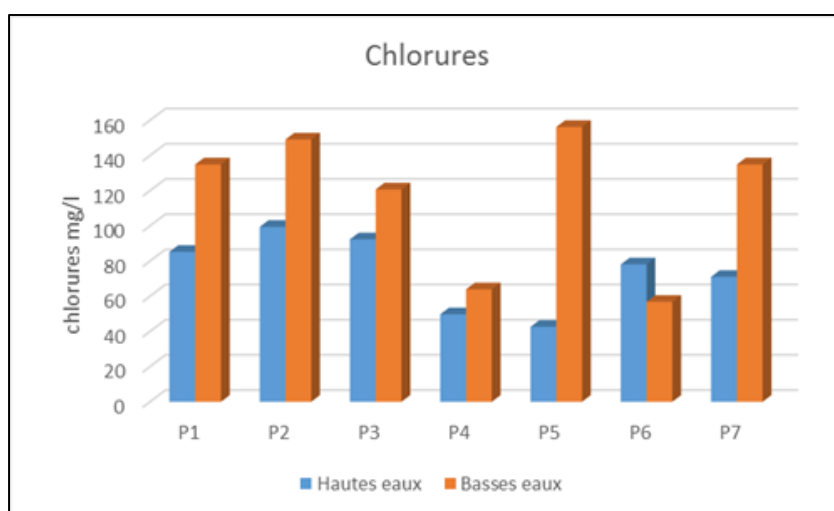


Fig.77. Evolutions spatio- temporelle du chlorure Cl^- mg/l

7.5. Éléments nutritifs

7.5.1. Les nitrate NO_3^- en mg/l

La présence du nitrate dans les sources peut être due à l'utilisation des fertilisants dans les activités agricoles et les rejets d'eaux usées ce qui augmente le phénomène de dénitrification. Les nitrates ne produisent pas de couleur ou d'odeur dans l'eau et peuvent causer le cancer chez les humains lorsqu'ils sont consommés sur une longue période de temps (Alam et al. 2012). Dans l'eau, les nitrates peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles et des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles (Adam, 1980, Egboka, 1984).

Les concentrations de nitrate enregistrées réparent à la valeur guide 50 mg/l sauf en basses eaux au niveau de P2, P3, P6, P7 ou il atteint une valeur dépassé la norme (Fig.78). Cette élévation est due à un apport d'azote lessivé par les eaux aux niveaux des parcelles agricoles. La densité de la faune et de la flore dans le bassin versant de la Maffragh, et les matières organiques enfouies dans le sol sont l'origine des nitrates des eaux. En plus des rejets des agglomérations pouvant aussi concourir à l'enrichissement significatif des nitrates dans les eaux.

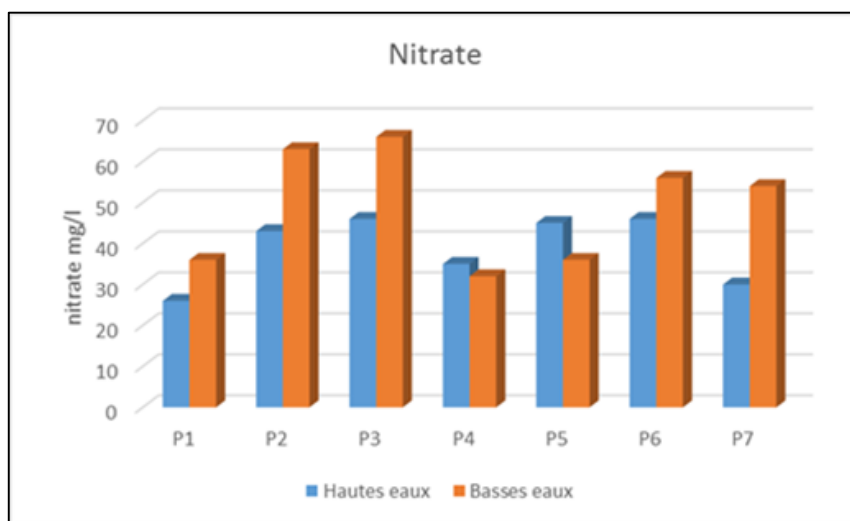


Fig.78. Evolutions spatio- temporelle du NO_3^- mg/l

7.5.2. Les nitrites NO_2^- en mg/l

Les nitrites proviennent d'une transformation de l'ammonium par les bactéries. Leur présence est signe d'une pollution d'origine bactériologique et organique. Les valeurs limites indiquées par l'OMS 0,1mg/l.

On remarque la présence des nitrites avec des fortes teneurs dépassent les normes dans l'eau du bassin de la Maffragh pendant presque tous les campagnes de prélèvement dans la majorité des points (Fig.79), cela est dû aux rejets urbains des agglomérations, chargés en éléments organiques, aux détergents utilisés dans les activités ménagères et au lessivage des sols riches en matières fécales animales et humaines ainsi à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium.

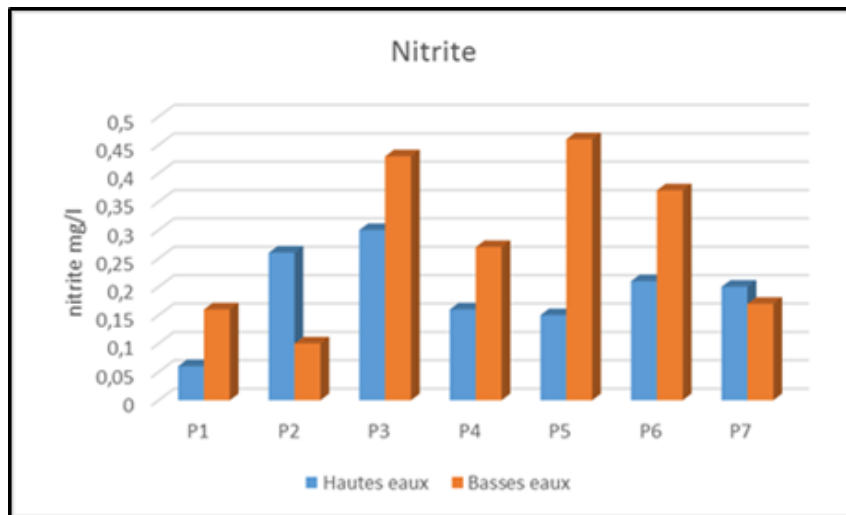


Fig.79. Evolutions spatio- temporelle du NO_2^- mg/l

7.5.3. L'ammonium NH_4^+ en mg/l

L'ion ammonium est la principale forme de l'azote dans la nature (Derwich et al. 2013, Chahboune et al. 2014). Ils proviennent des conditions d'anaérobioses des écosystèmes (Chapman 1996). L'ammonium provient des activités humaines, rejets agricoles (notamment le lisier) ou bien des rejets et déchets industriels leur valeur guide et de 0,5 mg/l les normes de l'OMS.

On remarque la présence des nitrites avec des fortes teneurs dépassent les normes dans l'eau du bassin de la Maffragh pendant presque tous les campagnes de prélèvement dans la majorité des points (Fig.80). Ceci s'explique soit par la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) ou par contamination des eaux de l'oued (rejet urbain et lessivage agricole).

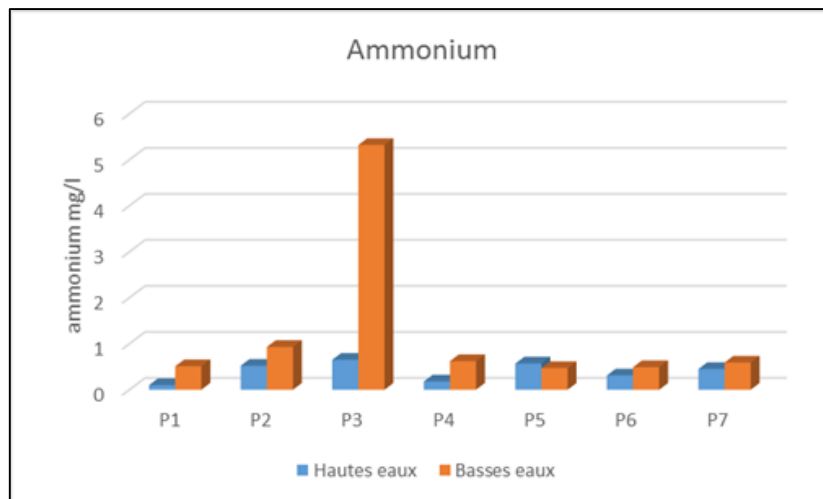


Fig.80. Evolutions spatio- temporelle du NH_4^+ mg/l

7.6. Les nutriments

- La DCO (Demande Chimique en Oxygène),
- La DBO5 (Demande Biochimique en Oxygène).

7.6.1. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅ en mg/l)

Demande Biochimique en Oxygène est la quantité d'oxygène utilisée en 5 jours par la dégradation naturelle. Parmi les substances organiques consommatrices d'oxygène, on trouve l'azote, le phosphore et le carbone. Où les valeurs guidant de l'OMS est de 20 mg/l. Les résultats obtenus au niveau des points de prélèvements font remarquer que les valeurs de la DBO₅ sont acceptables (Fig.81).

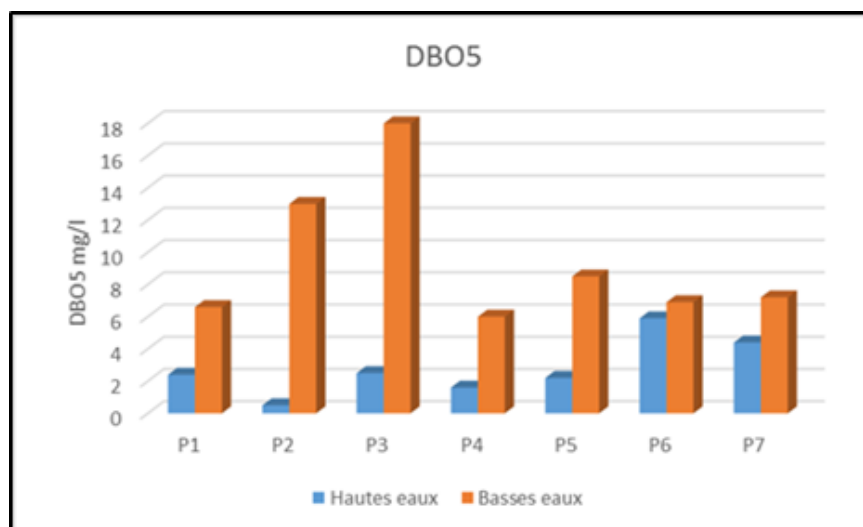


Fig.81. Evolutions spatio- temporelle du DBO₅ mg/l

7.6.2. Demande chimique en oxygène DCO en mg/l

La demande chimique en oxygène DCO exprime la quantité d'Oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium. La valeur de DCO dans les échantillons d'eau du bassin de la Maffragh avec des teneurs dépassent les normes dans pendant presque tous les campagnes de prélèvement dans la majorité des points, alors que les normes de l'OMS et limites par 30mg/l (Fig.82).

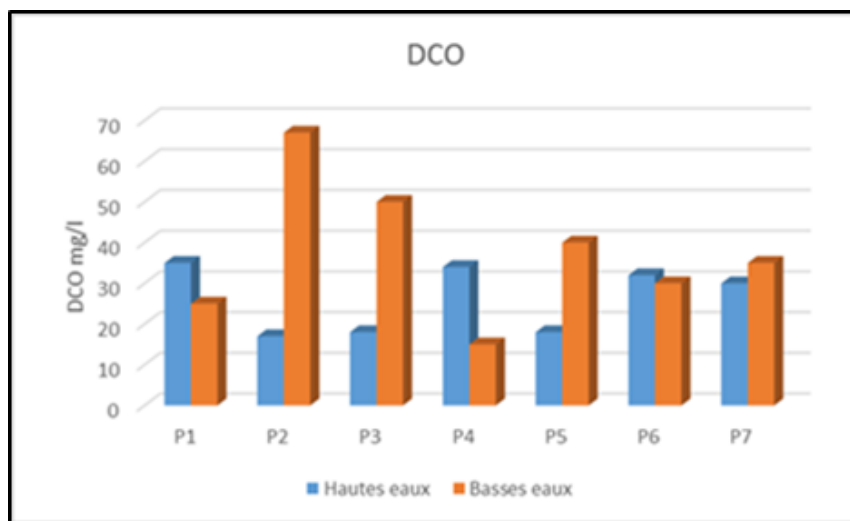


Fig.82. Evolutions spatio- temporelle du DCO mg/l

7.6.3. Phosphate PO_4^{3-} en mg/l

Les phosphates sont des éléments dont l'excès entraine des perturbations dans la vie d'un cours d'eau ; ils sont indicateurs de la productivité des eaux (Lamy, 1995).

Il est largement utilisé comme engrais agricole et comme un constituant majeur des détergents, en particulier ceux à usage domestique. La valeur du phosphate dans les échantillons d'eau du bassin de la Maffragh avec des fortes teneurs dépassent les normes dans pendant presque tous les campagnes de prélèvement dans la majorité des points, alors que les normes de l'OMS et limites par 6,70 mg/l (Fig.83).

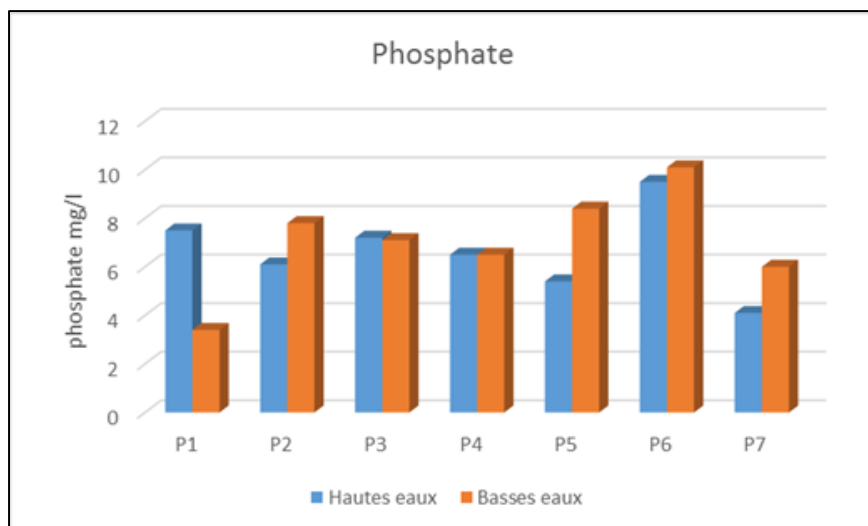


Fig.83. Evolutions spatio- temporelle du PO_4^{3-} mg/l

7.8. Facies chimiques du eau du bassin de la Maffragh

7.8.1. Diagramme de Piper

Ce schéma est utile pour faire ressortir les relations chimiques entre l'eau en termes plus précis (Piper 1944). Le diagramme de Piper permet de représenter sur un même graphique de nombreuses analyses autorisant des regroupements par famille présentant des faciès similaires, permettant ainsi une première classification des échantillons les uns par rapport aux autres avant une étude plus détaillée point par point. D'une manière générale, quel que soit la période [étiage ou crue] les faciès des eaux sont presque identiques (Fig.84, Fig.85). En étiage, le diagramme de piper montre que le faciès des eaux de bassin de la Maffragh est du type chloruré et sulfaté calcique et magnésien avec une tendance vers le faciès hyper chloruré calcique et Hyper sulfaté calcique. Le cation le plus dominant étant le Magnésium et les anions, les Chlorures.

En période de crue, le faciès des eaux est globalement identique à celui de la période d'étiage à savoir chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Cependant, on observe que sur le plan des cations dominants, le Magnésium est prépondérant.

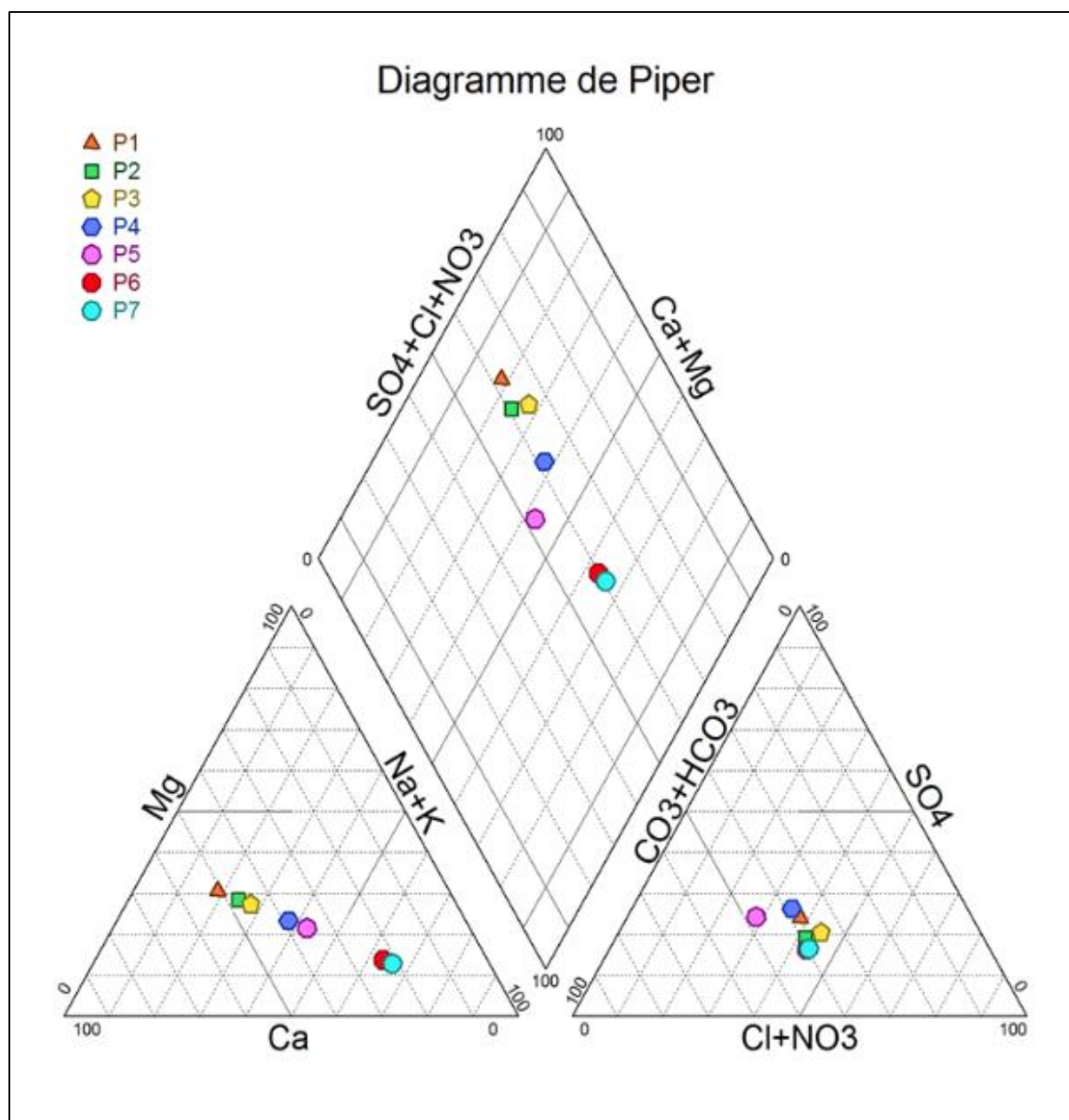


Fig.84. Diagramme de Piper des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Juillet .2018]

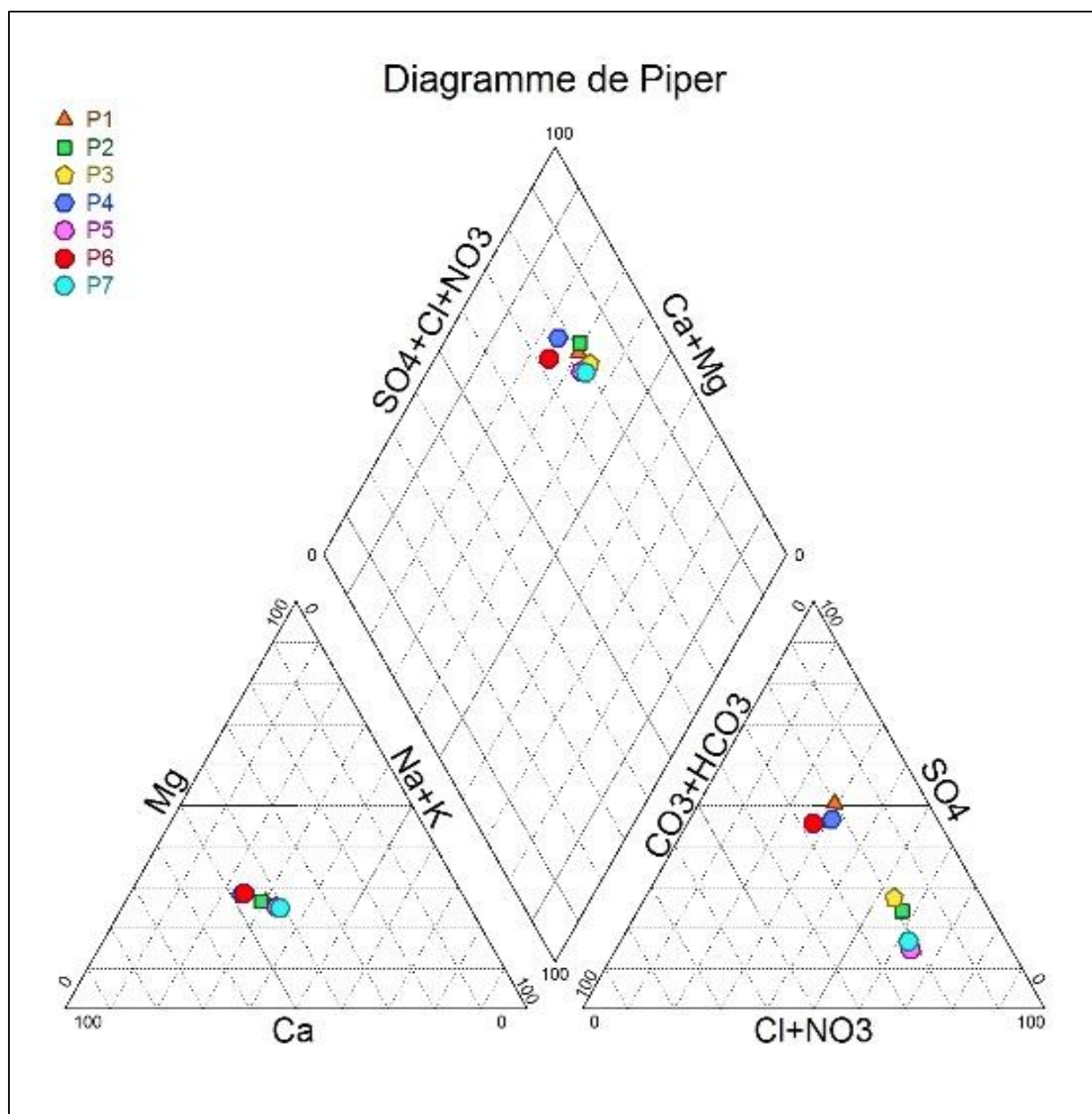


Fig.85. Diagramme de Piper des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Janvier .2018]

7.8.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller Berkalof, permet de distinguer les différentes familles des eaux et les comparer entre elles. Pour déterminer le faciès chimique de chaque station nous allons utiliser le diagramme de Schöeller- Berkalof. Les résultats des analyses chimiques des eaux du bassin de la Maffragh (basses eaux, hautes eaux), ont été reportés sur le diagramme (Fig.86, Fig.87).

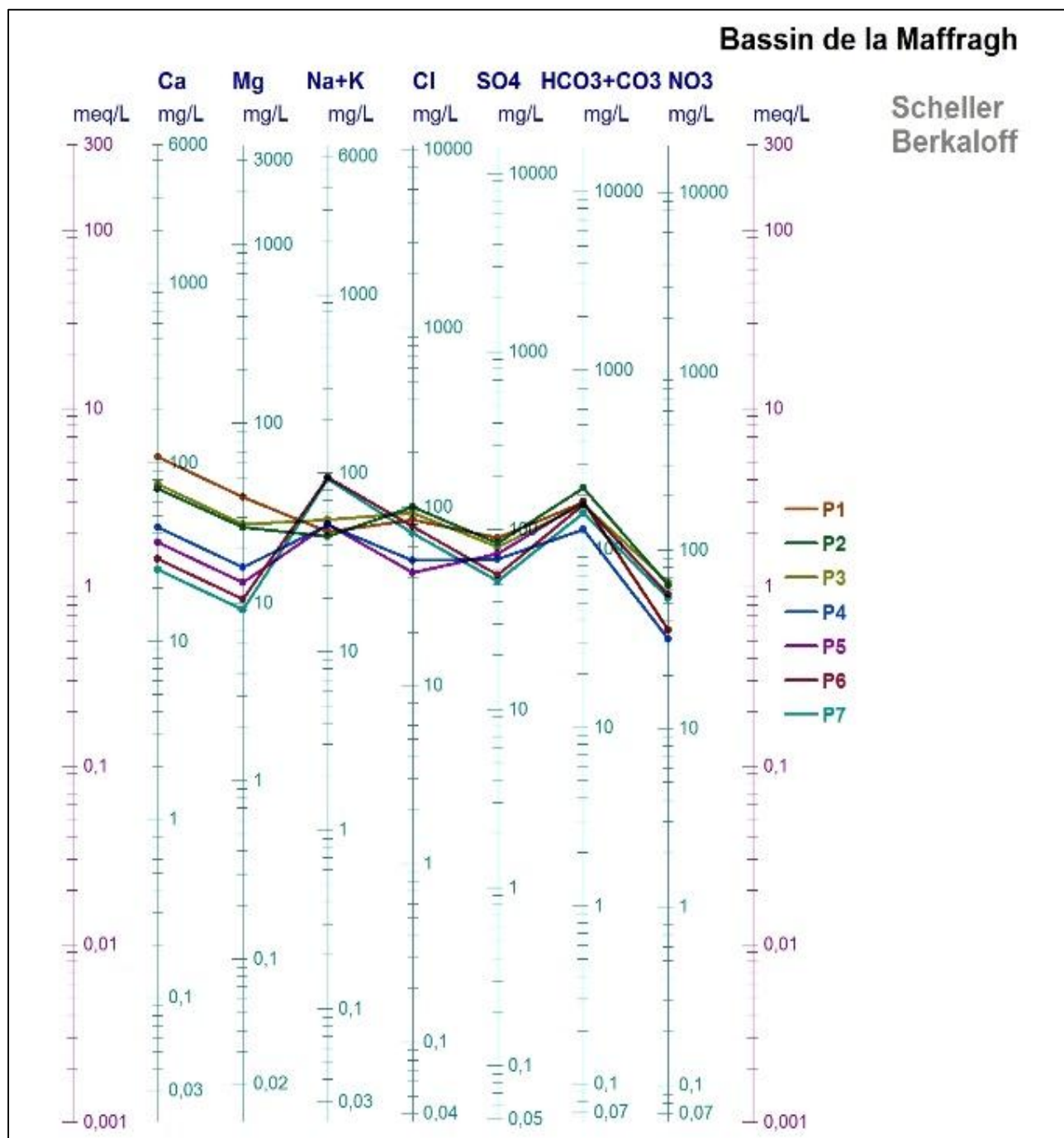


Fig.86. Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Juillet2018]

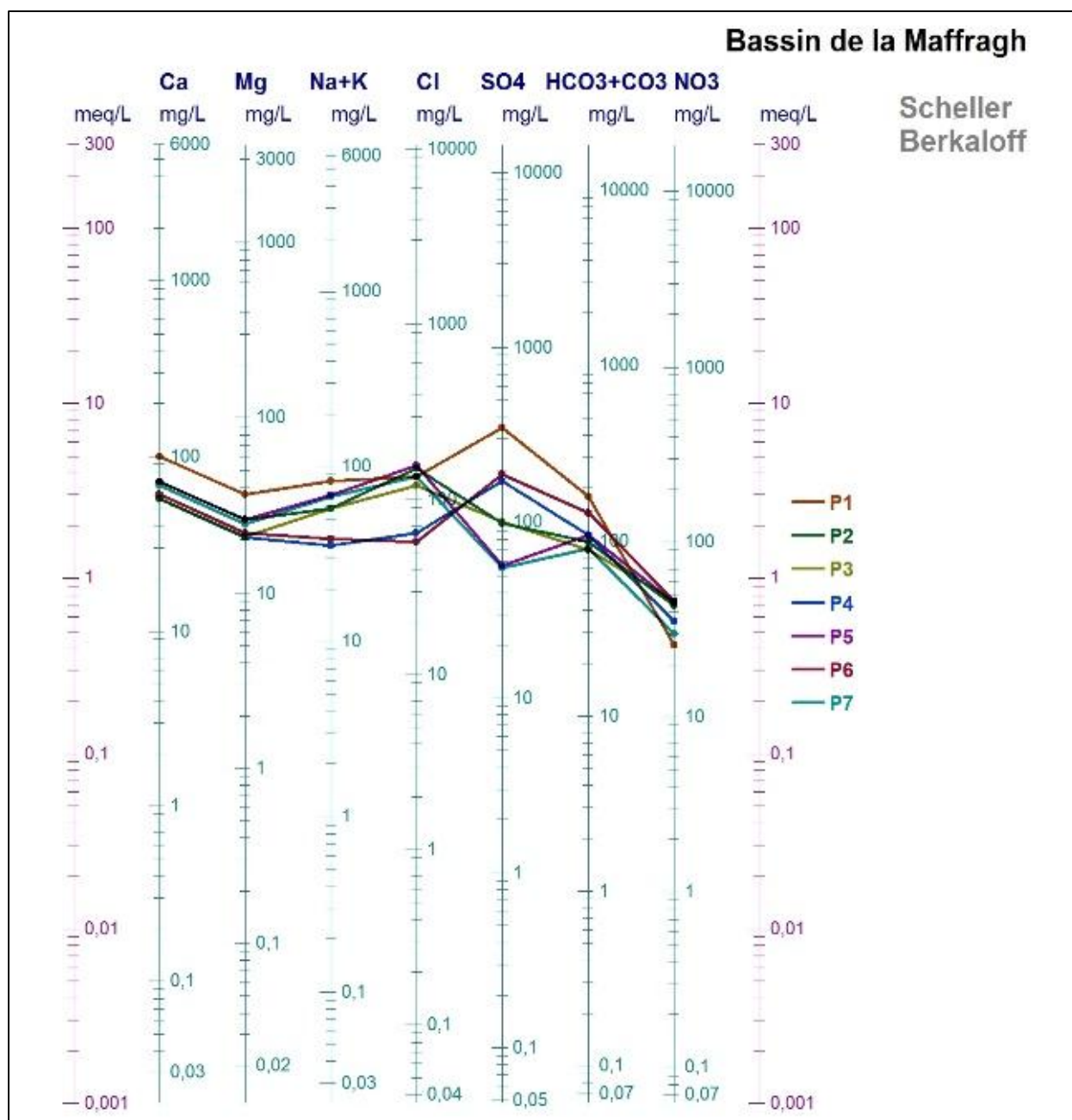


Fig.87. Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux de surface du bassin de la Maffragh [Janvier 2018]

7.9. Analyse en composantes principales

7.9.1. Principes théoriques

L'ACP est une méthode d'analyse statistique multidimensionnelle. Il s'agit d'une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques jouant tous le même rôle. Chaque échantillon d'eau d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique, les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques (Ghrieb, 2011).

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive : son objectif est de présenter, sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday et al. 1982, philipeau, 1992). Ce tableau doit être constitué en lignes par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (Gaudin, 1982, Dervin, 1992).

Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque (Biémi 1992). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances et la position graphique que présenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0. L'utilisation de cette méthode permet de connaître l'origine de la minéralisation des eaux de surface du bassin de la Maffragh.

7.9.2. Résultats et interprétations

Dans cette étude, les analyses en composantes principales ont été effectuées sur les deux campagnes d'échantillonnages (hautes et basses eaux 2018) et qui représentent l'analyse globale des éléments chimiques des eaux de sources. Le but de cette analyse statistique (ACP) est de faire ressortir les différents points d'eau qui possèdent des concentrations élevées en éléments chimiques par rapport à l'ensemble de la région. Cela nous permet de donner une idée préalable sur les éléments et les sites de pollution.

7.9.2.1. Application de l'ACP aux données des eaux du bassin de la Maffragh

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé comme variables les teneurs en éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- (mg/l)), les paramètres physicochimique (CE en

$\mu\text{S}/\text{cm}$ et O_2 en mg/l ;pH), les éléments nutritifs (NO_2^- , NO_3^- et NH_4^+ (mg/l)) et enfin la DBO_5 , DCO et PO_4^{3-} (mg/l), en utilisant le logiciel STATISTICA 8.0. Cette analyse a été réalisée donc sur un tableau de données de (15) variables avec sept (7) individus, repartis tout le long du bassin de la Maffragh.

7.9.3. Période des basses eaux (Juillet 2018)

7.9.3.1. Matrice de corrélation

En se basant sur un coefficient de corrélation relativement significatif $r = 0,50$, l'examen du (Tab.40), relatif à la matrice de corrélation, montre deux types de corrélations.

Tab.40. Coefficient de corrélation entre les variables

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	DBO_5	DCO	CE	O_2
Ca^{2+}	1,00														
Mg^{2+}	0,99	1,00													
Na^+	-0,66	-0,65	1,00												
K^+	-0,82	-0,82	0,93	1,00											
Cl^-	0,58	0,58	-0,02	-0,26	1,00										
SO_4^{2-}	0,90	0,90	-0,88	-0,94	0,37	1,00									
HCO_3^-	0,39	0,39	-0,24	-0,38	0,61	0,47	1,00								
NO_3^-	0,006	0,005	0,29	0,22	0,75	-0,09	0,51	1,00							
NO_2^-	-0,21	-0,21	0,15	0,25	0,43	-0,16	0,26	0,87	1,00						
NH_4^+	0,30	0,30	-0,18	-0,07	0,42	0,28	0,07	0,57	0,65	1,00					
PO_4^{3-}	-0,64	-0,64	0,35	0,52	-0,12	-0,45	0,19	0,37	0,55	0,01	1,00				
DBO_5	-0,51	-0,51	0,93	0,87	-0,05	-0,74	-0,25	0,16	-0,04	-0,12	0,32	1,00			
DCO	-0,04	-0,04	0,37	0,22	-0,19	-0,31	-0,63	-0,50	-0,63	-0,48	-0,39	0,44	1,00		
CE	0,82	0,82	-0,26	-0,47	0,39	0,60	0,14	-0,19	-0,53	0,09	-0,72	-0,04	0,34	1,00	
O_2	-0,78	-0,78	0,45	0,59	-0,50	-0,62	-0,12	-0,12	0,05	-0,45	0,83	0,44	0,05	-0,66	1,00

La première directe c'est le cas des couples suivants : Ca^{2+} - Mg^{2+} , $r = 0,99$ / Ca^{2+} - SO_4^{2-} , $r = 0,90$ / Ca^{2+} - CE , $r = 0,82$ / Mg^{2+} - Cl^- , $r = 0,58$ / Mg^{2+} - SO_4^{2-} , $r = 0,90$ / Mg^{2+} - CE , $r = 0,82$ / Na^+ - K^+ , $r = 0,93$ / Na^+ - DBO_5 , $r = 0,93$ / K^+ - PO_4^{3-} , $r = 0,52$ / K^+ - DBO_5 , $r = 0,87$ / K^+ - O_2 , $r = 0,59$ / Cl^- - HCO_3^- , $r = 0,61$ / Cl^- - NO_3^- , $r = 0,75$ / SO_4^{2-} - CE , $r = 0,60$ / HCO_3^- - NO_3^- , $r = 0,51$ / NO_3^- - NO_2^- , $r = 0,87$ / NO_3^- - NH_4^+ , $r = 0,57$ / NO_2^- - NH_4^+ , $r = 0,65$ / NO_2^- - PO_4^{3-} , $r = 0,55$.

La deuxième inverse c'est le cas des couples suivants : Ca^{2+} - Na^+ , $r = -0,66$ / Ca^{2+} - K^+ , $r = -0,82$ / Ca^{2+} - PO_4^{3-} , $r = -0,64$ / Ca^{2+} - DBO_5 , $r = -0,51$ / Ca^{2+} - O_2 , $r = -0,78$ / Mg^{2+} - Na^+ , $r = -0,65$ / Mg^{2+} - K^+ , $r = -0,82$ / Mg^{2+} - PO_4^{3-} , $r = -0,64$ / Mg^{2+} - DBO_5 , $r = -0,51$ / Mg^{2+} - O_2 , $r = -0,78$ / Na^+ - SO_4^{2-} , $r = -0,88$ / K^+ - SO_4^{2-} , $r = -0,94$ / Cl^- - O_2 , $r = -0,50$ / SO_4^{2-} - DBO_5 , $r = -0,74$

SO_4^{2-} - O_2 , $r = -0,62$ / HCO_3^- - DCO, $r = -0,63$ / NO_3^- - DCO, $r = -0,50$ / NO_2^- - DCO, $r = -0,63$ / NO_2^- - CE, $r = -0,53$ / PO_4^{3-} - CE, $r = -0,72$ / CE - O_2 , $r = -0,66$.

7.9.3.2. Cercle de corrélation

La Figure (Fig.88) représente les basses eaux montre que l'axe d'inertie principal F1 exprime 46,53 % de l'information et il est défini positivement par ; O_2 , DBO_5 , Na^+ , k^+ , PO_4^{3-} , et affichées sur la partie négative de l'axe le groupe de paramètre suivant, pH, CE, Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{2-} .

L'axe d'inertie principal F2 exprime 26,09 % de l'information et il est défini positivement par deux groupes, DCO, et affichées sur la partie négative de l'axe, les bicarbonates, Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- et la conductivité.

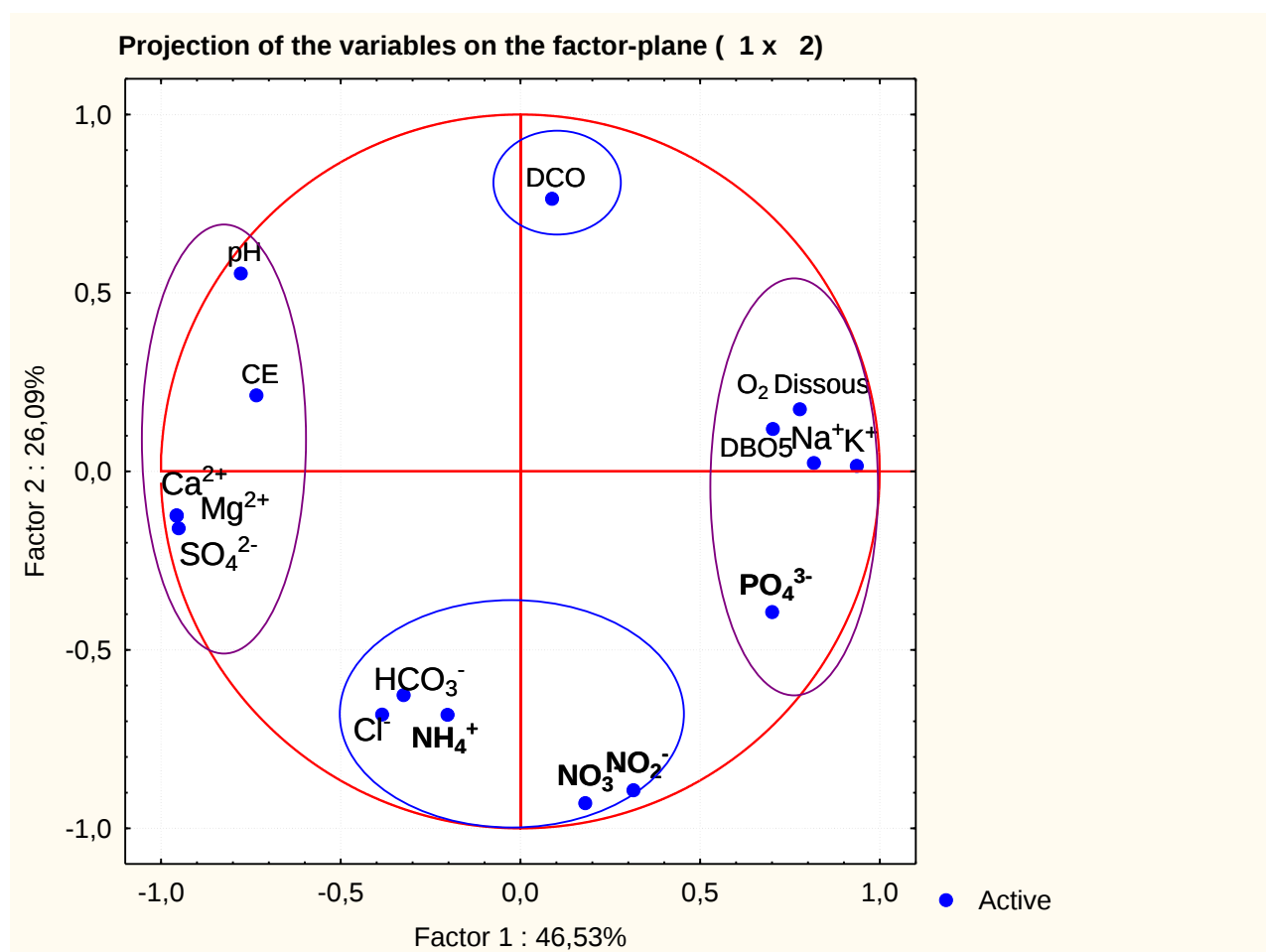


Fig.88. Projection des variables sur le plan factoriel (F1-F2) (Juillet 2018)

7.9.4. Période des hautes eaux (Janvier 2018)

Tab.41. Coefficient de corrélation entre les variables

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	DBO ₅	DCO	CE	pH	O ₂
Ca ²⁺	1,00															
Mg ²⁺	0,99	1,00														
Na ⁺	0,82	0,82	1,00													
K ⁺	0,58	0,58	0,89	1,00												
Cl ⁻	0,50	0,50	0,81	0,94	1,00											
SO ₄ ²⁻	0,64	0,64	0,20	-0,15	-0,28	1,00										
HCO ₃ ⁻	0,70	0,71	0,29	-0,09	-0,19	0,92	1,00									
NO ₃ ⁻	-0,63	-0,61	-0,49	-0,09	-0,10	-0,51	-0,40	1,00								
NO ₂ ⁻	-0,48	-0,46	-0,26	-0,01	-0,20	-0,28	-0,15	0,65	1,00							
NH ₄ ⁺	-0,44	-0,43	0,03	0,43	0,48	-0,83	-0,75	0,67	0,40	1,00						
PO ₄ ³⁻	-0,03	-0,01	-0,38	-0,46	-0,62	0,59	0,60	0,31	0,26	-0,35	1,00					
DBO ₅	-0,29	-0,28	0,02	0,27	0,33	-0,37	-0,50	0,54	0,22	0,75	0,01	1,00				
DCO	-0,08	-0,07	0,16	0,46	0,59	-0,50	-0,47	0,51	-0,11	0,77	-0,19	0,76	1,00			
CE	0,85	0,85	0,66	0,43	0,40	0,69	0,61	-0,46	-0,53	-0,35	0,18	0,09	0,15	1,00		
pH	-0,49	-0,50	-0,55	-0,49	-0,25	-0,48	-0,50	0,04	-0,37	0,03	-0,35	-0,26	0,07	-0,54	1,00	
O ₂	0,50	0,49	0,36	0,09	0,10	0,49	0,32	-0,74	-0,26	-0,59	-0,26	-0,40	-0,57	0,38	-0,26	1,00

La première directe c'est le cas des couples suivants (Tab.41) : Ca²⁺- Mg²⁺, r = 0,99 / Ca²⁺- Na⁺, r = 0,82 / Ca²⁺- K⁺, r = 0,58 / Ca²⁺- Cl⁻, r = 0,50 / Ca²⁺- SO₄²⁻, r = 0,64 / Ca²⁺- HCO₃⁻, r = 0,70 / Ca²⁺- CE, r = 0,85 / Ca²⁺- O₂, r = 0,50 / Mg²⁺- Na⁺, r = 0,82 / Mg²⁺- K⁺, r = 0,58 / Mg²⁺- Cl⁻, r = 0,50 / Mg²⁺- SO₄²⁻, r = 0,64 / Mg²⁺- HCO₃⁻, r = 0,71 / Mg²⁺- CE, r = 0,85 / Na⁺- K⁺, r = 0,89 / Na⁺- Cl⁻, r = 0,81 / Na⁺- CE, r = 0,66 / K⁺- Cl⁻, r = 0,94 / SO₄²⁻- HCO₃⁻, r = 0,92 / SO₄²⁻- PO₄³⁻, r = 0,59 / SO₄²⁻- CE, r = 0,69 / HCO₃⁻- PO₄³⁻, r = 0,60 / HCO₃⁻- CE, r = 0,61 / NO₃⁻- NO₂⁻, r = 0,65 / NO₃⁻- NH₄⁺, r = 0,67 / NO₃⁻- DBO₅, r = 0,54 / NO₃⁻- DCO, r = 0,51 / NH₄⁺- DBO₅, r = 0,75 / NH₄⁺- DCO, r = 0,77 / DBO₅- DCO, r = 0,76 / Cl⁻- DCO, r = 0,59.

Le deuxième inverse c'est le cas des couples suivants : Ca²⁺- NO₃⁻, r = -0,63 / Mg²⁺- NO₃⁻, r = -0,61 / Mg²⁺- pH, r = -0,50 / Na⁺- pH, r = -0,55 / Cl⁻- PO₄³⁻, r = -0,62 / SO₄²⁻- NO₃⁻, r = -0,51 / SO₄²⁻- NH₄⁺, r = -0,83 / SO₄²⁻- DCO, r = -0,50 / HCO₃⁻- NH₄⁺, r = -0,75 / HCO₃⁻- DBO₅, r = -0,50 / HCO₃⁻- pH, r = -0,50 / NO₃⁻- O₂, r = -0,74 / NO₂⁻- CE, r = -0,53 / NH₄⁺- O₂, r = -0,59 / DCO- O₂, r = -0,57 / CE- pH, r = -0,54

7.9.4.1. Cercle de corrélation

La Figure (Fig.89) représente les hautes eaux montre que l'axe d'inertie principal F1 exprime 41,85 % de l'information et il est défini positivement par, O_2 , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , SO_4^{-2} , HCO_3^- , CE, et Affichées sur la partie négative de l'axe le groupe de paramètre suivant, pH, NO_3^- , NO_2^- .

L'axe d'inertie principal F2 exprime 28,61 % de l'information et il est défini positivement par, DBO_5 , DCO, NH_4^+ , Cl^- , K^+ , et Affichées sur la partie négative de l'axe, PO_4^{-3} .

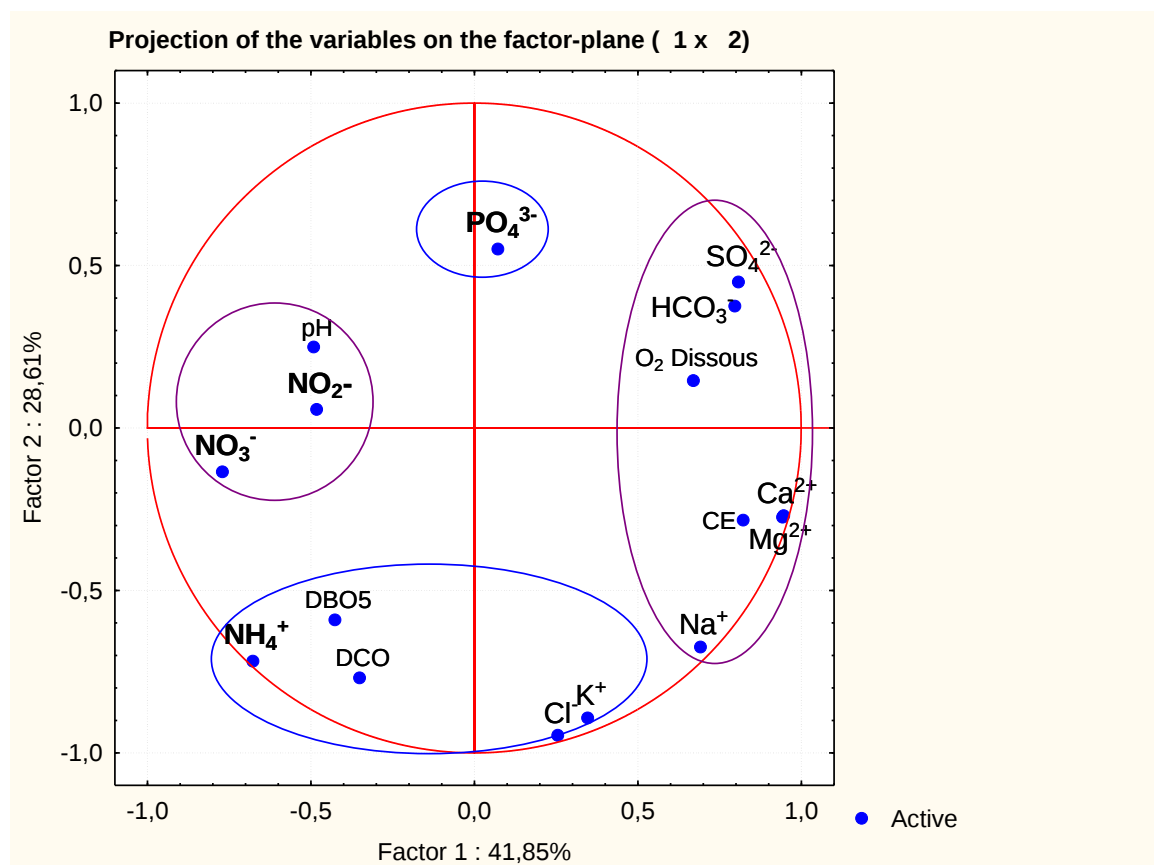


Fig.89. Projection des variables sur le plan factoriel (F1-F2) (Janvier 2018)

7.10. Aptitude des eaux à l'irrigation

7.10.1. Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). De nombreuses études ont été menées sur les sources tels que les processus géochimiques dans ces systèmes (Major 1996, Kiniouar 2006).

La chimie des eaux de surface est souvent influencée par l'effet des rejets urbains et l'activité agricole et industrielle. Et, en raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin d'évaluer l'aptitude des eaux du bassin de la Maffragh à l'irrigation.

Les différentes pratiques agricoles et la mise en place de nombreux systèmes d'irrigation ont eu un effet sur la qualité des eaux. Il est à noter que les sels minéraux contenus dans l'eau ont un impact sur le sol et les plantes. En effet, les sels peuvent causer des changements dans la structure du sol [sur sa perméabilité et son aération], affectant directement le développement des plantes (Person.1978). Donc Il est nécessaire que cette eau présente des propriétés physicochimiques adaptées aux plantes, notamment l'absence de la salinité.

7.10.2. Qualité des eaux d'irrigations

7.10.2.1. Aptitude des eaux de surface du bassin de la Maffragh a l'irrigation

On définit généralement l'irrigation comme étant l'apport d'eau au sol dans le but d'assurer l'humidité nécessaire au développement des plantes. Les eaux de surface sont menacées en permanence par des apports polluants étant donné qu'il est le milieu récepteur final de tous types de pollution, il faut connaître à ce que ces eaux de surface sont conformes ou non aux normes et est-ce qu'elles peuvent être utilisées pour l'irrigation des terres agricoles sans aucun risque pour les cultures, les sols, et les eaux souterraines.

Il y'a quatre critères majeurs à considérer lors de l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation :

1. La concentration en sels dissous (risque de salinité).
2. La quantité de sodium dans l'eau comparé à d'autres cations (risque de sodicité).
3. La concentration des éléments toxiques qui inhibe la croissance des plantes où devient un danger environnemental.
4. Le bénéfice nutritionnel résultant de nutriments (nitrates, phosphates et sulfates). Les activités anthropiques et particulièrement agricoles ont tendance à se développer de préférence à proximité des cours d'eau et mieux encore là où le plan d'eau est facile à atteindre .Le bassin de la Maffragh est un exemple typique où l'eau constitue un facteur déterminant dans la production agricole, aussi bien en intensification des cultures qu'en extension des surfaces irriguées .La disponibilité des eaux des marécages surtout en période

d'étiage faciliter aux agriculteurs leurs utilisations à des fins agricoles (Hedjal et al .2016 .b). L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent (Rouabhia et al 2010)

- Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans les eaux d'irrigations. La valeur du pH dans ce cas devrait se situer entre 6,5 et 8,4 (Ayers et Westcot .1985) Où Avec ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.
- La conductivité électrique est un excellent indicateur de la minéralisation qui reflète la concentration de l'ensemble des minéraux dissous (Alsheikh 2015, Rodier 2009).
- L'ion des chlorures sont classés comme un paramètre toxique pour les plantes. On considère les chlorures jusqu'à une concentration de 4 méq/l, les eaux sont adaptées à l'irrigation (Bouaroudj et Kadem .2014, Guasmi et al. 2013). Cela peut causer plusieurs problèmes dans les cultures à la concentration de 10 méq/l (Ayers et Westcot ,1985).
- Le pourcentage du sodium [Na%], Les fortes teneurs en sodium provoquent un changement de la structure physique du sol à cause du gonflement des particules d'argiles (Derradji.2004). Celles-ci seront par la suite dispersées rendant ainsi la circulation de l'eau plus lente au sein du sol. Cette dégradation des caractéristiques physiques du sol se traduit par une baisse de sa perméabilité et de son aération (Hadj-Said 2007, Raoubhia 2010).
- Les nitrates, Les nitrates sont présents sous des formes très solubles. Leur présence est associée à l'utilisation intensive d'engrais chimiques (Benrabah et al.2016) .Sous cette forme, L'azote est un sel nutritif utilisé par la plupart des plantes. Les cultures sensibles peuvent être affectées par des concentrations d'azote inférieures à 5 mg/l. Les plus d'autres cultures sont relativement peu affectées jusqu'à ce que l'azote dépasse 30 mg/l (Ayers et Westcot .1988).

7.10.2.2. Risque de Salinité [Conductivité]

L'excès des teneurs en sels est l'un des soucis principaux de l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sels dans le sol affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation du sol et une pollution des eaux souterraines.

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage, ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. La

pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire (Faby et al, 2000).

Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes :

- Si la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ est inférieure à 700, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation ;
- Si la conductivité varie entre 700 et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à modérée ;
- Si la conductivité est supérieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

7.10.2.3. Evolution temporelle et spatiale de la salinité

En 1969, Richards a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Faby et al 2000)(Tab.42).

Tab.42. Classe de salinité selon Richards (Faby et al, 2000)

Classes	Conductivité de l'eau (mmhos/cm à 25 °C)	Sels correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
Excellente	<0,25	160
Faible salinité	0,25-0,75	160- 500
Forte salinité	0,75-2,25	500- 1500
Très forte salinité	2,25-5	1500- 3600

Tab.43. Convenance à l'irrigation des eaux du bassin de la Maffragh selon la conductivité.

Restriction pour l'irrigation	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Pourcentage des échantillons (%)	
		Hautes eaux	Basses eaux
Aucune	< 700	100	86
légère à modéré	700 -3000	00	14
Forte	> 3000	00	00

Dans notre région d'étude, la majorité des résultats obtenus (Tab.43) des échantillons n'exige aucune restriction pour l'irrigation sauf en été où 14 % des échantillons exigent une restriction légère à modérée (en période basses eaux).

7.10.2.4. Classifications des eaux destinées à l'irrigation

La qualité de l'eau pour l'irrigation des terres agricoles, peut être appréciée par les indices de qualité de l'eau tels que : le risque de salinité, la conductivité électrique CE, le SAR, le diagramme de Richards, diagramme de Wilcox, Deux campagnes de l'année 2018.

7.10.3. L'indice d'adsorption du Sodium (SAR)

Le Risque de sodium est également exprimé en termes de rapport d'adsorption du sodium (SAR). Ce paramètre est couramment utilisé comme un indice pour évaluer l'aptitude de l'eau à des fins d'irrigation (Ayers & Westcot 1994; Shaki & Adeloye 2006) . Le SAR est calculé à partir du rapport du sodium au calcium et au magnésium. Les deux derniers ions sont importants car ils tendent à contrer l'effet du sodium. L'utilisation continue de l'eau ayant un taux élevé de SAR conduit à la dégradation de la structure physique du sol. Le sodium est adsorbé et se fixe aux particules du sol. Le sol devient alors dur et compact lorsqu'il est sec et imperméable à la pénétration de l'eau. Le degré auquel l'eau d'irrigation a tendance à entrer dans des réactions d'échange de cations présents dans le sol peut être indiqué par le taux d'adsorption de sodium. Remplacer le sodium adsorbé par le calcium et le magnésium est un danger car elle provoque des dommages à la structure du sol.

Le SAR est un paramètre important pour la détermination de l'aptitude de l'eau d'irrigation, car il est responsable des dangers de sodium (Nagarajah *et al.* 1988) . Le SAR est calculé par l'équation suivante,

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

Si la valeur SAR est <10 : l'eau est sans danger pour irriguer sans détérioration structurelle. D'autre part, si la valeur SAR est > 6-9 : l'eau d'irrigation peut causer des problèmes de perméabilité sur le rétrécissement et les types de sols argileux (Rhoades *et al.* 1992, Saleh *et al.* 1999). Une concentration élevée en sels dans l'eau conduit à la formation des sols salins et de la haute concentration de sodium conduit au développement d'un sol alcalin (Singh *et al.* 2004).

7.10.3.1. Diagramme de Richards

Ce diagramme est utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. L'indice d'adsorption du sodium (SAR) aussi appelé « pouvoir alcalisant ». Le diagramme de Richards propose quatre classes du SAR en fonction quatre classes de salinité exprimée par la conductivité électrique.

Pour déterminer comment l'interaction des divers ions affectant l'aptitude de l'eau pour l'irrigation, le SAR a été tracée à la mesure de conductivité sur le diagramme de Richard (1954). Le diagramme de la salinité utilise des valeurs SAR et de la CE pour classer la qualité l'eau d'irrigation. Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Wilcox [Fig.93, Fig.94], on a pu dégager la présence des classes suivantes :

La classe [C1S1] : caractérise une eau excellente pour l'irrigation et pouvant utilisée sans danger pour l'irrigation de la plus part des sols.

La classe [C2S1] : eau est bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulièrement pour l'irrigation des plantes moyennement tolérante au sel.

La classe [C3S1] : désigne les eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité dont la salinité doit être contrôlée.

La classe [C4S1] : indique les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Sur la base des eaux de danger de sodium ont été classés faible (S1), moyen (S2), haute (S3) et très élevé (S4). Dans la zone d'étude, les valeurs de conductivité électrique varie entre (495 et 796 $\mu\text{s}/\text{cm}$ basses eaux) et (427 et 495 $\mu\text{s}/\text{cm}$ hautes eaux) avec une valeur minimale et maximale, respectivement.

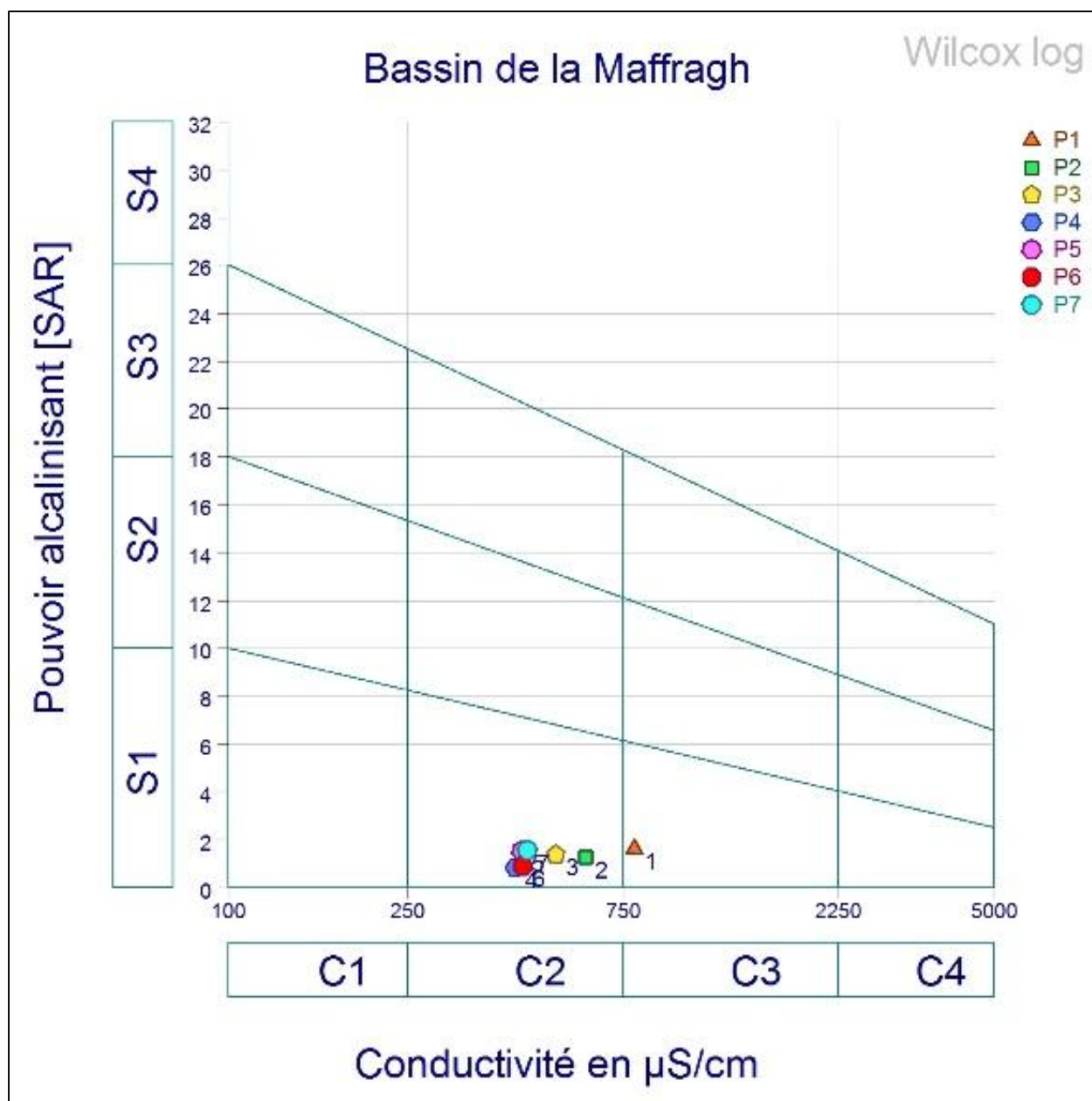


Fig.90. Diagramme de Richards (Juillet 2018)

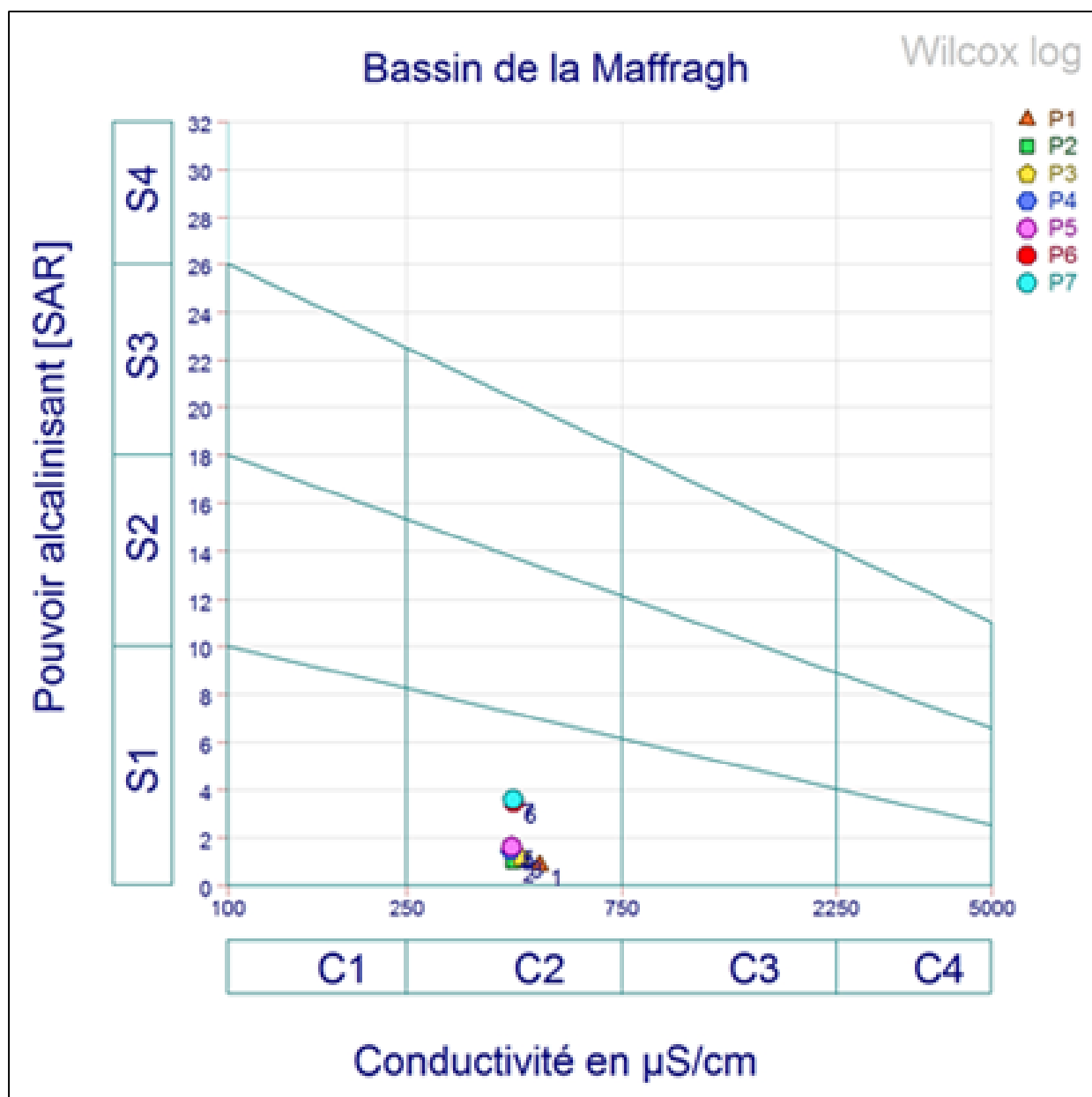


Fig.91 Diagramme de Richards (Janvier 2018)

On constate sur les Figures (fig.90, Fig.91), dans la campagne d'hautes eaux et basses eaux la majorité des points d'eau sont représentée dans la classe C2-S1 mettant en évidence la salinité moyenne et faible teneur en sodium. Sauf en basses eaux ou le point P1 (basses eaux) est représentée dans la classe C3-S1 (Fig.90) ce qui indique un risque de salinité élevé et une faible teneur en sodium.

7.10.3.2. Diagramme de Wilcox

L'eau d'irrigation contenant de grandes quantités de sodium est particulièrement préoccupante en raison des effets de sodium sur le sol. Le sodium en excès dans l'eau produit des effets indésirables, tel que : la modification des propriétés du sol, la réduction de la perméabilité du sol (Rao 2006) et peut aussi empêcher la croissance des plantes (Joshi et al. 2009).

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de sodium (Na%) est calculé en utilisant l'équation suivante (Wilcox 1955)

La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définit cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

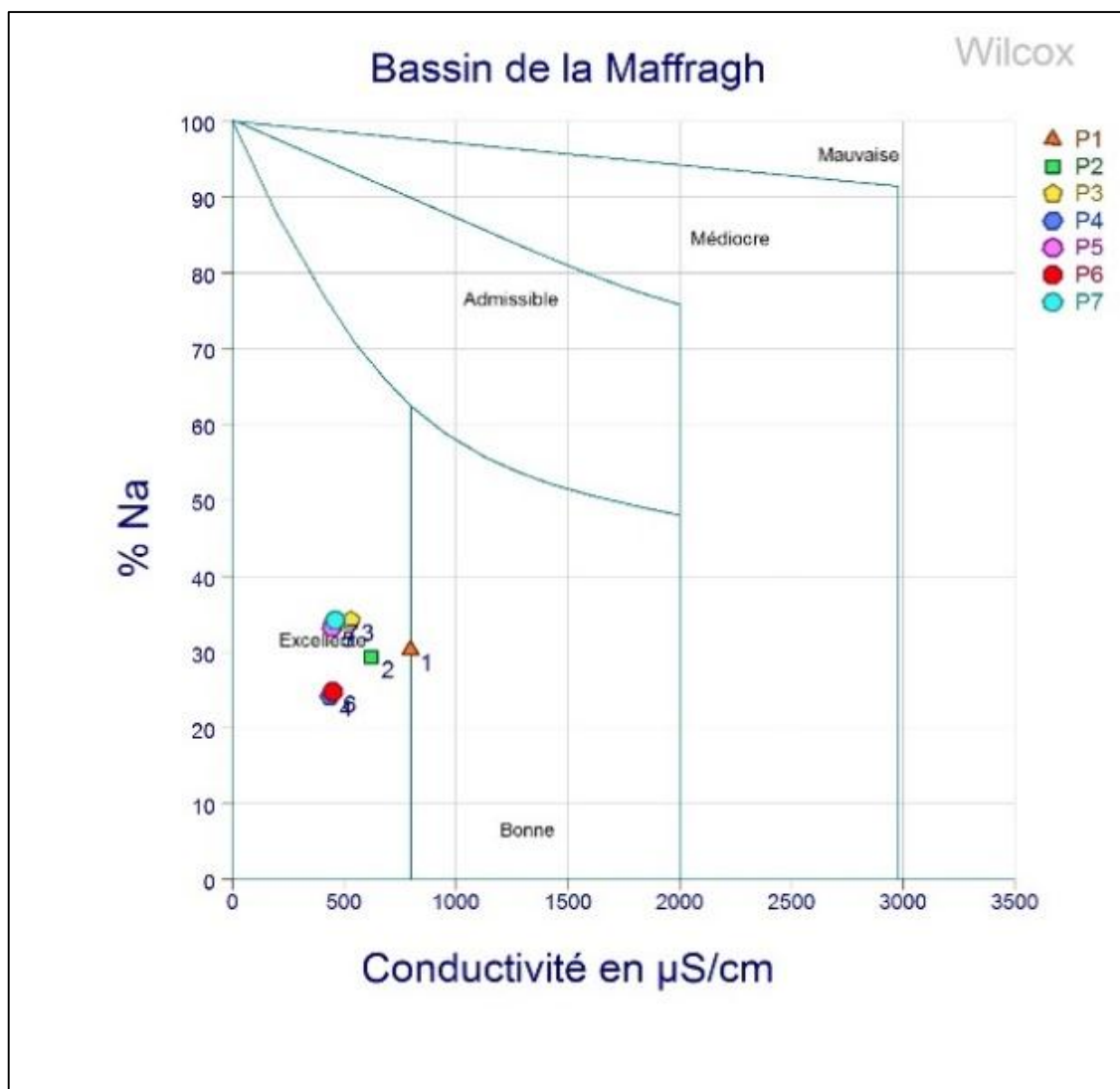


Fig.92. Diagramme de Wilcox (Juillet 2018)

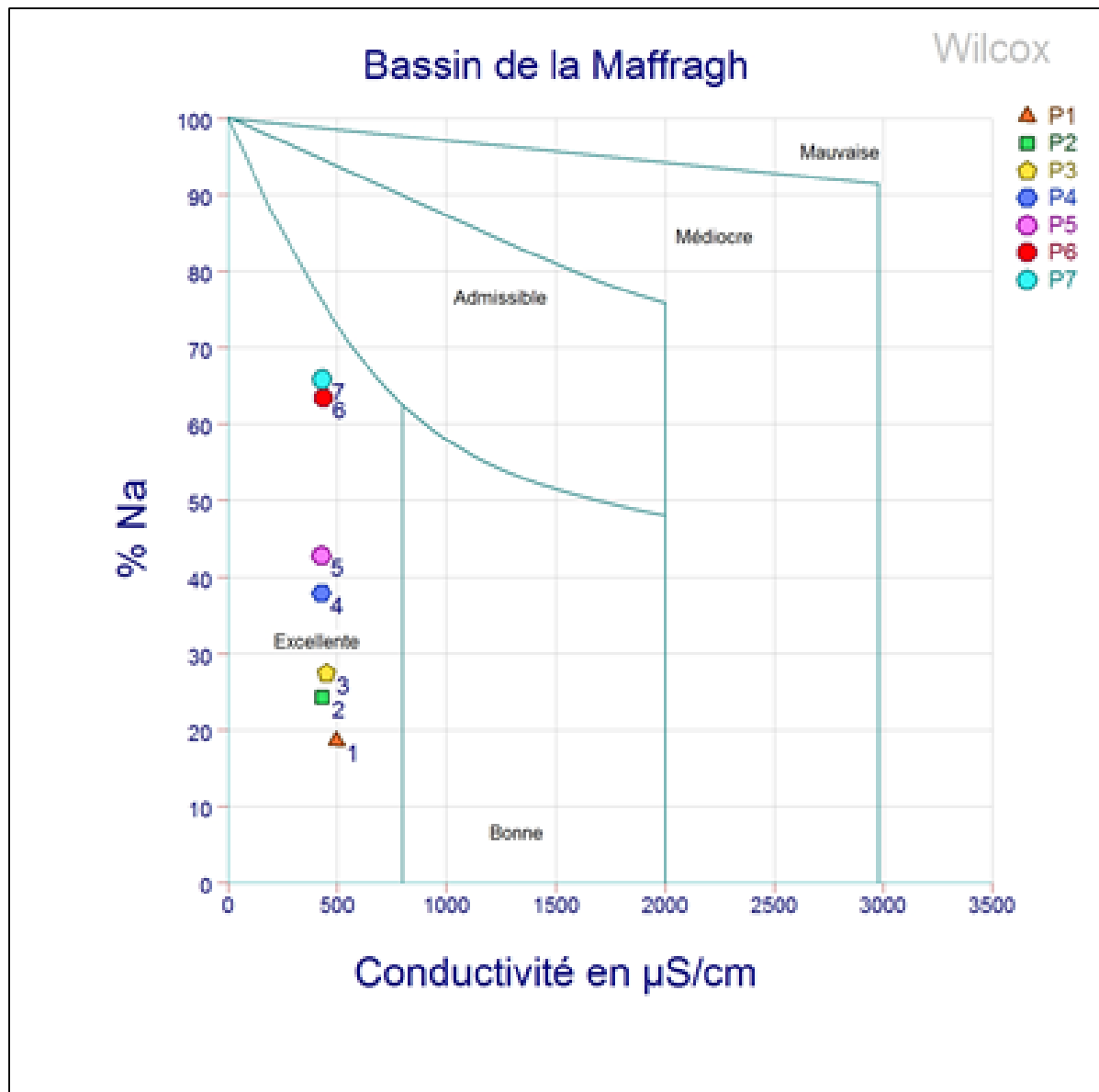


Fig.93. Diagramme de Wilcox (Janvier 2018)

Les schémas de classification de l'eau d'irrigation (Wilcox 1955) pendant les hautes eaux et les basses eaux a été utilisé pour évaluer la qualité de l'eau (Fig92.Fig.93).

Selon la classification Wilcox, la majorité des échantillons d'eau ont une excellente qualité d'eau d'irrigation, et il est dans la catégorie autorisée pour d'irrigation.

7.11. Conclusion

La variation des paramètres physico-chimiques des eaux de surface du bassin de la Maffragh, est due soit à des facteurs naturels terrains ou bien facteur entropiques activité humaine.

De fortes teneurs en nitrites et ammonium polluent les eaux du bassin de la Maffragh. Leur provenance est multiple car on les retrouve au niveau des rejets urbains où les terres sont cultivées.

L'analyse physico-chimique des eaux en qualité des chlorures, calcium, magnésium, sodium et potassium des eaux du bassin de la Maffragh, a montré que généralement leurs concentrations ne dépassent pas la norme.

Dans la zone d'étude, la majorité des points d'eau sont représentée dans la classe C2-S1 mettant en évidence la salinité moyenne et faible teneur en sodium. L'eau de surface du bassin de la Maffragh a une excellente qualité d'eau d'irrigation, et il est dans la catégorie autorisée pour d'irrigation.

En perspective, nous souhaitons développé ce travail très utile pour les gestionnaires de la quantité et la qualité de l'eau, leurs permettant ainsi une prise de décision afin d'éviter le déficit qui aura lieu dans le futur et de préserver la qualité de l'eau de surface pour pouvoir l'exploiter.

A blue geometric graphic element consisting of several overlapping triangles and quadrilaterals, creating a dynamic, abstract shape that tapers to the right.

CHAPITRE 8 :

ESSAI DE GESTION INTEGRE DES RESSOURCES EN EAU ET UTILISATION DU MODEL WEAP

8. Introduction

La situation actuelle en Algérie, se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles, En outre les pollutions des nappes et des ressources superficielles par les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités de traitement des systèmes d'épuration (Messahel and Benhafid 2007).

En Algérie, comme dans de nombreuses autres parties du monde, la croissance démographique, l'urbanisation rapide et le développement économique pèsent lourdement sur les ressources en eau (Titi Benrabah Samia, et al 2013). Les ressources en eau sont de plus en plus rares alors que les besoins ne cessent d'augmenter. Quel que soit la ou les solutions que l'on propose pour remédier au déséquilibre entre l'offre et la demande, il faut donner à l'eau sa vraie valeur économique, et connaître les composantes réelles du prix des services de l'eau. (Boukhari Djebbar Y, Abida h 2009).

De nos jours, les besoins en eau potable en Algérie 180L/J par citoyen. L'agriculture étant le principal utilisateur d'eau douce, la réutilisation des eaux usées urbaines traitées pour l'agriculture pourrait au moins atténuer le stress actuel lié à l'eau douce (Maite Guardiola et al 2012).

Afin d'atteindre des niveaux de vie adéquats équivalents à ceux observés dans les pays occidentaux et industrialisés, des ressources en eau renouvelables annuelles (ARWR) d'au moins 2 000 m³ / habitant sont nécessaires, tandis qu'un pays avec un ARWR de 1 000 à 2 000 m³ / habitant peut souffrir occasionnellement ou pénuries d'eau locales (Bouwer 2002). Les pays avec moins 1000 m³ / habitant comme valeur critique connaîtront de graves pénuries d'eau, qui pourraient avoir un impact sur le développement économique, la santé et le bien-être humains (Falkenmark et Lindh 1993). Généralement appelé «indicateur de Falkenmark», il s'agit de l'indice de pénurie d'eau le plus utilisé. Il est basé sur un niveau minimum approximatif d'eau requis par habitant pour maintenir une qualité de vie adéquate dans un pays modérément développé. Avec un ARWR inférieur à 500 m³ / habitant, un pays est susceptible de connaître une «pénurie d'eau absolue». (Manzoor Qadir et al 2010).

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit les eaux usées comme les déchets liquides évacués vers les réseaux d'élimination individuels ou les canalisations d'égouts municipales et contenant principalement des excréta humains et de l'eau ayant servi (WHO, 2006), Cette eau polluée se déverse quotidiennement dans les lacs et les rivières. En raison de sa contamination, les eaux usées nécessitent une purification supplémentaire avant d'entrer dans les systèmes d'étangs. Pour limiter le plus possible la pollution de nos réserves en eau : rivières, lacs et nappes souterraines.

Les eaux usées doivent donc être collectées et traitées avant d'être rejetées dans la nature car si elles étaient rejetées dans le milieu sans traitement, pollueraient gravement l'environnement et la ressource en eau (Adjahouinou et al, 2014). En effet, certaines eaux usées contiennent une charge polluante importante (Allalgua et al, 2014). C'est pourquoi la réglementation impose des normes de rejet, dans les eaux superficielles comme dans le sol et le sous-sol suivant différents types de dispositifs d'épuration et de rejets.

Il existe plusieurs outils spécialisés dans la gestion des ressources en eaux, Pour notre étude nous avons opté pour le logiciel WEAP outil de planification des ressources en eau, basé essentiellement sur la méthodologie de modélisation et la simulation dynamique des changements de structures et de paramètres des systèmes qui rentre en compte du système hydraulique

8.1. Les Stratégies pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau

L'objectif de la gestion intégrée des ressources en eau est de réaliser une utilisation durable de l'eau dans le bassin de la Maffragh, qui a vraiment des ressources en eau importantes. Pour arriver à cela, il est considéré que la récupération et la maintenance de l'équilibre de la demande et l'offre en eau, des approches des deux côtes de l'offre (ressource en eau) et la demande (utilisateurs de l'eau) sont nécessaires à appliquer pour développer la condition actuelle de l'équilibre de l'eau.

Pour gérer et réduire la quantité de l'utilisation de l'eau, tous les utilisateurs de l'eau dans tous les secteurs doivent faire un grand effort dans l'économie d'eau. La lutte contre l'utilisation inefficace et la réduction de la quantité d'eau perdue par évaporation contribueront à améliorer l'équilibre de l'eau. Les 6 stratégies (Fig.94) de base sont proposées dans la GIRE comme suit :

Stratégie 1 : Développement des sources en eau

Les actions à prendre sous cette stratégie doivent inclure : la réhabilitation et l'extension des facilitées existantes, le développement d'autres sources en eau, la recharge artificielle des eaux souterraines et la protection des zones de captage, etc.

Stratégie 2 : Utilisation maximale des ressources en eau sortant du bassin

Les actions à prendre sous cette stratégie seront concentrées principalement sur l'utilisation de l'eau de surface avec le contrôle de la qualité de l'eau et le recyclage des eaux usée traitées.

Stratégie 3 : Gestion des eaux souterraines

Les actions à prendre sous cette stratégie doivent inclure le renforcement de l'application des lois et réglementations en vigueur concernant les eaux souterraines, et en même temps, le développement du système de contrôle pour comprendre totalement les caractéristiques quantitative et qualitative des ressources en eau.

Stratégie 4 : Amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la réduction de la demande en eau. Les actions à prendre sous cette stratégie sont composées de différentes approches comprenant les activités pédagogiques aussi bien que les activités de la sauvegarde de l'eau.

Stratégie 5 : Renforcement de l'organisation et l'institution de la GIRE

Les activités à prendre sous cette stratégie seront principalement exécutées sous la stratégie 3, en tenant compte que la gestion des eaux souterraines est une des sujets majeurs que le gouvernement doit accroître leurs activités.

Stratégie 6 : Pratique de la gestion participative de l'eau

Les activités à prendre sous cette stratégie seront principalement exécutées sous la stratégie 2, là où la planification de la distribution de l'eau et les activités pour l'économie de l'eau seront exécutées.

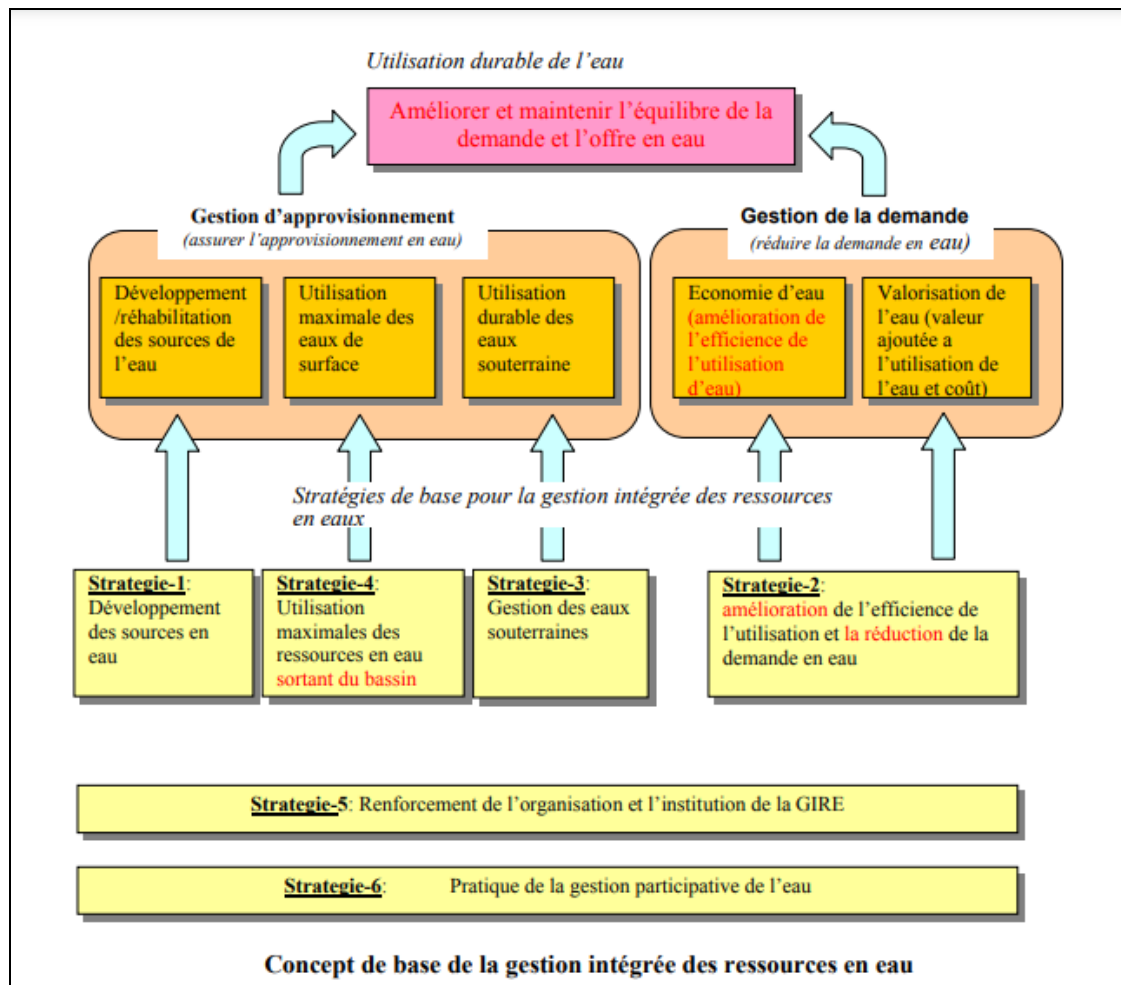


Fig.94. Les stratégies pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau

8.2. Pluviométrie, Ressources et Usagers de l'eau dans le bassin de la Maffragh

Le taux de pluie à travers le bassin de la Maffragh est de 800-1200 mm et est considéré parmi les régions les plus importants au niveau national. Où le taux de précipitation pour l'année :

P= 2017-2018 a atteint 812 mm,

P= 2018-2019 à 984 mm,

P= 2019-2020, elle a atteint 118 mm jusqu'en octobre.

Par rapport aux trois dernières années et au cours de la même période, il s'agit d'une proportion importante. Ces pluies apportent un niveau d'eau estimé à une moyenne de 700 millions de m³, puisque seulement 54% de cette richesse en eau a été mobilisée.

A l'échelle du bassin versant de la Maffragh, et près de 32 millions de m³ qui sont prélevés chaque année. 44.44 % des prélèvements sont réalisés dans les eaux superficielles et 55.55 % dans les eaux souterraines.

En termes de ressources, l'eau superficielle est surtout utilisée pour l'alimentation en eau potable de 77.27% des prélèvements totaux du bassin, et l'irrigation de 15.15%, tandis que L'industrie n'utilise que 07.57%. L'eau souterraine est surtout utilisée pour l'alimentation en eau potable de 79.29 % des prélèvements totaux du bassin et 18.51% des prélèvements pour l'irrigation et L'industrie 02.18%.

8.3. Les usagers de l'eau dans le bassin versant de la Maffragh

8.3.1. Les usagers domestiques

La mobilisation en eaux souterraines pour l'année 2019 est de l'ordre de 108 Hm³/an. Soit le prélèvement d'un volume journalier de 50000 m³/j.

La mobilisation en eaux surfaces pour l'année 2019 est de l'ordre de 264 Hm³/an. Soit le prélèvement d'un volume journalier de 40000 m³/j. Sur la base d'une dotation journalier de 150 l /j /hab. Les eaux du bassin de la Maffragh sont exploité par les 02 wilayas El Tarf et Annaba.

8.3.1.1. Les eaux pour AEP par nature de ressource

La demande en eau potable est définie comme la somme des volumes à mobiliser pour satisfaire les différents besoins en eau potable tout en prenant en compte les pertes en réseaux des infrastructures d'hydraulique. Les besoins « eau potable » correspondent

- Les besoins domestiques qui couvrent la consommation des particuliers,
- Les besoins « autres usages » qui couvrent les consommations liées à l'administration, les commerces et l'artisanat et petites industries (Tab.44).

Tab.44. Taux de majoration liés aux autres usages (source DHW 2009)

Type de l'agglomération	Dotation l/j/hab		
	administration	Petite industrie et artisanat	commerce
Urbain	20%	10%	10%
Semi urbain	15%	10%	10%
Semi rural	15%	7%	7%
Rural aggloméré	10%	6%	6%
Rural épars	0%	0%	0%

La dotation en eau potable est estimée à partir de l'évaluation des besoins en eau potable d'une agglomération selon son importance. Le débit unitaire est souvent normalisé sur la base de critères socio-économiques (Fig.95).

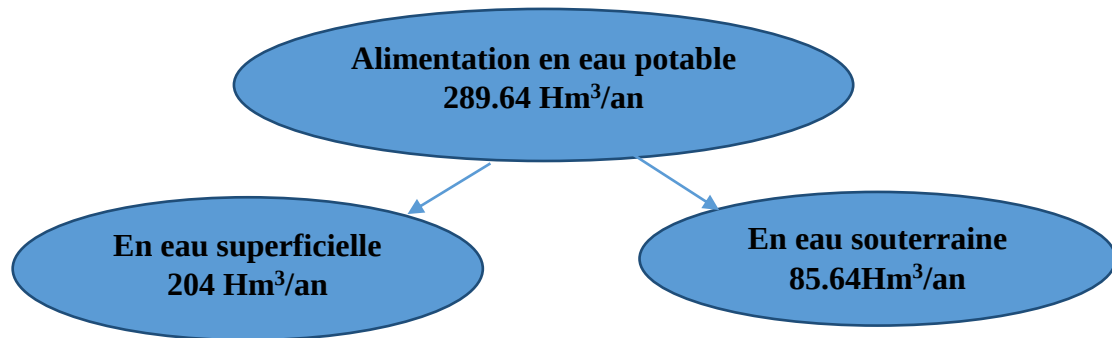


Fig.95. Répartition des eaux d'AEP par nature de ressource dans le bassin de la Maffragh.

8.3.2. Les usagers agricoles

Le bassin versant de la Maffragh est un bassin à vocation agricole, la superficie des terres agricoles utile des dans la wilaya d'El Tarf 74200 ha SAU dont 12100 ha irrigués. Le nombre total d'installations techniques à travers la poussière de l'État est estimé à 34 retenues, dont 17 sont exploitées et une capacité de stockage totale de 4,5 hm³ et une superficie d'irrigation d'environ 540 hectares, sachant qu'il y a 33 sites pour la construction de petits barrages d'une capacité de stockage d'environ 15,81 hectares cubes et d'une superficie d'irrigation d'environ 384 hectares.

8.3.2.1. Indicateurs d'irrigation agricole

- Nombre de retenues d'eau exploitées : 17
- Volume d'eaux mobilisé : 4,5 Hm³
- Surface sous arrosage : 540 ha
- Nombre de grand périmètre exploité irrigués : 01
- Superficie équipée : 16 514 ha

Nombre de grand périmètre programmé : 01

- Superficie programmée pour la transformation : 9200 ha

8.3.2.2. Petite périmètre irrigué PPI

La superficie des terres irriguées dans les moyens périmètres est très considérée et est estimée à environ 760 ha et est représentée par (El Frin, Chaffia, Moiyssia, Zribi), car ces trois périmètre ont été intégrés dans le périmètre irrigué de la plaine d'Al Tarf.

Le périmètre irrigué de Chaffia 250 ha, une étude de reconsidération de l'océan irrigué a été achevée, telle qu'elle figurait dans le plan quinquennal 2015-2019.

8.3.2.3. Grande périmètre irrigué Bounamoussa GPI

La superficie totale de la plaine de Bounamoussa est estimée 16 500 ha Dont 14800 ha irrigués Ce périmètre est irrigué du barrage de Bounamoussa à une moyenne de 95 millions de m³ an. On estime que les besoins d'un hectare sont d'environ 6000 Hm³/an. A noter que le montant accordé à la campagne d'arrosage est de 20 millions de mètres cubes (Fig.96).

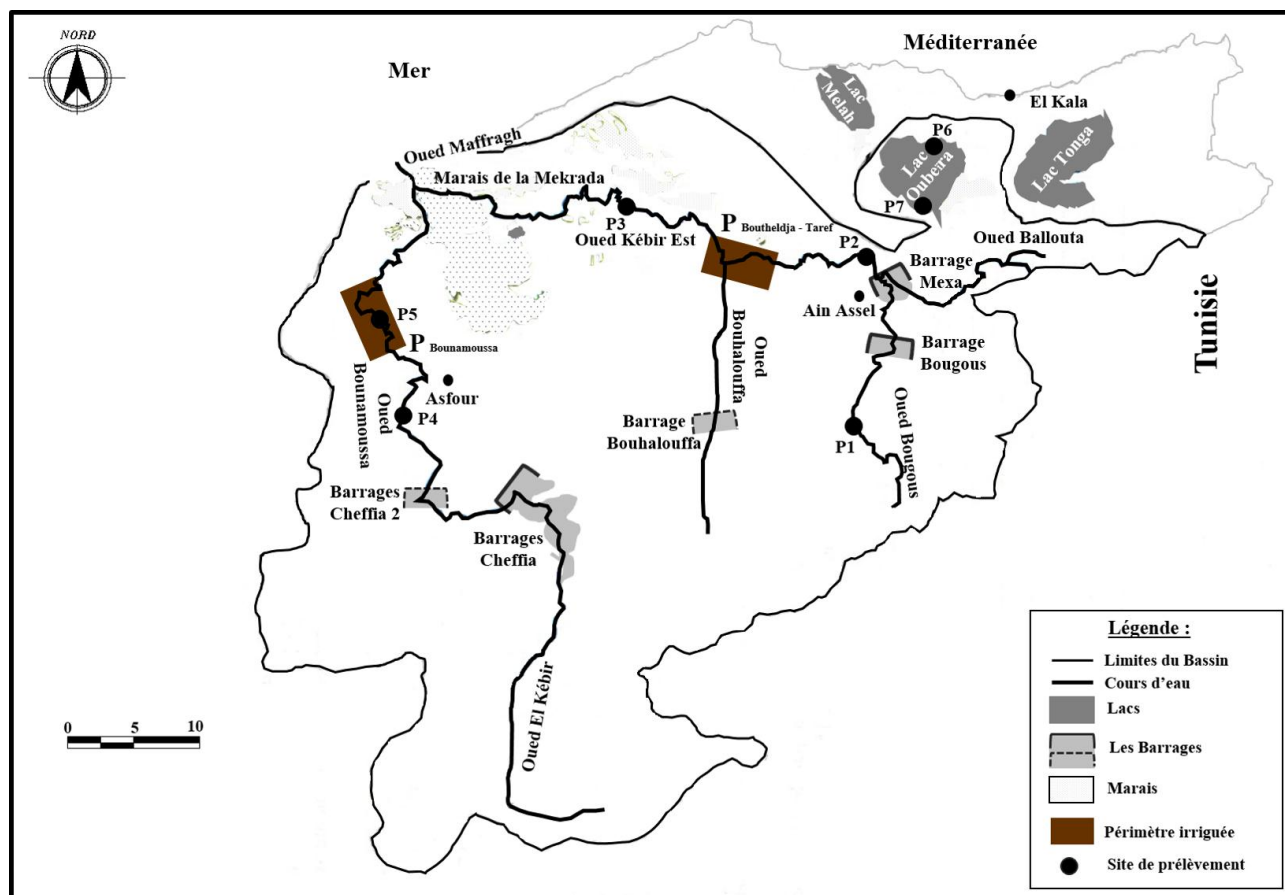


Fig.96. Carte du grand Périmètre irrigué du bassin de la Maffragh d'après Bahroun.S modifié par (Boubguira. S.2020)

8.4. Perspectives sectorielles à long terme (moyen et long terme)

Les études menées à ce jour ont montré la possibilité d'arroser environ 9200 hectares grâce à l'achèvement d'un complexe hydro-agricole pour la plaine d'El-Taref. Les besoins de cette dernière sont estimés à environ 93 Hm³/ an pour irriguer ces zones des barrages programmés (barrage Bouhalouffa, barrage Boulathan, barrage Bounamoussa 2) ainsi que la limite Des inondations qui affectent les plaines de l'État. Le taux de progression des travaux est estimé à 87%, avec une capacité de stockage de 125Hm³/an.

8.4.1. Transfer inter barrages Est et Ouest

Le développement de la région de la plaine d'El Tarf reste assujetti à la mobilisation des ressources en eau nécessaires à l'accroissement de la productivité agricole dans la région (Fig.98). Ces besoins seront satisfaits grâce à la réalisation des infrastructures hydrauliques suivantes.

- ❖ **Barrage BOUKHROUFA** : D'une capacité de 125 Hm³ et d'un volume régularisable de 95 Hm³/ An.
- ❖ **Barrage BOULATHANE** : D'une capacité de 24,40 Hm³ et d'un volume régularisable de 20,50 Hm³/ An.
- ❖ **Barrage BOUNAMOUSA II** : D'une capacité de 71 Hm³ et d'un volume régularisable de 41 ,63 Hm³/An. Transférant 39 Hm³/ An vers le Barrage Boulathane.
- ❖ **Barrage MELLILA** : Etude de faisabilité confiée au bureau d'études ENERGO-PROJEKT (SERBIE) le 10 Mai 2015 D'une capacité de 66 Hm³.

- **Déviation vers l'Est** : Le 20/10/2016, une étude a été initiée pour transférer l'eau d'une grande vallée vers le barrage de Bouhaloufa vers le barrage de Boulathane à une distance de 16 km. Cette étude a été soumise au bureau d'études (CENOR / HPO Portugais Algérie). Environ 39 millions de m³/an.

- **Transfert Ouest** : l'étude du transfert Est du barrage Bounamoussa 2 au barrage Boulathane à une distance de 39 km a été lancée. Cette étude a été soumise au TRACTEBEL ENGINEERIN COYNE ET BELLIER (franco-algérien). Ce transfert permet la pré-exploitation d'environ 16 millions de m³/an Les eaux ainsi transférées, seront destinées à l'irrigation de 5 558 ha (Fig.97).

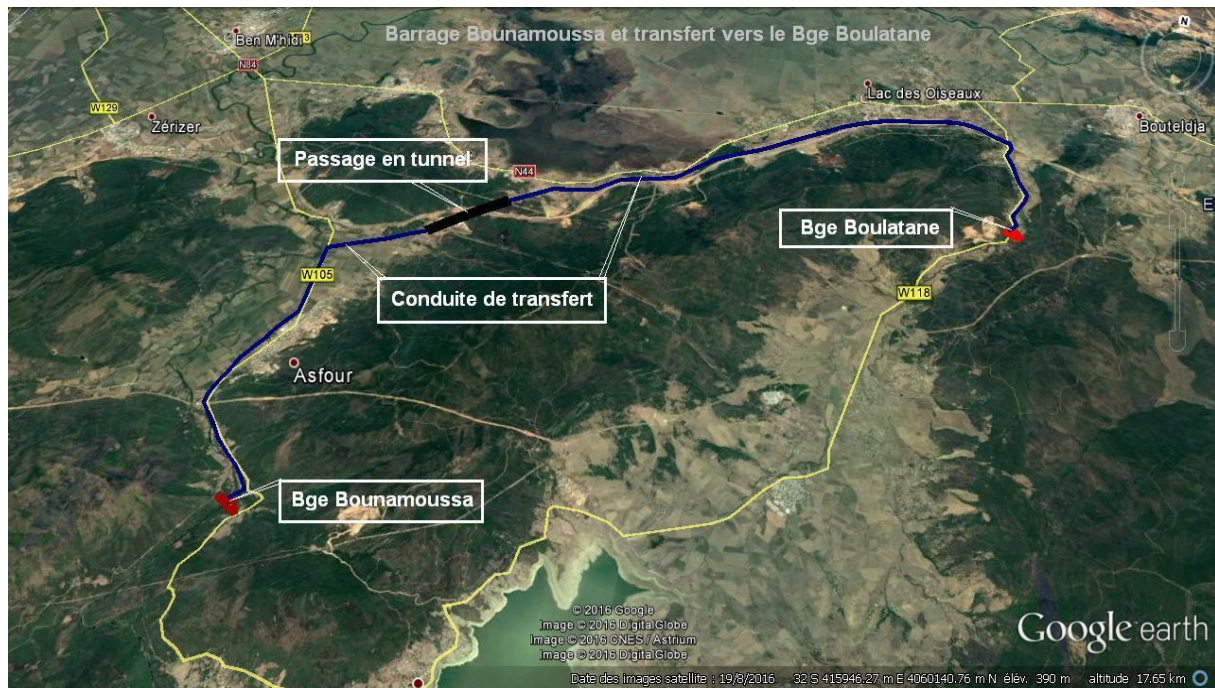


Fig.97. Transfert Oust Bounamoussa II- Boulatane

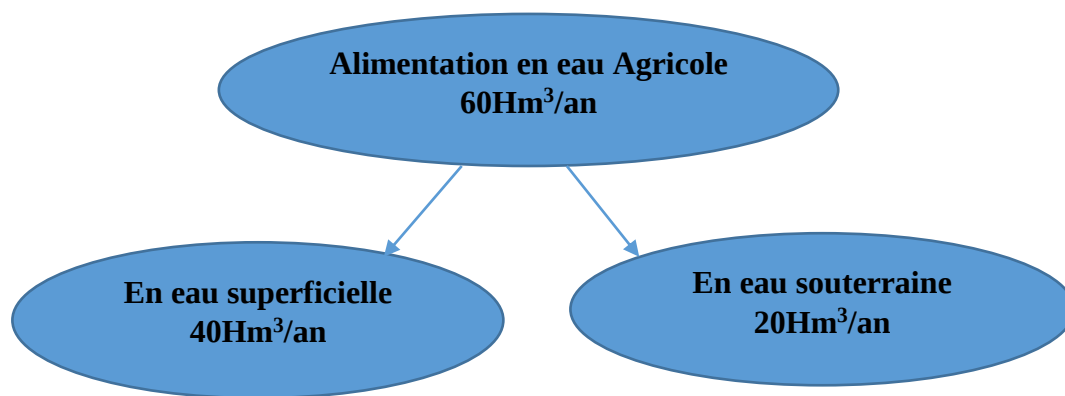


Fig.98. Répartition des eaux agricoles par nature de ressource

8.4.2. Objectifs du service Hydro agricole

L'objectif escompté du service hydraulique et agricole est d'arriver à faire l'extension des terres irriguées de la wilaya de El Tarf à 9200ha, en se basant sur le développement des investissements (GPI +PMH), toutefois ces programmes sont en cours de retenus actuellement ou la surface de la premier tranché d'aménagement des terres agricoles sont 3600ha et la surface de la deuxième tranché est 5600ha.

8.5. L'industrie

L'industrie dans le bassin versant de la Maffragh est considérée comme un utilisateur d'une importance insignifiante par rapport des deux premiers usagers(Fig.99) et (Tab.45).

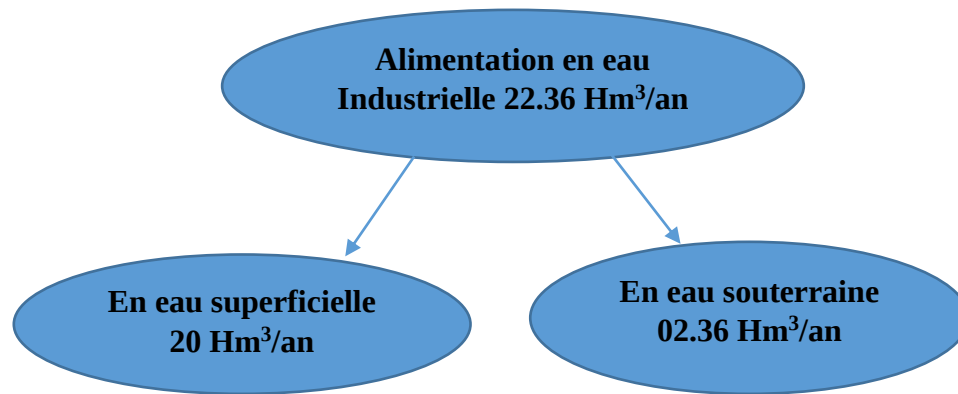


Fig.99. Répartition des eaux industrielles par nature de ressource

Tab.45.demande en eau industrielle (source DHW 2016)

Commune	Demande en eau industrielle m ³
El Tarf	12 500
Ben Mhidi	13 500
Bouteldja	13 500
Chabaita Mokhtar	232 800
Besbes	30 000
Echatt	117 000
Zerizer	13 500

8.6. Les contraintes liées aux ressources hydriques

Les trois usagers des ressources en eau engendrent actuellement un souci majeur, car ces sont des domaines responsables des plus importantes sources de pollution, tels que la pollution urbaine représentée par les rejets urbains de l'ensemble des communes qui sont déversés sans traitement préalable dans les Oued et ses affluents, une pollution industrielle, à partir des unités de production qui déversent leurs effluents au niveau des Oued, et une Pollution agricole, due à l'existence de plusieurs fermes pratiquant divers types d'élevages et ne disposant d'aucun équipement de sécurité contre la pollution et à l'utilisation intensive des engrais et de pesticides.

8.7. La modélisation dans la gestion des ressources en eau

8.7.1. Le WEAP un modèle de modélisation des ressources en eau

8.7.2. Introduction

Une des principales raisons de modéliser les ressources en eau est de cerner les processus en jeu pour une gestion durable et d'avoir une image spatiale sur l'état de différents variables explicatives en rapport avec la ressource sur une étendue importante (Droogers, 2002). WEAP (Water Evaluation And Planning System) est développé par « Stockholm Environment

Institute's Boston Center at the Tellus Institute, USA ». C'est un outil de planification des ressources en eau, il permet d'évaluer une gamme complète d'options de développement de l'eau et de gestion, et tient compte des multiples utilisations concurrentes de l'eau. WEAP permet également d'établir des liens dynamiques vers d'autres modèles et des logiciels tels que MODFLOW (SEI, 2008), un programme informatique qui résout numériquement l'équation d'écoulement des eaux souterraines en trois dimensions pour un milieu poreux en utilisant la méthode des différences finies (Harbaugh, 2005).

8.7.3. L'approche de WEAP

Opérant avec les principes de base de la balance d'eau, WEAP est applicable aux systèmes municipaux et agricoles, à des zones de planification uniques ou pour des systèmes complexes de rivières à limites étendues. De plus, WEAP peut traiter une large gamme de questions ; analyses sectorielles de la demande, préservation de l'eau, droit à l'eau et priorités d'allocation, simulation des eaux souterraines et de surface, gestion des retenues, production d'énergie hydraulique, suivi des pollutions, exigences des écosystèmes, mesures de vulnérabilité et les analyses de bénéfice - coût des projets. L'analyste représente le système en terme de ses diverses sources de fourniture d'eau (rivières, cours d'eau, eau souterraine, barrages et stations de dessalement) ; les retraits, les transferts et les possibilités de traitement des eaux usées ; les exigences des écosystèmes ; les demandes en eau et la génération de pollution.

8.7.3.1. La modélisation par WEAP

Les applications de WEAP incluent généralement plusieurs étapes. La définition de l'étude qui identifie la période de simulation, les limites spatiales, les composantes du système et la configuration du problème. L'État Actuel, qui peut être considéré comme une étape de calage dans l'élaboration d'une application, fournit une vue instantanée de la demande en eau actuelle, de la charge de pollution, des ressources et des fournitures pour le système. Les hypothèses de base doivent être construites dans cet État Actuel pour représenter les politiques, les coûts et les facteurs qui affectent la demande, la pollution, la fourniture et l'hydrologie. Les Scénarios sont construits sur la base de l'État Actuel. Ils permettent d'explorer les impacts d'hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité et l'usage de l'eau dans le futur. Finalement les scénarios sont évalués à l'égard de la suffisance de l'eau, des coûts et des bénéfices, de la compatibilité avec les objectifs environnementaux et à l'égard de la sensibilité à l'incertitude dans l'estimation des variables clefs (User Guide for WEAP21, 2008). Dans le cadre de la réalisation de cette étude et dans le but d'arriver aux

objectifs tracés, nous avons adopté un processus méthodologique fondé sur les étapes suivantes :

8.7.3.2. La définition de l'étude

Qui identifie la période de simulation, les limites spatiales, les composantes du système et la configuration du problème.

Durant notre étude, nous allons essayer de traiter la problématique de l'évolution de la demande en eau, l'estimation des rejets des eaux usées et la nécessité de l'implantation d'une station de traitement des eaux usées dans les communes du bassin versant de la Meffragh, où la population est en constante augmentation par conséquent plus de construction de logements, cela signifie plus de consommation d'eau, d'où l'augmentation des eaux domestiques usées rejetées directement dans les oueds sans traitement. Ce rejet d'eaux usées dans l'Oued peut crier de nombreux problèmes environnementaux et écologiques, nous mentionnons parmi eux :

- ✓ La pollution des Oueds, la pollution des nappes phréatiques.
- ✓ la pollution des vergers limitrophes à l'Oued où on constate de visu la mort d'arbres fruits.
- ✓ la dégradation de l'environnement.

Ajouté à cela la prolifération des insectes et moustiques et la puanteur qui se dégage des eaux usées tous cela représentent un danger réel pour les habitants, cela nous emmène à nous poser les questions suivantes :

- Quelle est l'importance de l'implantation des stations d'épuration pour résoudre le problème des rejets dans la nature ?
- la quantité réelle des eaux usées rejetées quotidiennement ?
- Quelle est la capacité de la station d'épuration ?

8.7.3.3. L'état Actuel

Qui peut être considéré comme une étape de calage dans l'élaboration d'une application, fourni une vue instantanée de la demande en eau actuelle, de la charge de pollution, des ressources et des fournitures pour le système.

C'est l'année de référence qui sert comme année de base du modèle et tout le système d'information (les données de la demande et de la distribution de l'eau) est introduit dans l'état actuel. L'année 2008 c'est l'année de référence et ses données construits le compte d'état actuel « Current Account », pour cette étude, et à partir duquel les scénarios sont construits.

Les Scénarios explorent les changements possibles du système dans les années futures, après l'année de l'état actuel.

8.7.3.4. Les Scénarios

Sont construits sur la base de l'Etat Actuel. Ils permettent d'explorer les impacts d'hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité et l'usage de l'eau dans le futur.

8.7.3.5. Les Scénarios sont Evalués

À l'égard de la suffisance de l'eau, des coûts et des bénéfices, de la compatibilité avec les objectifs environnementaux et à l'égard de la sensibilité à l'incertitude dans l'estimation des variables clefs. dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarii pour évaluer les effets des changements socio-économiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur.

Un scénario de référence est établi à partir des Comptes actuels pour simuler la même évolution du système sans intervention. Finalement, des scénarios « Quoi si » peuvent être créés pour changer le scénario « Référence » et évaluer les effets des changements des politiques et/ou des technologies. Dans notre cas, les hypothèses principales sont :

- ✓ Taux d'accroissement de la population par une régression selon les données des recensements anciens
- ✓ Dotation de 90 l/j/habitant, selon une enquête réalisée.

Une enquête est une activité organisée et méthodique de collecte de données sur des caractéristiques d'intérêt d'une partie ou de la totalité des unités d'une population à l'aide de concepts, de méthodes et de procédures bien définis. Elle est suivie d'un exercice de compilation permettant de présenter les données recueillies sous une forme récapitulative utile.

Tout d'abord nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont pris la peine de répondre à notre questionnaire, le but de celui-ci est de savoir la quantité d'eau utilisé par chaque personne, la période de déroulement est pendant une durée de 25 jours, elle a été créé par google forms à la wilaya de El Tarf. On a ciblé toutes les catégories sociales (les adultes, les jeunes...etc.) avec un Echantillonnage : Aléatoire simple non probabiliste. On a interrogé 120

personnes, nous avons essayé de poser des questions qui ont une relation directe avec l'utilisation de l'eau domestique :

- ✓ **Question 01** : Le sexe
- ✓ **Question 02** : l'âge
- ✓ **Question 03** : La quantité d'eau potable consommée par jour ?
- ✓ **Question 04** : Le nombre de fois que vous utilisez les toilettes par jour ?
✓ La quantité d'eau utilisée dans les toilettes ?
- ✓ **Question 05** : La quantité d'eau d'ablution utilisée dans la journée ?
- ✓ **Question 06** : Le nombre de fois que vous vous douchez par semaine ?
✓ La quantité d'eau utilisée pour chaque douche ?
- ✓ **Question 07** : La quantité d'eau utilisée au travail ?
- ✓ **Question 08** : Le nombre de fois que vous nettoyez la maison par semaine ?
✓ La quantité d'eau utilisée pour nettoyer la maison ?
- ✓ **Question 09** : La quantité d'eau utilisée dans la cuisine par jour ?

Il faut noter que WEAP possède une fonction qui permet de calculer automatiquement le nombre de population future. Le logiciel modélise automatiquement les besoins en eau futur en fonction des utilisateurs. Les scénarios sont élaborés par l'introduction d'expressions mathématiques sous formes d'hypothèses clés traduisant les différents cas de figures à examiner (fig.100).

Les dotations journalières introduites pour les autres Scénario sont celles utilisées par les institutions officielles des services hydrauliques de la wilaya (120 l/j/hab), et les dotations théoriques selon les institutions mondiales (180 l/j/hab).le taux d'accroissement est de l'ordre de 2,2 % selon les services de la wilaya de El Tarf.

Les projections des tendances des surfaces agricoles dans le scénario 3 sont de l'ordre de 1%, ce taux peut servir à exploiter toutes les surfaces agricoles à long terme. Nous avons proposé dans ce scénario l'utilisation de l'irrigation par les méthodes moderne cette méthode peut réduire la consommation en eau agricole jusqu'à 50%.

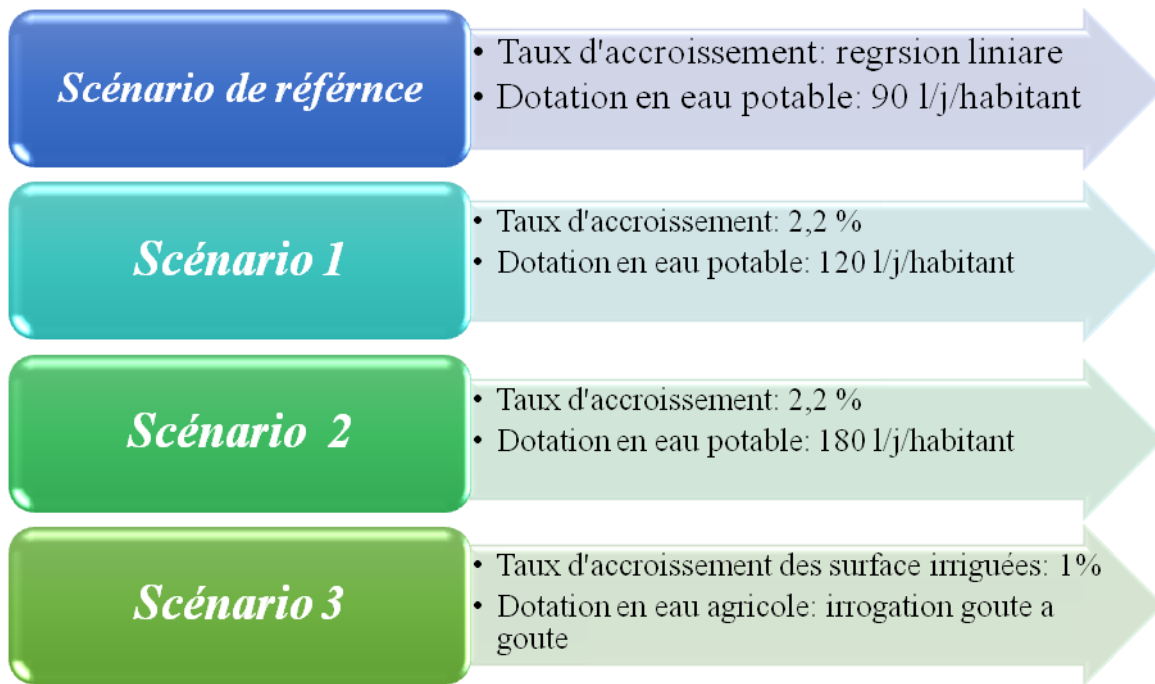


Fig.100. Organigramme de la création des scénarios

8.8. Introduction et traitement des données

Le modèle WEAP est un outil permettant de planifier la gestion intégrée des besoins en eau, la gestion intégrée des ressources en eau nécessite certaine connaissance aussi parfaite que possible sur : La réserve et la ressource en eau, Les sites de l'offre ou captage et Les sites de demandes. On introduit les données des sites de demande (population et consommation) et les sites de l'offre : eau de surface (barrages) et eaux souterraines exploitées (forages, puits) et on saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur (Fig.101).

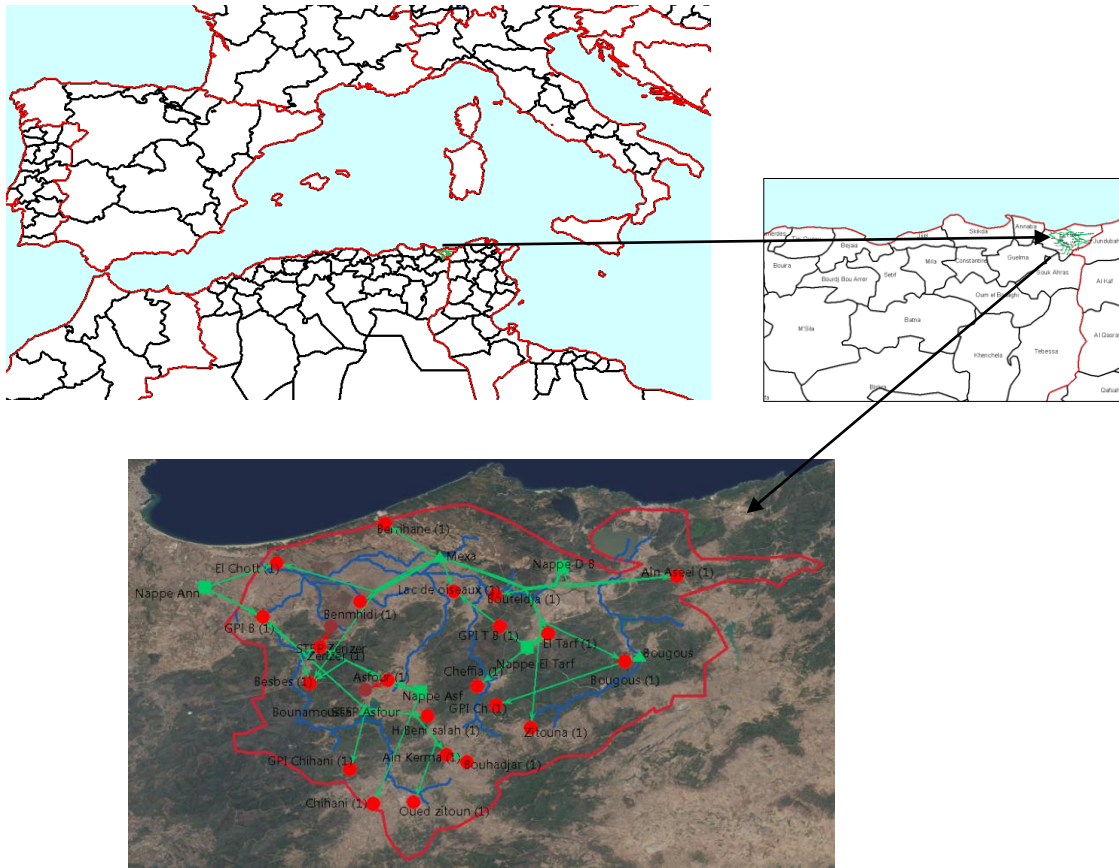


Fig.101. Carte de la zone d'étude dans le logiciel WEAP

8.8.1. Les sites des ressources d'eau

- Tracer le réseau hydrographique dès l'Oueds Bounamoussa, El Kébir Est, Maffragh et de placer également les sites (Fig.102),
- Le site des eaux superficielles par les Barrage de Bounamoussa, Mexa, Bougous,
- Le site des eaux souterraines, l'ensemble des aquifères représentée par 4 nappes.



Fig.102. Emplacement des sites de l'offre

8.8.2. Les sites des demandes en eau

Un site de demande est mieux défini comme un ensemble d'utilisateurs d'eau qui partagent un système de distribution physique, qui se trouvent tous dans une région définie ou qui partagent un point d'approvisionnement de prélèvement important

- Les chefs lieu du 18 communes existantes dans le bassin versant (Fig.103),
- Les cites agricole irriguée pour chaque commune,

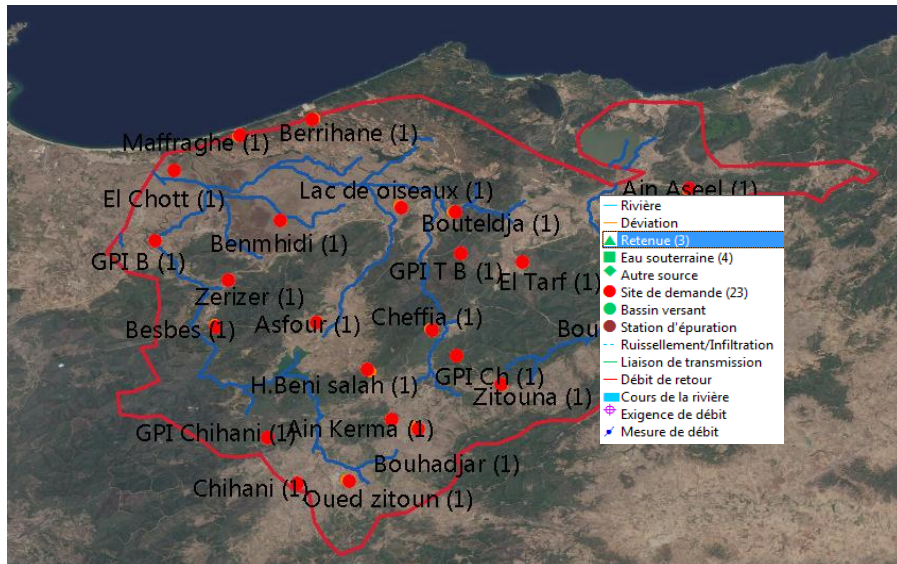


Fig. 103 : Emplacement des sites de demande

Le niveau d'activité annuelle qui détermine la demande tel que le nombre d'utilisateurs de l'eau pour des motifs domestiques ou le niveau de consommation d'eau par unité d'activités (Fig.104).

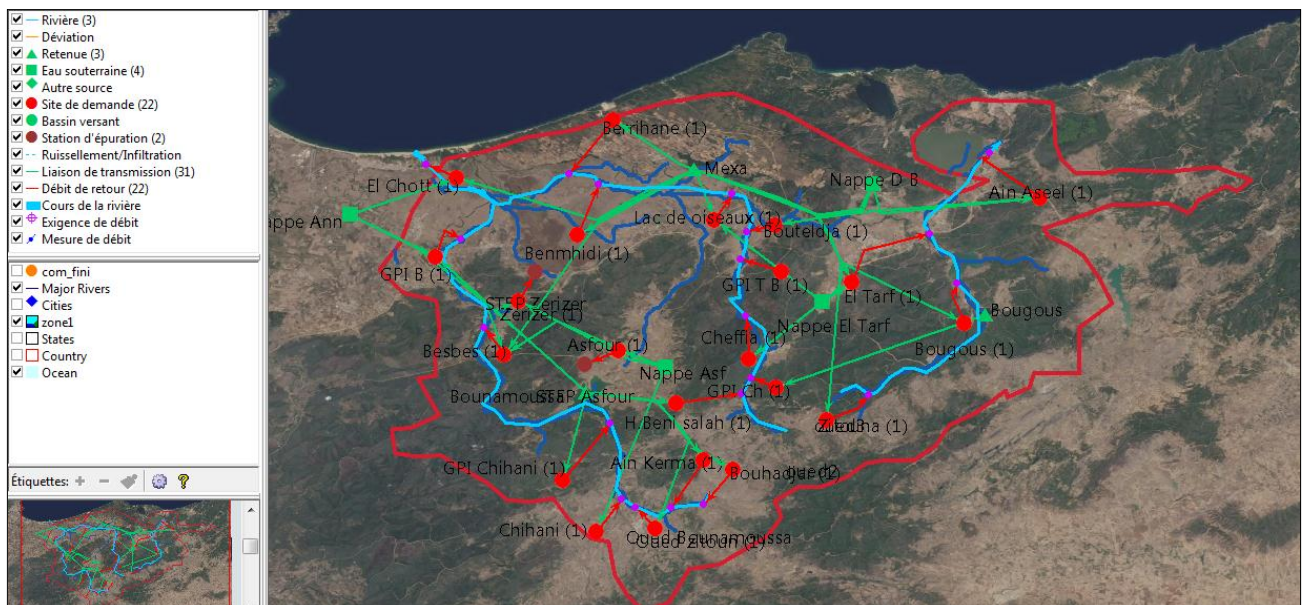


Fig.104. Schéma finale du model WEAP

8.9. Présentation des méthodes de calcul

Les résultats se présentent sous forme de graphe ou de tableau. On aura les résultats de l'année de référence et des scénarios proposés.

8.9.1. Demande annuelle

La demande en eau d'un site de demande (DS) est calculée comme la somme des demandes pour toutes les branches inférieures du site de demande (Br). Une branche de niveau inférieur est celle qui n'a pas de branches en dessous.

$$\text{Annual Demand DS} = (\text{Total Activity Level Br} \times \text{Water Use Rate Br}) \dots (1)$$

Le niveau d'activité total pour une branche de niveau inférieur est le produit des niveaux d'activité dans toutes les branches de la branche inférieure jusqu'à la branche du site de demande.

$$\text{Total Activity Level Br} = \text{Activity Level Br} \times \text{Activity Level Br}' \times \text{Activity Level Br}'' \dots (2)$$

8.9.2. Demande mensuelle

La demande pour un mois (m) est égale à la fraction de ce mois (spécifiée sous forme de données sous Demande \ Variation mensuelle) de la demande annuelle ajustée.

$$m = \text{Monthly Variation Fraction DS}, m \times \text{Adjusted Annual Demand DS} \dots (3)$$

8.9.3. Flux de site de demande

La quantité fournie à un site à la demande (DS) est la somme des entrées provenant de ses liaisons de transmission. (Le flux vers le site de demande à partir d'une source d'approvisionnement (Src) est défini comme le flux sortant de la liaison de transmission les reliant, c'est-à-dire net de toute fuite le long de la liaison de transmission).

$$\text{Demand Site Inflow DS} = \text{Trans Link Out flow Src}, \text{DS} \dots (4)$$

Chaque site de demande a un besoin d'approvisionnement mensuel en eau, tel que calculé dans les calculs de la demande. L'apport sur le site de demande correspond à cette exigence, sauf en cas de pénurie d'eau due à des contraintes hydrologiques, physiques, contractuelles ou autres. une partie de l'eau reçue par un site de demande ne sera pas disponible pour une utilisation ailleurs dans le système (c'est-à-dire parce que l'eau est consommée - perdue par évaporation, incorporée dans des produits ou non prise en compte - elle disparaît du système dans notre cas elle est de l'ordre de 85 %). Cette fraction de consommation est saisie comme données.

$$\text{Consommation DS} = \text{Demand Site Inflow DS} \times \text{Demand Site Consumption DS} \dots (5)$$

Parmi les apports non consommés, le reste s'écoule du site de demande, soit vers un autre site de demande pour réutilisation, vers une station d'épuration pour traitement, soit vers les eaux de surface ou souterraines. Tout site de demande réutilisant directement ce flux sortant

prendra ce dont il a besoin. Le reste est envoyé vers les différentes destinations de retour. (Ces fractions de routage de flux de retour sont entrées en tant que données

8.9.4. Flux de liaison de transmission

Dans une liaison de transmission d'une source d'approvisionnement (Src) à un site de demande (DS), la quantité livrée au site de demande (c.-à-d., Le flux sortant de la liaison de transmission) est égale au montant retiré de la source (c.-à-d. liaison de transmission) moins les pertes le long de la liaison.

$$\text{Trans Link Outflow Src, DS} = \text{Trans Link Inflow Src, DS} - \text{Trans Link Loss Src, DS} \dots (6)$$

Les pertes dans la liaison de transport représentent une fraction de son afflux, où les taux de perte sont saisis en tant que données (voir Approvisionnement et ressources \ Liaisons de transmission \ Pertes de transmission).

$$\text{Trans Link Loss Src, DS} = (\text{Trans Link Loss From System Src, DS} + \text{Trans Link Loss To Groundwater Src, DS}) \times \text{Trans Link Inflow Src, DS} \dots (7)$$

8.9.5. Flux de lien de retour de site de demande

Les liaisons de retour des sites de demande transportent les eaux usées des sites de demande (DS) vers des destinations (Dest), qui peuvent être des usines de traitement des eaux usées ou des plans d'eau récepteurs. La quantité qui entre dans le lien est une fraction du flux de retour du site de demande (flux sortant moins le flux vers les sites de demande pour la réutilisation).

La quantité qui atteint la destination (c'est-à-dire le flux sortant du lien) est égal au flux sortant du site de demande (c'est-à-dire l'afflux vers le lien) moins les pertes le long du lien.

$$\text{DS Return Link Outflow DS, Dest} = \text{DS Return Link Inflow DS, Dest} - \text{DS Return Link Loss DS, Dest} \dots (8)$$

8.10. Résultats et discussions

Pour mieux comprendre la confrontation entre l'offre et la demande en eau dans le bassin versant de la Meffragh, nous allons faire une projection sur l'évolution de la population et les besoins en eau potable dans le futur. En schématisant cette évolution par quatre scénarios détaillés dans les schémas ci-dessous

8.10.1. Demande en eau

Les sites de demande sont représentés par le nombre d'habitant actuel, calculé par le logiciel WEAP en utilisant le nombre de population et le taux d'accroissement l'année de base 2008.

8.10.1.1. Scénario de référence

Face à la croissance de la population des agglomérations, la demande en eau potable pour le scénario de référence augmente régulièrement entre 2008 et 2050, elle a augmenté de 6 millions de m³ en 2008, pour atteindre en 2030 environ de 13 millions de m³ et elle s'élèvera au total en 2050 à environ 21 millions de m³.

Le graphique ci-dessous (fig.105) montre que les communes de Ben Mhidi, chatt et El Tarf sont les plus consommatrices en eau domestique ceci se traduit par le nombre de la population élevé et le mode de vie dans ces villes.

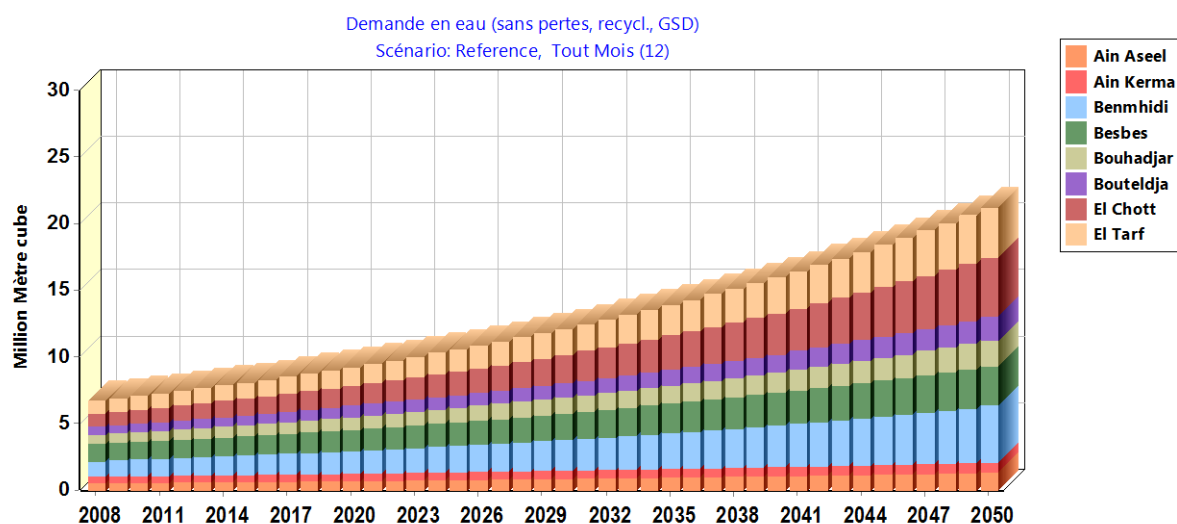


Fig. 105. Evolution de la demande en eau - Référence scenario-

8.10.1.2. Scénario 01

Le scénario 01 : montre le scénario avec une croissance de population de 2.2 % et une dotation de 120/l/jour, avec l'analyse visuelle on constate une augmentation significative dans la demande en eau potable entre 2009 et 2050, elle a augmenté de 13 millions de m³ en 2009, pour atteindre en 2030 environ de 20 millions de m³ et elle s'élèvera au total en 2050 à environ 31 millions de m³.

Le graphique ci-dessous (fig.106) montre aussi que les communes sont les plus consommatrices en eau domestique alors que l'on retrouve que le reste des zones sont les moins consommatrices. Et on constate une augmentation significative de la demande en eau potable par rapport au scénario de référence.

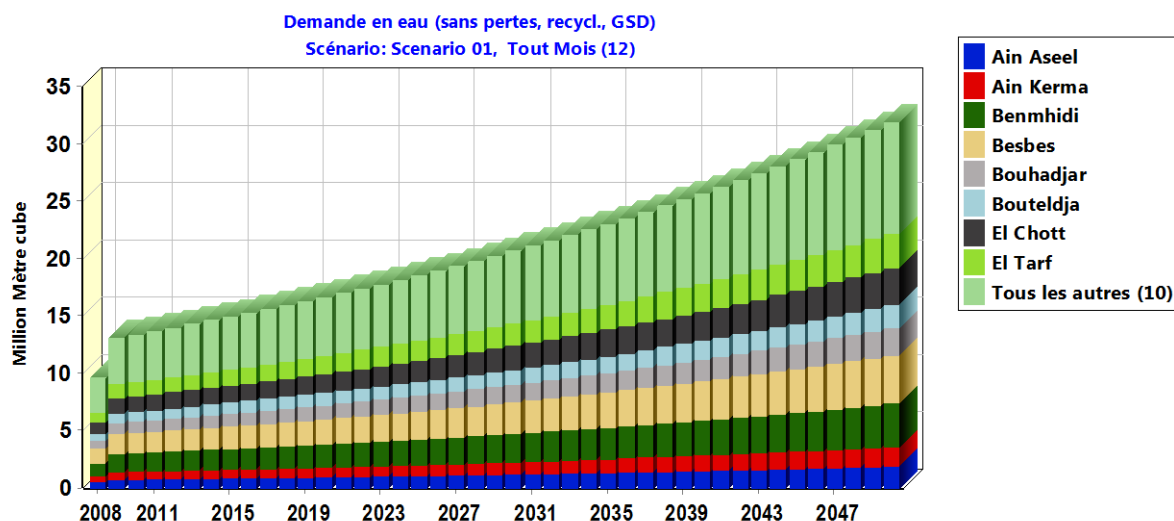


Fig.106. Evolution de la demande en eau - Scénario 01-

8.10. 1.3. Scénario 02

Ce scénario montre le scénario avec une croissance de population de 2.2% et une dotation de 180/l/jour, avec l'analyse visuelle on constate une augmentation aussi significative dans la demande en eau potable entre 2009 et 2050, elle a augmenté de 20 millions de m³ en 2009, pour atteindre en 2030 environ de 30 millions de m³ et elle s'élèvera au total en 2050 à environ 47 millions de m³ (Fig.107).

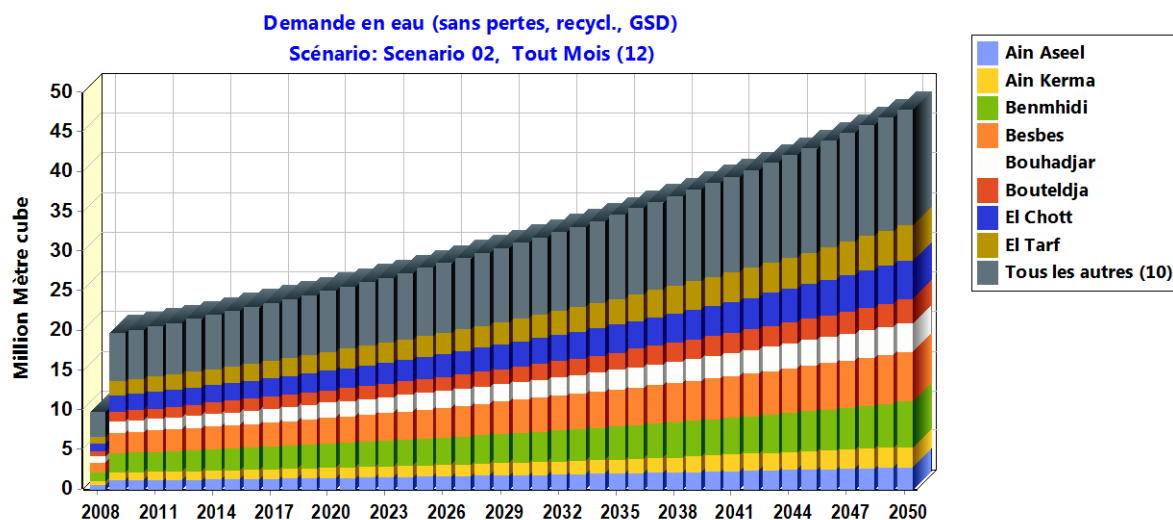


Fig.107. Evolution de la demande en eau - Scénario 02-

8.10. 1. 4. Scénario 03

Le scénario 03 montre le scénario de l'extension surface agricole avec une croissance de la superficie de 1% et l'utilisation des techniques modernes d'irrigation, on constate une diminution aussi significative dans la demande en eau d'irrigation entre 2009 et 2050, elle augmentera de 40 millions de m³ en 2009 (Fig.108), pour atteindre en 2050 environ de 60

millions de m³. Le graphique ci-dessous (fig.109) montre que l'utilisation des techniques d'irrigation modernes aura pour conséquence une diminution importante de la consommation en eau d'irrigation.

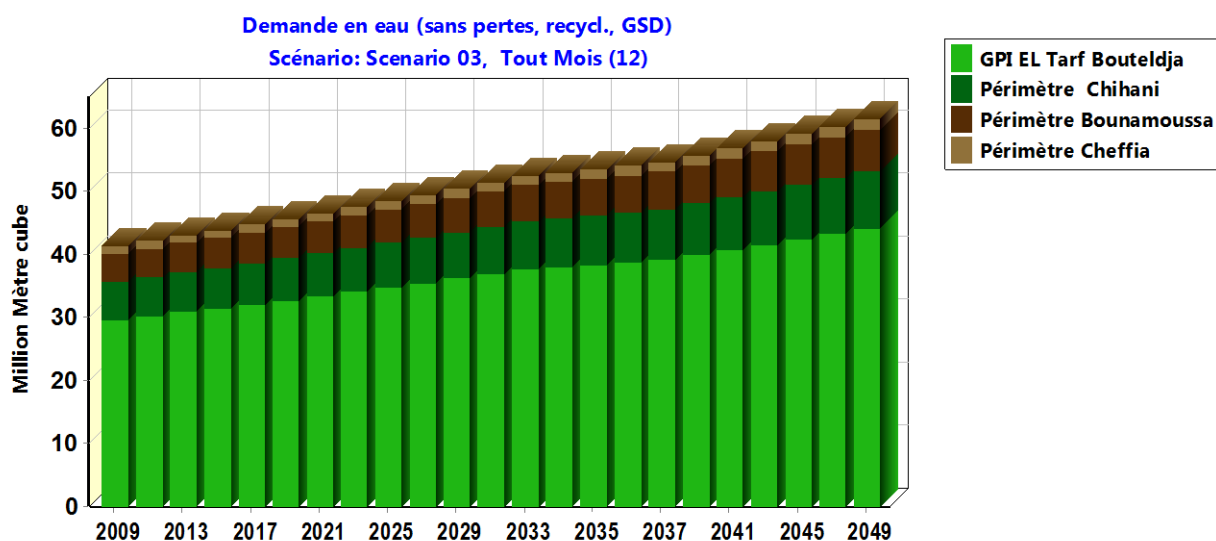


Fig.108. Evolution de la demande en eau - Scénario 03-

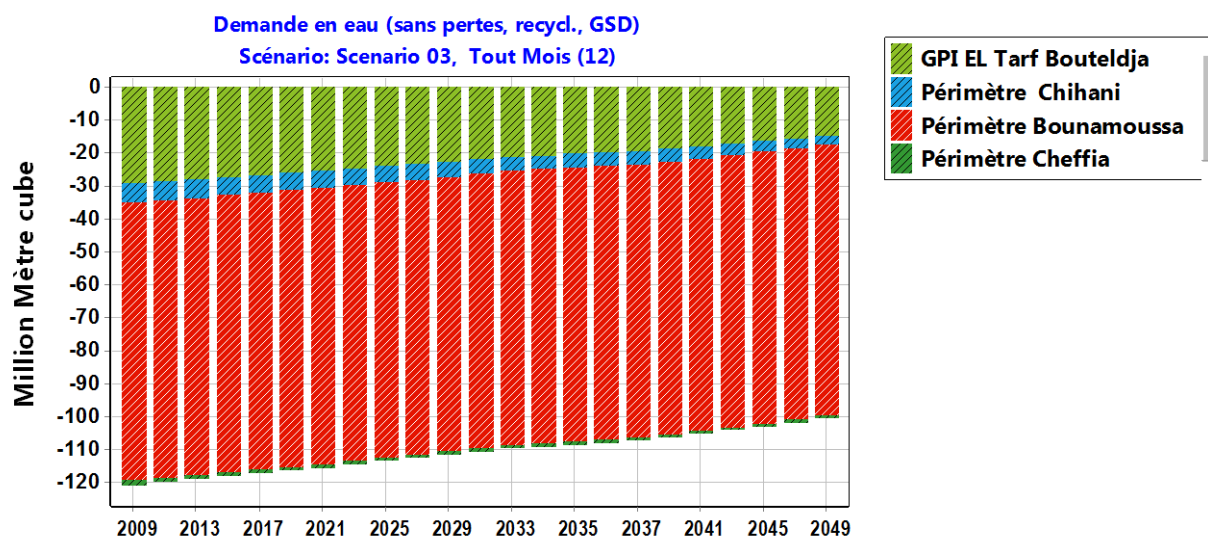


Fig.109. Comparaison entre l'évolution de la demande en eau agricole - entre scénario 01 et Scénario 03-

8.10. 1.5. Demande en eau global mensuelle

La demande en eau globale mensuelle augmente au même rythme de 2008 à 2050 pour tous les scénarios où la demande est plus élevée durant la période du mois de mai jusqu'au mois de septembre, cette augmentation est due à l'utilisation intensive pendant la période de l'été, diminution des ressources par l'effet du changement climatique et l'augmentation de la dotation. Les résultats obtenus montrent que la demande en eau du moi de janvier 2009 varié

entre 13 Million m³ pour le scénario de référence et 13.5 Million m³ pour le scenario 01(Fig. 110), cette demande accentuera durant toute la période et atteindre 14 Million m³ pour le scénario 02. la demande en eau pour le scénario 02 montre une augmentation remarquable a partir du février 2029 (16.2 Million m³) cette évolution continuera et atteint 17.8 Million m³ en octobre 2047 et dépassera les valeurs du scénario 01 et référence.

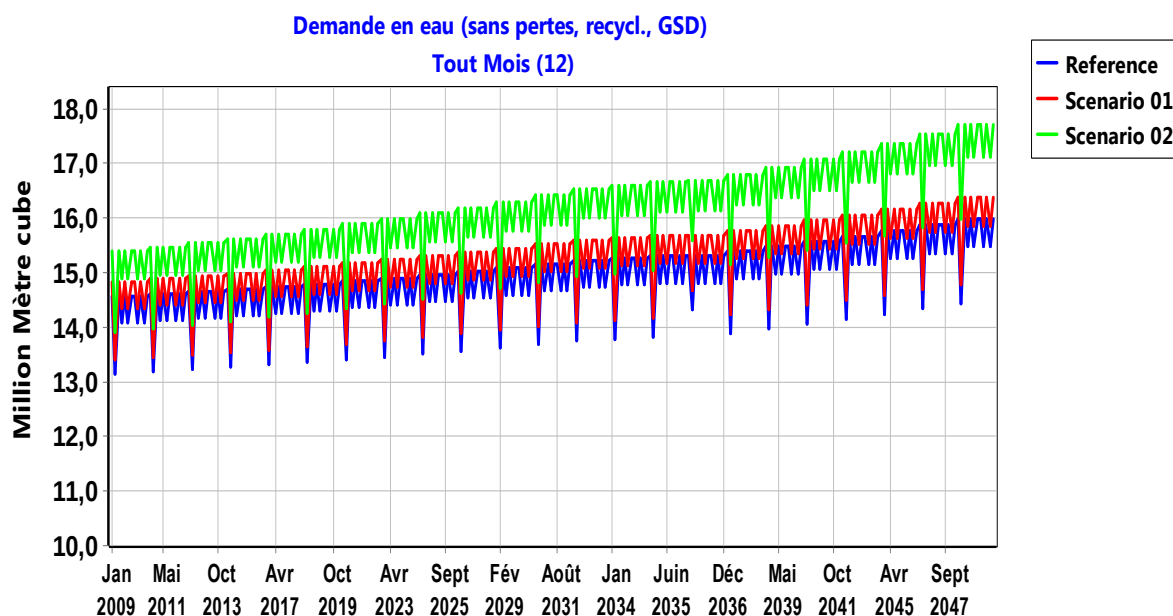


Fig.110. Evolution de la demande en eau mensuelle pour tous les scénarios

8.10. 2. Estimation des rejets

8.10. 2.1.Débits de retour pour le scénario de référence

Les résultats mentionnés dans la figure présentent une évolution progressive des rejets dans tous les sites de rejets. On observe que les valeurs des rejets pour les prochaines décennies sont très élevées pour le scénario de référence dans toutes les zones, Les débits de retours présentés dans (fig.111). Montrent des valeurs varies entre 25 000 et 100 000 m³ en janvier 2009, et dépassent 135000-165000 m³ en janvier 2030 pour les communes de Besbes, El Tarf, Ben Mhidi et El Chatt cette augmentation atteindre de 200 000 et 3000 000 m³ en 2050, ces débits sont considérables en terme des eaux non conventionnels. Les eaux traités peuvent minimiser le manque de l'eau si l'on réutiliser pour les besoins journalières, réalimentation artificiels des nappes ou bien pour le domaine agricole et industriels.

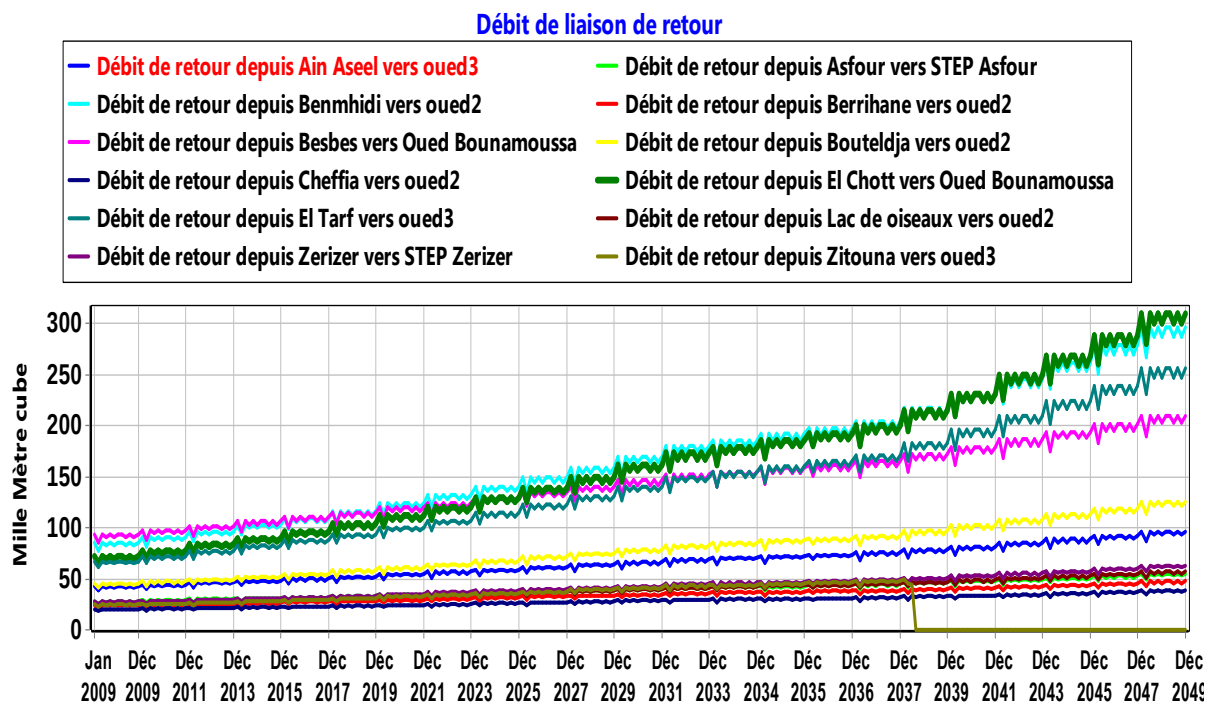


Fig.111. Evolution des débits de retours pour toutes les zones de rejets, *Scénario référence*

8.10. 2.2. Débits de retour pour le scénario 01

Les résultats mentionnés dans (fig.112) présentent une évolution progressive des rejets dans toutes les communes. On observe que les valeurs des rejets pour les prochaines décennies sont très élevées pour ce scénario dans toutes les zones, Les débits de retours restent très élevés de l'ordre de 25000-125000 m³ en janvier 2010, et dépassent 250000 m³ en 2050 dans les communes de Besbes et Ben Mhidi, on constate une augmentation significative des rejets par rapport au scénario de référence.

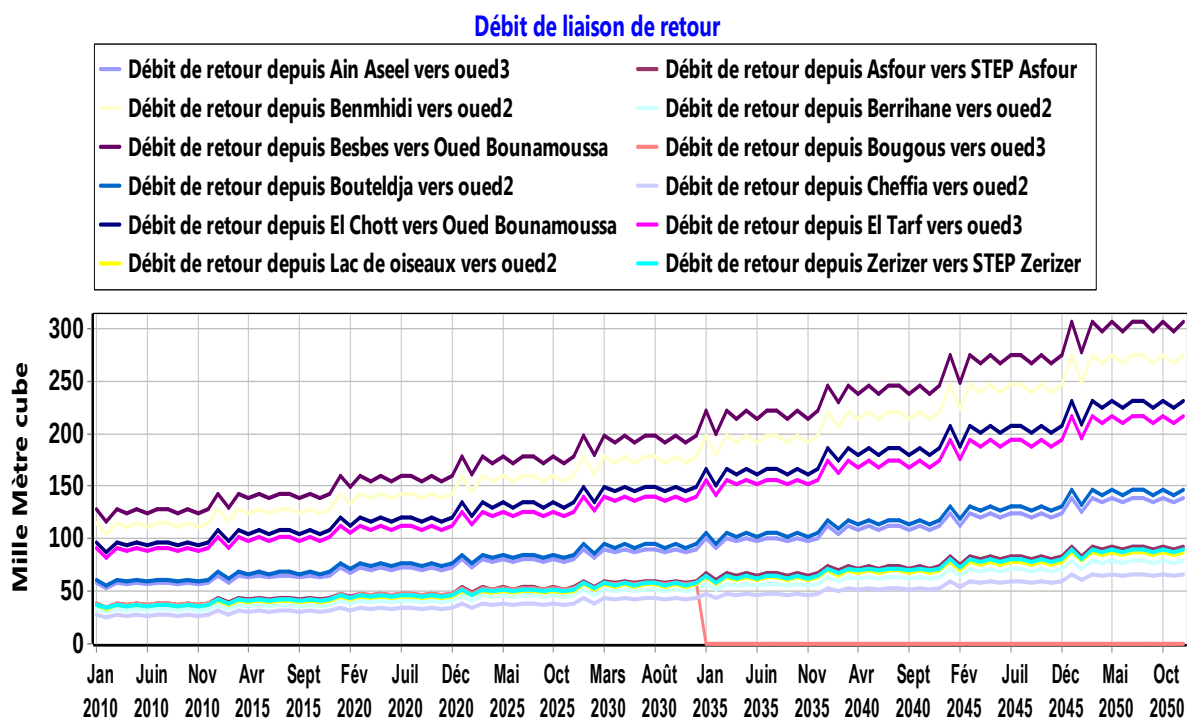
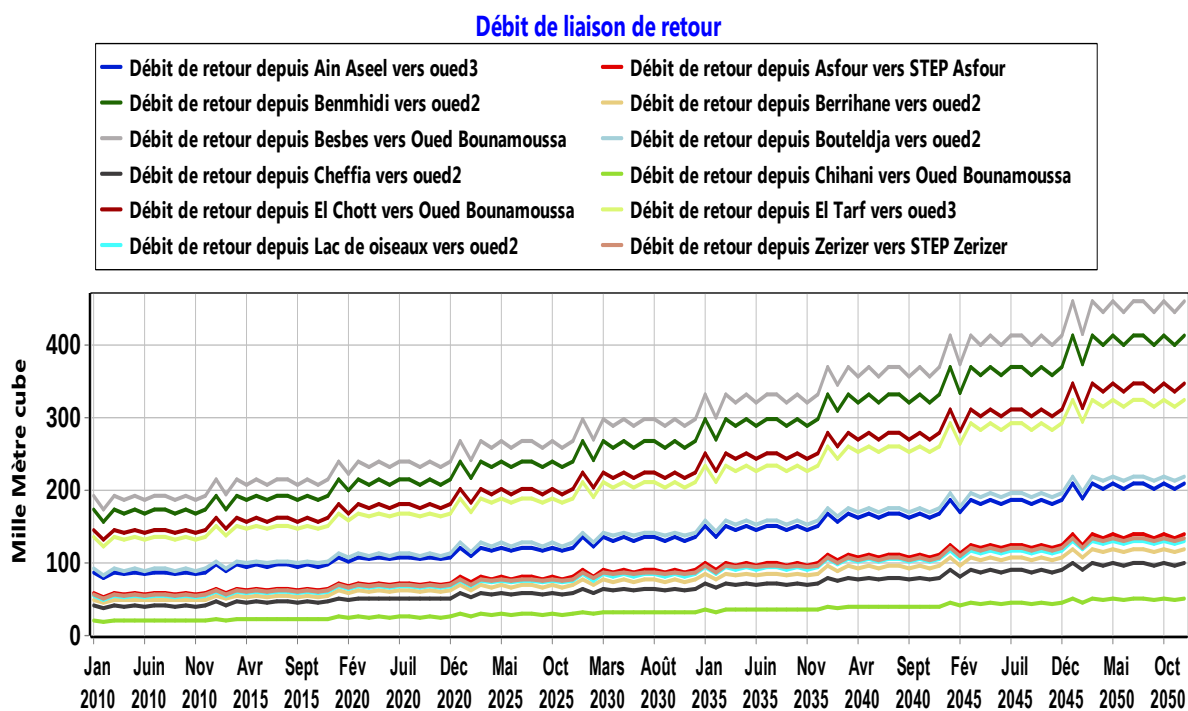


Fig.112. Evolution des débits de retours pour toutes les zones de rejets, *Scénario 01*

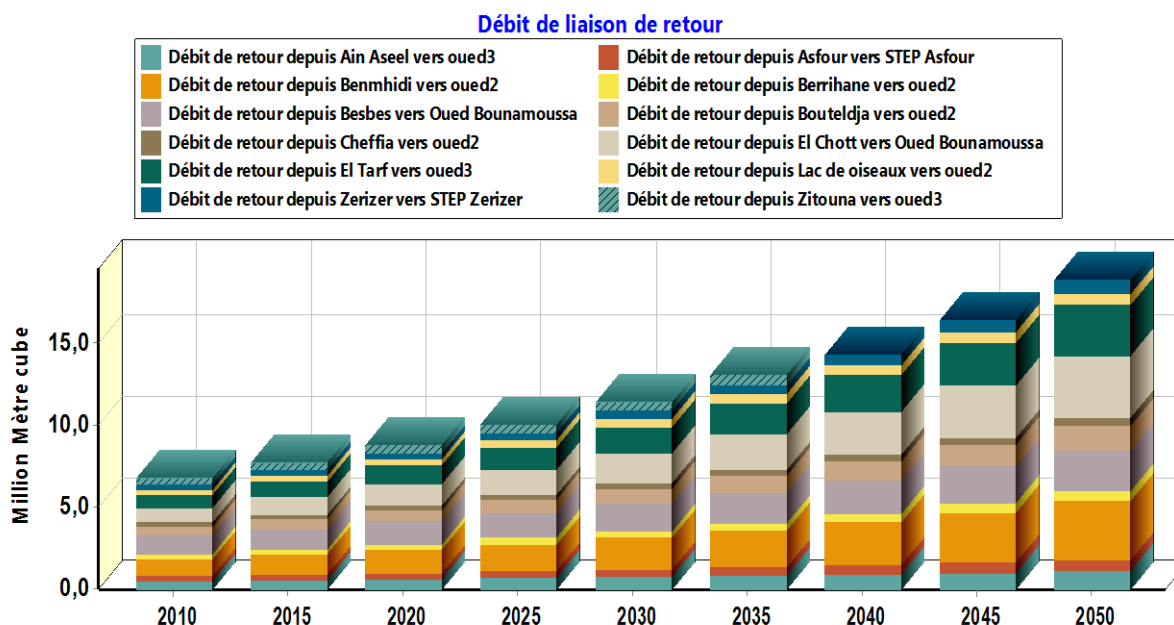
8.10. 2.3. Débits de retour pour le scénario 02

Les résultats présentent une évolution progressive des rejets dans toutes les stations d'épuration. On observe que les valeurs des rejets pour les prochaines décennies sont très élevées pour ce scénario dans toutes les zones, Les débits de retours des décennies présentés dans (fig.113) montrent des quantités de rejets très importante, surtout dans les communes de Besbes, El Tarf, Ben Mhidi et El Chatt où les valeurs des débit de retours dépassent les 300000 m³ en 2050.

Fig.113. Evolution des débits de retours pour toutes les zones de rejets, *Scénario 02*

8.10. 2.4. Débit de retour annuel pour le scénario de référence

La figure (114) montre la variation annuelle des débits de retour pour le scénario de référence on remarque que les eaux rejetées sont très importantes atteint un volume de 6 Million m³ en 2010 et dépassent 10 Million m³ en 2025 pour atteindre 18 Million m³ en 2050. On remarque que les deux stations d'épuration avec ses capacités d'épuration, peuvent traiter les rejets de la ville de Zrizer et Asfour, et ceci pour le scénario de référence.

Fig.114. Evolution des débits de retours annuel, *Scénario référence*

8.10. 2.5. Débit de retour annuel pour le scénario 01

La figure.115 montre la variation annuelle des débits de retour, on remarque que les eaux traitées sont importantes, atteignant un volume de 8 Million m³ en 2010 et dépassant 15 Million m³ en 2040 pour atteindre environ 20 Million m³ en 2050. On remarque une augmentation des rejets par rapport à la station de scénario des références.

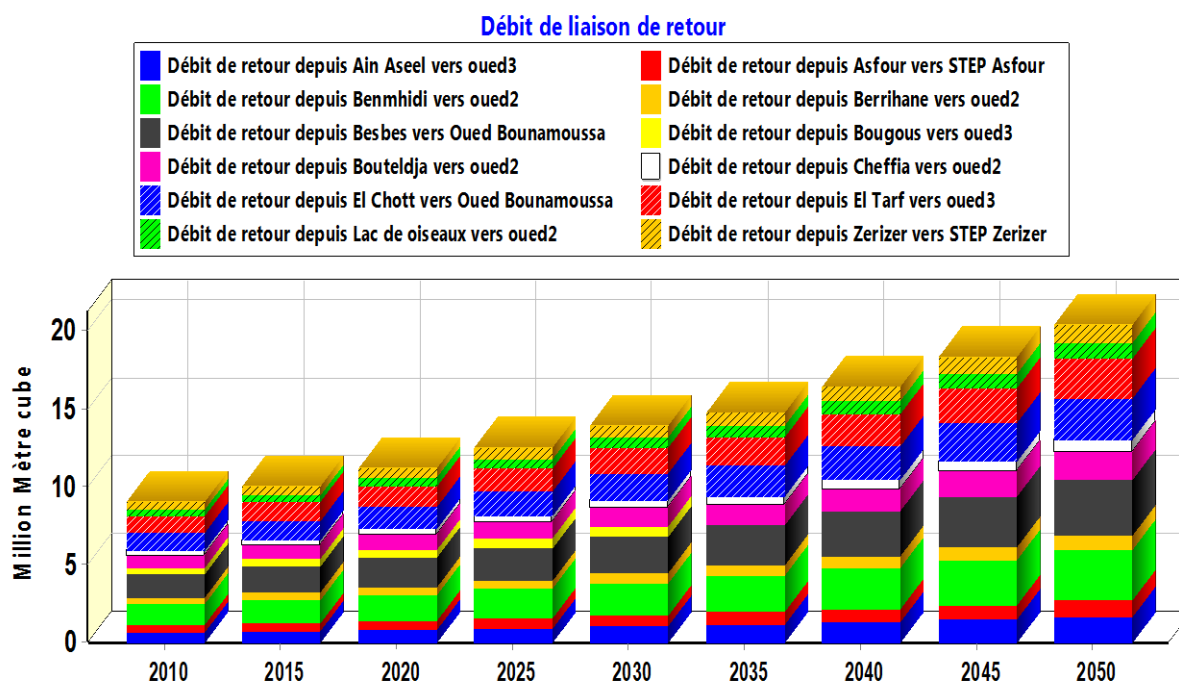
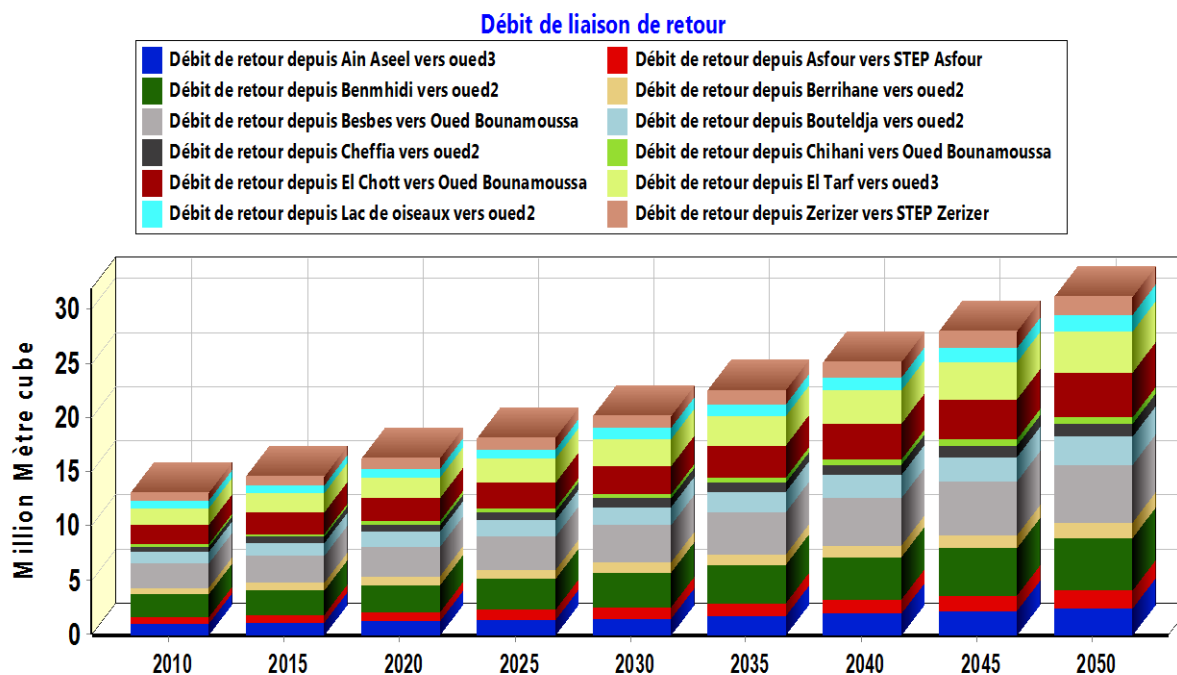


Fig.115. Evolution des débits de retours annuel, Scénario 01

8.10. 2.6. Débit de retour annuel pour le scénario 02

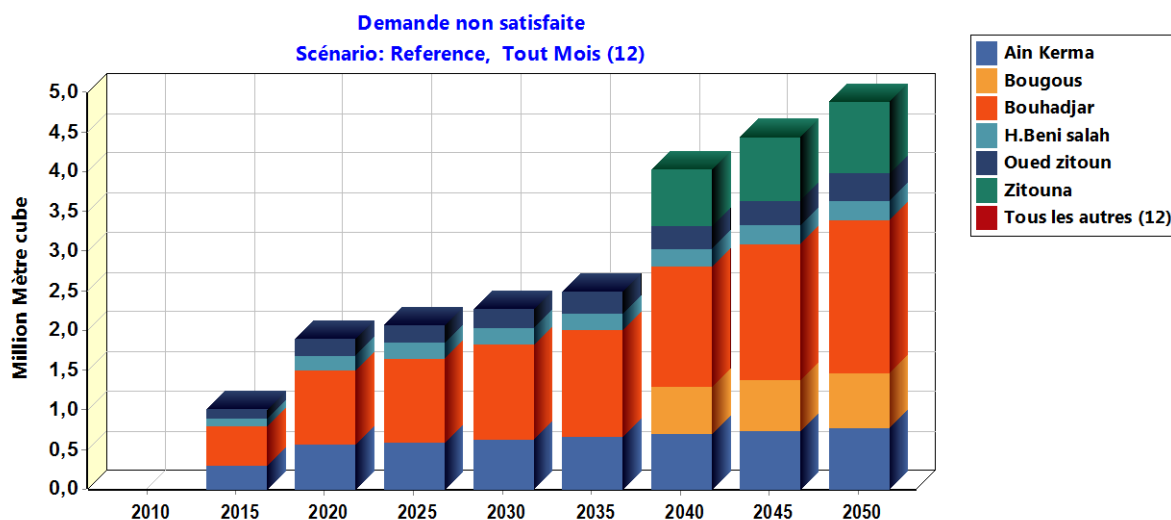
La variation annuelle des débits de retour dans la figure. 116 des rejets importants traités sont importants vu l'augmentation de la dotation dans ce scénario, les valeurs les plus élevées des rejets sont enregistrées dans la commune de Besbes, et une implantation d'une station d'épuration dans cette commune devenue une nécessité pour protéger l'environnement et utiliser cette eau épurée dans les différents secteurs.

Fig.116. Evolution des débits de retours annuel, *Scénario 02*

8.10. 3. Demande non satisfaite

On remarque que la demande en eau est non satisfaite pour les trois scénarios et augmente de scénario à l'autre :

Les résultats de la demande non satisfaite (Fig.117) montrent le déficit en eau potable pour tous les Scénarios ; pour le scénario de référence, la demande est non satisfaite a partir de 2015 dans les communes de Bouhadjar, Ain karma, H Beni Salah et Oued Zitoun avec des valeurs importantes de l'ordre de 4 Millions m³ en 2040 et 5 millions m³ en 2050.

Fig.117. Evolution de la demande non satisfaite, *Scénario référence*

La demande non satisfaite (DNS) en eau potable est importante pour le scénario 1 par rapport au scénario de référence (fig.118), ceci pour les communes de Bouhadjar, Ain kerma durant toute la période de simulation et Bougous et Zitouna à partir de l'année 2035.

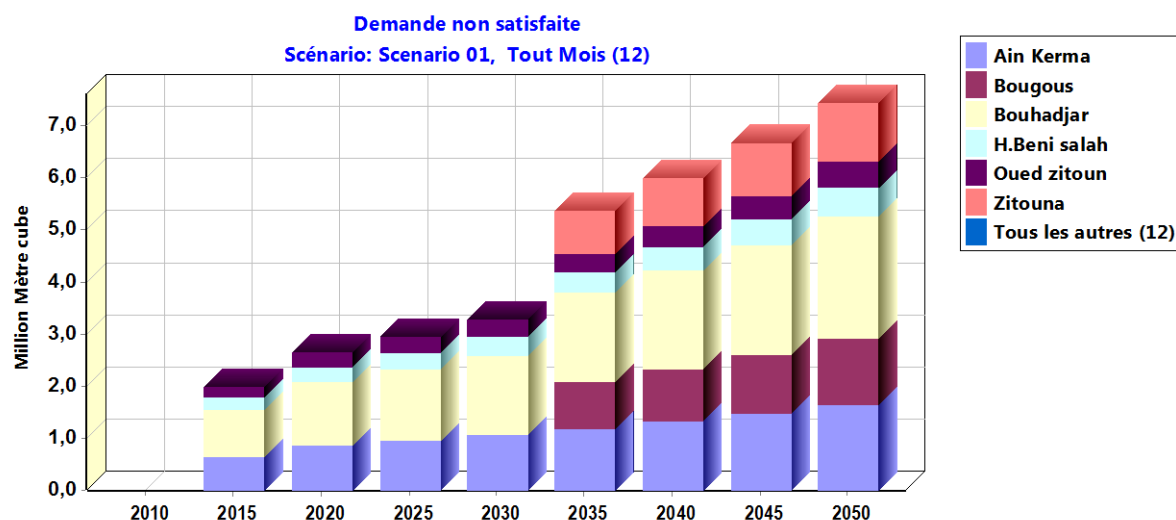


Fig.118. Evolution de la demande non satisfaite, Scénario 01

La figure ci-dessous (fig.119) montre la demande est non satisfaite a partir de 2015 dans les communes de Ain karma,Bouhadjar et Oued Zitoun, les communes de Bougous, Zitouna et H Beni Salah vont subir aussi d'une crise de manque d'eau a partir de l'année 2030.

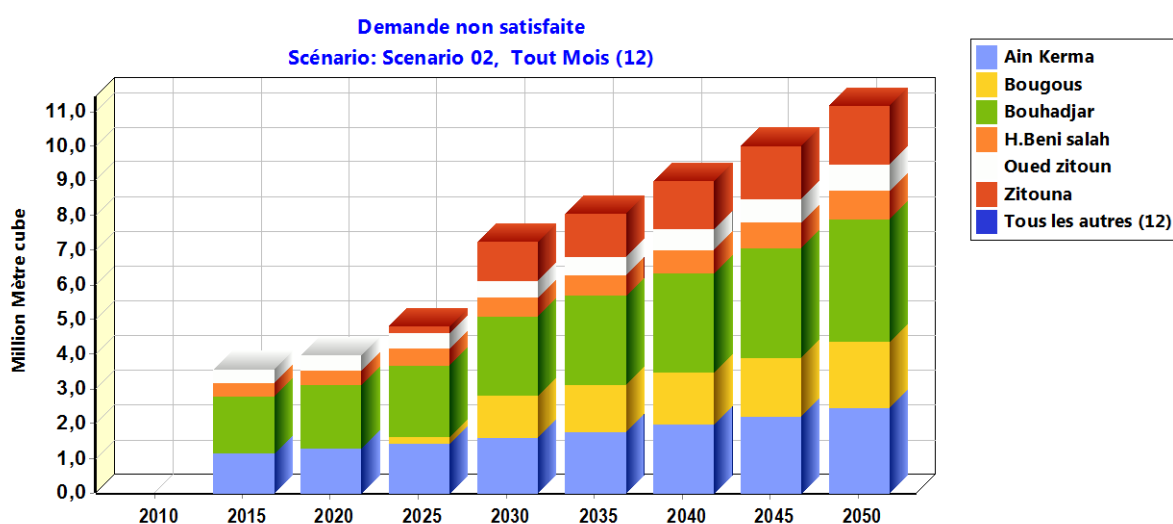


Fig.119. Evolution de la demande non satisfaite, Scénario 02

8.11. Choix de l'emplacement d'une station d'épuration

Une station d'épuration est une véritable usine de dépollution des eaux usée qui permet de respecter l'environnement en rejetant dans le milieu naturel des eaux propres. Elle est installée généralement en aval du réseau d'assainissement, juste à la sortie des eaux vers le milieu naturel. Pour épurer l'eau usée, il faut généralement combiner plusieurs traitements élémentaires dont les bases peuvent être physiques, chimiques ou biologiques et dont l'effet est d'éliminer tout d'abord les matières en suspensions, ensuite les substances colloïdales, puis les substances dissoutes (minérales ou organiques).

Le choix du site, dépend de plusieurs facteurs (Fig.120), le premier est l'éloignement par rapport aux habitations les plus proches et par la proximité du milieu récepteur. En effet, un site suffisamment isolé des zones résidentielles apporte une solution globale à des problèmes susceptibles de se poser par la suite (bruits, odeurs, etc...). Cependant l'implantation de la station d'épuration sur un terrain agricole constitue une perte pour le secteur. Les principaux facteurs que les décideurs doivent prendre en compte afin de choisir une station d'épuration seront décrits par la suite.

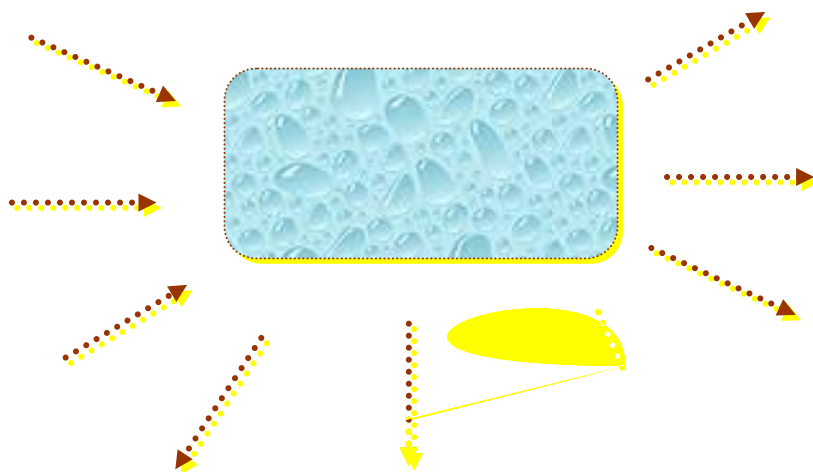


Fig.120. Facteurs d'impact de l'implantation d'une station d'épuration

8.12. Conclusion

Après l'évaluation et l'interprétation des résultats nous avons conclu qu'à mesure que la population augmente, la demande en eau potable augmente aussi, ce qui conduit à une augmentation des eaux usées qui nécessite un traitement pour stopper la dégradation de l'environnement et la pollution des nappes phréatiques et éventuellement la réutilisation des eaux traitées dans le domaine agricole pour cela, la capacité de traitement de la station d'épuration doit absolument répondre aux exigences des eaux usées rejetées dans l'Oued.

CONCLUSION GENERALE

Le bassin de la Maffragh, est situé à l'extrême Nord Est Algérien couvrant ainsi l'essentiel de la surface du bassin du Côtier Constantinois Est (03) soit environ de 2870 km², drainé par deux oueds importants, l'Oued Kébir Est à l'Est et l'Oued Bounamoussa à l'Ouest. Ces deux cours d'eau rejoignent la mer par un exutoire unique l'Oued Maffragh. Les statistiques disponibles annoncent 378 730,91 habitants pour l'ensemble du bassin, estimation 2019 selon recensement 2008.

Topographiquement, le relief est très diversifié [Massif, plaines, terrasses, collines, marécages, cordon dunaire, montagne...]. Les altitudes qui sont dans l'ensemble fortes à faibles reflètent un relief fort, elles sont comprises entre 0 à 1400 m.

L'analyse des caractéristiques morphologiques du bassin de la Maffragh nous a permis de dégager les principaux paramètres qui ont une influence certaine sur des eaux surtout superficielle. Qui y circulent

- Une forme allongée ce qui fait que les eaux précipitées mettent plus de temps pour atteindre l'exutoire (faibles débits de pointe).
- Les surfaces à faibles altitudes de la basse Maffragh forment une grande zone inondable.

Le tapis végétal de la région d'étude est à vocation principalement forestière puisque Les forêts occupent 57.28 % du territoire de la Maffragh. Les sols les plus répandus dans la zone d'étude, particulièrement à l'Est et au sud sont les sols podzoliques, les sols dunaires, les sols de marais et les sols salins de type solontchak ou solonetz.

Le bassin de la Maffragh est un région essentiellement à vocation agricole où elle est observée sur l'ensemble de la zone, avec une très grande variété de cultures, céréalières maraîchères les cultures industrielles saisonnières [melon, pastèque, tomate, pomme de terre, haricots verts et poivron] aussi l'élevage bovin, ovin et caprin particulièrement demeure dans l'incapacité de procurer des sources de revenu. Les industries présentes sur le bassin de la Maffragh sont de nature variée mais la plus importante c'est l'industrie agro-alimentaire.

La région du bassin de Maffragh est caractérisée par un climat de type méditerranéen : hiver doux et humide, été chaud et sec. La pluviométrie moyenne annuelle entre 800 et 1000 mm.

Pendant les mois de Décembre, Janvier, Février, on observe la nappe avec une valeur max 100mm/mois. Et lorsque la recharge dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir soit sous forme d'infiltration vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.

Evapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum pendant les mois de Juin, Juillet et Aout, ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones de cultures.

L'étude hydrogéologique du bassin de la Maffragh a mis en évidence l'existence d'un important réservoir d'eau souterraine contenue surtout dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable, avec parfois des intercalations argileuses). Cet ensemble est divisé en fait en plusieurs nappes dont les plus importantes :

1- Un système aquifère constitué du massif dunaire de Boutheldja d'une superficie de près de 180 km² et d'une plaine alluviale résultant des dépôts de l'Oued Kébir-Est et ses affluents d'une superficie de 20 km². Le massif dunaire est essentiellement alimenté par les précipitations et par les reliefs bordant les sables à l'Est.

2- Au Sud, le passage latéral aux graviers de la plaine de Boutheldja est marqué par de nombreux marécages (nechaats et garaas) d'une superficie de 15 km², ceux-ci correspondent au niveau piézométrique de la nappe dunaire.

3- En ce qui concerne la plaine de Annaba d'une superficie de près de 320 Km², elle est caractérisée par : Une nappe superficielle exploitée en grande partie par des puits domestiques. Une nappe profonde, reconnue par les forages profonds.

Le bassin de la Maffragh est confrontée aux phénomènes des crues et des inondations qui se manifestent de façon catastrophique constituant ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social, ces inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructives et même les plus fréquentes. La réduction des dommages causés par ces calamités nécessite d'abord une parfaite identification des régions présentant le risque d'inondabilité et des facteurs favorisant et amplifiant l'ampleur des dégâts et des pertes engendrées par ces catastrophes.

L'élaboration d'une carte des zones inondables du bassin de la Maffragh serait un outil précieux pour les planificateurs dans la définition des plans d'occupation des sols, la construction des ouvrages de protection et des systèmes de prévision et d'alerte de crues qui réduisent l'ampleur des dégâts provoqués par ces inondations.

En raison de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations et des biens.

La variation des paramètres physico-chimiques des eaux de surface du bassin de la Maffragh, est due soit à des facteurs naturels terrains ou bien facteur entropiques activité humaine.

De fortes teneurs en nitrites et ammonium polluent les eaux du bassin de la Maffragh. Leur provenance est multiple car on les retrouve au niveau des rejets urbains où les terres sont cultivées.

L'analyse physico-chimique des eaux en qualité des chlorures, calcium, magnésium, sodium et potassium des eaux du bassin de la Maffragh, a montré que généralement leurs concentrations ne dépassent pas la norme.

Dans la zone d'étude, la majorité des points d'eau sont représentée dans la classe C2-S1 mettant en évidence la salinité moyenne et faible teneur en sodium. L'eau de surface du bassin de la Maffragh a une excellente qualité d'eau d'irrigation, et il est dans la catégorie autorisée pour d'irrigation.

L'objectif de la gestion intégrée des ressources en eau est de réaliser une utilisation durable de l'eau dans le bassin de la Maffragh, qui a vraiment des ressources en eau importantes. Pour arriver à cela, il est considéré que la récupération et la maintenance de l'équilibre de la demande et l'offre en eau, des approches des deux côtes de l'offre (ressource en eau) et la demande (utilisateurs de l'eau) sont nécessaires à appliquer pour développer la condition actuelle de l'équilibre de l'eau.

Il existe plusieurs outils spécialisés dans la gestion des ressources en eaux, Pour notre étude nous avons opté pour le logiciel WEAP outil de planification des ressources en eau, basé essentiellement sur la méthodologie de modélisation et la simulation dynamique des changements de structures et de paramètres des systèmes qui rentre en compte du système hydraulique

Après l'évaluation et l'interprétation des résultats nous avons conclu qu'à mesure que la population augmente, la demande en eau potable augmente aussi, ce qui conduit à une augmentation des eaux usées qui nécessite un traitement pour stopper la dégradation de l'environnement et la pollution des nappes phréatiques et éventuellement la réutilisation des

eaux traitées dans le domaine agricole pour cela, la capacité de traitement de la station d'épuration doit absolument répondre aux exigences des eaux usées rejetées dans l'Oued.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abu-Zeid M. A. 1998. Water and sustainable development: The vision for world water, life and environment, water policy, vol. 1, p9-19.

Adam J.1980. Health aspects of nitrate in drinking water and possible means of denitrification, literature review, water SA, 6, p79.

Adjahouinou, D. C., Yehouenou, B., Liady, M. N., & Fiogbe, E. D. 2014. Caractérisation bactériologique des eaux résiduaires brutes de la ville de Cotonou (Bénin). *Journal of Applied Biosciences*, 78(1), 6705.

Affoun S. 2006. Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la mafragh, Mémoire de magister, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, Université de Constantine, 186p.

Afnor. 1999. Recueil de normes françaises : qualité de l'eau. 3^e édition.

Alam M., Rais S. and Aslam M. 2012. Hydrochemical investigation and quality assessment of ground water in rural areas of Delhi, India. *Environmental Earth Sciences* 66(1), 97-110.

Allagua, A., Kaouachi, N., Boualleg, C., Barour, C., Mamine, N., Boucena, I., & Ben Souilah, M. 2015. Variations saisonnières des indices épidémiologiques de *Pseudocolpenteron Pavlovskii* parasitant la surface externe de *Cyrtus Carpio* peuplant le barrage foun-El-Khanga (Souk-Ahras). *Archives de l'Institut Pasteur de Tunis*, 92(1/2), 84.

ANRH [Agence nationale des ressources hydrauliques]. Données météorologiques.

Ayers R. and Westcot D. 1994. Food, Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage, Rome. Paper (29).

Ayers R.S., Westcot D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper 29, Rev 1. FAO, Rome. 174 Pages

Bahroun S. 2016. Objectifs environnementaux de rejet pour les polluants dans le milieu récepteur et optimisation du pouvoir auto-épurateur : cas de l'oued Kébir est (nord est algérien), 163p

Baudry.J.Jouin.2003 : cahiers de géographie du québec, de la haie des bocages

Benrabah. S, Attoui. B, Hannouche. M, 2016: Characterization of ground water quality destined for drinking

Biémi J. 1992. Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-sahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué Côte d'Ivoire. Thèse Doctorat ès Sciences Université d'Abidjan, Mars 1992.

Bliefert C. a. P. R. 2001. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets., 477.

[Tapez ici]

Bouaroudj S, Kadem .D.E.D. 2014. Evaluation de la qualité d'eau d'irrigation des oueds: Rhumel et Boumerzoug [Constantine]. Revue scientifique et technique. LIEE N°24-25.

Bouaroudj.S, Kadem.D.E.D.2014: Evaluation of irrigation water quality wadi Rhumel and Boumerzoug (Constantine)

Bouchet, R,J, 1963 : Evapotranspiration réelle et potentielle, signification climatique

Boukhari, S., Djebbar, Y., & Abida, H. (2008). Juste prix de l'eau potable pour une gestion durable des ressources en eau en Algérie. *COLLOQUE INTERNATIONAL (TERRE & EAU) 2008*.

Bourouga M, 2019. Le modèle WEAP pour une gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant transfrontalier de la Medjerda (Nord-Est Algérie).144p

Bousnoubra H. 2002. Ressources en eaux des régions de Skikda, Annaba, ElTarf, Guelma, Souk-Ahras (N-E Algérien) (Evaluation, gestion et perspective ; Vulnérabilité et protection), Thèse de doctorat d'état, 159p

Bouwer, H. 2002. Integrated Water Management for the 21st Century: Problems and Solutions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(4), 193–202.

Castany 1967. Traité Pratique des eaux souterraines. (2ème édition), Edition Dunod Paris.

Castany G. 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod edit. Paris, 334p.

Chahboune M., Chahlaoui A., Zaid A., Mehanned S. and Ben Moussa A. 2014. Monitoring of the water's quality of Moulouya River: main tributary of Hassan II dam (Province of Midelt, Morocco). *Moroccan Journal of Chemistry* 2(5), Mor. J. Chem. 2 N° 5 (2014) 427-433.

Chapman D. V. 1996. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring.

CICEDD .2011. 2ème Colloque International sur Chimie, Environnement et Développement Durable, Faculté des Sciences de Rabat (20 et 21 Octobre 2011).

Corvaglia A. R. 2006. Rôle des résidus d'antibiotiques dans l'environnement hydrique sur la sélection et la diffusion de bactéries résistantes des genres "Aeromonas", "Acinetobacter" et "Legionella". University of Geneva.

Coutagne.A.1954 : quelques considérations sur le pouvoir évaporant l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif

Dahiya S. and Kaur A. 1999. Assessment of physico-chemical characteristics of underground water in rural area of Tosham sub-division Bhiwani district, Haryana. *JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION* 6(4), 281-8.

Daifallah T, 2017. Ressources en eau et leurs utilisations dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (Nord Est algérien)

De Martonne E. 1926. Aréisme et indice aridité, *Comptes Rendus de L'Acad Sci*, Paris, 182,

[Tapez ici]

Debieche, T. 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 de la plaine Seybouse –Nord –Est Algérien). Thèse de doctorat . Université de Franche-Comté , France, 199 p.

Derouiche A. 2013. Impact du déversement direct des eaux usées et de drainage dans la nappe libre de l'oued Souf et son influence sur la qualité des eaux souterraines. Rev.Sci.Technol., Synthèse 27 :50-62.

Derradji F. 2004. Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région d'Annaba-El Tarf (Nord Est de l'Algérie), Thèses de doctorat, Univ d'Annaba

Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O. and Belghity D. 2013. Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès.

Djabri L. 1996. Mécanisme de pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse : Origine géologique, industrielles, agricoles et urbaines, thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, 259p.

Dreux P, 1980. Précis d'écologie. Ed. Presse universitaire de France, Paris, 231 p

Droogers, P. Richard.G.2002: irrigation and drainage systems volume 16.P33-45

Egboka B.C.E., 1984. Nitrate contamination of shallow ground waters in Ontario, Canada, sci. Totale environ, pp35-53.

Emberger L .1954. Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Univ. Montpellier. Série Bot. n°7.

Energo - Project -E.N.H.Y.D. 1992. Etude de l'Aménagement Hydro-Agricoles de la Plaine D'El Tarf. Analyse des ressources en eaux. Hydrologie, dossier I-C, II-C, volume définitif I-C-1.

Faby, J.A. et Brissaud, F. 2000. Utilisation des eaux usées épurées en irrigation.

Falkenmark, M., & Lindh, G. (1993). Water and economic development. *Water in Crisis*, 80–91.

Fellah,I,1998: étude exploration du système de prévention algérien, déterminisme et problématique

Fischer, 1989: Dynamic capital structure choice theory and tests

Fustec E., Lefevre J C et Coll., 2000. Fonctions et valeurs des zones humides, Dunod

Garrels R. 1976. A survey of low temperature water-mineral relations. In: Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology.

Ghadbane N. 2003. Les eaux usées urbaines, Mémoire de Magistère, université Mohamed Boudiaf M'sila, 147p.

Guardiola. M, 2012: Hydrology and water resources,Journal of hydrology

Guasmi I. 2009. Pollution des eaux et pouvoiar auto-épurateur de l'Oued Medjerda (Nord – Est Algérien) Thèse de doctorat d'état, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie 198p.

Guasmi I., Hadji F., Djabri L. 2013. Water Quality of Medjerda Wadi Used for Irrigation Purpose (Eastern Algeria) © Springer Science+ Business Media DOI10.1007/978-94-007-5684-7_45.

Haddou M. 2010. Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène: procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

Hadj-Said.S. 2007 . Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière : cas de la nappe de Guerbes. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, département de géologie. 180 pages.

Hallaire,M, 1959 : les conditions d'alimentation en eau des végétaux

Hamzaoui S. 2011. Gestion et impact des déchets Solides urbains sur l'environnement, El tarf commune, Mémoire de magister, Faculté des Sciences de la terre, Université d'Annaba, 105p.

Harbaugh, A, W. 2005: Modflow the U.S geological survey modular ground – water model

Hedjal S., Zouini. D., Dandane. H. 2016.b. Essai de gestion intégrée des ressources en eau de surface du complexe des zones humides de Sanhadja [Nord-Est Algérien]. 2nd International Conférence on Water Resources. Ourgla. University Algeria, 21-22 November 2016.

Hedjal S. 2019. Ressources en eau, gestion intégrée et perspectives d'un aménagement du complexe des zones humides de Guerbes (Nord Est algérien). 242p

Hilly. J. 1962. Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer. 408 Pages

Jacobs K., R Pulwarty. 2002. Water Resource Management, Science, Planning and Decision-Making, American Geophysical Union Monograph.

Joleaud L. 1936. Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bulletin de service de la carte géologique de l'Algérie, 2^{ème} série stratigraphie – Description Régionales N°12. Edition Imp. La Typo-Litho et Jules Carbonel , Alger (1936)

Joshi D. M., Kumar A. and Agrawal N. 2009. Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar District. Rasayan J Chem 2(2), 285-92.

Khérici N. 1985. Aquifère sableux de bord de mer, hydrodynamique et hydrochimie. Exemple de la nappe de Bouteldja (N-E Algérie), Thèse de 3^{ème} cycle, U.S.T.L, Montpellier,

Kherici N. 1993. Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafragh) Nord-Est Algérien, Thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, 170p.

Kiniouar H. 2006. Influence de la structure et des activités anthropiques sur les eaux de massif de l'Edough. Mémoire de Magister, Badji Mokhtar Annaba.

Kiniouar H. 2018. Analyse multicritère et caractérisation du modèle de gestion intégrée des ressources en eau de la vallée du Rhumel, Thèse de doctorat d'état, Université Badji-Mokhtar, 2006

Koller E. 2004. Traitement des pollutions industrielles, eau, air, déchets, sols, boues. Dunod.

Labar S. 2003. Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physico-chimiques des eaux stagnantes temporaires dans la vallée de la Mafragh « Extrême Nord Est Algérien ». mémoire de magister univ de annaba .155p.

Liamas J. 1993. Hydrologie générale, principes et applications .((2ième ed) Edition Gaetean morin .525 p.

M. Durand, Delga, J,M,Fontboté ,1980 : la tectonique de la méditerranée centrale

Major H. 1996. Utilisation de l'analyse statistique pour l'étude du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique du réservoir cristallin de l'Edough (Nord-Est Algérien). Université Badji Mokhtar Annaba.

Manzoor Q, Bahri, A., Sato, T., & Al-Karadsheh, E.2010. Wastewater production, treatment, and irrigation in Middle East and North Africa. *Irrigation and Drainage Systems*,

Marre A. 1987. Etude géomorphologique du tell oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne .Uni.Aix Marseille II .Uer de géographie ,559 p

Mecibah I. 2017. Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'oued Guebli [Nord-est algérien] .These de doctorat en science, Université Badji Mokhtar Annaba, Département de Géologie. 275 Pages.

Merhi M. 2008. Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses: caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin.

Messahel M., Benhafid M.S. Water resources of Algeria: availability and needs. In : Lamaddalena N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Todorovic M. (ed.), Scardigno A. (ed.). *Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs [Vol. 3]*. Bari : CIHEAM, 2007. p. 235-242.

Nag S. 2014. Evaluation of hydrochemical parameters and quality assessment of the groundwater in Gangajalghati Block, Bankura District, West Bengal, India. *Arabian Journal for Science and Engineering* 39(7), 5715-27.

Nagarajah S., Abeykoon V., Emerson B. and Yogalingam S. 1988. Water quality of some wells in Jaffna and Kilinochchi with special reference to nitrate pollution [Sri Lanka]. *Tropical Agriculturist* (Sri Lanka).

Nouacer R. 1993. Essai de synthèse des caractéristiques hydrologiques et hydro chimiques de la nappe du massif dunaire de Boutheldja, Thèse de Magister, Univ d' Annaba.

[Tapez ici]

Oliosio A. 2006. Monitoring of irrigated wheat in a semi-arid climate using crop modeling and remote sensing data: Impact of satellite revisit time frequency. *Int J. Remote Sens*, 27, pp1093-1117.

Ozenda P. 1982. Les végétaux dans la biosphère. . Doin Editeurs Paris, 426p.

Parizot M., Laporte, P., Joseph, B., 2008. Contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Guyane conformément à la Directive Cadre Européenne sur l'Eau : saison des pluies 2008 Rapport final BRGM, RP-56890-FR.

Person.J. 1978. Irrigation et drainage en Tunisie : problème posé par la salinité des sols et des eaux. *Bull. BRGM [2ème série] section III*, 2 : 143-151.

Philippe B., Bernard, Chocat., 2003. La ville et son assainissement (édition CERTU), 503.

Piper AM .1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of wateranalyses. *Trans Am Geophys Union* 25 .Pages :914- 923

Plagnes V. 1997. Structure et fonctionnement des aquiferes karstiques. Caracterisation par la geochimie des eaux.(Structure and functioning of karstic aquifers. Water geochemistry characterisation) These de Doctorat, Universite Montpellier II, France.

Ramdani A. 1996. Hydrogéologie et modélisation de la nappe dunaire de Bouteldja.Mémoire de Magister. Université d'Annaba, 138 p.

Rao N. S. 2006. Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. *Environmental geology* 49(3), 413-29.

Rhoades J. D., Kandiah A. and Mashali A. M. 1992. The use of saline waters for crop production. FAO Rome.

Roche M. 1963. Hydrologie de surface, office de la recherche scientifique et technique –Outre mer, Edition Gauthier-Villard, Paris. 430p.

Rodier, J. 2009. L'Analyse de l'eau 9eme Edition Dunod, Paris.

Rouabhia. A.E.K., Djabri L.2010. L'irrigation et le risque de pollution saline exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine D'EL MA EL ABIOD. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N° 8. Pages : 55-67

Saleh A., Al-Ruwaih F. and Shehata M. 1999. Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. *Journal of Arid Environments* 42(3), 195-209.

Schoeller,H, 1962 : les eaux souterraines,642P

Seltzer. P. 1946. Climat de l'Algérie, Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, Ed Imp. La Typo- et Jules Carbonnel Réunies.

Shaki A. and Adeloye A. 2006. Evaluation of quantity and quality of irrigation water at Gadowa irrigation project in Murzuq basin, southwest Libya. *Agricultural water management* 84(1), 193-201.

Singh K. P., Malik A., Mohan D. and Sinha S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water research* 38(18), 3980-92.

Strahler, A. 1952: Dynamic Basis of Geomorphology. Geological Society of America Bulletin, 63, 923-938.

Thornthwaite C W , Mather J R., 1955. The water balance, *Climatology* 8 (1), 104p.

Tricart.J.1957 : Etude de la crise de la mi-juin dans les vallées du guil

Trivedy R. and Goel P. 1984. Chemical and biological methods for water pollution studies. Environmental publications.

Villa J M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Thèse de doctorat des sciences naturelles, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 665p.

WHO .2011. Guidelines for Drinking-water Quality. 230.

Wilcox L. 1955. Classification and use of irrigation waters.

Wilcox L.V. 1948. The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington DC. 8 Pages.

Wildi W. 1983. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène, *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, Paris, Masson, vol. 24, 3, pp. 201-297

Yates D. 2005. Weap21-a demand-, priority-, and preference-driven water planning model: Part 2, aiding freshwater ecosystem service evaluation. *Water International*, Volume 30, Number 4, Pages 501–512.

Zahi F. 2014. Contribution à l'étude hydrochimique du sous bassin versant du Lac Fetzara (Nord- Est Algérien) . approche géochimique et fonctionnement des sols et des eaux . These de Doctorat Univ-Annaba. 30.

Zenati, N.E. 1999. Relation nappe-lac, confirmation par l'hydrochimie, cas de la nappe superficielle de la plaine ouest d'El Hadjar lac Fetzara ; nord-est Algérien. Mémoire de Magister. Université d'Annaba. 148p.

Zgheib S. 2009. Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Ecole des Ponts ParisTech.

Zouini .D. 2013. Vers une gestion concertée des ressources en eau dans le parc national d'El Kala. Séminaire GESTE, ENGEES de Strasbourg, France.