

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE L'HYDRAULIQUE

كلية علوم الهندسة
قسم الري

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences

Thème

Simulation de l'approvisionnement et de la demande en eau dans
la vallée de la Seybouse

Option :

HYDRAULIQUE

Par

BERREDJEM Abdelfatah

Jury :

Président
Encadreur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur

Pr Amarchi Hocine
Pr Hani Azzedine
Pr Hammar Yahia
Pr Kachi Slimane
Dr Grieb Lassaad
Dr Zenati Nouredine

Université Badji Mokhtar Annaba
Université Badji Mokhtar Annaba
Université Badji Mokhtar Annaba
Université 8 mai 1945 Guelma
Université 8 mai 1945 Guelma
Université M-C M Souk Ahras

Année 2018

محاكاة إمدادات المياه والطلب في الحوض سيبوس

الملخص

أصبحت المياه في الحوض الفرعي سيبوس السفلى نادرة، وتزايد عدد السكان بسرعة ، وتوسع القطاعين الزراعي والصناعي وتأثيرات تغير المناخ ، يخلقان ضغوطاً متزايدة على الموارد المائية. الغرض من هذه الدراسة هو إدارة الموارد المائية في الحوض الفرعي لوادي سيبوس السفلي الذي يتميز بالزيادة المستمرة في الطلب على المياه لتلبية الاستخدامات المختلفة. كل ذلك مع مراعاة تطور الطلب على المياه لمختلف عمليات الإمداد الحضرية والزراعية. نهجنا والصناعية لمحاكاة التوازن المائي الحالي والمستقبلي ومن ثم تحليل حالة WEAP هو دمج البيانات في برنامج نمذجة المياه في سيناريوهات مختلفة ، والتنمية الاجتماعية والاقتصادية ، والحد من فقدان المياه وإعادة التدوير في الماء. الصناعة وتغير المناخ. يعتمد هذا البرنامج على تمثيل نظام الطاقة في شكل شبكة إمدادات الطلب والمياه. تكشف نتائجنا عن ضعف المنطقة في قدرتها على التعامل مع الضغوط الناتجة عن زيادة احتياجات القطاعات المختلفة خلال فترة المخطط لها كما أنها تشير إلى الحاجة إلى تعبئة أكبر للموارد الجديدة ووضع الأساس لسياسة مستدامة للمياه

كلمات المفتاحية

الموارد ، التوريد ، الطلب على المياه ، تقليل الخسائر ، تغير المناخ ، WEAP ، نموذج ، حوض سيبوس

Simulation of water supply and demand in the Seybouse Valley

Abstract

Water in the Seybouse River basin is getting scarce, yet it is the key to its economic development. A fast growing population, expanding agricultural and industrial sectors and the impacts of climate variability, create demands for new water sources and innovative management of water resources and services. The object of this study is the water resources management in the lower Seybouse basin characterized by a steady increase of water demand to meet different uses. Our approach is to integrate data in WEAP modelling software to simulate current and future water balance and then to analyse the situation of water in different scenarios, socio-economic development and climate change. This software is based on the representation of the feeding system in a form of the network of water demand and supply. Our findings reveal the vulnerability of the region in its ability to the pressures resulting from the increase of needs of different sectors at the horizon of the forecasted period.

They also indicate the need for larger mobilization of new resources into the system and lay the foundations for a sustainable water policy in the northern region of the Seybouse valley.

Key words: climate change, resources, Seybouse River basin, supply, water demand, WEAP model

Simulation de l'approvisionnement et de la demande en eau dans la vallée de la Seybouse

Résumé

L'eau dans le sous bassin de la basse Seybouse se raréfie, Une population en croissance rapide, l'expansion des secteurs agricoles et industriels et les impacts du changement climatique, créent des pressions accrues sur les ressources en eau. L'objet de cette étude est la gestion des ressources en eau dans le sous bassin de la basse vallée de la Seybouse caractérisée par une augmentation constante de la demande en eau pour répondre à différents usages. Tout en prenant en compte l'évolution de la demande en eau de différents processus d'approvisionnement urbain, agricole et industriel. Notre approche consiste à intégrer des données dans un logiciel de modélisation WEAP pour simuler le bilan hydrique actuel et futur et ensuite analyser la situation de l'eau dans différents scénarios, développement socio-économique, réduction des pertes et recyclage de l'eau dans l'industrie et changement climatique. Ce logiciel est basé sur la représentation du système d'alimentation sous la forme d'un réseau de demande et d'approvisionnement en eau. Nos résultats révèlent la vulnérabilité de la région dans sa capacité à faire face aux pressions résultant de l'augmentation des besoins des différents secteurs à l'horizon de la période prévue.

Ils indiquent également la nécessité d'une plus grande mobilisation de nouvelles ressources dans le système et jettent les bases d'une politique de l'eau durable dans la région nord de la vallée de la Seybouse.

Mots Clés:

Bassin de la Seybouse, modèle WEAP, ressources, approvisionnement, demande en eau, réduction des pertes, Changement climatique.

REMERCIEMENT

J'adresse mes sincères remerciements à ceux qui ont contribué à l'élaboration de ma thèse. Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Hani Azzedine, En tant que Directeur de thèse qui a accepté de m'encadrer je lui en suis très reconnaissant.

Je remercie, Monsieur le Professeur AMARCHI Hocine, d'avoir accepté de présider le jury, Mes vives gratitudes vont aussi à Monsieur Hammar Yahia, Professeur à l'Université d'Annaba, Monsieur KACHI Slimane, Professeur à l'Université de Guelma, Monsieur GRIEB Lassaad Maître de Conférences "A" à l'Université de Guelma et ZENATI Nouredine Maître de Conférences "A" Université de Souk Ahras qui ont bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.

Et enfin, je tiens à remercier tous les amis qui m'ont aidé et encouragé pour réaliser cette thèse.

Table des matières

المخلص.....	i
Abstract.....	ii
Résumé	iii
REMERCIEMENT	iv
Table des matières.....	v
Liste des figures	xi
Liste des acronymes	xvi
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Identification des outils d'aide à la décision	3
I. Outils de modélisation	4
I.1. MIKE Basin.....	4
I.2. MODÈLE BASINS	6
I.3. Quantité Intégrée Et Modèle De Qualité (IQQM)	9
I.4. ENSIS.....	10
I.5. WATERWARE	11
I.6. AQUATOOL.....	13
II. Modèle d'allocation des ressources.....	14
II.1. Modèle d'allocation des ressources (REALM)	14
II.2. Multi – sectoriel, intégrée et opérationnelle (MULINO).....	16
II.3. the River Basin SIMulation (RIBASIM)	17
II.4. Water evaluation and planning system (WEAP)	18
II.5. Interactive River Aquifère Simulation (IRAS).....	20
Conclusion.....	22
Chapitre II: Contexte physique du bassin	22
I. Description du bassin versant.....	23
I.1. Localisation et superficie	23
I.2. Organisation administrative	24
II. Aperçu socio-économique.....	26
II.1. Agriculture	26
II.2. Industrie	26
II.3. Contexte démographique du bassin	26
III. Aspect géomorphologique.....	27

III.1.Les terrasses de la Seybouse.....	27
III.2.Les montagnes	27
III.3. Le domaine des plaines.....	28
IV. Végétation.....	28
V. Lithologie et leurs caractéristiques hydrogéologiques.....	28
V.1. L’outil géophysique	28
V.2. L’outil des sondages	29
Conclusion.....	29
Chapitre III: Caractéristiques Morphométriques et hydrographique de la basse Seybouse.....	30
I. Caractéristiques morphométriques	31
I.1. Superficie	31
I.2.Forme du bassin	31
I.1.1. Rectangle équivalent.....	32
I.3. Répartition des tranches d'altitudes et la courbe hypsométrique.....	32
I.2.1. Altitude moyenne du bassin versant.....	35
I.2.2. L’altitude médiane	35
I.2.3. Dénivelée D	35
I.2.4. Indices de pente et relief.....	35
I.2.5.Indice de pente global (Ig).....	35
I.2.6. La dénivelée Spécifique.....	36
I.3. caractéristiques hydrographiques du bassin versant.....	36
I.3.1. hiérarchisation du réseau	36
I.3.2. Profil en long	40
I.3.3.Autre caractéristiques du chevelu.....	40
Conclusion.....	41
Chapitre IV : cadre hydroclimatologique du bassin versant.....	41
I. Les stations de mesure.....	42
II. Type de climat	43
II.1. Etude des précipitations	43
II.1.1. Les précipitations mensuelles.....	43
II.1.2. Distribution interannuelle des précipitations.....	45
II.2.La température	46
II.2.1 Diagramme ombrothermique (pluviothermique)	47

II.3. L'humidité	49
II.4. Le vent	49
II.5. Evapotranspiration	49
II.5.1. Bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAITE	49
II.6. Estimation de l'infiltration	50
II.7. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite.....	51
II.8. Interprétation du Bilan hydrique	53
Conclusion.....	55
Chapitre V : diagnostic quantitatif des ressources en eau	56
I. Secteur utilisateur de l'eau dans le bassin.....	57
I.1. Population.....	58
I.2. Agriculture	61
I.3. Industrie.....	62
II. Diagnostic quantitatif des ressources en eau dans le sous bassin de la Seybouse	63
II.1. Potentialités hydriques dans le sous bassin.....	63
II.1.1. Potentiel hydrique superficiel.....	64
II.1.2. Potentiel hydrique souterrain	66
II.2. Affectation des ressources en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse	69
III. Alimentation en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse.....	69
III.1. Etat actuel du système d'alimentation en eau potable dans le sous bassin de la basse Seybouse (AEP).....	70
III.2. Alimentation en eau d'irrigation dans le sous bassin de la basse Seybouse (AEA). ..	71
III.2.1. Ressources en eau pour l'irrigation	72
III.2.2. Renforcement et réhabilitation des ressources existante	72
III.3. Ressources en eau pour l'industrie.....	72
III.3.1. Industries de l'acier et l'industrie pétrochimique	73
III.3.2. Industries agro-alimentaires et autres	73
Conclusion.....	73
Chapitre VI : modélisation de la GIRE et leurs utilisations - application du modèle WEAP –.....	73
I. Acquisition du logiciel WEAP 21	75
II. Application du modèle WEAP	76
II.1. Cartographie.....	76
II.2. Phase schématique	77

II.3. Fonctionnement du logiciel.....	78
II.3.1. Création de la zone d'étude.....	78
II.3.2. Création des références et hypothèses clés	79
II.3.3. Proposition des Scénarios.....	79
II.3.4. Présentation des résultats	80
II.3.5. Rubrique données.....	80
II.3.6. Bloc Notes	80
III. Analyse et traitement des données nécessaires	80
III.1. Données nécessaires	81
III.1.1. Etude de l'offre et de la demande en eau.....	81
III.1.2. Etude de la qualité de l'eau :.....	81
III.1.3. Etude hydrologique.....	81
III.1.4. Etudes hydro-électriques.....	82
III.2. Compte d'état actuel « Current Account »	82
III.2.1. Sites des demandes	82
III.2.2. Sites de l'offre : ressources et lieux de captage	84
III.2.3. Priorités d'approvisionnement.....	85
IV. Résultats d'application du modèle WEAP	86
IV.1. Création et analyse des scénarios	86
IV.1.1. Changement d'horizon de temps du secteur.....	86
IV.2. Scénario de référence(SR).....	87
IV.2.1. Niveau d'activité annuelle	88
IV.3. Résultats du scénario de référence (2011-2050)	89
IV.3.1. Sources de production.....	89
IV.3.2. Projection de la demande en eau globale dans la basse Seybouse	89
IV.3.3. projection de la demande en eau des ménages (domestique)	90
IV.3.4. Eau distribuée	92
IV.3.5. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin	93
IV.3.6. Conclusion du scénario de référence(SR).....	93
IV.4. Analyse du scénario 2 : Scénario d'un fort accroissement de la population (SFAP)..	94
IV.4.1. Evolution de la demande en eau	94
IV.4.2. Eau distribuée	95
IV.4.3. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin	95

IV.4.4. Conclusion du scenario d'un fort accroissement de la population (SFAP)	96
IV.5. Analyse du scénario 3 : Scenario changement climatique (SCC)	96
IV.5.1. Evolution de la demande en eau	97
IV.5.2. Eau distribuée	98
IV.5.3. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin	99
IV.5.4. Conclusion du scénario de changement climatique	99
IV.6. Le scénario réduction des pertes et recyclage(SRPR)	100
IV.6.1. Evolution de la demande en eau	100
IV.6.2. Eau distribuée	100
IV.6.3. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin	101
Conclusion.....	102
V. Comparaison entre les différents scénarios analysés	102
Conclusion.....	105
Chapitre VII : Gestion de l'eau en Algérie et dans les pays du Maghreb.....	106
I. gestion de l'eau en Algérie :	107
I.1. Une organisation de la gestion de l'eau centralisée	107
I.2. Gestion de la demande	108
I.3. Une gestion de l'eau axée sur le développement de l'offre	108
I.4. Législation et réglementation	108
I.5. Mesures techniques pour la réduction des pertes	109
II. La gestion de l'eau au Maroc	110
II.1.Organisation de la gestion de l'eau	110
II.2.Les ressources en eau	111
II.3 Les droits d'eau et la gestion moderne de l'eau	112
II.4. Les limites de la gestion moderne de l'eau	112
II.5. La valeur de l'eau pour l'irrigation	113
II.6. La valeur de l'eau potable	113
II.7. Gestion de l'offre et gestion de la demande	113
III. La gestion de l'eau en Tunisie	114
III.1. Instruments juridiques et institutionnels :	114
III.2. Organisation de la gestion de l'eau.....	114
III.3. La Stratégie d'Economie de l'Eau d'Irrigation	115
III.4. Impact général de la stratégie	116

III.5. La gestion de la demande	117
Conclusions	117
Conclusions générales et recommandations	118
Références bibliographiques	122

Liste des figures

Figure 1. Carte de situation géographique du sous bassin de la basse Seybouse.....	24
Figure 2.Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le sous bassin de la basse de la Seybouse	33
Figure 3. Courbe hypsométrique dans le sous bassin de la basse vallée de la Seybouse.....	34
Figure 4. Carte de réseau hydrographique du sous bassins de la basse Seybouse	37
Figure 5.Classification du chevelu hydrographique dans du sous bassins de la basse Seybouse (Balah, 2009).....	38
Figure 6. Carte de réseau hydrographique du bassin versant de la Seybouse (Zerrouki, 2007)	39
Figure 7. Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques dans le bassin de la Seybouse (Zerrouki, 2007).....	42
Figure 8. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station des Salines	44
Figure 9. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la de Pont Bouchet	45
Figure 10. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de Bouchegouf	45
Figure 11. Variation mensuelles des températures station les salines.....	47
Figure 12. Variation mensuelles des températures station Bouchegouf	47
Figure 13. Diagramme ombrothermique station les salines.....	48
Figure 14. Diagramme ombrothermique Pont Bouchet	48
Figure 15. Diagramme ombrothermique station Bouchegouf.....	48
Figure 16. Représentation graphique du bilan hydrique Station les Salines.....	55
Figure 17. Représentation graphique du bilan hydrique Station Pont Bouchet	55
Figure 18. Représentation graphique du bilan hydrique Station Bouchegouf	55
Figure 19. Carte de population dans la basse Seybouse (Khadri, 2009).....	59
Figure 20. Carte d'inventaire des entreprises industrielles (Khadri, 2009)	63
Figure 21. Demande eau en hm ³ (million m ³) par secteurs d'activité dans le sous bassin de la basse Seybouse – 2010.....	70
Figure 22. License WEAP acquise pour la présente étude	76
Figure 23. Carte du monde dans le logiciel WEAP	77
Figure 24. Carte du sous bassin de la basse Seybouse avec le réseau hydrographique sous WEAP.....	77
Figure 25. Représentation Schématique des sites de demandes et des ressources en eau du sous bassin de la basse Seybouse	78
Figure 26. Fenêtre montrant les hypothèses clés.....	79
Figure 27. Niveau d'activité annuelle des sites des demandes domestiques - Compte d'état actuel, 2010-	83
Figure 28. Niveau d'activité annuelle en hectares des sites des demandes d'agriculture. - Compte d'état actuel, 2010-	83
Figure 29. Consommation annuelle des sites des demandes domestiques. -Compte d'état actuel, 2010-	84

Figure 30. Consommation annuelle des sites des demandes d'agriculture. -Compte d'état actuel, 2010-	84
Figure 31. Prélèvement maximal des forages alimentant le sous bassin de la basse Seybouse - Compte d'état actuel, 2010-	85
Figure 32. Capacité de stockage des barrages alimentant le sous bassin de basse Seybouse - Compte d'état actuel, 2010 -	85
Figure 33. Paramètres généraux du modèle	87
Figure 34. Création du scénario de référence.....	88
Figure 35. Evolution de la population dans le sous bassin de la basse Seybouse - Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2050)-	88
Figure 36. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1 : Scénario de référence (2011-2050)-.....	90
Figure 37. Evolution de la demande en eau domestique dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1 : Scénario de référence (2011-2050)-	90
Figure 38. Demande en eau d'irrigation dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-	91
Figure 39. Demande en eau industriel dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-	92
Figure 40. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse - Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-	92
Figure 41. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin de la basse Seybouse - Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-.....	93
Figure 42. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario2 : Fort accroissement de la population (2011-2050)-	94
Figure 43. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.- Scénario2: Fort accroissement de la population (2011-2050)-	95
Figure 44. Demande en eau non satisfaite dans sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario2: Fort accroissement de la population (2011-2050)-	96
Figure 45. Evolution des précipitations annuelles Scénario3- scénario de changement climatique (2011-2050)-.....	97
Figure 46. Evolution des températures mensuelles par scénario -scénario de changement climatique (2011-2050)-.....	97
Figure 47. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario3: scénario de changement climatique (2011-2050)-	98
Figure 48. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse. - Scénario 3 : scénario de changement climatique (2011-2050)-	99
Figure 49. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin de la basse Seybouse. -Scénario 3: scénario de changement climatique (2011-2050)-	99
Figure 50. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario4: Le scénario réduction des pertes et recyclage (2011-2050)-.....	100
Figure 51. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse. -Scénario 4: Le scénario réduction des pertes (2011-2050)-	101

Figure 52. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin de la basse Seybouse.-Scénario4 : scénario réduction des pertes et recyclage (2011-2050)-	102
Figure 53. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse. - Comparaison des différents scénarios (2011-2050)-.....	103
Figure 54. Evolution de l’eau distribuée dans le sous bassin de la basse Seybouse. - Comparaison des différents scénarios (2011-2050)-.....	104
Figure 55. Evolution de la demande non satisfaite en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse. - Comparaison des différents scénarios (2011-2050)-	105

Liste des tableaux

Tableau 1. Agglomérations se situant dans les territoires de la Wilaya de Guelma	25
Tableau 2. Agglomérations se situant dans les territoires de la Wilaya d'Annaba.....	25
Tableau 3. Agglomérations se situant dans les territoires de la Wilaya d'El Tarf.....	26
Tableau 4. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin	34
Tableau 5. Récapitulatif des caractéristiques morphométriques du sous bassins de la basse Seybouse.....	41
Tableau 6. Les coordonnées des stations de mesures (D'après ANRH Constantine)	43
Tableau 7. Précipitations moyennes mensuelles interannuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et Bouchegouf. (mm).....	43
Tableau 8. Précipitation interannuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et Bouchegouf (mm).	46
Tableau 9. Températures moyennes mensuelles	46
Tableau 10. Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines en % (1975/2007)	49
Tableau 11. Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1975/2007)	49
Tableau 12. Résultats de l'ETR par la méthode de Thornthwaite	51
Tableau 13. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite, Station des Salines (1977-2007).....	52
Tableau 14. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite, Station de Pont Bouchet (1977/2007).....	52
Tableau 15. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite, Station de Bouchegouf (1985-2007).....	53
Tableau 16. Evolution de la population par commune de la wilaya d'Annaba selon les recensements de 2008 dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.	59
Tableau 17. Evolution de la population par commune de la wilaya d'El Tarf selon les recensements de 2008 dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.	60
Tableau 18. Evolution de la population par commune de la wilaya de Guelma selon les recensements de 2008 dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.	60
Tableau 19. Superficie irriguée dans le sous bassin de la basse Seybouse.	62
Le tableau ci-dessous (Tableau 20) représente le résultat de jaugeage (débits mensuels) sur une longue période.	64
Tableau 21. Moyennes mensuelles interannuelles des débits en m ³ /s	64
Tableau 22. Récapitulatif de capacité des barrages et prélèvements des ressources en eau de surface Allouer au sous bassin de la basse Seybouse (en hm ³) - 2010	65
Tableau 23. Inventaire des capacités de stockage des retenues collinaires dans le sous bassin de la basse Seybouse (en hm ³) - 2010	65
Tableau 24. Inventaire des forages se localisant à El Tarf et alimentant le sous bassin de la basse Seybouse.....	67
Tableau 25. Inventaire des forages se localisant dans le sous bassin de la basse Seybouse	68

Tableau 26. Inventaire des forages se localisant à Guelma et alimentant le sous bassin de la basse Seybouse.....	68
Tableau 27. Récapitulatif du volume global des eaux souterraines transférées vers le sous bassin hm3 - 2010	69
Tableau 28. Projection de la population totale dans le sous bassin de la basse Seybouse.....	88

Liste des acronymes

ADE : Algérienne des Eaux

ANBT : Agence Nationale des Barrages et de Transfert

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

DPAT : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire

DSA : Direction des Services Agricoles

DSS: Decision Support Systems

EEA European Environment Agency

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

GPI: Grand Périmètre Irrigué

IQQM: Integrated Quality and Quantity Model

IRAS: Interactive River-Aquifer Simulation

IWRM: Integrated Water Resource Management

IWRM: Integrated Water Resources Management in the Nile Basin.

MB : MIKE BASIN

MRE : Ministère des Ressources en Eau

MULINO: Multispectral Integrated and Operational

ONA: Office National d'Assainissement

ONID: Office National d'Irrigation et de Drainage

ONS : Office National de Statistiques

PLOAD: Pollutant Load

PME : Partenariat mondial de l'eau

PMH : Petite et Moyenne Hydraulique

PPE: Personal Protective Equipment

PSIR: Pressure/State/Impact/Response

QDNR: Queensland Department of Natural Resources

QUAL2: Enhanced Stream Water Quality Model

RE: River Engineering

REALM: Resource Allocation Model

RGPH: Recensement Général de Population et d'Habitat

RIBASIM: River Basin Simulation

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur de l'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIG : Système d'Information Géographique

SNAT : Schéma National d'Aménagement du Territoire

SRAT : Schéma Régional d'Aménagement du Territoire

STEP: Station d'épuration

TSEdit: Time Series Edit tool

UNESCO-IHE: United Nations Education and Scientific Organization – Institute of Hydraulics Education

WEAP: Water Evaluation and Planning system

WinHSPF: Windows Hydrological Simulation Program-Fortran

WRD: Water Ressources Development

Introduction générale

L'eau, source de vie, est l'un des enjeux majeurs du XXIème siècle, bien que 70% de la surface du globe soient recouvertes d'eau, à peine 25% seulement sont constituée d'eau douce. De ce fait, plus d'un milliard d'habitants de la planète n'ont toujours pas accès à l'eau potable. Si le niveau de consommation actuel se maintient, la moitié de la population mondiale confrontera de très grandes pénuries d'eau dans les vingt-cinq prochaines années.

L'eau est essentielle pour la vie et le bien être de toute communauté ; elle est à la fois un élément majeur du patrimoine naturel et une composante essentielle du cycle de l'eau potable et de l'assainissement. L'importance de ce patrimoine, de sa protection et de sa sauvegarde a donné lieu à la mise en place progressive d'un dispositif législatif et réglementaire définissant les obligations minimales que les différents acteurs concernés par la gestions de l'eau potable et l'assainissement doivent respecter pour assurer la sauvegarde des milieux naturels et de la ressource en eau.

La gestion de l'eau à dans de nombreuses régions du monde, toujours constitué un problème important en raison de la variabilité et de l'incertitude naturelles du climat. Une aggravation des problèmes est probable en raison du changement climatique. Le changement climatique entraînera, dans certains bassins, une diminution des précipitations et du débit des fleuves, alors qu'il provoquera une augmentation de la fréquence et de la force des inondations dans d'autres. Ces changements seront exacerbés par d'autres variations, telles que la croissance démographique et économique, l'urbanisation et l'augmentation de la demande de produits alimentaires qui accroissent les besoins en eau et dégradent les cours d'eau et aquifères des bassins déjà confrontés à une pénurie d'eau.

La croissance économique, les initiatives de réduction de la pauvreté et les changements démographiques et sociaux accroissent les demandes en infrastructures hydrauliques pour satisfaire les besoins en alimentation ou en énergie, la production de biens et de services.

Pendant des années, on a cru que les ressources en eau étaient suffisamment abondantes pour accompagner ces évolutions et que les processus naturels allaient réduire la pollution.

L'Algérie dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. A l'exception des eaux fossiles du Sahara, les ressources hydrauliques naturelles sont principalement situées dans le Nord du pays, 90 % de la totalité des écoulements superficiels

(estimée à 12,4 milliards de m³/an) se trouvent sur la région littorale (7 % de la superficie du territoire), les 10 % restant se partageant entre les Hauts Plateaux et les bassins sahariens.

L'Algérie est soumise à un climat semi-aride à aride où les ressources en eau sont profondément liées aux précipitations au moins dans sa partie nord. Celles-ci sont peu importantes, mal réparties et d'une irrégularité interannuelle très marquée. En égard de l'importance du rôle de l'eau dans le développement socio-économique, toute pénurie ou rareté dans la ressource aura un impact important capable d'affecter d'une manière durable l'effort de développement du pays.

La demande globale en eau a considérablement augmenté. Multipliée par 4 au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables. A ce rythme la limite maximum du potentiel hydraulique sera atteinte avant 2050. Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation, se surajoutant aux déséquilibres de disponibilités de ressources entre les régions, et rendant de plus en plus difficiles les répartitions. Pour cela, la gestion de l'eau s'impose et aura pour rôle de trouver le bon équilibre entre la ressource et les usages.

Dans ce contexte, on comprend alors la nécessité de mettre au point des outils et des instruments d'aide à la gestion et à la décision qui permettent de mieux cerner le fonctionnement des hydro-systèmes naturels et le devenir de l'eau dans son environnement.

Le bassin de la Seybouse connaît un certain nombre de problèmes dans son approvisionnement en eau, en raison du manque de la ressource en eau qui le caractérise non seulement souterraine aussi superficiel, il s'avère nécessaire de rechercher des solutions pour satisfaire les besoins en eau, pour ceci nous avons choisi comme méthode d'approche le modèle WEAP (water Evaluation And Planning), c'est l'un des outils numériques de planification intégrée des ressources en eau. Il permet d'exploiter les informations sur la disponibilité, le potentiel de mobilisation des ressources, et de la demande en eau projetée pour les différents secteurs (eau potable, eau industrielle et agriculture) jusqu'à l'horizon de planification envisagé. Sur cette base peuvent être effectuées des analyses quantitatives (bilans hydriques) et économiques des paramètres « offre » et « demande ».

La présente recherche est consacrée à la confrontation entre les ressources existantes et les demandes actuelles et leur tendance future selon un scénario de référence et un second

scénario qui tient compte de l'effet du changement climatique sur le devenir quantitatif de l'eau dans le bassin versant de la basse Seybouse et un scénario basé sur la pression de la population sur les ressources en eau.

Ces travaux de thèse sont présentés comme suit, comprenant sept chapitres: le premier passe en revue les détails des outils et des modèles qui peuvent être utilisés comme soutien à la décision (DSS), pour la gestion des bassins. Le deuxième nous donne un aperçu du cadre général de la région d'étude. Le troisième s'articule sur la morphométrie du bassin. Le quatrième est consacré aux facteurs hydroclimatiques dans le bassin. Le cinquième chapitre expose un diagnostic quantitatif de l'état actuel des ressources en eau. Enfin, le sixième met l'accent sur la modélisation hydrologique adoptée par le modèle WEAP sur des horizons de planification à moyen et à long terme dans le bassin de la basse Seybouse.

Pour conclure, nous résumerons les principaux résultats obtenus dans cette thèse et proposerons quelques perspectives, afin de fournir un modèle transposable, et permettant de gérer efficacement et durablement les ressources hydriques dans le bassin.

Chapitre I : Identification des outils d'aide à la décision

I. Outils de modélisation

Un grand nombre de modèles mathématiques traitant des ressources en eau existe à travers le Monde. Les applications dans le domaine sont de plus en plus sophistiquées et conviviales. Une simple requête sur Google avec comme mots clef " modèle ressource eau" retourne plusieurs milliers de pages. Cependant, le choix du bon modèle valable pour décrire des phénomènes donnés demeure complexe.

Plusieurs modèles des systèmes de soutien à la décision (DSS) ont été examinés et ont été présentés ainsi que des outils pour aider à prédire les impacts, donc dans la prise de décision en matière de ressources en eau.

La majorité des logiciels présentés ont été développés et sont actuellement appliqués à des études de cas spécifiques de bassin hydrographique, mais les caractéristiques et les approches qu'ils utilisent et les modèles qu'ils intègrent sont généraux et peuvent correspondre à des régions spécifiques définies par l'utilisateur.

On présente les critères de sélection du modèle qui sont des données requises, gratuites ou achetées, faciles à utiliser et accessibles.

Ci-dessous on présente le résumé des outils et des modèles. Pour chaque modèle, les caractéristiques clés de l'outil, les exigences de données, les avantages et les limites (Wurbs, 1998).

I.1. MIKE Basin

Développé par Danish Hydraulic Institute comme support décisionnel polyvalent et outil pour la gestion et la planification intégrées des ressources en eau. **Mike Basin** vise à étudier l'allocation d'eau dans un bassin.

a) Caractéristiques

- **MIKE BASIN** est intégré dans l'environnement ArcView GIS pour permettre de maintenir la fonctionnalité complète du logiciel ESRI et appliquer sa norme d'installations pour la modélisation des ressources en eau.
- Par défaut, **MIKE BASIN** vise à étudier l'allocation d'eau dans un bassin; cependant, une option de la qualité de l'eau et un module pour simuler les eaux souterraines peuvent être également sélectionnées. Cela consiste à schématiser le bassin en tant que réseau de

nœuds et des branches. Les nœuds doivent être placés dans l'ordre suivant : Nœuds de la rivière, réservoirs, nœuds hydroélectriques et nœuds de demande en eau.

- possède une base de données Access, mais les données pour chaque élément de réseau sont facilement modifiées ou vu depuis la vue réseau. L'outil vérifie la topologie et peut balayer des connexions réseau et valider le schéma du bassin avant d'exécuter la simulation.
- Le principe de priorité locale est à la base de l'algorithme d'allocation de **MB**.
- **MB** a un autre principe pour gérer l'allocation de l'eau, qui est les règles de priorité globale, dont les préoccupations portent sur les abstractions, les écoulements minimaux et niveaux de stockage du réservoir et du réservoir cible.
- Une simulation est nécessaire une fois la schématisation terminée. Cela implique la définition des données et des règles requises.
- Le **MB** simule la quantité d'eau, la qualité de l'eau et les eaux souterraines. en ce qui concerne la quantité de l'eau concernée, le calcul des débits et leur répartition dans le bassin est effectué sur la base des règles locales ou mondiales.
- **MB** intègre un module précipitation-ruissellement qui permet le calcul de séries temporelles de ruissellement compte tenu des conditions initiales, un ensemble de paramètres nécessaires et des séries chronologiques d'évaporation et de précipitations. Les modèles sont **NAM**, **SMAP** et **UHM** qui font partie d'un autre progiciel **DHI** nommé **Mike 11**.
- Le **NAM** est un modèle conceptuel qui simule les processus de précipitation-ruissellement se produisant à l'échelle du captage et, en particulier, il calcule la surface des flux, les débordements et les flux de base en fonction de la teneur en humidité du sol, du stockage de surface, de l'accumulation et de la fonte de la neige. Il traite chacun des bassins versants comme une seule unité dont les variables supposent des valeurs moyennes pondérées pour l'ensemble de la zone. **NAM** comprend les modules suivants: module de modélisation de base, module étendu d'eau souterraine, module de neige et module d'irrigation.
- Le troisième modèle de **Mike 11** inclus dans le module précipitation – ruissellement de **MIKE BASIN** est **SMAP**. Il s'agit d'un modèle hydrologique simulant le ruissellement d'un bassin versant en tenant compte du stockage de l'humidité dans la zone de racine et dans les aquifères.

- Le module qualité de l'eau de **MIKE BASIN** simule le transport et la dégradation de substances importantes affectant la qualité de l'eau dans les réservoirs et les rivières. Les substances modélisées sont: la matière organique totale exprimée en tant que demande données requises.
- Le module Irrigation de **NAM** définit l'approche conceptuelle pour chaque grand site d'irrigation en tant que sous-captage décrit par son propre individu paramètres, tels que les pertes d'irrigation pour l'évaporation, les infiltrations et les écoulements de surface. Les coefficients de récolte mensuels sont également utilisés pour tenir compte de la bonne l'évapotranspiration et le stade de croissance.
- Les données d'entrée requises par **SMAP** concernent les précipitations, l'évaporation, certains paramètres spécifiques et la décharge moyenne mensuelle au point de sortie de contrôle du bassin, qui est utilisé à des fins d'étalonnage.
- Le module d'eau souterraine de **MB** exige que l'utilisateur spécifie:
 - 1) une infiltration fraction de perte, à multiplier par le flux simulé dans la branche d'écoulement afin d'obtenir le volume d'eau perdu dans l'aquifère
 - 2) la recharge des eaux souterraines du bassin versant englobant le courant
 - 3) la demande de pompage les taux.

b) Avantages

MIKE BASIN soutient la définition des charges polluantes à la fois au point et à des sources non ponctuelles.

c) Limites

Le système se concentre sur les aspects physiques et d'optimisation de la ressources de l'eau, sans tenir compte des impacts socio-économiques et de l'impact techniques d'analyse, telles que l'approche PSIR (pression / état / impact / réponse) proposé par l'OCDE, ou l'approche DPSIR (Forces motrices, Presse, État, Impacts et réponses) adopté par l' l'Agence européenne pour l'environnement, (EEE), qui relie les objectifs politiques à l'information et l'analyse dans le cadre de la mise en œuvre de la gestion. (Luyiga et al .2010)

I.2. MODÈLE BASINS

C'est le point d'intégration des meilleures sciences de l'évaluation et des sources non ponctuelles. Modèle BASINS est développé par l'Agence de protection de l'environnement américaine, vise à faciliter l'examen de l'information de l'environnement, soutient l'analyse de l'information environnementale et fournit un cadre de modélisation intégré.

a) Caractéristiques

- **MODÈLE BASINS** comprennent un ensemble de composants interdépendants intégrés dans l'environnement ESIS ArcView GIS. qui sont; SIG, bases de données environnementales nationales, outils d'évaluation pour l'analyse à grande échelle et à petite échelle, outils de délimitation des bassins hydrographiques, rapports de caractérisation des bassins hydrographiques, utilitaires pour l'importation, organisation, évaluation des données, utilitaires pour classer l'élévation, l'utilisation des sols, les sols et les données sur la qualité de l'eau, une série de modèles concernant la qualité de l'eau dans les cours d'eau et les charges de polluants et leur transport, et un outil de génération de scénarios.
- BASINS GIS, pilotés par **ArcView 3.1** ou **3.2 GIS** environnement, fournit des procédures supplémentaires intégrées pour la recherche de données, analyse spatiale et génération de cartes.
- Les bases de données incluses dans BASINS fournissent des données cartographiques, environnementales et des informations sur la qualité de l'eau, qui ont été sélectionnées sur la base de la disponibilité et la pertinence de l'analyse environnementale. Les données cartographiques de base concernent; les limites hydrographiques, réseaux des principales autoroutes, zones peuplées et urbanisées, et limites administratives.
- Les données environnementales comprennent des informations de base et de suivi. Les premiers décrivent les bassins hydrographiques en termes de caractéristiques du sol, de couverture de l'utilisation des terres et d'hydrographie des courants, tandis que ceux-ci concernent principalement les données sur la qualité de l'eau.
- Les outils d'évaluation (cible, évaluation et exploration de données) permettent l'évaluation régionale des conditions de qualité de l'eau dans les cours d'eau, l'identification des points de rejets des sources à l'échelle du bassin hydrographique, l'analyse et l'examen de données récapitulatives pour un site spécifique.
- L'outil de délimitation des bassins hydrographiques permet de diviser un bassin hydrographique en un seul ou plusieurs des sous-bassins hydrographiques
- BASINS peut aider l'utilisateur à créer des cartes et des tableaux personnalisés pour résumer les conditions générales de la zone d'étude. BASINS version 3.0 génère six types différents de rapports sur les bassins hydrographiques: rapport d'inventaire de source ponctuelle, rapport de la qualité de l'eau, rapport d'émission d'air toxique, rapport de distribution d'utilisation des sols, rapport sur les caractéristiques de l'état du sol et rapport topographique du bassin hydrographique.

- BASINS dispose de quatre utilitaires pour reclasser, superposer et mettre à jour les données. La fonction Utilisation du sol, Sols et Superposition sert à préparer l'entrée de données pour les modèles SWAT et HSPF. L'utilitaire de reclassification de l'utilisation des terres est utilisé pour la modification dans un ensemble de données existant.
- Les modèles inclus dans le paquet BASINS sont Charge de Polluants (PLOAD), Outil d'évaluation du sol et de l'eau (SWAT), simulation hydrologique de Windows Programme-Fortran (WinHSPF) et modèle de qualité de l'eau améliorée (QUAL2) (Draper et al., 2003; Watkins et al., 2004).

b) Données requises

- Données générales sur la source ponctuelle / Chargement des données qui incluent des informations sur les emplacements et le type d'installations générant et déchargeant des charges polluantes, telles que: Sites de rejet des installations industrielles, Inventaire des sites de rejets toxiques et données sur les rejets de polluants, emplacement des installations de transfert, de stockage et d'élimination des déchets solides et dangereux.
- Les données requises par le modèle HSPF comprennent les enregistrements météorologiques des précipitations, les estimations de l'évapotranspiration potentielle, la température de l'air, le vent, les rayonnements solaires, l'humidité et la couverture nuageuse.
- Les données requises par le **Modèle amélioré de qualité des cours d'eau, QUAL2** concernent les débits hydrologiques, les paramètres de qualité de l'eau et les informations météorologiques. Ce dernier comprend des valeurs surveillées de la température de l'air, de la pression atmosphérique, de la vitesse du vent, du rayonnement solaire net et de la couverture nuageuse, qui sont tous impliqués dans la simulation de la température.

c) Avantages

- BASINS est plus orienté vers l'environnement que MIKE BASIN
- Le logiciel peut également être appliqué à d'autres problèmes tels que ; temps pluvieux combinée aux débordements d'égout, à la gestion des eaux pluviales, à la protection des sources d'eau potable, à l'évaluations des utilisations des terres urbaines et rurales, aux opérations d'alimentation animale et aux pratiques de gestion de l'habitat.
- L'utilisation d'ArcView rend l'architecture de BASINS ouverte et flexible, afin que chaque agence ou utilisateur puisse développer et personnaliser ses propres utilitaires pour mieux répondre aux besoins spécifiques et aux différentes applications.

d) Limites

- Les aspects physiques prévalent sur une analyse et une évaluation exhaustives de la durabilité qui peuvent relier les options politiques à l'information et à l'analyse dans un contexte intégré de gestion de l'eau. Le programme GenScn permet la gestion de différents scénarios; cependant, la définition d'un scénario est différente de celle requise pour analyser les conditions de stress hydrique.

I.3. Quantité Intégrée Et Modèle De Qualité (IQQM)

- Le modèle intégré de qualité et de quantité (**IQQM**) est un outil de modélisation hydrologique visant à simuler les systèmes fluviaux et à appuyer la planification et l'évaluation des impacts des options de gestion des ressources en eau, développées par le département de la conservation des terres et de l'eau de la Nouvelle-Galles du Sud, avec une assistance collaborative du ministère des Richesses naturelles du Queensland (QDNR).

a) Caractéristiques

- **IQQM** est un logiciel basé sur Windows structuré comme une coquille contenant différents modules liés ensemble pour former un package intégré. Ses composants sont; modèle de système fluvial, modèle de pluie-écoulement, modèle d'exploitation de grille, modèle climat, outils de sortie graphique, outils d'analyse statistique, récupération de données et utilitaires
- **Modèle de système de rivière** se compose de deux sous-modules ; Quantité d'eau dans les cours d'eau et qualité de l'eau dans les cours d'eau. Le premier concerne l'acheminement des écoulements, les opérations des réservoirs, l'évaluation de la disponibilité des ressources en eau, le calcul des besoins en eau urbaines, agricoles et environnementaux et l'interaction entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Ce dernier est basé sur le programme QUAL2E, qui peut modéliser le cycle de l'azote, l'oxygène dissous (DO), la demande biochimique en oxygène (DBO), le cycle du phosphore, les coliformes et les algues (Wurbs. 2012).
- Le modèle précipitations - ruissellement utilisé dans l'outil est le modèle de Sacramento
- Le modèle d'opération de porteuse simule un comportement d'inondation extrême dans des entrepôts fermés dans le but de minimiser les déversements en aval du barrage sans le mettre en danger.
- Le module Climat utilise des données climatiques quotidiennes à court terme et à long terme

- Les données sur les précipitations pour générer statistiquement une évaporation quotidienne à long terme, minimum et la température maximale et le rayonnement solaire.
- Les outils statistiques d'**IQQM** sont un ensemble de règles qui calculent la moyenne, l'écart type, le coefficient de détermination et d'efficacité et d'autres statistiques qui sont utiles dans l'analyse des données disponibles quotidiennes, mensuelles ou annuelles.
- La récupération de données ; les utilisateurs préparent les fichiers de données utilisés par le logiciel, vérifie que le format de fichier est correct et, si nécessaire, le modifie.

b) Données requises

- Les données requises comprennent; des données sur la demande en eau pour les activités agricoles, les activités industrielles ainsi que la demande d'eau urbaine et rurale. Les données sur les précipitations, l'évapotranspiration, la mobilisation de l'eau et la réutilisation, l'infiltration, l'humidité du sol et les types de cultures sont nécessaires pour faciliter la simulation s'il y a une demande d'eau d'irrigation.
- Pour pouvoir utiliser le module climatique, des données sur le climat quotidien à court terme et les précipitations à long terme sont nécessaires.

c) Avantages

IQQM permet la représentation du système fluvial dans les objets nœud et lien.

d) Limites

- Le modèle n'intègre pas le logiciel GIS et, par conséquent, ne dispose pas des capacités utiles liées à la gestion des données et à l'affichage géo référencé.
- Il n'intègre pas non plus la définition de scénario ou de scénario conceptuel.

I.4. ENSIS

Signifie «Système de surveillance et d'information environnemental». C'est un outil de surveillance et de protection de l'environnement, qui comprend deux principaux systèmes d'aide à la décision, WaterQuis et AirQuis.

a) Caractéristiques

- **WaterQuis** traite de la qualité des ressources en eau. WaterQuis DSS propose des modèles pour le calcul de la charge de pollution. Les fonctionnalités spécifiques à WaterQuis sont; La définition et l'enregistrement des informations et des données sur les bassins versants, les rivières, les lacs et les côtes et l'enregistrement des rejets des eaux résiduelles domestiques, des industries et des sources diffuses.

- **AirQuis** s'intéresse à la qualité de l'air et des niveaux de pollution. Il intègre des modèles de dispersion atmosphérique, couvrant la pollution atmosphérique à toutes les échelles dans l'environnement urbain.
- Le **SIG** est programmé avec **MapObjects** à partir d'**ESRI**, ce qui le rend compatible avec **ArcView** et **ArcINFO**.
- Le système **ENSIS** possède un utilitaire graphique interne traces les séries pas de temps et un générateur de rapport utile pour la présentation de l'analyse et des résultats d'une manière simple et claire et les diffuse sur Internet.

b) Données requises

Mesures de la qualité de l'eau

c) Avantages

- Il est utile de créer et diffuser des rapports sur la qualité de l'eau pour la visualisation et l'analyse des séries temporelles.
- **ENSIS** intègre des modèles de qualité de l'eau pour calculer les charges polluantes et les règles appropriées montrant leur sortie

d) Limites

- **ENSIS** est plus un système de surveillance et d'information basé sur le SIG plutôt qu'un véritable système d'aide à la décision.
- Le paquet ne fournit pas de fonctionnalités pour la gestion et la comparaison de scénarios de simulation alternatifs. L'allocation d'eau dans la zone surveillée n'est pas prise en compte, et la disponibilité de l'eau et l'évaluation de la demande ne sont pas incluses.

I.5. WATERWARE

C'est un DSS pour la planification et la gestion intégrées des bassins versant, principal objectif du programme européen de recherche Eureka-EU487.

WATERWARE est l'un des premiers exemples de systèmes intégrant des suites de modèles et d'outils destinés à des analyses d'impact complètes.

a) Caractéristiques

- **WATERWARE** est codé en C / C ++ mais il est capable d'intégrer des modèles écrits dans le langage de programmation FORTRAN. Il est développé comme une architecture ouverte, axée sur l'objet, fonctionnant sur des serveurs UNIX et compatible avec ArcInfo et Grass.

- WATERWARE est constitué de; Interface utilisateur, un SIG fournissant des couches de cartes hiérarchiques pour la référence spatiale et l'entrée directe de données pour les modèles de simulation. Il est intégré à la base de données, aux modèles et aux serveurs http supportant l'accès à distance via Internet, une base de données géo-référencée avec des documents HTML et des technologies de contrôle
- WATERWARE travaille avec une variété de données géographiques, hydrologiques, météorologiques et économiques.
- Les modèles intégrés dans WATERWARE simulent le comportement des objets du bassin, fournissent leur contribution à partir de la base de données géo-référencée et affichent leur sortie sur les cartes SIG.
- Les rivières sont représentées dans WATERWARE en tant que classes de Nœud de rivière, atteignent et traversant des objets de section liés entre eux pour former le réseau hydrographique.

b) Données requises

- WATERWARE travaille avec une variété de données géographiques, hydrologiques, météorologiques et économiques.

c) Avantages

- WATERWARE est certainement un DSS complet; Il a été développé en utilisant une architecture ouverte qui intègre des modèles de quantité et de qualité d'eau.
- Il est lié à une base de données géo-référencée; Il dispose d'un éditeur de réseau graphique et utilise des couches géographiques compatibles avec Arc Info et Gass et il a plus le rôle d'un système d'information.

d) Limites

- Les modèles utilisés dans WATERWARE sont tous liés conceptuellement dans une sorte de chaîne de traitement de données: lors de la simulation, ils sont lancés selon une séquence prédéfinie, et la sortie d'un modèle représente l'entrée des prochains. Ce n'est pas un moyen inhabituel d'effectuer la simulation. Cependant, il peut certainement représenter un obstacle si de nouveaux modules sont ajoutés ou ceux existants sont modifiés.
- WATERWARE ne fonctionne pas avec des scénarios économiques hydrologiques ou météorologiques, et n'intègre pas un cadre pour la comparaison des résultats et la définition de stratégies ou d'options pour améliorer la disponibilité de l'eau ou pour résoudre la pollution de l'eau.

- Le système peut prendre en charge la prise de décision dans le cadre d'une analyse intégrée et multi objective (Wurbs, 2012).

I.6. AQUATOOL

- AQUATOOL est un système généralisé d'aide à la décision pour la planification des ressources en eau et la gestion opérationnelle à l'échelle du bassin hydrographique.

a) Caractéristiques

- Il s'agit d'un DSS basé sur Windows qui se compose de modules pour la simulation et l'optimisation de la gestion des bassins, pour la modélisation des écoulements d'eau dans les aquifères, l'évaluation des risques, l'analyse et le report des résultats.
- Ces composants ont été codés dans différentes langues de programmation telles que C ++, Visual Basic et Fortran
- Le modèle mathématique **SIMGES** Fortran effectue la simulation de la gestion opérationnelle du système sur une base mensuelle.
- **OPTIGES** est le module d'optimisation d'AQUATOOL. OPTIGES repose sur la conservation de la masse dans le réseau des nœuds et des liens
- **SIMRISK** est un module d'évaluation des risques dans la gestion opérationnelle réelle du système. Il simule le bassin sous plusieurs séries d'écoulements hydrologiques futurs synthétisés en cohérence avec les conditions initiales du système et calcule la fonction de distribution de probabilité des déficits de l'eau, des volumes de réservoirs, le déficit des écoulements écologiques et les indices de qualité de l'eau
- Le module d'analyse graphique d'AQUATOOL fournit des graphiques, des tableaux et des fichiers de rapport, utiles pour étudier les valeurs des variables de décision résultant de simulations et d'optimisations et pour afficher des séries chronologiques et des paramètres hydrologiques.

b) Données requises

- Données sur la capacité de stockage, par exemple sur les lacs, les réservoirs, les dérivations et les jonctions, les canaux naturels et les aquifères.
- Des données sur les pertes d'évaporation et d'infiltration et les utilisations de l'eau telles que les zones irriguées, l'approvisionnement municipal et industriel et les centrales hydroélectriques.

c) Avantages

- AQUATOOL permet la simulation et la comparaison de différentes politiques opérationnelles et données hydrologiques afin d'analyser les décisions de planification et de déterminer les compromis entre différents scénarios hydrologiques. En outre, il fournit une évaluation et une estimation des risques.
- AQUATOOL est un projet en cours d'exécution au département Hydraulique et Environnement
- AQUATOOL est fondamentalement un cadre d'optimisation pour l'allocation des ressources en eau.

d) Limites

- AQUATOOL n'est pas lié au logiciel SIG et en outre, la version actuelle n'a pas d'approche qui intègre les aspects économiques et écologiques, alors que les options de gestion telles que la construction de nouveaux nœuds d'approvisionnement, ne sont pas prises en considération (Luyiga et al .2010).

II. Modèle d'allocation des ressources**II.1. Modèle d'allocation des ressources (REALM)**

C'est un paquet pour la simulation des systèmes d'approvisionnement en eau, développé en 1997 par l'Université de Technologie de Victoria et le Département des Ressources Naturelles et de l'Environnement, dans l'État de Victoria, en Australie. Il a d'abord été développé pour fonctionner sous le système d'exploitation DOS et il a été converti pour s'exécuter sous Windows en 1999.

a) Caractéristiques

- simule des systèmes d'approvisionnement en eau simples, étendues ou complexes, aussi bien dans des conditions de sécheresse que dans des conditions normales avec des débits élevés.
- Il peut être utilisé pour étudier différentes options de ressources en eau, comme par exemple les nouvelles règles de fonctionnement ou les modifications du système physique en les comparant graphiquement.
- Possède un éditeur graphique qui permet à l'utilisateur de dessiner le réseau du système et de définir les caractéristiques des nœuds, des liens et de leurs règles de fonctionnement.

Eaux souterraines, terminaison de l'écoulement

- Tout le réseau peut être correctement visualisé et agrandi avec l'utilitaire Network Plotting.

- L'utilisateur peut introduire les opérateurs connectant les nœuds de demande aux fournisseurs avec la même procédure de glisser-déposé.
- Les transporteurs peuvent être du type RIV, représentant des sections de rivières et du type PIP représentant des tuyaux, des aqueducs et des transporteurs généraux qui ne sont pas des sections fluviales.
- L'administrateur peut accéder et présenter les caractéristiques de chaque opérateur grâce à la fenêtre «édition de l'eau».
- Les attributs comprennent: le coût ou la pénalité, utilisée dans le processus d'allocation, les pertes de transport et la limite de volume annuel, le partage de capacité entre différents sites de demande reliés au même transporteur, les capacités minimales et maximales et les paramètres de qualité de l'eau.

b) Données requises

- Il utilise les écoulements et les demandes comme intrants.
- Le premier comprends une arrivée non régulées entrant dans le système et se trouve aux réservoirs, les déviations de gravité, les jonctions de courants et les nœuds de collecteur.
- Les débits comprennent également des variables météorologiques, telles que la température et les précipitations.
- La demande en eau se compose de données temporelles spécifiques aux zones de demande déterminées dans la zone d'étude et peuvent représenter l'utilisation historique de l'eau ou les besoins prévus.

c) Avantages

- la possibilité de choisir certains nœuds ou supports du système de réseau à partir d'une liste et les mettre en surbrillance en rouge, cela peut être très utile pour trouver des nœuds et des transporteurs spécifiques dans les grands réseaux.
- dispose d'un éditeur de réseau qui permet à l'utilisateur de schématiser le système d'usager de l'eau (Wurbs, 2012).

d) Limites

- Les éléments du réseau ne sont pas géo-référencés, car l'outil n'intègre pas le logiciel SIG et les cartes SIG ne peuvent pas être importées, même pour être utilisées comme fond de réseau.

- L'aspect économique des ressources en eau est réduit à l'estimation simple des coûts de transport de l'eau. Comme mentionné, ces coûts sont en fait le paramètre qui définit la priorité des utilisations de l'eau dans l'algorithme d'allocation de l'eau.

II.2. Multi – sectoriel, intégrée et opérationnelle (MULINO)

L'acronyme MULINO est synonyme de «système de soutien décisionnel ministériel, intégré et opérationnel pour l'utilisation durable des ressources en eau à l'échelle de catégorisation».

- C'est l'objectif principal du projet Mulino, financé au sein du cinquième programme-cadre Européen pour la recherche et le développement technologique et la démonstration.
- Le consortium Mulino est composé de spécialistes de la modélisation hydrologique, du développement de logiciels, de l'économie, de la géographie, de la sociologie, de l'agronomie et des SIG, provenant de différents pays européens et coordonnés par la Fondazione ENI Enrico Mattei à Venise, en Italie.

a) Caractéristiques

- MULINO DSS intègre des techniques de modélisation sociale, économique et environnementale avec des capacités SIG
- Une série proposée d' «étapes de décision» a été encapsulée dans le DSS Mulino et définie au niveau de l'interface utilisateur par les Concepts, Design, Choix, Vues:
 1. **Vue conceptuelle:** le décideur (DM) est directement impliqué, qui demande de définir le problème des ressources en eau et de choisir les critères décisionnels qui seront utilisés pour mesurer et évaluer le statut du bassin hydrographique et l'efficacité des actions conceptualisées pour l'améliorer.
 2. **Vue de conception:** le rôle des techniciens est répandu car ils doivent mettre en œuvre les problèmes formulés par le (DM) et trouver des solutions pratiques qui constitueront l'ensemble des options possibles à étudier.
 3. **Vue de choix:** DM et les techniciens attribuent des poids aux options afin de sélectionner le préféré.

b) Données requises

Données géo-référencées sur les couches SIG qui décrivent le bassin hydrographique.

c) Avantages

- Le système a été conçu comme un outil opérationnel visant à soutenir et guider les décideurs à chaque étape du processus de décision global, depuis l'élaboration des problèmes jusqu'au choix de la meilleure politique pour les résoudre.

- La première version de MULINO DSS suggère une approche intéressante pour la définition et l'évaluation du problème qui se concentre sur;
 - définir le sujet de l'analyse des ressources en eau, en termes de chaînes DPS,
 - définir les options disponibles pour modifier l'état et évaluer les indicateurs d'état appropriés pour chaque option stratégique.

d) Limites

- Un éditeur de réseau et des modèles hydrologiques simples non intégrés dans cette version, mais seront intégrés au DSS dans les prochaines versions (Luyiga et al .2010).

II.3. the River Basin SIMulation (RIBASIM)

C'est un modèle pour la planification et la gestion des ressources en eau au niveau du bassin hydrographique.

Il a été développé depuis 1985 par Delft Hydraulics Pays-Bas, et il est actuellement utilisé par de nombreuses agences nationales et régionales partout dans le monde.

Il Permet de décrire le bassin en termes de **sources d'eau et d'utilisation** et il exécute la simulation de l'allocation d'eau dans un certain horizon temporel.

a) Caractéristiques

Logiciel basé sur Windows avec une interface utilisateur graphique, une base de données, un programme de simulation et un outil d'analyse des résultats.

- La vue principale de l'interface utilisateur montre un organigramme visant à guider l'utilisateur dans l'application des modèles au bassin hydrographique en cours d'analyse: les blocs du tableau changent de couleur, afin de montrer quelle étape l'utilisateur effectue actuellement et quelles sont celles déjà réalisées.

Les étapes sont:

- La création du réseau de nœuds et de branches comme schématisation des utilisateurs du bassin, sources d'eau et caractéristiques spécifiques,
- La saisie des informations nécessaires dans la base de données géo-référencée,
- La préparation des intrants tels que les séries chronologiques hydrologiques, les règles opérationnelles pour les réservoirs, l'hydro-biologique et récoltes
- La simulation,
- Le post-traitement et l'analyse des résultats

- Les utilisateurs peuvent choisir les types de nœuds qu'ils souhaitent et les placer sur la couche géographique du bassin, qui peut être importée depuis ArcView ou MapInfo.

*Modèles intégrés dans l'outil **Ribasim**:* Samo, AgwatFishwat, Demes, Ribasim, Wadis, Delwaq, Wlm, Stratif

RIBASIM permet à l'utilisateur de simuler et d'évaluer diverses mesures et de comparer leurs résultats. Tel que les infrastructures de réseau, nouveaux barrages, réservoirs; système d'irrigation, gestion de l'eau, avec la spécification de nouvelles priorités.

b) Données requises

Les données sur ; l'infrastructure du réseau, les réservoirs, la loi et l'utilisation de l'eau.

c) Avantages

- Utile pour identifier les éventuels conflits d'usage de l'eau entre les différents types d'utilisations, comme l'agriculture ou les industries.
- Le bilan hydrique et la composition du flux sont à la base d'une analyse plus poussée de la qualité de l'eau à effectuer par des modèles externes ou par le modèle de qualité de l'eau Delft Delta Q
- RIBASIM permet de définir différents scénarios hydrologiques comme entrées de flux dans le système de ressources en eau, ainsi que des stratégies ou des groupes de stratégies.

d) Limites

- RIBASIM n'intègre pas le logiciel SIG.
- Il n'existe pas de véritable procédure d'évaluation multi critères fondée sur un ensemble complet d'indicateurs (Nouiri, 2016).

II.4. Water evaluation and planning system (WEAP)

C'est un outil pour la planification des ressources en eau, développé par le Stockholm Environment Institute du Boston Centre à l'Institut Tellus, aux États-Unis.

Il vise à aider les décideurs à stocker et gérer la demande en eau, fournir des informations, prévoir les demandes, la disponibilité, la production de déchets, les coûts de l'eau et l'évaluation des options de gestion et d'aménagement de l'eau.

a) Caractéristiques

- Weap21 est la dernière version du logiciel. Il est basé sur Windows et a été développé dans l'environnement de programmation Delphi par Borland. L'interface utilisateur graphique se compose de quatre vues différentes, à savoir Schéma, données, résultats et aperçus. Ils sont accessibles par des boutons spécifiques sur la barre de vue placée à gauche de l'écran principal de l'interface, où chaque vue est affichée

- **Vue Schématique** l'utilisateur trouve une couche SIG de la zone d'intérêt et peut construire le réseau de nœuds et de liens représentant le système de ressources en eau de la région.
- WEAP est habituellement appliqué aux bassins hydrographiques, mais la région peut également être une région géographique plus ou moins grande.
- L'utilisateur dessine le système de nœud directement sur la couche GIS en faisant glisser et déposer les types de nœuds et les liens de transmission souhaités à partir d'une fenêtre de liste en haut à gauche, jusqu'à la position spécifique sur la carte au centre de l'interface.
- Après avoir laissé tomber le type de nœud sur la carte, une fenêtre contextuelle demande des informations générales minimales sur le nouveau nœud, telles que le nom et si le nœud sera inclus dans la simulation du scénario par défaut.
- Les éléments de réseau peuvent représenter les rivières, les détournements, les réservoirs, les stations de pompage des eaux souterraines, les sites de demande, les stations d'épuration des eaux usées, les centrales hydroélectriques et les débits exigés.
- Les nœuds sont liés par des liens de transmission et des flux de retour, Les premiers transportent l'eau des nœuds des ressources en eau vers les nœuds des sites de demande, tandis les seconds quittent les sites de demande vers les stations de traitement ou la rivière.
- Une petite fenêtre, sous la liste des types de nœuds, répertorie les couches SIG qui peuvent être chargées sur la carte de base du bassin versant afin d'ajouter des informations géographiques telles que les rivières, les aquifères, les lacs et les mers.
- Les éléments et les cartes du réseau sont chargés en cochant les éléments de la liste avec le bouton gauche de la souris.
- La carte SIG peut être parcourue en déplaçant le curseur de la petite main sur elle, et une partie spécifique de la carte peut être sélectionnée et agrandie.

b) Données requises

Carte SIG, données sur les bassins hydrographiques, rivières, déviation, réservoirs, stations de pompage des eaux souterraines, sites de demande, stations d'épuration des eaux usées, centrales hydroélectriques et données sur les besoins de flux.

c) Avantages

WEAP pourrait certainement représenter un bon point de départ pour le développement d'un système complet de DSS

d) Limites

Malheureusement, il n'intègre ni de logiciel SIG ni une base de données formalisée. C'est certainement une limitation (Nouiri, 2016).

II.5. Interactive River Aquifère Simulation (IRAS)

C'est un outil pour simuler les ressources de surface et souterraines, leurs interactions réciproques et leurs échanges de flux sur l'espace et le temps. **IRAS** a été publié pour la première fois en 1994 et mis à jour en 1998 par le Département d'ingénierie civile et environnementale de l'Université Cornell et les Resource Planning Associates Inc d'Ithaca, état de New York.

a) Caractéristiques

IRAS est basé sur Windows et dispose d'une interface utilisateur graphique prenant en charge l'utilisateur pour étudier le système générique des ressources en eau.

Grâce à l'interface, l'utilisateur peut:

- dessiner et définir les fonctionnalités des composants du système WR en tant que réseau de nœuds et de liens
- modifie les données et les règles de fonctionnement caractérisant chaque type d'élément de réseau
- Préparer les fichiers d'entrée et les paramètres des modules de simulation
- Tracer les séries de temps d'entrée et de sortie dans le temps et l'espace
- afficher les résultats de simulation géographiquement
- calculer et afficher les statistiques des résultats de simulation IRAS network
- Les éléments du réseau IRAS peuvent modéliser divers composants de tout système d'eau de surface en interaction.
- Les nœuds représentent les composantes ou les points d'intérêt dont les valeurs des variables simulées sont enregistrées et où les entrées, les sorties, la consommation, le détournement et les événements de stockage peuvent avoir lieu.
- L'utilisateur d'IRAS peut choisir parmi les types de nœuds suivants:
- Les réservoirs artificiels, dont la libération ou la décharge sont régis par des politiques d'exploitation tenant compte du volume ciblé, de la satisfaction des demandes en aval, etc.
- Les lacs naturels, dont la sortie ou la décharge est déterminée par la topographie du bassin par conséquent il est fonction de l'élévation du volume ou de l'eau de surface;
- Terres humides;
- Nappe libre ou nappe captif, répartis horizontalement ou en plusieurs couches;

- Sites de retrait ou de recharge des eaux souterraines;
- sites de demande, consommatifs ou non;
- sites d'évacuation des eaux usées;
- Centrales hydroélectriques, reliées à des rivières ou à des réservoirs.
- Les liens représentent le transfert d'eau entre deux nœuds et peuvent être unidirectionnels ou bidirectionnel.
- Une carte géographique numérisée de la zone peut être chargée en tant qu'image en noir et blanc afin de faciliter un placement cohérent des nœuds.

b) Données requises

- Chaque nœud du réseau peut assumer le rôle d'une station de mesure qui surveille les débits d'eau naturels.
- Paramètres de qualité : Si le nœud est un nœud de stockage et que la qualité de l'eau doit être simulée, l'utilisateur doit définir les constantes de croissance ou de décroissance quotidiennes moyennes et les constantes de vitesse de transformation pour chaque constituant de qualité de l'eau simulé et pour chaque période d'une année.
- Données d'élévation : Les données d'élévation à un nœud sont nécessaires chaque fois que l'énergie hydroélectrique ou le pompage peut être considéré sur l'un de ses liens entrants ou sortants.
- Fonctions de perte : L'eau peut être perdue en raison de l'évaporation et de l'infiltration sur n'importe quel nœud de stockage et l'utilisateur doit définir les fonctions de perte appropriées à chaque nœud applicable pour chaque période d'une année donnée.
- Les objectifs de la demande en eau pour chaque période d'une année donnée doivent être spécifiés pour chaque nœud de la demande.
- Identificateurs et facteurs de sources d'eau : Chaque nœud de demande peut avoir un ensemble de sources possibles d'eau.
- La capacité de volume de stockage et volume de stockage initial,
- décharge minimale en fonction du volume de stockage,
- Ces écoulements naturels incontrôlés représentent l'entrée d'eau dans le système hydrographique.
- Le nombre et le type de déchets ou composants de la qualité de l'eau et leurs concentrations initiales moyennes pour chaque nœud de décharge et pour chaque période d'une année.

c) Limites

- N'utilise ni les données géo-référencées ni les logiciels SIG.

- l'analyse économique et les indicateurs pertinents ne sont pas pris en compte, et n'inclut pas une définition des scénarios et des options de stratégies.
- Le nombre élevé de différents types de liens reliant les nœuds peut entraîner une confusion (Nouiri, 2016).

Conclusion

L'étude a identifié et revu un certain nombre d'outils DSS bien qu'ils aient été développés à d'autres fins, ils peuvent être utilisés pour l'EIE. Les outils examinés comprennent; **Mike Basin** qui vise à étudier l'allocation de l'eau au sein d'un bassin, **basins** réalisent des études écologiques et de qualité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant, **(IQQM)** qui est un outil de modélisation hydrologique visant à simuler les systèmes hydrographique, la planification et l'évaluation des impacts des options de gestion des ressources en eau, la surveillance de et la protection de l'environnement, **REALM** est un paquet pour la simulation du système d'approvisionnement en eau et peut être utilisé pour étudier les différentes options de ressources en eau, **RIBASIM** qui est un modèle pour la planification et la gestion des ressources en eau au niveau des bassins hydrographiques lors de la simulation d'allocation d'eau sur un certain horizon temporel, **WEAP** est un outil de planification des ressources en eau qui aide le décideur à stocker et à gérer les informations sur la demande et l'approvisionnement en eau la production de déchets et les coûts de l'eau et dans l'évaluation des options de développement et de gestion de l'eau, **Waterware**, est un DSS pour la planification et la gestion intégrée des bassins hydrographiques, car il intègre des suites de modèles et d'outils visant à des analyses d'impact complètes, **Aqua tool**, un système d'aide à la décision généralisé composé de modules de simulation et d'optimisation, de modélisation et d'évaluation des risques, pour la planification des ressources en eau et la gestion opérationnelle à l'échelle du bassin hydrographique et le programme est un outil pour simuler les ressources en eaux de surface et souterraines, leurs interactions réciproques et les échanges de flux dans l'espace et le temps.

En outre, on a présenté les critères de sélection des modèles qui sont des exigences de données, gratuite ou d'achat, facile d'utilisation et d'accessibilité. Le système de notation et la hiérarchisation en fonction des critères ont été réalisés.

On peut conclure que WEAP peut être utilisé comme un outil Systèmes d'aide à la décision (DSS) pour la région du bassin de la Seybouse.

Chapitre II: Contexte physique du bassin

I. Description du bassin versant

I.1. Localisation et superficie

Le nom de Seybouse ne s'applique qu'à une partie de son cours, la Seybouse a ses origines les plus éloignées de la mer dans les hautes plaines de Heracta et des Sellaoua qui s'étalent à une altitude de 800 à 1000 m. Il draine des reliefs assez simples avec des écoulements lents.

Dans ces régions, son régime et son réseau sont bien différents de ceux qu'il acquiert en pénétrant dans le tell qui est fortement accidenté et très complexe où le réseau hydrographique est rarement adapté à la structure. A la sortie de cette dernière, la Seybouse pénètre dans la basse plaine d'Annaba perdant sa torrencialité et abandonnant une grande partie de sa charge solide.

Les faibles pentes, le cordon dunaire et les vastes zones d'inondation, favorisent largement la stagnation des eaux et rendent difficile l'écoulement fluvial vers la mer.

Au niveau de la basse Seybouse, située entre Bouchegouf et Annaba (Figure 1), l'oued s'écoule dans une vallée étroite, rectiligne du Sud vers le Nord ; c'est-à-dire de Bouchegouf jusqu'à Chihani. A partir de Chihani, l'oued traverse la plaine d'Annaba et se jette dans la mer.

La Seybouse est l'un des Oueds les plus importants d'Algérie par la longueur de son parcours, le nombre de ses affluents et la superficie de son bassin. La région d'étude fait partie du grand bassin versant de l'oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471 km². Il est limité au nord par la Méditerranée, au sud par la Wilaya de Souk-Ahras, à l'ouest par le Massif Edough, le lac Fetzara, Ain Berda et à l'est par oued Mafragh.

L'oued Seybouse est de 240 km de longueur totale, c'est une importante source d'eau, utilisé principalement pour l'irrigation des grandes plaines agricoles, allant de la région de Guelma jusqu'à la ville d'Annaba. Globalement, le bassin s'étend sur les frontières administratives des 68 municipalités situées dans sept wilayas. Le bassin versant de l'oued Seybouse est caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride, avec des précipitations annuelles moyennes qui varient entre 400 et 700 mm par an, il présente un grand intérêt socioéconomique dans la région nord-est de l'Algérie.

Possédant trois parties bien distinctes : les hautes plaines (Haute Seybouse), le tell méridional (Moyenne Seybouse) et le tell septentrional (Basse Seybouse). Ce dernier est la zone de notre étude.

La région d'étude (Basse vallée de la Seybouse) se situe dans la partie Nord-Est de l'Algérie, elle appartient au bassin de la Seybouse, située entre Boucheougouf et Annaba (Figure 1), l'oued s'écoule dans une vallée étroite, rectiligne du Sud vers le Nord ; c'est-à-dire de Boucheougouf jusqu'à Chihani. A partir de Chihani, l'oued traverse la plaine d'Annaba et se jette dans la mer (Khadri, 2009).

La géomorphologie du site est caractérisée par une topographie plane sur l'ensemble de la plaine, marquée par des inclinaisons importantes aux bordures de la plaine, à la partie Ouest et Sud, due à l'anticlinal du massif métamorphique de l'Edough, Belelieta et celle de la chaîne Numidienne (Debieche, 2002)

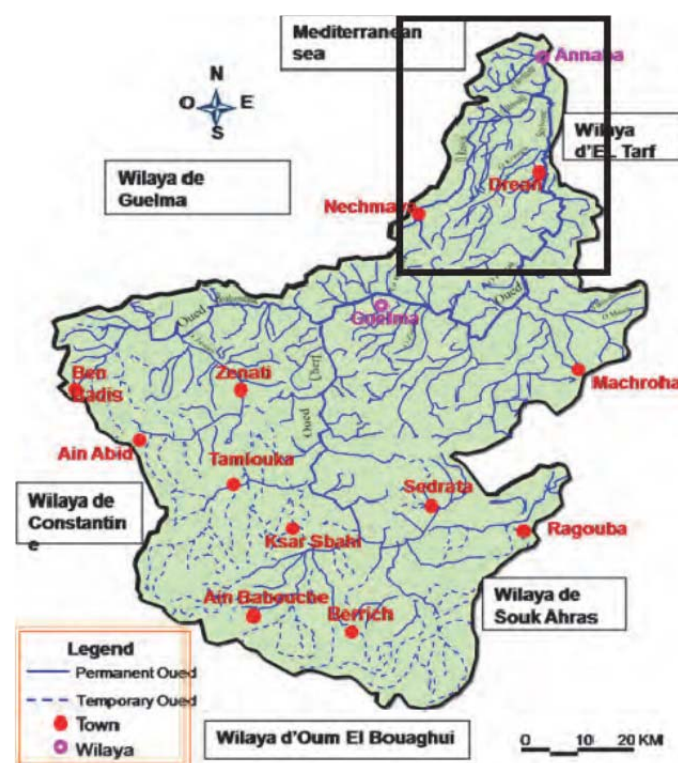


Figure 1. Carte de situation géographique du sous bassin de la basse Seybouse (ABH).

I.2.Organisation administrative

Sur le plan administratif, le sous bassin de la basse Seybouse se situe dans les territoires des wilayas de Guelma, El-Tarf (par Drean) et Annaba. Il comprend sept daïras, englobant treize (13) communes, (07 communes rurales et 06 communes urbaines), la commune d'Annaba constitue le plus grand pôle urbain dans le sous bassin.

Les tableaux ci-dessous présentent les agglomérations appartenant au sous bassin de la basse Seybouse (ABH):

Tableau 1. Agglomérations se situant dans les territoires de la Wilaya de Guelma

Sous Bassin	Agglomération	Commune
1406	Ain Ben Beida	Ain Ben Beida
1406	Bouchehouf	Bouchehouf
1406	Boukamouza	Oued Fragha
1406	Oued Fragha	
1406	Nechmaya	Nechmaya

Tableau 2. Agglomérations se situant dans les territoires de la Wilaya d'Annaba

Sous Bassin	Agglomération	Commune
1406	Ain Berda	Ain Berda
1406	Ain Sayd	
1406	El Harrouchi	
1406	SelmounHachemi	
1406	KoudiatMerah	
1406	MedjezRassoul	
1406	Annaba	Annaba
1406	RefesZahouane	
1406	Bergouga	Sidi Amar
1406	DerradjiRdjem	
1406	El Gantra	
1406	Oued Ziad	
1406	Sidi Amar	
1406	HadjarEddiss	
1406	BerkaZarga	El Bouni
1406	El Bouni	
1406	Boukhadra	
1406	Chebbia	
1406	Oued Ennil	
1406	Sidi Salem	
1406	Kheraza	
1406	Essarouel	
1406	El Hadjar	El Hadjar
1406	El Horaicha	
1406	EL Karma	

Tableau 3. Agglomérations se situant dans les territoires de la Wilaya d'El Tarf

Sous Bassin	Agglomération	Commune
1406	Bouffara Ain Allem	Drean
1406	Djenen Chouk	
1406	Drean	
1406	Fedaoui Moussa	
1406	Feddaoui Salah	Chebaita Mokhtar
1406	Chebaita Mokhtar	
1406	Zourami Ali	
1406	Fernana	Chihani
1406	Kef Mourad	Besbes
1406	Sid Djemil	

II. Aperçu socio-économique

La région d'étude est une région à vocation agricole et industrielle, les principaux secteurs d'activités économiques du sous bassin de la basse Seybouse sont:

II.1. Agriculture

Observée sur l'ensemble de la zone, avec une très grande variété de cultures, elle contribue à la production de denrées alimentaires du pays (céréales, maraîchères, fruits, tomates, vignes, olives etc.) ainsi que la pêche.

L'irrigation dans le sous bassin de la basse Seybouse occupe une place très importante dans l'économie de la région, et particulièrement moderne (par aspersion) dans le sous bassin.

II.2. Industrie

Les activités industrielles sont très importantes dans la région et sont principalement concentrées autour de la ville d'Annaba, les principales industries sont:

- les industries agro-alimentaires (production laitière, conserves de tomates, sucre, etc.);
- L'industrie manufacturière; l'industrie lourde à Annaba pour la production d'acier d'environ 1,0 millions de tonnes/an, de 115.000 tonnes/an de bobines d'acier et tôles laminées à chaud et à froid par Arcelor Mittal, ainsi que les engrais phosphatés et azotés par Fertiberia/Asmidal (8).

II.3. Contexte démographique du bassin

Les données de population des communes incluses partiellement dans le territoire du bassin, sont prises en considération parce qu'on a œuvré par agglomération quel que soit son ordre de grandeur. Selon les projections de 2010, basées sur le recensement de 2008, la population du sous bassin de la basse Seybouse est de 679 938 habitants.

III. Aspect géomorphologique

Dans le large espace drainé par cet important cours d'eau plusieurs milieux naturels apparaissent ce qui laisse entrevoir les formes géomorphologiques suivantes :

III.1. Les terrasses de la Seybouse

La Seybouse présente le long de son cours des terrasses alluviales étagées à des cotes diverses. Les principales unités géomorphologiques que l'on pouvait remarquer sont :

- Hautes terrasses (située à des altitudes allant de 100 à 150 m) : Ce sont des formations argileuses pratiquement imperméables qui ne présentent aucun intérêt hydrogéologique. Elles sont localisées surtout entre Drean et Ain Berda.
- Moyennes terrasses (située à des altitudes variant entre 20 et 50 m) : Ce sont des formations constituées de cailloutis à la base, assez fines au sommet, formées de graviers, de galets et spécialement d'argiles sableuses. Elles présentent un intérêt hydrogéologique peu important.
- Basses terrasses (situées à une altitude moyenne de 15 m) : Elles sont formées par des dépôts alluvionnaires constitués d'un matériel argilo-limoneux avec des galets, graviers et sables. Ce sont des formations accumulatives d'eaux souterraines.

III.2. Les montagnes

A. Le massif de l'Edough

C'est le massif principal qui caractérise la région d'Annaba. De plus de 1008 m, il s'élève brusquement au-dessus des autres reliefs qui l'entourent. Sa masse principale de direction NESW, présente une ligne de crête longue de 26 km qui débute depuis le lac de Fetzara au Sud et s'élève progressivement jusqu'au point culminant (1008 m) à Kef Sebaa pour redescendre ensuite depuis Seraidi vers Cap de Garde au Nord.

Au Sud, ce massif est flanqué par le Djebel Boukantas (511 m) et Belilieta (287 m) et se prolonge vers Annaba par le petit massif de Boukhadra (156 m).

B. Le tell Nord Guelmien

Le tell Nord-Guelmien présente une allure nettement dissymétrique. Le versant sud domine, par les fortes pentes, les vallées de l'Oued Bou Hamdane et le bassin de Guelma drainé par l'Oued Seybouse. En revanche, le versant nord descend plus lentement vers le lac Fetzara. Le Djebel Haouara culminant à 981 m, domine fièrement toute cette région. Plus au nord, un massif gréseux affleure en allant de Bouati Mahmoud à Ain Berda. Il est relayé à l'est d'Ain Berda par les Djebels Hadjar Nahal et Ouest.

III.3. Le domaine des plaines

A. La plaine d'Annaba

C'est la plaine drainée par les deux oueds : Seybouse au Sud et Bounamoussa au Nord, elle se situe au centre d'un synclinaurium limitée par le massif de l'Edough au Nord et la chaîne numidienne au Sud.

B. la plaine d'El Hadjar

Elle présente une forme inclinée vers la mer et occupe la partie Est du fond de la cuvette du lac Fetzara et se prolonge vers la plaine de Annaba. La liaison entre le lac et la plaine d'El Hadjar se fait par l'oued Meboudja.

IV. Végétation

La nature des terrains du sous bassin de la basse Seybouse combinée d'altitudes, donc d'humidité et de température, détermine un couvert végétal très varié. L'essentiel de la couverture végétale est représenté par des cultures diverses. On distingue deux catégories :

- Le domaine agricole : est représenté par les grandes cultures et parcours, les oliviers.
- la végétation naturelle : regroupe toute la végétation naturelle; les forêts, les maquis, et les broussailles.

V. Lithologie et leurs caractéristiques hydrogéologiques

Sa partie Sud est constituée en majeure partie par des argiles rouges, sur lesquelles reposent des grès peu perméables, au Sud- Ouest, ce sont les marno- calcaires et les flyshs d'Ain Barda qui dominent.

Les plaines Ouest de Annaba sont caractérisées par des alluvions quaternaires qui sont perméables. La zone Nord –Ouest est occupée par le flanc Est du massif de L'Edough, qui correspond à des roches cristallines (gneiss, schistes, micaschiste) (Joleaud 1936 ; Hilly 1962).

V.1. L'outil géophysique

Les travaux géophysiques réalisés par les géologues de la Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures (SONATRACH) en 1969, ont déterminé la structure profonde de la plaine à partir de résultats de la sismique réflexion. Cette dernière a permis de montrer l'existence d'un effondrement au sein du remplissage du Mio-Plio-Quaternaire de Annaba, qui se subdivise en deux fossés, celui de Ben Ahmed de direction N-S et celui de Ben M'hidi de direction NW-SE, les deux fosses sont séparées par l'élévation de Daroussa.

Ces deux fossés représentent les endroits où le remplissage Mio-Plio-Quaternaire est important, ce qui donne des épaisseurs importantes aux réservoirs (Debieche, 2002).

V.2. L’outil des sondages

Plusieurs sondages de reconnaissance ont été réalisés au niveau du remplissage Mio-pliocène par SONATRACH ainsi que les piézomètres et les forages d’exploitation de l’ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), ce qui nous a permis de faire une reconnaissance précise concernant la lithologie et la géométrie des dépôts du Mio-Pliocène. Trois coupes géologiques ont été réalisées à partir des corrélations établies entre les différents forages et sondages existants dans la région (Coupe A, B, C).

Ces derniers, nous ont permis de déterminer l’extension des aquifères en profondeur ainsi que l’effet des fossés d’effondrements de Ben Ahmed et de Ben M’hidi ainsi que l’élévation de la Daroussa sur la structure des réservoirs.

Conclusion

Entre Bouchegouf et Annaba, la Seybouse qui a l’allure d’un fleuve roule un volume d’eau considérable. La région se divise en plusieurs ensembles topographiques présentant chacun des caractères et des problèmes géomorphologiques propres. On peut distinguer le versant nord du tell, la plaine d’Annaba et la cuvette du lac Fetzara.

Le rythme de développement socio-économique dépend de la densité de population, de l’activité industrielle et agricole.

La connaissance du couvert végétal et des pratiques agricoles est importante pour l’étude de l’érosion des sols.

La combinaison de l’outil géologique, géophysique, et hydrogéologique a permis de déterminer la lithologie, la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques des différents réservoirs dont deux se présentent au niveau de la zone d’étude possédant des potentiels hydrauliques importants dans la région.

Chapitre III: Caractéristiques Morphométriques et hydrographique de la basse Seybouse

I. Caractéristiques morphométriques

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant influencent fortement son caractère hydrologique, et notamment le régime des écoulements. Le temps de concentration t_c qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : à savoir, la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente moyenne et caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes topographiques ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques.

I.1. Superficie

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Elle s'obtient par planimétrie sur une carte topographique après que l'on y ait tracé les limites topographiques et éventuellement hydrogéologiques.

I.2. Forme du bassin

Cet élément peut être caractérisé par l'Indice de compacité de Gravelius k_C , 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.

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

$$k_C = \frac{P}{2\sqrt{S \cdot \pi}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (1)$$

Cet indice de compacité est égal à 1 pour un bassin circulaire et croît d'autant plus que la compacité diminue.

k_C : Indice de Compacité de Gravelius.

P : périmètre (km)

A : superficie (km²)

Pour le sous bassin de la basse vallée de la Seybouse, l'indice k_C a été calculer est égale à 1,49, traduisant une forme allongée du bassin et c'est ce que les dimensions du rectangle équivalent confirment (71,38 km et 14,76 km).

I.1.1. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est défini comme le rectangle de longueur L et de largeur l qui a une même surface (S), même périmètre (P), même indice de compacité K_c , et même hypsométrie de bassin versant étudié.

Il nous permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue influence de leur forme sur l'écoulement.

I.1.1.1. longueur du rectangle

$$L = k_c \cdot \frac{\sqrt{S}}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (2)$$

I.1.1.2. largeur du rectangle

$$l = k_c \cdot \frac{\sqrt{S}}{1,128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (3)$$

L : Longueur du rectangle équivalent en Km;

l : Largeur du rectangle équivalent en Km;

k_c : Indice de compacité ;

S : Superficie du bassin versant en km^2 .

Nous obtenons:

$$L = 71,38 \text{ km}$$

$$l = 14,76 \text{ km}$$

I.3. Répartition des tranches d'altitudes et la courbe hypsométrique

L'analyse hypsométrique est très utile pour l'étude du relief, Elle met en évidence le profil, le 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. Par ailleurs, la Figure 2 et le Tableau 4 ci-après donnent respectivement la répartition de surfaces suivant les classes d'altitude et les surfaces partielles pour le bassin versant

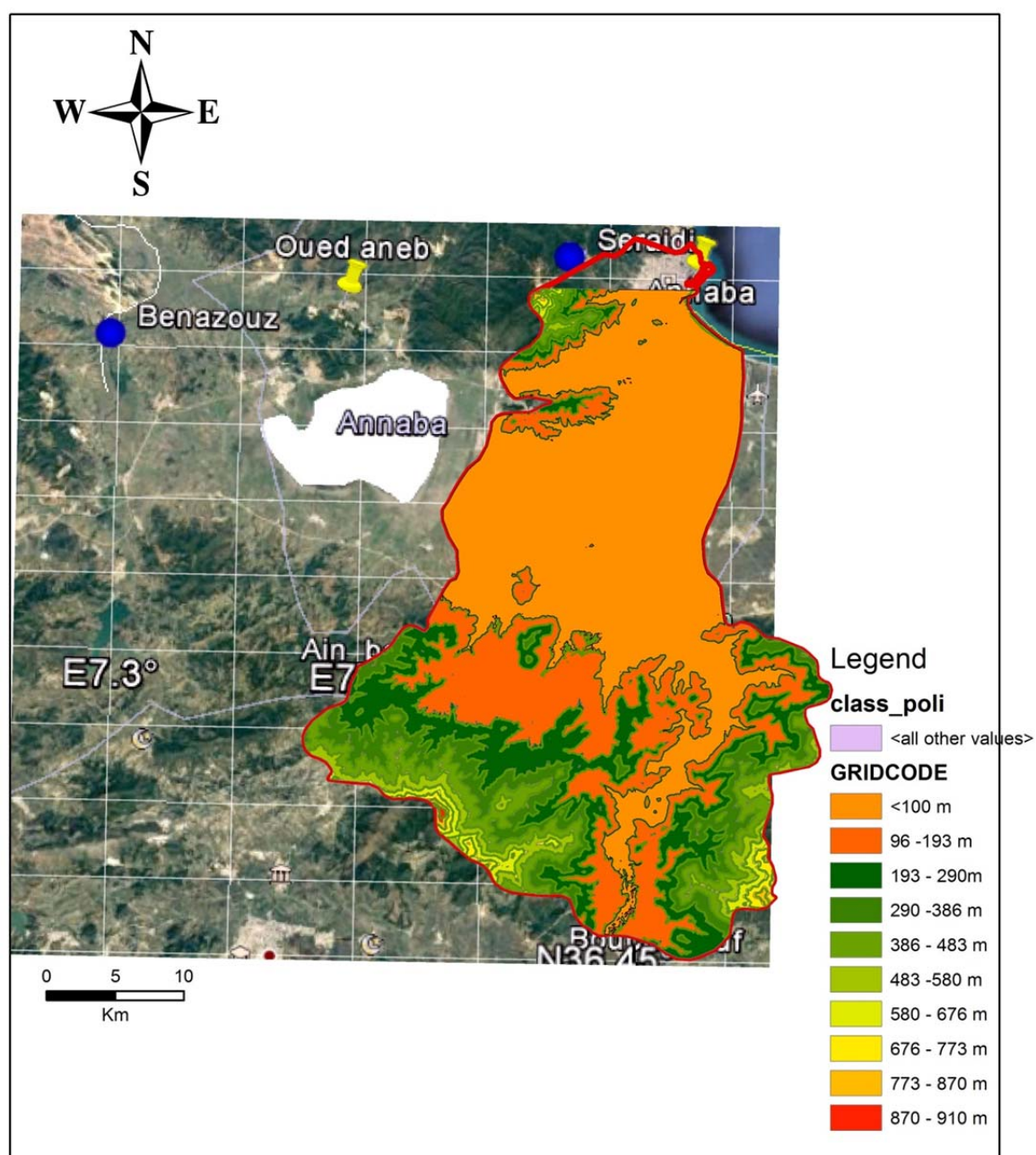


Figure 2. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le sous bassin de la basse de la Seybouse (Berredjem, 2018)

Tableau 4. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitude dans le bassin

Les altitudes	ai (Km2)	ai %	ai % cumulées
<96	463,03	43,94%	100,00%
96-193	219,32	20,81%	56,06%
193-290	150,35	14,27%	35,25%
290-386	94,38	8,96%	20,98%
386-483	62,83	5,96%	12,02%
483-580	34,59	3,28%	6,06%
580-676	16,43	1,56%	2,78%
676-773	9,22	0,87%	1,22%
773-870	2,69	0,26%	0,35%
870-910	0,95	0,09%	0,09%

La Figure 3 par contre, donne la courbe hypsométrique du sous bassins de la basse Seybouse

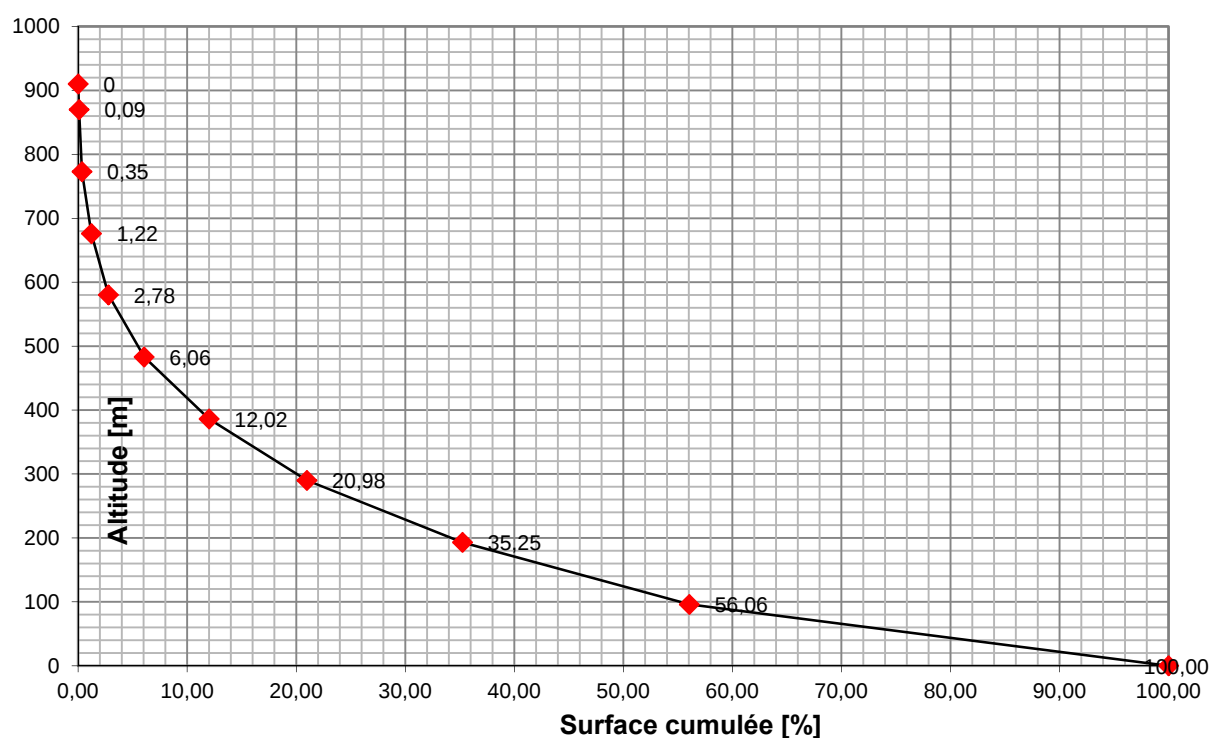


Figure 3. Courbe hypsométrique dans le sous bassin de la basse vallée de la Seybouse

La courbe hypsométrique présente une allure régulière, il y a donc une certaine équipartition des surfaces sur différentes tranches d'altitude.

I.2.1. Altitude moyenne du bassin versant

$$H_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i}{S} \quad (4)$$

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

S_i : Surface partielle comprise entre deux courbes de niveau (Km²) ;

S : Surface totale du bassin versant (km²) ;

$$H_{moy} = 179,15 \text{ m}$$

I.2.2. L'altitude médiane

Elle est déduite à partir de la courbe hypsométrique (Figure 3), elle est égale à 120 m ($H_{50\%}$).

I.2.3. Dénivelée D

La dénivelée utile (D) est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5 et 95% de la superficie totale du bassin étudié; altitudes dénotées, respectivement, par $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$. Ceci dit que 90% de la superficie s'étend entre ces altitudes

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad (5)$$

D'après la courbe de la Figure 3 :

$$H_{5\%} = 512 \text{ m et } H_{95\%} = 10 \text{ m}$$

Ce qui donne : $D = 502 \text{ m}$

I.2.4. Indices de pente et relief

Ces indices permettent de caractériser les pentes d'un bassin versant et d'établir une classification des différents reliefs pour faire ensuite des comparaisons entre les différents bassins. L'appréhension du relief peut être faite à l'aide d'au moins deux indices.

I.2.5. Indice de pente global (Ig)

Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. L'indice de pente global (Ig), exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivelée utile (D, en m); estimée à partir de la courbe hypsométrique; à la longueur du rectangle équivalent en km, d'où:

$$Ig = \frac{D}{L} \quad (6)$$

Ce qui donne : $Ig = 7,03 \text{ (m/km)}$

I.2.6. La dénivelée Spécifique

L'indice I_g décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il est difficile de comparer des bassins de tailles différentes (Réménieras, 1964).

La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient: elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admise étant inversement proportionnel à A :

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

$$D_s = D \cdot \sqrt{\frac{I}{L}} \quad (8)$$

La D_s estimée par 228,21 m traduit bien l'importance du volume montagneux, et de même les importantes dénivelées, et donne au relief du sous bassin de la Seybouse la qualification (selon la classification de l'O.R.S.T.O.M) de relief assez fort, et c'est un élément déterminant de la réaction du sous bassin vis-à-vis des pluies.

I.3. caractéristiques hydrographiques du bassin versant

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surfaces vers l'exutoire (Roche, 1963).

Hydrologie de surface, (vers la mer cas de la basse Seybouse). L'étude de chevelu hydrographique servant surtout à comparer des bassins entre eux (Leviandier, 1986).

La basse Seybouse présente un chevelu hydrographique de **948,89 Km**. L'oued Seybouse est le plus important, il résulte de la jonction des oueds, Bouhamdène et Cherf dans la région de Medjaz Ammar (W Guelma). A l'est de la moyenne Seybouse se trouve oued Mellah à Bouchegouf. Au niveau de la basse Seybouse, le sous bassin est traversé essentiellement par (Figure 5) :

- L'oued Seybouse, présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 Km²
- l'oued Fragha, Djefeli et oued Oglat el Feli, affluents de l'oued Seybouse.
- l'oued Ressoul à Ain Berda.
- l'oued Meboudja, le dernier affluent de l'oued Seybouse, assure la vidange du lac Fetzara par un canal d'assèchement de 14 Km.

I.3.1. hiérarchisation du réseau

Pour compter la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre de cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de STRAHLER:

- tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.

- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est de l'ordre $n+1$.
- Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par:
 $n + n = n + 1$ et $n + m = \max(n, m)$ (Figure 5).

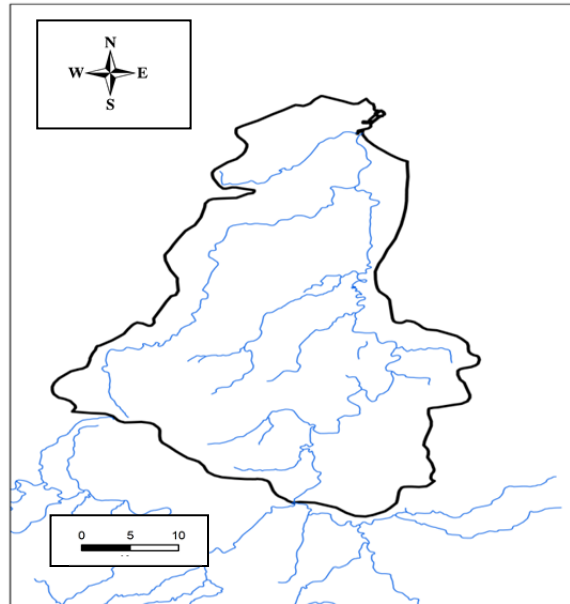


Figure 4. Carte de réseau hydrographique du sous bassins de la basse Seybouse (Berredjem, Hani, 2017)



Figure 5. Classification du chevelu hydrographique dans du sous bassins de la basse Seybouse (Balah, 2009)

I.3.2. Profil en long

Les profils en long permettent d'estimer la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente moyenne sert surtout dans l'évaluation des temps de concentrations d'un bassin versant.

Le profil en long relatif au cours d'eau principal de la Seybouse et ses principaux affluents permet d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu du rôle déterminant des pentes des thalwegs sur le ruissellement superficiel et surtout sur les vitesses d'écoulements des crues (Galéa ; Ramez, 1995).

La basse Seybouse se caractérise par un tracé régulier de très faibles pentes surtout au niveau de l'embouchure.

I.3.3. Autre caractéristiques du chevelu

I.3.3.1. densités de drainage

Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur cumulée de tous les cours d'eau pour chaque surface de sous bassin selon les données de l'ANRH:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} [\text{Km/km}^2] \quad (9)$$

$\sum L_i$: La sommes des longueurs des tronçons du réseau hydrographique; **948, 89 km**

S : Surface du Bassin Versant; **1053,79 km²**,

$$D_d = 0,90 [\text{Km/km}^2]$$

I.3.3.2. temps de concentration

Le temps nécessaire pour l'eau de s'écouler depuis l'élément hydrologiquement le plus éloigné (en amont) du bassin versant jusqu'à l'exutoire, appelé temps de concentration du bassin. Pour sa détermination on utilise souvent la formule de GIANDOTTI car elle tient compte des paramètres morphologiques utilisés:

$$T_c = \frac{1,5L_{wp} + 4\sqrt{S}}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (10)$$

L_{wp} : Longueur du cours principal du thalweg (**$L_{wp}=77,57\text{Km}$**) ;

S : Surface du bassin versant (km²) ;

H_{moy} : altitude moyenne (m) ;

H_{min} : altitude minimale (m).

$$T_c = 10 \text{ h } 42 \text{ min.}$$

Dans laquelle L_{wp} est la longueur (en km) du thalweg principal et H_{moy} et H_{min} sont, respectivement, les altitudes moyenne et minimale du bassin (en m).

On remarque que le temps de concentration est d'autant plus élevé que l'allongement du bassin est marqué. La lithologie et le couvert végétal influent également sur le temps de concentration en jouant le rôle d'entrave réduisant le ruissellement.

Tableau 5. Récapitulatif des caractéristiques morphométriques du sous bassins de la basse Seybouse

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Surface	S	1053,79	Km ²
Périmètre	P	171	Km
indice de compacité	Kc	1,49	-
Longueur de rectangle équivalent	L	71,38	Km
Largueur de rectangle équivalent	l	14,76	Km
Altitude maximale	H_{max}	910	m
Altitude moyenne	H_{moy}	179,15	m
Altitude médiane	$H_{50\%}$	120	m
Altitude minimale	H_{min}	0	m
Altitude à 5% de la surface	$H_{5\%}$	512	m
Altitude à 95% de la surface	$H_{95\%}$	10	m
Indice de pente globale	Ig	7,03	m/Km
Temps de concentration	Tc	$Tc = 10 \text{ h}42'$	h

Conclusion

L'analyse des caractéristiques morphométriques du sous bassins de la basse Seybouse nous a permis de dégager les principaux paramètres qui ont une influence certaine sur le dynamisme des eaux surtout superficielles, qui y circulent.

La forme rectangulaire (allongée) du bassin, la dominance des classes altimétriques inférieur à 100 m et l'altitude moyenne est de 179,15 m, ont mis en évidence l'appartenance du sous bassins de la basse Seybouse à un milieu de montagnes typiques du Tell Constantinois. Ce bassin est encadré donc par un relief accidenté, qualifié d'assez fort ($Ds = 228,60 \text{ m}$), il est caractérisé par:

- Une densité de drains forte au sud et faible au nord où la pente devienne quasi nulle;
- l'oued prend une forme méandreuse et les vitesses d'écoulement se réduisent;
- La densité de drains est moins faible à l'est qu'à l'ouest (présence des séries montagneuses plus importante à l'ouest).

Cela s'effectue via un chevelu hydrographique de ($D_d = 0,9 \text{ Km/Km}^2$), aboutissant à la mobilisation des eaux de surface ($T_c = 10 \text{ h}42 \text{ min}$).

Chapitre IV : cadre hydroclimatologique du bassin versant

Introduction

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau, elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations, Seules les précipitations échappant à l'emprise de l'évaporation et participant à la recharge de la nappe, qui sont dites pluies efficaces, donc l'infiltration d'une lame d'eau dans la nappe assure le renouvellement de la ressource, il est indispensable de connaître tous les éléments du cycle de l'eau, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, l'écoulement de surface et l'infiltration, Cette étude climatique débouchera sur un calcul de bilan en exploitant les données météorologiques disponibles.

I. Les stations de mesure

L'étude est basée essentiellement sur les données des trois stations suivantes:

- Au Sud la station de Bouchegouf
- au Nord (station de Pont Bouchet et la station des Salines),

Le choix de ces stations est basé sur la représentativité de la zone d'étude et l'existence de séries complète, la période d'observation est de 1978 à 2007, les coordonnées de ces stations de mesure sont répertoriées dans le Tableau 6.

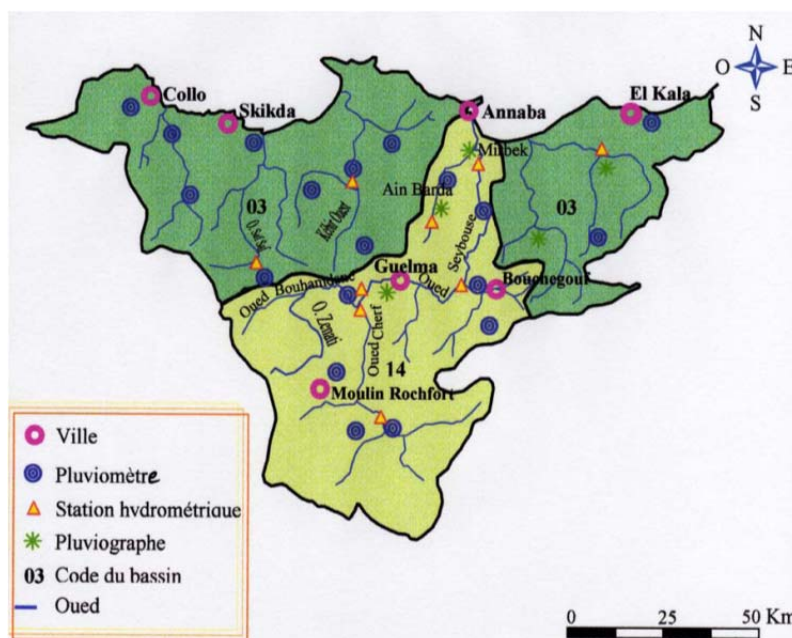


Figure 7. Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques dans le bassin de la Seybouse (Zerrouki, 2007)

Tableau 6. Les coordonnées des stations de mesures (D'après ANRH Constantine)

Station	X (km)	Y (km)	Z (m)	Période
Les Salines	955,800	403,800	3	1977/2007
Pont Bouchet	950,250	402,800	6	1977/2007
Bouhegouf	949,150	362,200	110	1985/2007

II. Type de climat

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen tempéré, qui fait partie des régions les plus arrosées de l'Algérie du Nord, Les précipitations oscillent entre 600 et 700 mm/an, Caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide marquée par une forte pluviosité et faibles températures, allant du mois d'octobre au mois mai, et l'autre chaude et sèche relativement courte durant le mois de juin jusqu'à septembre.

II.1. Etude des précipitations

La précipitation est la quantité d'eau météorique total, liquide ou solide qui s'abat sur une surface horizontale déterminée, appelée "section pluviométrique", La pluie est un facteur climatique très important conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes.

La pluie augmente avec l'altitude, elle est également plus importante sur les versants exposés aux vents, Elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des versants et de la mer.

II.1.1. Les précipitations mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles calculées pour les trois stations étudiées sont représentées dans le tableau suivant.

Les données recueillies aux niveaux des stations des Salines (1977-2006), de Pont Bouchet (1978-2006), et celle de Bouhegouf (1985/2007) sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 7. Précipitations moyennes mensuelles interannuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et Bouhegouf. (mm)

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O
Salines	34,41	66,56	89,07	116,32	100,11	79,75	67,2	60,4	35,61	14,62	2,2	9,42
P,Bouchet	32,28	48,06	83,5	104,74	96,1	70,41	58,35	56,54	40,37	11,48	2,3	8,9
Bouhegouf	30,01	42,11	61,03	90,86	88,72	59,81	62,93	54,61	48,1	16,57	3,26	13,48

On remarque au niveau des trois stations que le mois de décembre demeure le mois le plus pluvieux par opposition au mois de juillet qui reste le plus sec.

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations représentées par les figures (8.9.10) montrent une variation inter-mensuelle des pluies, Cette variation traduit une forte irrégularité entre les différents mois de l'année hydrologique.

Le maximum enregistré dans ces stations s'observe au mois de décembre qui est de l'ordre de 116,32 mm à la station des salines, Au niveau de la station de Pont Bouchet de l'ordre de 104,74 mm, ainsi que la station de Bouchegouf qui est de l'ordre de 90,86 mm, Les mois d'Octobre, au mois de Mai, se caractérisent par des précipitations supérieures à la moyenne calculée, Par opposition les mois de Juin, de Juillet, d'Août et de Septembre se caractérisent par des précipitations inférieures à la moyenne calculée, les plus faibles valeurs des précipitations sont toujours enregistrées au mois de Juillet pour les trois stations :

Les Salines est de l'ordre de 2,20mm, Pont Bouchet de l'ordre de 2,30mm, de Bouchegouf de l'ordre de 3,20mm.

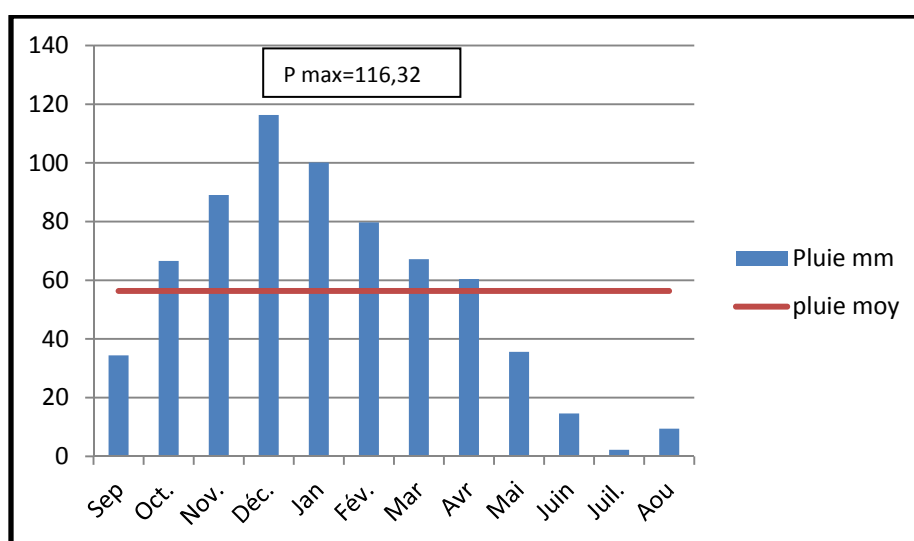


Figure 8. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station des Salines

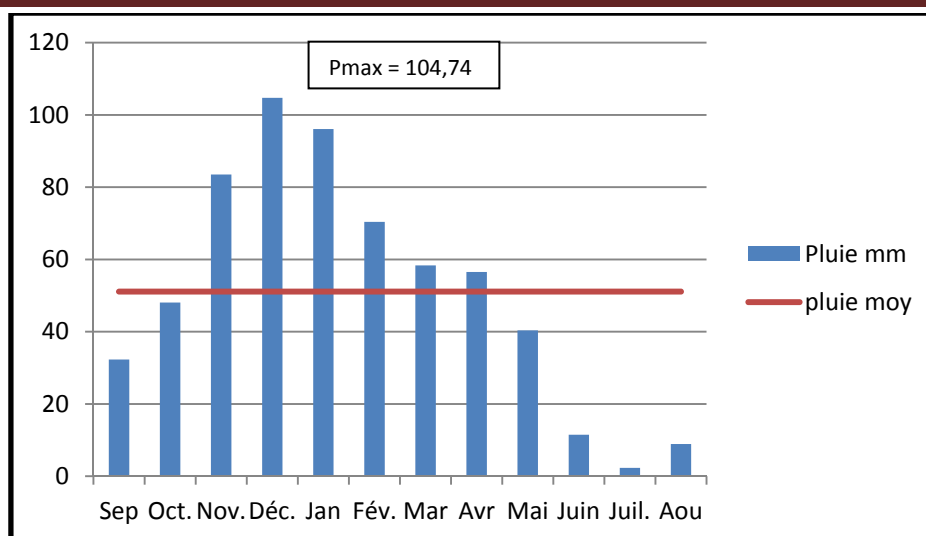


Figure 9. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la de Pont Bouchet

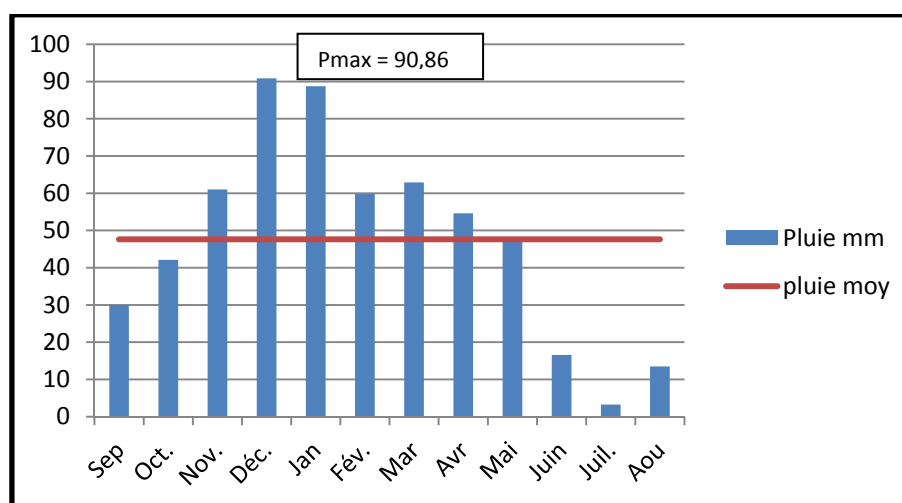


Figure 10. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de Bouchegouf

On remarque que les graphes (Figure 8 et Figure 9) ont presque la même allure, Un maximum est toujours enregistré au mois de décembre et un minimum qui marque le mois de juillet.

II.1.2. Distribution interannuelle des précipitations

L'étude des variations des précipitations en fonction du temps de la station de Pont Bouchet montre une grande différence entre l'année la plus pluvieuse (1987/1988) avec 940,3 mm/an et l'année la plus sèche (2004/2005) avec 372,4 mm/an.

Pour la station des Salines l'étude des variations des précipitations en fonction du temps montrent aussi un grand contraste entre l'année la plus pluvieuse 1996/1997 avec 987,7 mm/an et l'année la plus sèche (2004/2005) avec 422,8 mm/an.

Pour la station de Bouchegouf l'étude des variations des précipitations en fonction du temps montrent que l'année la plus pluvieuse (2001/2002) avec 937 mm/an et l'année la plus sèche (2002/2003) avec 339 mm/an.

La répartition des pluies annuelles présente d'importantes irrégularités les valeurs extrêmes des précipitations et plus particulièrement celles des années humides changent souvent d'une station à l'autre.

Tableau 8. Précipitation interannuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et Bouchegouf (mm).

Station	Année sèche	P min (mm)	Année pluvieuse	P max (mm)	La moyenne (mm)
Les Salines	2004/2005	422,8	1996/1997	987,7	675,68
Pont Bouchet	2004/2005	372,4	1987/1988	940,3	610,705
Bouchegouf	2002/2003	339	2001/2002	937	572,378

II.2.La température

La température est le deuxième facteur plus important dans l'étude climatique, car agissant directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent sur le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Les températures utilisées pour l'étude se rapportent à la station des Salines (1977/2007) et la station de Bouchegouf (1985/2007), et qui sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées.

Les valeurs sont portées dans le tableau 6.

Tableau 9. Températures moyennes mensuelles

Station	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Les Salines	Moy	22,93	19,97	15,55	13,03	11,36	11,82	13,23	15,06	18,23	22,23	24,8	25,69
Bouchegouf	Moy	24,31	20,63	15,04	11,36	10,04	10,71	12,71	15,13	19,04	23,94	26,95	27,73

le Tableau 9 nous indique les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées essentiellement pendant la période d'été (Juin – Septembre), avec des températures pour la station les salines variant de (22 à 25,3°C), et au niveau de la station Bouchegouf de l'ordre de 24 à 27,73°C, en revanche les températures les plus basses sont de l'ordre de 11,36 à 13,82°C au niveau de la station des salines, et de l'ordre de 10,04 à 12,71°C au niveau de la station de Bouchegouf, et qui sont observées pendant la période d'hiver (décembre à mars), Les autres mois présentent des températures intermédiaires entre 14 et 20°C.

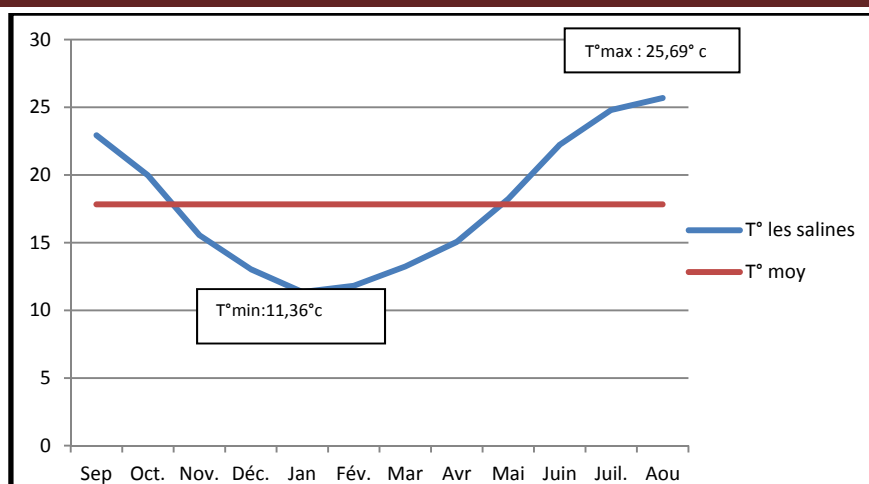


Figure 11. Variation mensuelles des températures station les salines

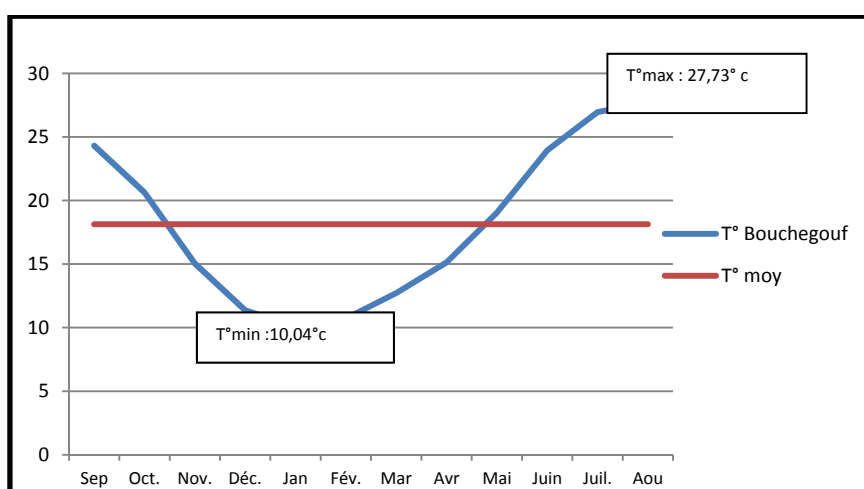


Figure 12. Variation mensuelles des températures station Bouchegouf

II.2.1 Diagramme ombrothermique (pluviothermique)

Ce diagramme est obtenu par la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles selon la relation $P \text{ (mm)} = 2T^{\circ}\text{C}$, il permet de déterminer les saisons sèches et humides (Figure.13.14.15).

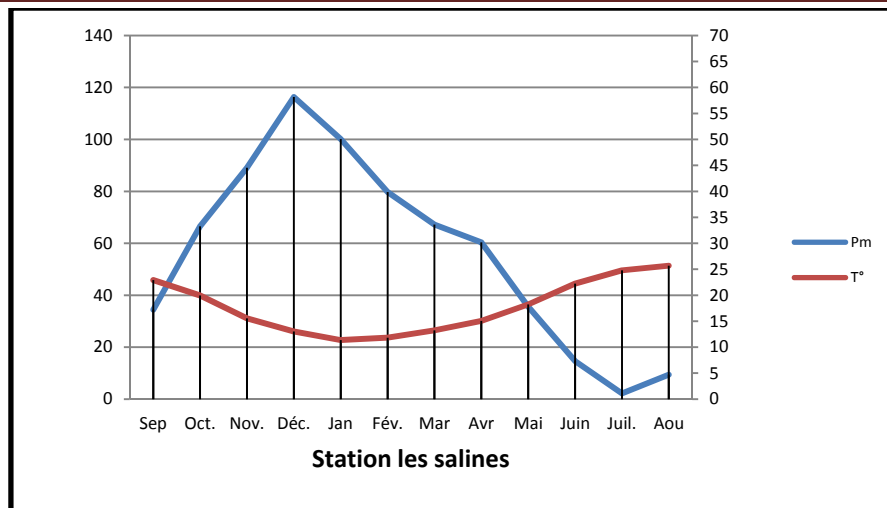


Figure 13. Diagramme ombrothermique station les salines

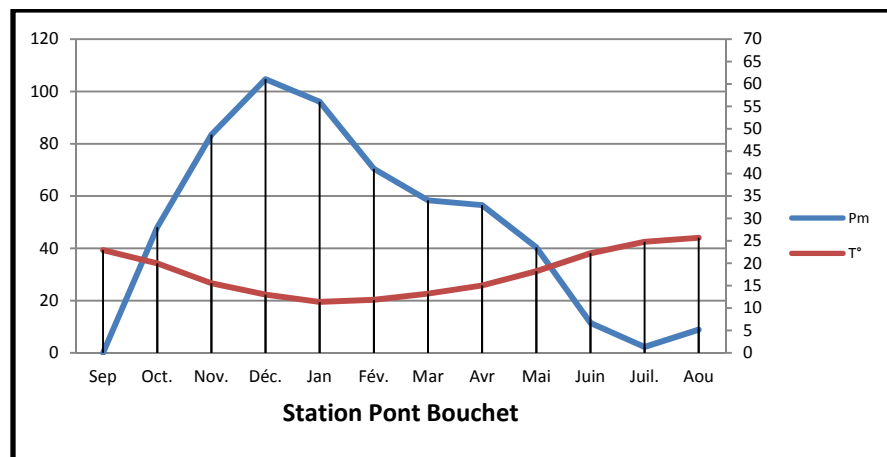


Figure 14. Diagramme ombrothermique Pont Bouchet

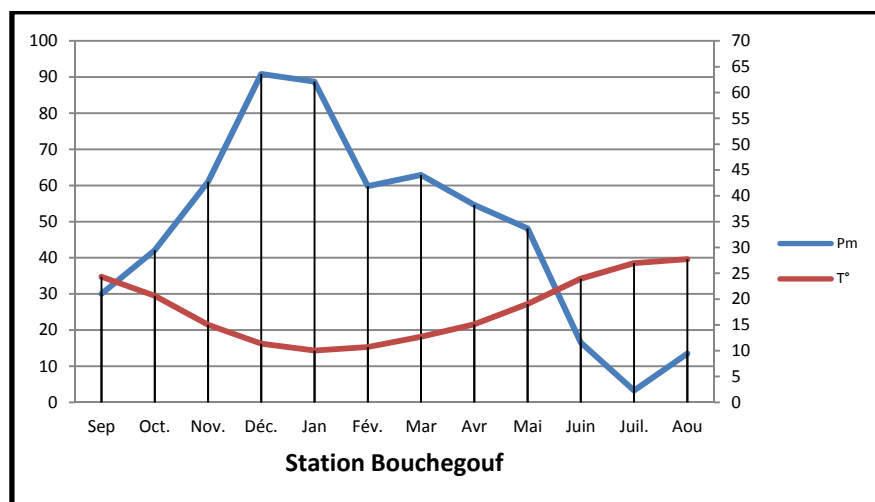


Figure 15. Diagramme ombrothermique station Bouchegouf

Les diagrammes montrent (Figure 13.14.15) que la zone d'étude est caractérisée par un climat doux et humide en hiver s'étend du mois d'octobre jusqu'au mois mai et l'autre saison sèche et

chaude qui va du mois de mai jusqu'au mois de septembre, ces caractéristiques indiquant un climat méditerranéen.

II.3. L'humidité

L'humidité relative est l'un des principaux paramètres du cycle hydrologique, c'est la source de toutes les précipitations, elle conditionne l'évaporation, elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée sur la tension de vapeur saturante à la même température, La moyenne mensuelle de l'humidité relative varie de 70,27% en été (juillet) à 78,23% en hiver (janvier) avec une moyenne annuelle étant de 74,74% (Tableau 10).

Tableau 10. Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines en % (1975/2007)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne	72,42	74,88	76,45	77,25	78,23	77,05	75,5	74,93	75,03	73,01	70,27	71,84

II.4. Le vent

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat, d'après les données à la station des Salines les vents prédominants sont de direction NW-SE et leur vitesse moyenne est de 3,18 m/s (Tableau 11).

Tableau 11. Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1975/2007)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne	3,07	2,92	3,07	3,47	3,27	3,33	3,34	3,24	3,04	3,06	3,21	3,16

II.5. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est définie comme étant l'ensemble des pertes par transformation de l'eau en vapeur, autrement dit, c'est la somme de l'évaporation (phénomène physique), et la transpiration de la couverture végétale (phénomène biologique).

II.5.1. Bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAITE

Il est clair que la formule de Thornthwaite convient aux régions sub-humide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est appliquée.

Le bilan de Thornthwaite permet d'estimer pour chaque mois :

- L'évapotranspiration potentielle en mm;
- L'évapotranspiration réelle en mm;

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 (Debieche, 2002).

II.5.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

Selon la méthode de THORNTHWAITE On définit d'abord un indice thermique mensuel (i), où :

$$ETP = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{t}{I}\right)^a \cdot k \quad (11)$$

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,5} \quad (12)$$

$$I = \sum_{1}^{12} i \quad (13)$$

$$a = \frac{1,6}{100} I + 0,5 \quad (14)$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm,

t : Température moyenne mensuelle en °C

i : Indice thermique mensuel,

I : Indice thermique annuel,

K : Coefficient d'ajustement.

II.5.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR)

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

II.6. Estimation de l'infiltration

On a le Bilan global :

$$P = R + I + ETR \quad (15)$$

Donc :

$$I = P - R - ETR \quad (16)$$

Avec :

P : Précipitation moyennes mensuelles (mm)

R : Ruissellement (mm)

I : L'infiltration (mm)

Tableau 12. Résultats de l'ETR par la méthode de Thornthwaite

Paramètres Stations	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Les Salines	675,66	463,42	102,5	109,75
Pont Bouchet	613,02	443,98	76,7	92,34
Bouhegouf	571,49	437,41	72	62,08

II.7. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

Le procédé de calcul pour le bilan, consiste en les étapes suivantes :

$P = ETP$: les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol, il n'y aura donc pas de surplus pour alimenter le RFU.

$P > ETP$

- L'ETR = ETP

- L'excédent des précipitations sur l'ETP, est emmagasiné dans l'humidité du sol, dont il augmente la réserve jusqu'à ce que ce dernier soit saturé,

- La partie de l'excédent dépassant éventuellement la réserve cumulée et se trouve disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes,

$P < ETP$: l'ETR = P, plus tout ou partie de la réserve d'eau du sol, celle-ci est mobilisée comme suit :

- Si le RFU est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'ETR = ETP.

- Si la réserve d'humidité du sol, est insuffisante pour satisfaire l'ETP, donc l'ETR reste inférieure à l'ETP, qui implique que l'ETR égale aux précipitations du mois plus la réserve disponible, Le déficit agricole (représente la quantité d'eau nécessaire pour les plantes) est égale l'ETP - ETR, Les résultats de calculs sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau 13. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite, Station des Salines (1977-2007).

Mois	P (mm)	T (°c)	i	K	ETP	ETR	RFU	Exc	DA
S	34,41	22,93	9,82	1,05	107,62	34,41	0	0	73,21
O	66,56	19,97	7,98	0,91	72,43	66,56	0	0	5,87
N	89,07	15,55	5,48	0,75	37,78	37,78	51,29	0	0
D	116,32	13,03	4,2	0,7	25,52	25,52	100	42,09	0
J	100,11	11,36	3,42	0,73	20,71	20,71	100	79,4	0
F	79,75	11,82	3,63	0,78	23,79	23,79	100	55,96	0
M	67,2	13,23	4,3	1,02	38,23	38,23	100	28,97	0
A	60,39	15,05	5,22	1,15	54,57	54,57	100	5,82	0
M	35,61	18,23	6,96	1,32	88,93	88,93	46,68	0	0
J	14,62	22,23	9,37	1,33	128,8	61,3	0	0	67,5
J	2,2	24,8	11,04	1,33	157,34	2,2	0	0	155,14
A	9,42	25,69	11,64	1,24	156,46	9,42	0	0	147,04
Total	675,66	17,82	83,06		912,18	463,42		212,24	448,76

Tableau 14. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite, Station de Pont Bouchet (1977/2007).

Mois	P (mm)	T (°c)	i	K	ETP	ETR	RFU	Exc	DA
S	32,27	22,93	9,82	1,05	107,62	32,27	0	0	75,35
O	48,06	19,97	7,98	0,91	72,43	48,06	0	0	24,37
N	83,5	15,55	5,48	0,75	37,78	37,78	45,72	0	0
D	104,74	13,03	4,2	0,7	25,52	25,52	100	24,94	0
J	96,1	11,36	3,42	0,73	20,71	20,71	100	75,39	0
F	70,41	11,82	3,63	0,78	23,79	23,79	100	46,62	0
M	58,35	13,23	4,3	1,02	38,23	38,23	100	20,12	0
A	56,54	15,05	5,22	1,15	54,57	54,57	100	1,97	0
M	40,37	18,23	6,96	1,32	88,93	88,93	51,44	0	0
J	11,48	22,23	9,37	1,33	128,8	62,92	0	0	65,88
J	2,3	24,8	11,04	1,33	157,34	2,3	0	0	155,04
A	8,9	25,69	11,64	1,24	156,46	8,9	0	0	147,56
Total	613,02	17,82	83,06		912,18	443,98		169,04	448,2

Tableau 15. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite, Station de Bouchegouf (1985-2007).

Mois	P (mm)	T (°c)	i	K	ETP	ETR	RFU	Exc	DA
S	30,01	24,31	10,72	1,03	114,83	30,01	0	0	84,82
O	42,11	20,63	8,38	0,97	79,43	42,11	0	0	37,32
N	61,03	15,04	5,21	0,86	38,87	38,87	22,16	0	0
D	90,86	11,35	3,42	0,81	21,6	21,6	91,42	42,09	0
J	88,72	10,05	2,85	0,87	18,43	18,43	100	79,4	0
F	59,81	10,71	3,13	0,85	20,29	20,29	100	55,96	0
M	62,93	12,77	4,08	1,03	34,16	34,16	100	28,97	0
A	54,61	15,17	5,28	1,1	50,53	50,53	100	5,82	0
M	48,1	18,98	7,39	1,21	84,71	84,71	63,39	0	0
J	16,57	24,02	10,53	1,22	132,98	79,96	0	0	53,02
J	3,26	27,01	12,55	1,24	168,52	3,26	0	0	165,26
A	13,48	27,68	13,02	1,16	165,08	13,48	0	0	151,6
Total	571,49	18,14	86,56		929,43	437,41		134,08	492,02

II.8. Interprétation du Bilan hydrique

La tendance à la sub-humide du sous- bassin de la basse Seybouse peut se voir confirmer par l'analyse du bilan d'eau. En effet, le but de ce dernier est d'évaluer la répartition des précipitations reçues par le bassin versant entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir, l'écoulement, l'infiltration, et l'évapotranspiration. Ce dernier paramètre étant le plus important, car il conditionne l'abondance ou l'absence de l'écoulement.

Connaître les différents paramètres (ETP ETR, RFU, DA, Exc), nous aide à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface.

Les tableaux 16, 17, 18 permettent un certain nombre d'observation :

Station des Salines

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (157,34mm) et son minimum au mois de Janvier (20,71mm).

- La reconstitution de la RFU commence au mois de Novembre et atteint son maximum (100mm) au mois de Décembre et se poursuit jusqu'au mois d'Avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

- L'écoulement commence après le remplissage de la RFU c'est-à-dire au mois de Décembre et se termine au mois d'Avril, avec un maximum au mois de Janvier (79,4 mm) et un minimum au mois d'Avril (5,82 mm).
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'Octobre.
- L'excédent (212,24mm) représente 31% des précipitations annuelles (675.66 mm), alors que l'ETR (463.42mm) représente 69 % des précipitations.

Station Pont Bouchet

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (157.34 mm) et son minimum au mois de Janvier (20.71 mm).

- La reconstitution de la RFU commence au mois de Novembre et atteint son maximum (100mm) au mois de Décembre et se poursuit jusqu'au mois d'Avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.
- L'écoulement commence après le remplissage de la RFU c'est-à-dire au mois de Décembre et se termine au mois d'Avril, avec un maximum au mois de Janvier (75.39 mm) et un minimum au mois d'Avril (1.97 mm).
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'Octobre.
- L'excédent (169,04 mm) représente 27 % des précipitations annuelles (613,02mm) alors que l'ETR (451,5 mm) représente 73 % des précipitations

Station Bouchegouf

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (168.52mm) et son minimum au mois de Janvier (24.2mm).

- La reconstitution de la RFU commence au mois de Novembre et atteint son maximum (100mm) au mois de janvier et se poursuit jusqu'au mois d'Avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.
- L'écoulement commence après le remplissage de la RFU c'est-à-dire au mois de janvier et se termine au mois d'Avril, avec un maximum au mois de Janvier (61.71 mm) et un minimum au mois d'Avril (4.08 mm).
- Le déficit agricole (DA) débute au mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'Octobre.
- L'excédent (134.08 mm) représente 23 % des précipitations (571.49 mm) annuelles alors que l'ETR (437.41 mm) représente 77 % des précipitations.

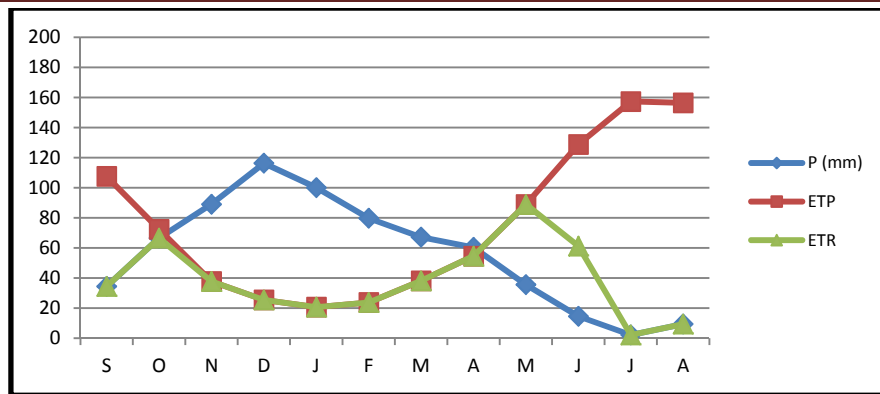


Figure 16. Représentation graphique du bilan hydrique Station les Salines

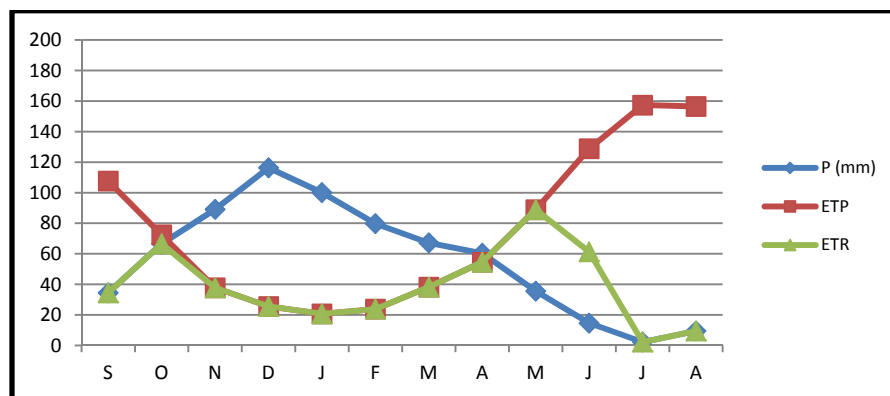


Figure 17. Représentation graphique du bilan hydrique Station Pont Bouchet

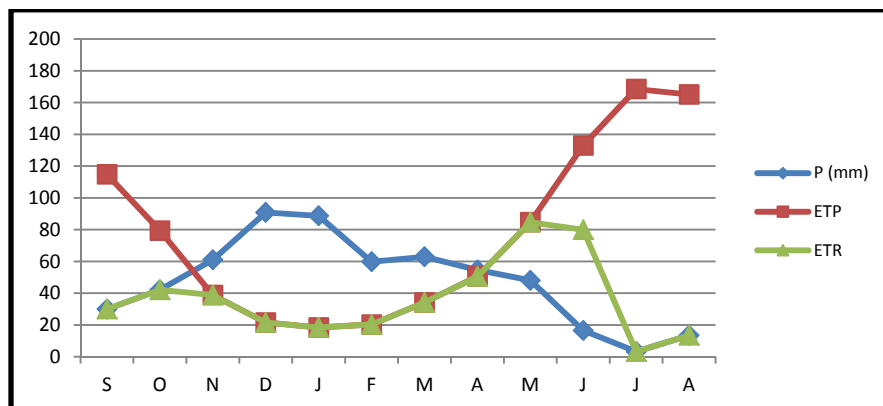


Figure 18. Représentation graphique du bilan hydrique Station Bouchegouf

Conclusion

L'ensemble de cette étude, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la basse plaine de la Seybouse. Un climat de type méditerranéen a été mis en évidence avec un hiver pluvieux et un été sec, L'analyse des données climatiques enregistrées nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

La zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 675.66 mm au niveau de la station des Salines, et environ 613.02 mm au niveau de la station Pont Bouchet et seulement 571.49 mm au niveau de la station de Bouchegouf et par une température moyenne modérée dans le sous bassin de 18,0°C, Ces deux paramètres climatiques ont permis de distinguer deux saisons typiques du climat méditerranéen : l'une sèche et chaude et l'autre humide et froide.

Le bilan hydrique nous a permis de mettre en relief l'évolution et l'interaction des paramètres climatiques et de quantifier les entrées et sorties d'eau de la surface étudiée.

La RFU (100mm) a été calculée en fonction de la nature du sol selon la formule de Hallaire. L'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) est de 912,1mm pour les stations les salines et Pont Bouchet et 929,43mm pour la station Bouchegouf.

La reconstitution de la recharge commence au mois de Novembre et s'achève au mois d'Avril, l'épuisement du stock du sol s'observe au mois de Mai et la nécessité d'irriguer s'impose surtout pour la période allant de Juin à Octobre.

L'infiltration calculée à partir du bilan hydrique est de 103,5mm (les Salines), 82,15mm (Pont Bouchet) et 131,75mm Bouchegouf.

Les valeurs du ruissellement sont de 102,1mm (les Salines), 76,7mm (Pont Bouchet) et 72mm Bouchegouf.

Chapitre V : diagnostic quantitatif des ressources en eau

Introduction

La gestion de l'eau est l'activité qui consiste à planifier, développer, distribuer et gérer l'utilisation optimale des ressources en eau, des points de vue qualitatif et quantitatif, ça implique une connaissance aussi parfaite que possible de la disponibilité de la ressource et de sa variabilité dans le temps et dans l'espace, aussi proposer des scénarios éventuels pour analyser les risques et la gestion des crises, dans un avenir où les conséquences de l'activité humaine sont mal maîtrisés.

Pour avoir une idée sur les ressources en eau et leur usage dans le sous bassin de la basse Seybouse objet de notre étude, on a essayé de quantifier tous les apports hydriques superficiels (barrage, retenues collinaires) et souterrains (forages), en se basant sur les données fournies par les différents organismes chargés de la gestion de ces ressources d'une part, et d'autre part l'étude des usagers de ces ressources dans le but d'une gestion plus adéquate.

Le sous bassin de la basse Seybouse ne fait pas exception, les ressources hydriques dont on dispose sont plus ou moins limitées et inégalement répartie, cette limitation est d'abord naturelle, car la majeure partie de l'approvisionnement en eau dans le sous bassin est générés à partir de l'eau qui provient essentiellement de la région d'El Tarf, situées à l'est du bassin et dans une moindre mesure à partir de la région de Guelma.

Cette limitation est encore accentuée par les besoins toujours croissants du développement démographique et socio-économique, par le gaspillage, ainsi par les différents types de pollutions menaçant le bassin.

Cette situation, semble inquiétante, nécessite une planification basée sur un diagnostic quantitatif des potentialités hydriques dans le bassin, pour faire face à toute situation de crise probable.

I. Secteur utilisateur de l'eau dans le bassin

L'eau est utilisée principalement dans trois domaines qui sont:

- Domestique (population)
- Industriels
- Agricultures

I.1. Population

L'évolution démographique de la région suit les tendances nationales et peut être divisée en deux périodes principales.

La première période est marquée par la vague d'urbanisation qui a suivi l'indépendance du pays en 1962, lorsque la population locale a migré vers les villes après le départ des colons.

La deuxième période d'urbanisation a eu lieu entre 1990 et 2000, Le résultat a été l'expansion des zones urbaines existantes et le développement de nouvelles villes (par exemple Sidi Amar, El Hadjar, El Bouni, Annaba). La forte augmentation de la population a obligé le gouvernement à favoriser le développement urbain, mais n'a pas laissé suffisamment de temps pour la planification et le développement des installations correspondantes nécessaires, telles que les réseaux de distribution et les systèmes de collecte et de traitement des eaux usées.

Nous avons obtenu les données de population par agglomérations, de la direction de l'agence des bassins hydrographique (ABH), et de l'Office National de statistique (ONS) selon RGPH (armature urbaine). Les communes retenues dans ce chapitre sont celles qui se situent dans les limites du sous bassin. Si nous retenons la limite du bassin, treize communes sont prises en compte dans l'analyse:

- *Les communes de la wilaya d'Annaba:* Annaba, El Hadjar, Sidi Amar, El Bouni, Oued Aneb et Ain Berda.
- *Les communes de La wilaya d'El Tarf:* Drean, Besbes et Chebaita.
- *Les communes de La wilaya de Guelma:* Ain Ben Baida, Nechmaya, Oued Fragha et Bouchegouf.

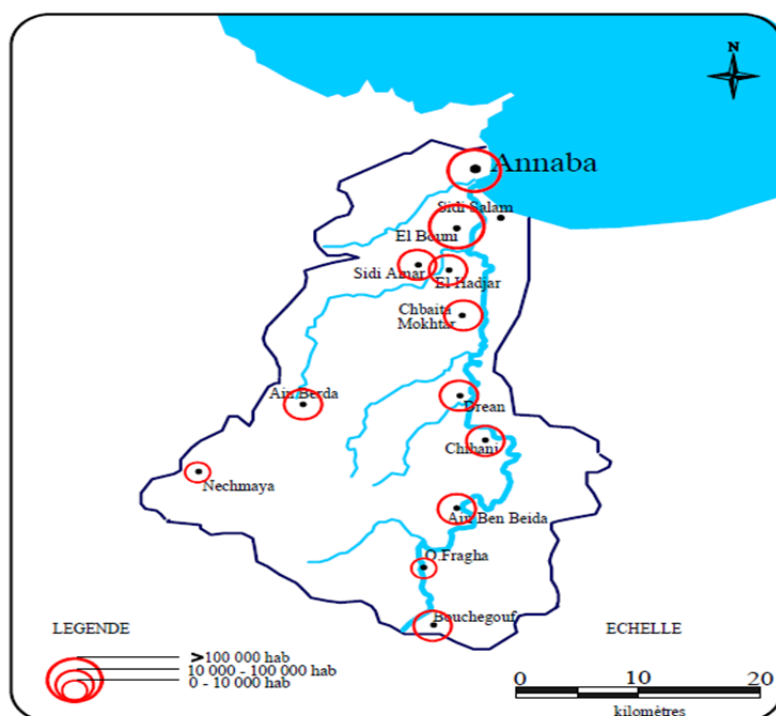


Figure 19. Carte de population dans la basse Seybouse (Khadri, 2009)

Tableau 16. Evolution de la population par commune de la wilaya d'Annaba selon les recensements de 2008 dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.

Commune	Agglomération	Taux d'accroissement %	RGPH 2008	population 2010
Annaba	Annaba	0,004	253968	256004
	Refesse zehouan		3391	3418
El Hadjar	El Hadjar	0,01	26060	26 583,81
	El Horaïcha		4472	4 561,89
	EL Karma		3711	3 785,59
El Bouni	El Bouni	0,012	42268	43 288,52
	ecothec		1591	1629
	Kheraza (chebbia)		11209	11 479,63
	Berka Zarga		7750	7 937,12
	Oued Ennil		3907	4 001,33
	Sidi Salem		33870	34 687,76
	Essarouel		10725	10 983,94
	Boukhadra		18686	19 137,15
Oued Aneb	Kherraza	0,02	8325	8600
	Oued Ziad		5763	5 995,83
Ain Berda	Ain Berda	0,017	7412	7 666,15
	SelmounHachemi		2279	2 357,14
	El Harrouchi		3135	3 242,50
	Ain Sayd		2957	3 058,39

	Medjez Rassoul		2837	2 934,28
	Koudiat Merah		755	780,89
Sidi Amar	Sidi Amar	0,014	45148	46 420,99
	El Gantra		6074	6 245,26
	Hadjar Eddiss		22080	22 702,57
	Derradji Rdjem		7936	8 159,76
	Bergouga		1754	1 803,46

Tableau 17. Evolution de la population par commune de la wilaya d'El Tarf selon les recensements de 2008 dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.

Commune	Agglomération	Taux d'accroissement %	RGPH 2008	population 2010
Drean	Drean	0,017	37 686	38 978,22
	Feddaoui moussa		3 464	3 582,78
	Chihani	0,009	10 094	10 276,51
Chebaita	Chebaita	0,01	15487	15 798,29
	Zourami		5630	5 743,16
Besbes	Sidi djemil	0,008	859	1022
	denden		2907	3460

Tableau 18. Evolution de la population par commune de la wilaya de Guelma selon les recensements de 2008 dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.

Commune	Agglomération	Taux d'accroissement %	RGPH 2008	population 2010
Ain Ben Baida	Ain Ben Baida	0,014	9492	9 759,64
Nechmaya	Nechmaya	0,009	9964	10 144,16
Oued Fragha	Oued Fragha	0,008	7152	7 266,89
Bouhegouf	Bouhegouf	0,02	25443	26 470,92

Source : (ABH, 2014)

Le taux d'accroissement est obtenu à partir de l'équation suivante : Sur la base du nombre d'habitant recensé en 2008 par l'ONS, et le taux d'accroissement de la population du sous bassin, on a estimé leur évolution pour les différents horizons en exploitant la formule suivante :

$$P_F = P_A (1 + T)^n \quad (17)$$

Avec :

P_F : population future

P_A : population actuelle

T : taux d'accroissement

La population du bassin dépasse actuellement (2010) 679 938 habitant.

I.2. Agriculture

La zone d'étude fait partie de la zone agricole méditerranéenne, dont la superficie des terres agricoles irriguées est de l'ordre de 4885 hectare. Les cultures qui y sont pratiquées sont principalement des cultures d'hiver et des cultures d'été pendant la période sèche ou l'on pratique l'irrigation, et d'autres produits qu'on peut cultiver toute l'année: L'agriculture est observée sur l'ensemble de la zone, avec une très grande variété de cultures, céréalières, maraîchères et arboricoles ; On cite :

a. Les cultures céréalières

La région d'étude présente des grandes étendues favorables à ce type de pratiques culturales. Elles s'étendent même sur les endroits à topographie chahutée. Blé dur, blé tendre et orge constituent les principales cultures.

b. Les cultures industrielles

Ce sont principalement le tabac et la tomate industrielle. Cette dernière est une spécialité des wilayas d'Annaba d' El Tarf qui produisent environ 70% de la production nationale.

c. Les cultures maraîchers et les légumes secs

Ils sont moins répandus dans la région d'étude, parmi ces cultures, on cite la pomme de terre, pastèque, melon, pois chiche.

d. L'arboriculture

Elle est moins présente dans cette région, elle est représentée essentiellement par des agrumes, les noyaux et les pépins, les oliviers et la viticulture. On note que les oliviers sont des plantations oléicoles à l'état sauvage ou travaillé. Ce type d'arbre parfois associé à des cultures annuelles, a souvent été planté sur des terrains en pente ou en plat.

La région se trouve à proximité de la mer méditerranée. Compte tenu de cette situation, la pêche constitue une activité prédominante ; néanmoins, le milieu aquatique marin est menacé par la pollution due aux différents rejets.

Les superficies agricoles irriguées sont réparties par commune comme suit :

Tableau 19. Superficie irriguée dans le sous bassin de la basse Seybouse.

Commune	Superficie (ha)
Annaba	38
El Hadjar	1092
El Bouni	550
Sidi Amar	124
Ain Berda	536
Drean	700
Besbes	890
Boucheguouf	880
Nechmaya	75

Source : (DSA, 2010)

I.3. Industrie

Elle occupe une place importante dans le sous bassin de la Seybouse Maritime, et sont principalement regroupées dans les agglomérations importantes comme Annaba, El Hadjar, El Bouni et Sidi Amar où le tissu industriel est dense.

L'industrie de la basse plaine de la Seybouse comprend 5 ensembles industriels, 3 implantés au niveau de l'oued Meboudja et 2 au niveau de l'oued Seybouse (Figure 20) :

- sur l'oued Meboudja on trouve :

- La zone industrielle d'El Hadjar, avec le complexe sidérurgique de SIDER, s'étend sur une superficie de 840 hectares. La production de l'usine atteint environ un million de tonnes d'acier par an.
- La zone industrielle de Chaïba, qui abrite des petites entreprises dont l'activité est liée à la mécanique, au ciment, au verre, au papier et au bois.
- La zone industrielle de Pont Bouchet où l'industrie comporte des unités de fabrication de matière plastique, du chocolat, de réparation mécanique et de produits médicaux.

- sur l'oued Seybouse, deux zones industrielles sont implantées :

- Au sud de l'oued Seybouse, deux petites unités de production de tomate (conserveries), sont présentes.
- Au nord, la zone industrielle de l'Allélick, sont implanté ORELAIT et les produits en aciers et de mécanique de Ferroviaire et SNVI.

- l'industrie pétrochimique, Fertial, Société des Fertilisants d'Algérie, l'entreprise a une capacité annuelle d'un million de tonnes d'ammoniac, Une partie est réutilisée pour la production d'une large gamme d'engrais azotés et phosphatés.
- Ainsi que de nombreuses PMI (petites et moyennes industries) généralement agroalimentaires ou de transformation.

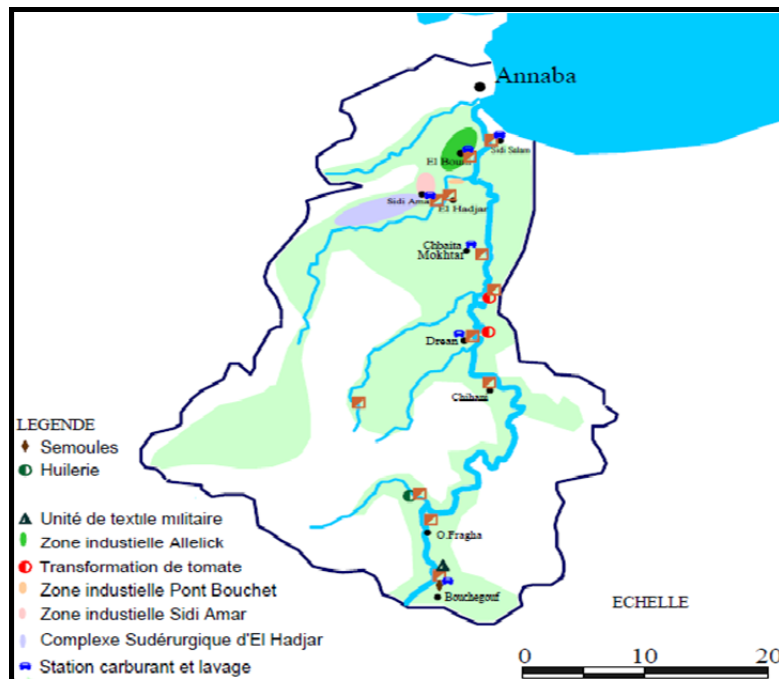


Figure 20. Carte d'inventaire des entreprises industrielles (Khadri, 2009)

II. Diagnostic quantitatif des ressources en eau dans le sous bassin de la Seybouse

II.1. Potentialités hydriques dans le sous bassin

Avec une pluviométrie moyenne annuelle de 700 mm sur l'ensemble du sous bassin, le régime des précipitations est caractérisé par une grande variabilité temporelle et spatiale. Ce régime varie d'une région à l'autre tout en restant dominé par une forte irrégularité dans le temps inter et intra-annuelle. L'alternance d'épisodes de sécheresse et de forte hydraulité est un caractère de plus en plus marquant des régimes climatiques et hydrologiques du pays.

Les précipitations moyennes annuelles varient de 572 à 675 mm, se répartissent comme suit :

- 675.68 mm à la station les salines
- 610.71 mm à la Pont Bouchet
- 572.38 mm à la station de Boucheouf.

Ce potentiel hydrique se trouve malheureusement, confronté à d'importants problèmes de gestion et de maintenance des ouvrages hydrauliques mis en place, réduisant le volume de l'eau mobilisé.

II.1.1. Potentiel hydrique superficiel

a. Oueds

L'oued Seybouse durant son parcours reçoit quelques affluents principaux comme oued Mellah et Oued Ressoul dans sa partie aval, les apports de ces affluents semblent le plus importants pour l'oued Seybouse. Nous intéressons d'étudier les moyennes mensuelles et annuelles des débits enregistrés au niveau des stations de Ain Berda et de Bouchegouf.

Les débits des oueds étudiés sont mesurés pour la série 1991 - 2007 à la station de jaugeage de Ain Barda (Oued Ressoul) et 1983 - 2007 à la station de Bouchegouf (oued Mellah).

Le tableau ci-dessous (Tableau 21) représente le résultat de jaugeage (débits mensuels) sur une longue période.

Tableau 20. Moyennes mensuelles interannuelles des débits en m³/s

Mois Oued	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
Mellah	0,186	0,435	0,492	6,609	10,82	8,00	6,208	1,867	2,889	0,987	0,379	0,277	3,26
Ressoul	0,013	0,003	0,008	0,173	0,091	0,304	0,273	0,210	0,129	0,058	0,012	0,056	0,11

b. Barrages

Le sous bassin de la Seybouse maritime, objet de cette recherche ne dispose d'aucun barrage sur sa limite, de ce fait il est fortement dépendant des transferts d'eau à partir des barrages situés dans les régions d'El Tarf et Guelma situées à l'est et au sud du sous bassin où les ressources en eau sont beaucoup plus grandes.

Barrage de la Cheffia : appelé Bounamoussa, compte parmi les installations les plus importantes de la grande hydraulique, dont les travaux ont été achevés en 1965.

La capacité de la retenue d'eau s'élevait à 171hm³ les eaux du barrage sont mobilisées pour approvisionner les régions d'EI-Tarf et d'Annaba, les secteurs utilisateurs (l'industrie, ménage et agricole), d'un volume régularisable de 95 hm³/an, assure l'alimentation en eau d'Annaba, en dehors des cycles de sécheresse, cet ouvrage permet la mobilisation de 45Hm³/an pour Annaba.

Barrage Mexa : dont les travaux ont été achevés en 1997, d'une capacité de 60 hm³, assure l'alimentation de la wilaya d'El Tarf et de la wilaya d'Annaba cet ouvrage d'un volume régularisable de 33 hm³/an.

Barrage Bougous : Le barrage Bougous est situé sur l'oued Bougous dans la wilaya d'El Tarf, à 20 km à l'est du Chef-lieu, en bordure de la frontière avec la Tunisie, mis en service depuis 2010 de capacité initiale de 60 hm³, destiné en premier lieu à satisfaire les besoins en eau potable et industrielle des wilayas de Tarf et de Annaba, et en deuxième lieu la compensation partielle du volume d'eau suite au réaménagement du barrage de Mexa situé à l'aval.

Barrage Hammam Debagh : sur l'oued Bouhamdane est situé dans la Wilaya de Guelma, à 20 kilomètres à l'ouest de la ville de Guelma, dans l'est algérien.

D'une capacité initiale de 220 hm³ et d'un volume régularisable de 55 hm³/an, il est destiné à la régularisation des apports en vue de satisfaire les besoins pour l'irrigation du périmètre de Guelma-Bouchehouf.

Tableau 21. Récapitulatif de capacité des barrages et prélèvements des ressources en eau de surface Allouer au sous bassin de la basse Seybouse (en hm³) - 2010

Localisation	barrage	Capacité	régularisé	Allouer au sous bassin
d'ElTarf	Cheffia	171	95	44
	Mexa	45	33	21
	Bougous	60	33	/
de Guelma	Bouhamdane	220	55	13,56
Total		496	216	78,56

c. Retenues collinaires

Les retenues collinaires dans le sous bassin de la basse Seybouse sont essentiellement destinées à l'irrigation des moyens et des petits périmètres et l'abreuvement du cheptel, (ABH 2010), de capacité globale de 6,6 hm³ d'eau de surface. Sont très faible en raison de l'absence de sites potentiels pour les ouvrages de mobilisation.

Tableau 22. Inventaire des capacités de stockage des retenues collinaires dans le sous bassin de la basse Seybouse (en hm³) - 2010

Retenue	Nedjai	Ain Berda	Drean	Nechemaya	Bouchehouf
Capacité globale	0,1	4,5	0,8	0,5	0,7

II.1.2. Potentiel hydrique souterrain

Le potentiel phréatique dans les deux Wilayas est considérable. Tout le long de la chaîne montagneuse en bordure de la Méditerranée orientale (Algérie-Tunisie) se sont constituées des nappes aquifères sableuses gigantesques. Elles emmagasinent près de 20 % des précipitations annuelles (700 mm/an) venant des montagnes. En certains endroits situés entre le littoral et les contreforts s'étendent des 18 000 ha de dunes fossiles. Les pluies (env. 640 mm/a) qui tombent sur le terrain sableux tendre de cette région dunaire couverte de forêt s'infiltrer à près de 80 % dans la nappe aquifère. D'après les calculs s'appuyant sur les modèles hydrologiques de la DRE l'écoulement aquifère potentiel dans les deux Wilayas avoisine les 30 m³/s (écoulement de base). Une partie de cette eau est captée par des forages; le reste s'écoule dans la mer sans être exploité. Le potentiel hydrologique des divers secteurs est estimé de la façon suivante :

- a) dans les dunes de Bouteldja (18 000 ha) : 1,4 m³/s
- b) Les Salines jusqu'à El Tarf (25 000 ha) : 12 m³/s
- c) dans les contreforts : 7 m³/s
- d) entre El Hadjar et Besbes (25 000 ha) : 10 m³/s

a. Forages

La majorité du potentiel hydrique souterrain du bassin se situe dans la wilaya d'El Tarf, et sont exploités par pompage, destinés essentiellement à l'alimentation en eau potable et aussi pour l'industrie (besoins de la zone industrielle).

Ces forages répartis à travers la wilaya d'El Tarf, d'après le bilan de 2010 de la DRE et ADE d'Annaba les champs de captage sont composés de 32 forages à Bouteldja produisant 40 000m³/j, 09 forages aux Salines dont 07 forages assurent 12 000m³/j et 05 forages à Pont Bouchet pouvant assurer 2000m³/j (un seul forage en exploitation). Ces derniers forages produisent une eau de mauvaise qualité (RS =1.9 à 2.2 g/l), ils ont été réalisés en 1990 dans le cadre d'un programme d'urgence pour faire face à une période de sécheresse.

Le Tableau (24) montre bien la quantité d'eau mobilisable à travers les ressources disponibles et son affectation d'après l'ADE (algérienne des eaux).

Tableau 23. Inventaire des forages se localisant à El Tarf et alimentant le sous bassin de la basse Seybouse

Localisation	Forage	Débit l/s	Agglomération desservie
Bouteldja	Forage B 11	30	wilaya d'Annaba
	Forage 6917	13	
	Forage B 10	26	
	Forage 6902	18	
	Forage 6919	23	
	Forage U3	28	
	Forage 6912	18	
	Forage B9	16	
Bouteldja	Forage 6910	16	
	Forage B7	14	
	Forage 6906	16	
	Forage 6921	14	
	Forage 6911	14	
	Forage B6	14	
	Forage B8	18	
	Forage A6	15	
	Forage Toufa	15	
	Forage U2	28	
	Forage 6918	15	
	Forage B13	11	
	Forage 6913	22	
	Forage 6920	18	
	Forage 6923	12	
	Forage 6925	13	
	Forage Sud B14	16	
	Forage Sud B5	8	
	Forage Sud B4	13	
	Forage Sud U1 à	/	
	Forage Sud U4 à	/	
	Forage Sud A7	/	
El Chatt	F 12 les salines	26	
	F 13 les salines	26	
	F 16 les salines	26	
	F 17 les salines	26	
	F 14 les salines	/	
	F 15 les salines	/	
	F 6 les salines	26	
	F 7 les salines	10	
	F 8 les salines	/	

Tableau 24. Inventaire des forages se localisant dans le sous bassin de la basse Seybouse

Localisation	Forage	Débit l/s	Agglomération desservie
El Hadjar	F 1 P Bouchet	/	wilaya d'Annaba
	F2 P Bouchet	11	
	F3 P Bouchet	25	
	F4 P Bouchet	22	
	F5 P Bouchet	/	
	F6 P Bouchet	29	
Besbes	F Sidi Djemil	10	Sidi djemil
	Forage Daghoussa	22	Denen
Drean	Forage F 7	30	Drean
	Forage F 5	17	
	Forage F 4		
	Forage F 2	/	
	Forage F 3	/	
	Forage M Feddaoui	15	
Chihani	Forage Chihani 1	10	Chihani
	Forage Chihani 2	25	
	Forage Chihani 3	30	
Chebaita Mokhtar	Forage Gazan	/	Chebaita Mokhtar
	Forage 146	25	
	Forage Chebaita centre	15	
	Forage Télili	5	
	Forage S Feddaoui	14	

Tableau 25. Inventaire des forages se localisant à Guelma et alimentant le sous bassin de la basse Seybouse

Localisation	Forage	Débit l/s	Agglomération desservie
Guelma	Forage Guelma	50	Boucheuguouf
Boucheuguouf	Forage Boucheuguouf	35	Boucheuguouf
Oued Fragha	Forage Oued Fragha	3	Oued Fragha
Ain Ben Baida	Forage Ain Ben Baida	3,5	Ain Ben Baida
Guelat Bousba	Forage Guelat Bousba	12,5	Nechmaya
Guelat Bousba	F1 guelaa	10	Selmoun, Ain Berda et Ain Said
	F2 guelaa	40	

b. Puits

A travers la superficie du sous bassin de la basse Seybouse, il existe un nombre considérable de puits qui captent les eaux de la nappe superficielle, dont le rôle est uniquement destinés

l'irrigation et l'abreuvement du cheptel, Leur volume prélevé est très difficile à estimer, puisque ces puits exploités surtout dans la période d'irrigation et que cette dernière est variable dans le temps et dans l'espace et même selon le type de culture et le mode d'irrigation mais on peut l'évaluer environ à 30 l/s.

Tableau 26. Récapitulatif du volume global des eaux souterraines transférées vers le sous bassin hm³ - 2010

Localisation	volume hm ³
El Tarf	14.40
Guelma	1.56
Sous bassin (lui-même)	18.34
Total	34,3

II.2. Affectation des ressources en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse

La partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins domestiques (alimentation en eau potable), avec un volume de 78,98 hm³ par an, soit un taux de 70 %.

Toutefois, cette dominance est due aux besoins des populations qui ne cessent de croître.

L'irrigation tient une place prépondérante dans les prélèvements d'eau dans le bassin, un volume de 20,14 hm³, soit 18 % de la totalité des ressources mobilisées, sont destinés aux usages agricoles.

Le volume consacré pour couvrir les besoins en eau industrielle est évalué à 13,74 hm³ par an, soit 12 % des ressources mobilisées.

III. Alimentation en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse

A chaque usage (domestique, industriel ou agricole), correspond des besoins en eau très variables en quantité et en qualité, suivant les secteurs et surtout les saisons.

La demande en eau pour des usages domestiques devrait croître considérablement dans les prochaines années dans les pays en voie de développement, estime que les problèmes d'approvisionnement en eau potable dans les pays en voie de développement se verront aggravés par le taux élevé de croissance de population et la concentration graduelle de la population dans les grandes villes (ONU.1997 in Blanco).

Le sous bassin de la basse Seybouse ne fait pas exception, ses besoins en eau sont en augmentation continue.

Globalement, on estime les besoins en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse à près de 82.64 de hm³ par an, dont la consommation domestique (AEP) est considérée comme le grand consommateur d'eau avec un volume de 43,88hm³, soit un taux de 53 % de la totalité des besoins en eau du sous bassin. Toutefois cette dominance est due au développement démographique considérable. Les besoins en eau d'irrigation pour alimenter les surfaces agricoles dans le sous bassin de la basse Seybouse sont estimés à 24hm³, soit un taux de 30%. Quant aux besoins en eau industriels estimé à 14hm³, ils ne représentent que 17 % de l'ensemble des besoins en eau du sous bassin.

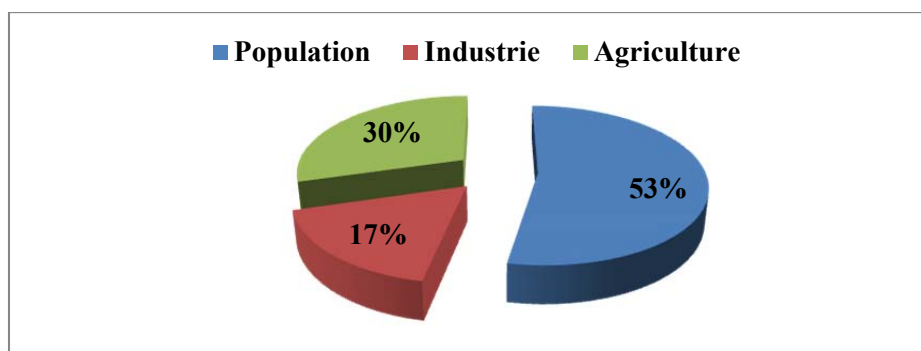


Figure 21. Demande eau en hm³ (million m³) par secteurs d'activité dans le sous bassin de la basse Seybouse – 2010

III.1. Etat actuel du système d'alimentation en eau potable dans le sous bassin de la basse Seybouse (AEP)

La situation actuelle dans le sous bassin de la basse Seybouse présente une alimentation par intermittence, comme cela est le cas pour la plupart des villes en Algérie. Cela veut dire que les différentes parties sont alimentées à différentes heures de la journée.

Suite à cela les habitants doivent stocker l'eau dans des réservoirs intermédiaires.

Cette pratique engendre de grandes pertes d'eau, car l'eau restante dans ces réservoirs est souvent vidée avant de les remplir à nouveau. De plus, ce type de stockage cause des problèmes d'hygiène dus à l'échauffement de l'eau et ainsi la germination. L'eau qui est stocké dans les maisons privées suffit rarement aux exigences à la qualité d'eau potable.

Pour l'ADE société responsable de l'alimentation en eau cette pratique cause également de grandes difficultés techniques au niveau du fonctionnement de l'alimentation au sein du

réseau. La « commande » des dispositions, grâce à la fermeture manuelle de vannes demande des frais de personnel considérable. D'un point de vue hydraulique, l'alimentation par intermittence des différentes zones amène à des états de charge de pointe pour lesquels les systèmes n'ont pas été conçus, car elles ont été créées en vue d'une alimentation continue sur 24 heures. Des coefficients de charge qui dépassent largement les coefficients de charge de pointe habituels de grandes villes comparables en taille et nombre d'habitants sont dus au fait que toute la quantité dont un foyer a besoin dans un certain laps de temps doit couler dans le réservoir domestique en quelques heures. La surcharge hydraulique amène parfois à des sous-pressions dans les tuyaux, ce qui cause des entrées de polluants dans ceux-ci au niveau des endroits de fuites.

Des entretiens avec ADE ont montré que la plupart des problèmes se trouvent au niveau de l'état du réseau. Les pertes au niveau de l'adduction entre Mexa et Chaiba, en passant par la station de pompage « Les Salines », s'élèvent à environ 8.000 m³/jour, d'autre part les pertes dans le réseau sont estimées actuellement de 30% à 50% de la quantité de l'eau dans les conduite d'adduction et 20% dans les conduite de distribution, donc une réduction des pertes d'eau dans le réseau est nécessaire, d'autre part il y a beaucoup de piquages.

Cet état est caractéristique pour le réseau entier. Durant ces dernières années des efforts considérables ont déjà été fournis en ce qui concerne la réhabilitation du réseau et quelques succès peuvent être aperçus.

Néanmoins le taux de raccordement de la population est très élevé, Il s'élève à environ 96 %.

III.2. Alimentation en eau d'irrigation dans le sous bassin de la basse Seybouse (AEA).

La promotion du monde rural et l'autosuffisance alimentaire sont les objectifs fondamentaux de la nouvelle politique agricole nationale, basée sur une bonne gestion des ressources hydriques dans les terres agricoles.

La création de l'ONID est l'une des différentes restructurations agraires pratiquées. Il est un établissement public à caractère industriel et commercial, chargé de la gestion et l'exploitation des ressources en eau et les infrastructures hydrauliques dans les périmètres d'irrigation que l'Etat ou les collectivités territoriales lui concèdent. L'ONID est chargé notamment de la commercialisation de l'eau d'irrigation.

III.2.1. Ressources en eau pour l'irrigation

Il n'y a pas presque de grand ouvrage hydraulique dans le sous bassin de la basse Seybouse, le stockage de l'eau superficiel s'effectue par le biais de retenues collinaire situé sur les abords des montagnes.

En matière d'irrigation, les ressources disponibles comparées aux objectifs d'irrigation sont jugées très insuffisantes et à cela s'ajoute la mauvaise utilisation de ce potentiel.

Les mobilisations actuelles proviennent essentiellement des ouvrages de la petite et moyenne hydraulique PMH et de grande hydraulique du barrage de Chafia 5hm³ et barrage Bouhamdane 13,56hm³. Théoriquement ces mobilisations ne répondent pas au besoin (norme 5000m³/ha). Devant la contrainte du manque d'eau et la forte demande, et la perspective de répondre aux besoins en eau d'irrigation sans cesse croissants, une vision régionale intégrée dans le domaine s'impose. Nous comptons uniquement 4885 ha de terre agricole irriguées malheureusement mal irriguée car il est comptabilisé des ressources hydrique comme les oueds et les retenue qui sont à secs dans les moments ou la végétation on a le plus besoin.

III.2.2. Renforcement et réhabilitation des ressources existante

Les perspectives en eau d'irrigation tiennent compte du potentiel en terre productives dans le sous bassin pour augmenter le périmètre d'irrigation nous devons renforcer déjà les moyens existant par :

- Entretenir la retenue collinaire qui enregistre un état d'évasement avancé. Cette opération renforcera leur capacité d'irrigation, ces retenues ont été en majorité réalisées dans le années 80.
- Crée de nouvelles retenues collinaires
- Utilisation des eaux non conventionnelles pour l'irrigation ou elle sera réservée à l'arboriculture agrumicole exclusivement.

III.3. Ressources en eau pour l'industrie

Les ressources en eau approvisionnent les unités industrielles implantées dans le sous bassin de la basse Seybouse proviennent essentiellement des barrages Chafia et de Mexa, ainsi que des forages, des puits, des prises d'eau des oueds.

Cependant, les pénuries d'eau fréquentes surtout en période estivale, ont conduit certains industriels à réfléchir sur l'économie et le recyclage de l'eau, en réalisant des forages et des puits sur les sites mêmes de production.

III.3.1. Industries de l'acier et l'industrie pétrochimique

Le complexe sidérurgique de SIDER d'El Hadjar est le plus grand consommateur d'eau industrielle dans le bassin, consommant à lui seule un volume de 30 000 m³ par jour, soit près de 11 hm³ par an, partagé sur ses différentes unités. Un volume qui est largement insuffisant pour satisfaire leur propre besoin, suivie par l'industrie pétrochimique des unités Asmidal et Fertial qui sont aussi de grand consommateur d'eau dans la région.

Donc le recours aux eaux non conventionnels, issue des rejets des stations d'épuration et au recyclage est la meilleure solution pour compenser ce déficit.

III.3.2. Industries agro-alimentaires et autres

A côté des industries lourdes en aval du bassin, nous signalons aussi l'existence de quelques unités de moindre degré de consommation d'eau, pour lesquelles, les besoins en eau s'élèvent à environ 1750 m³ par jour, soit 0,64 hm³ par an.

Elles sont essentiellement, les industries agro-alimentaires boisson gazeuse (BGA) Conserverie (SIPA de Chabia), société spécialisée dans les produits laitiers (ORLAIT) et de la levure à Boucheouf, Ainsi que d'autres industries comme la transformation du papier et des minoteries.

Conclusion

Le sous bassin de la basse Seybouse d'une superficie de 1129,636 Km², couvre entièrement les Daïra d'El Hadjar, El Bouni et Drean, et partiellement les Daïra de Annaba, Ain Berda, El Besbes et Bouchouf.

La population du sous bassin atteint les 679 938 habitants (2010), Les besoins en eau dans le bassin sont estimés à plus de 82 hm³ par an.

En matière d'approvisionnement en eau potable, le sous bassin dépend fortement des bassins voisins surtout à partir des régions d'El Tarf et de Guelma.

Les ressources en eau de surface transférer vers le sous bassin sont de l'ordre de 78,56hm³, afin de combler la carence en eau, quant aux eaux souterraines elles sont de l'ordre de 34,3hm³, Les principaux usagers de l'eau dans le bassin sont l'AEP et l'agriculture avec 53 % et avec 30%, et l'industrie avec 17%. A l'heure actuelle. Le sous bassin se trouve dans une situation très délicate à cause du manque d'eau et souffre d'un fort stress hydrique.

Chapitre VI : modélisation de la GIRE et leurs utilisations

- application du modèle WEAP –

Introduction

Les pressions accrues sur les ressources en eau liées aux changements climatiques et d'usages de l'eau ainsi que les compétitions grandissantes entre usagers sont reconnues comme des enjeux mondiaux. La gestion des ressources en eau est l'un des grands enjeux et défis relevés par le sous bassin de la basse Seybouse. Ses ressources en eau sont renouvelables mais limitées, or les besoins humains ne cessent de croître et les milieux sont de plus en plus transformés par l'homme ce qui présente de nombreuses incidences sur l'eau, en quantité comme en qualité.

Les écosystèmes, milieux producteurs et régénérateurs de cette ressource sont menacés, dégradés et détruits.

Le défi actuel consiste à décrire la situation actuelle du sous bassin, l'évaluation de la disponibilité des ressources et les demandes en eau futures selon des scénarios climatiques et socioéconomiques, puis la distribution de l'eau selon des règles qui sont déterminé au préalable.

Pour ceci, une modélisation hydrologique des changements de structure et de paramètres des systèmes hydrauliques est adoptée par le biais du modèle WEAP21 (Water Evaluation and Planning System), pour remédier les problèmes d'approvisionnement et de demande de l'eau sur des horizons de planification à long terme dans le sous bassin de la basse Seybouse, selon les projections de changement climatique et fournit une approche intégrée de la planification des ressources hydriques

Pour faire tourner le logiciel, un tutorial format PDF est disponible, également plusieurs vidéos démonstratives existent sur le site web : <http://www.weap21.org>.

La modélisation entamée par une représentation graphique du système (voir figure 24). Cette description simplifiée en réseau d'arcs et de nœuds nous permet de repérer les emplacements stratégiques du cours d'eau pour établir d'éventuelle interactions ou interdépendances entre le système hydrographique et ses composantes physiques.

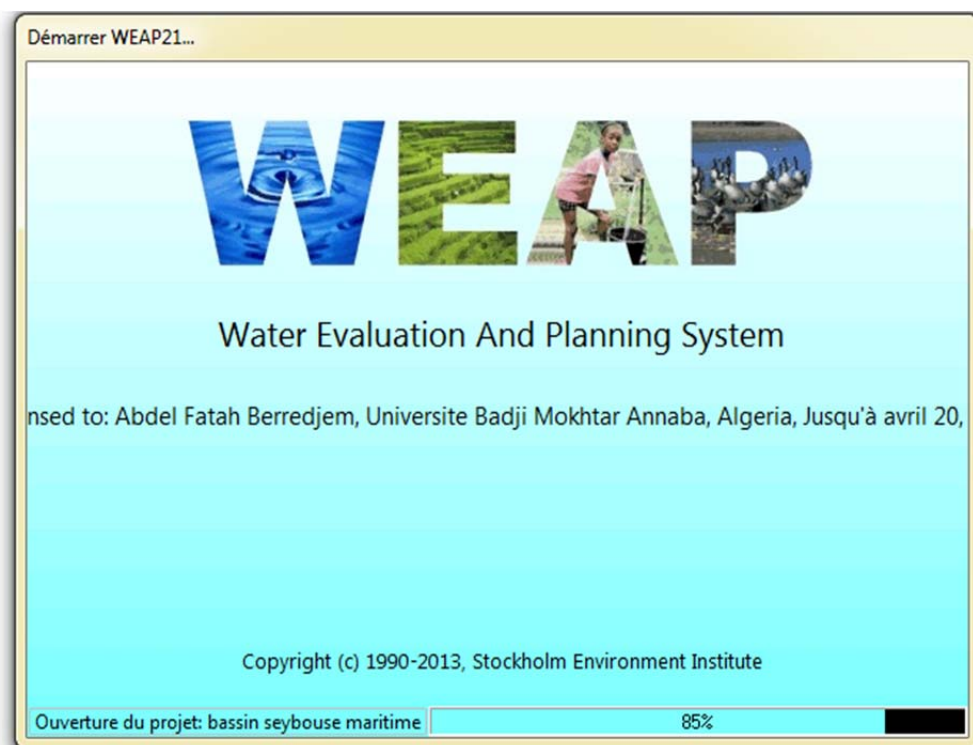
La répartition des ressources se fait sur la base des priorités accordées aux différents usages. L'algorithme est conçu de manière à satisfaire progressivement les usages plus prioritaires. Pour une demande de priorité x, WEAP bloque temporairement l'allocation aux autres usages de priorité y, (avec priorité de $x >$ priorité de y) jusqu'à ce que la demande de x soit

entièrement satisfaite. Les priorités sont entre 1 (priorité la plus élevée) et 99 (Priorité la plus faible).

I. Acquisition du logiciel WEAP 21

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur site : <http://www.weap21.org>. Il est fonctionnel excepté que le dispositif «économiser données » est handicapé. Une version démo du logiciel est accessible à tout le monde. Par contre, pour le fonctionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateur, pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire, Le SEI (Stockholm Environment Institute) envoie par e-mail le nom d'utilisateur et un code d'enregistrement, les instructions pour activer le logiciel WEAP et pour permettre au dispositif "économiser données" de fonctionner. WEAP a un forum d'utilisateur sur le site: <http://forums.seib.org/weap>. Un pseudo et un mot de passe pour accéder à ce forum est requis. Le forum aide l'utilisateur pour la mise en marche, le traitement de données et la mise à jour du logiciel.

Le permis d'utilisation est valide pour une durée déterminée.



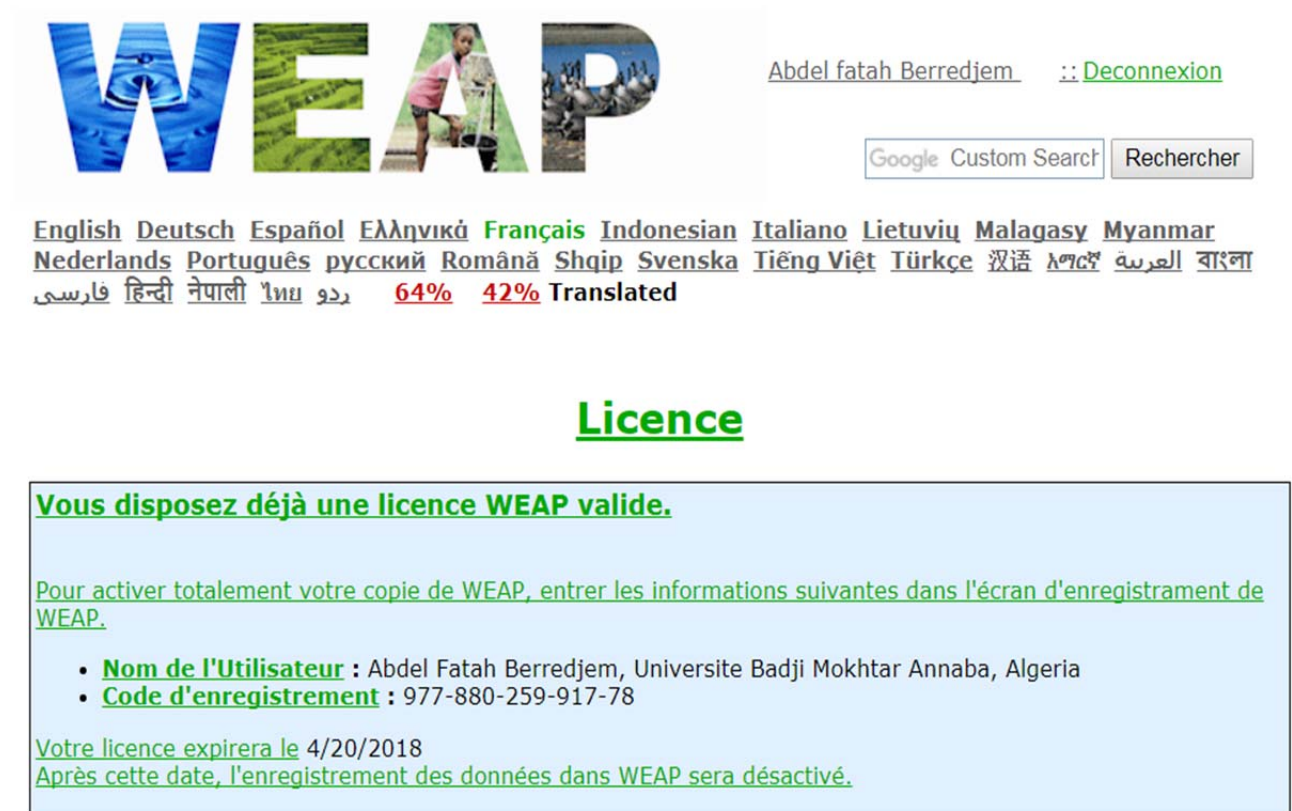


Figure 22. License WEAP acquise pour la présente étude

II. Application du modèle WEAP

II.1. Cartographie

Dans WEAP existe déjà une carte du monde où on peut créer la zone d'étude (Figure 23), et ajouter une carte SIG (Système d'Information Géographique à vecteur) à notre zone d'étude, cette carte nous aide à orienter et à construire notre système et raffiner les limites du projet, dans notre cas les limites de notre zone d'étude qui est le sous bassin de la basse Seybouse.

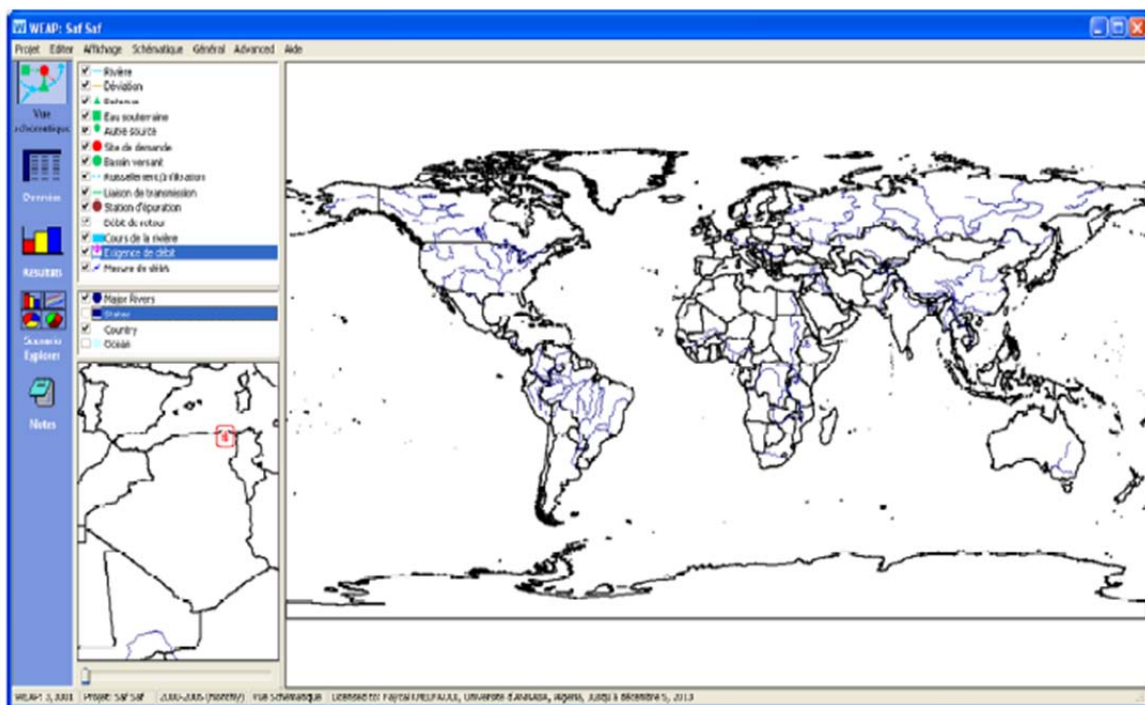


Figure 23. Carte du monde dans le logiciel WEAP

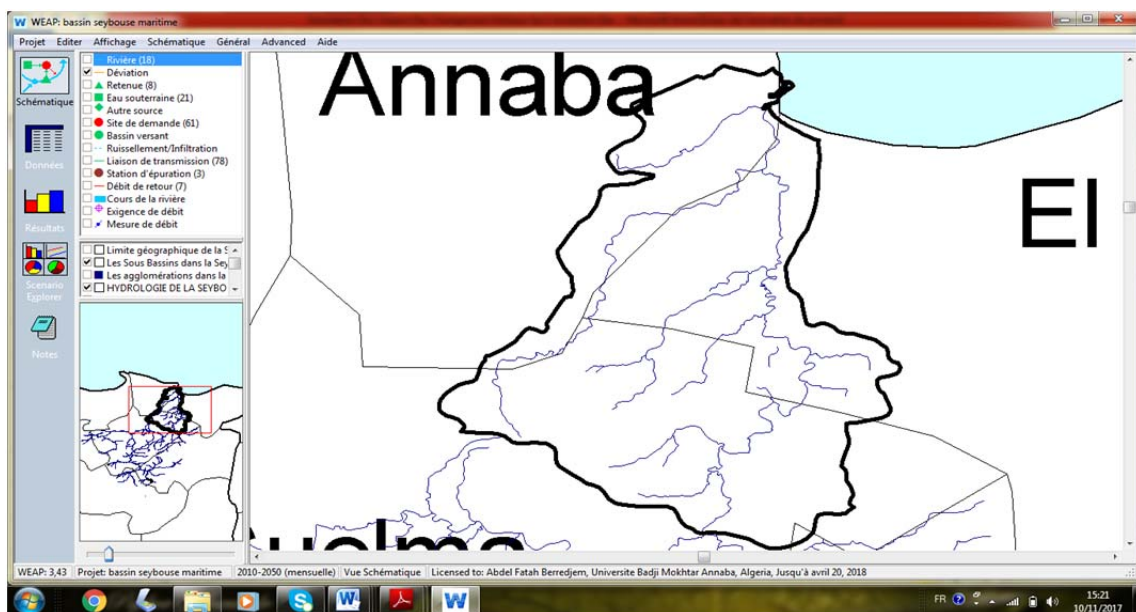


Figure 24. Carte du sous bassin de la basse Seybouse avec le réseau hydrographique sous WEAP

II.2. Phase schématique

Sur la page d'accueil du WEAP, l'interface schématique nous permet de tracer le réseau hydrographique et de placer : les sites des Barrage Chafia, Mexa et Bougouse les aquifères d'eau souterraine, les transferts d'eau et les sites de demandes en eau ;

- toutes les agglomérations existantes dans le sous bassin

- sites agricoles pour chaque commune existante dans le sous bassin
- site de demande industrielle et zone industriel se situant dans le bassin
- Les liaisons de transmissions et de retour entre sites de demandes et la ressources en eau, ainsi que, les stations de traitement et épuration sont également placée.



Figure 25. Représentation Schématique des sites de demandes et des ressources en eau du sous bassin de la basse Seybouse

II.3. Fonctionnement du logiciel

Le programme WEAP fonctionne donc suivant les étapes suivantes.

II.3.1. Création de la zone d'étude

Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG) en particulier Arcview. Cette carte va servir comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que: les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages, les industries, les sites agricultures et les autres types d'emplacement selon l'étude (Figure 25).

II.3.2. Création des références et hypothèses clés

Le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, etc. Il est donc capital de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarios.

II.3.2.1. Hypothèses clés

C'est des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre (4) hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel: évaporation, infiltration, précipitation, température (Figure 26).

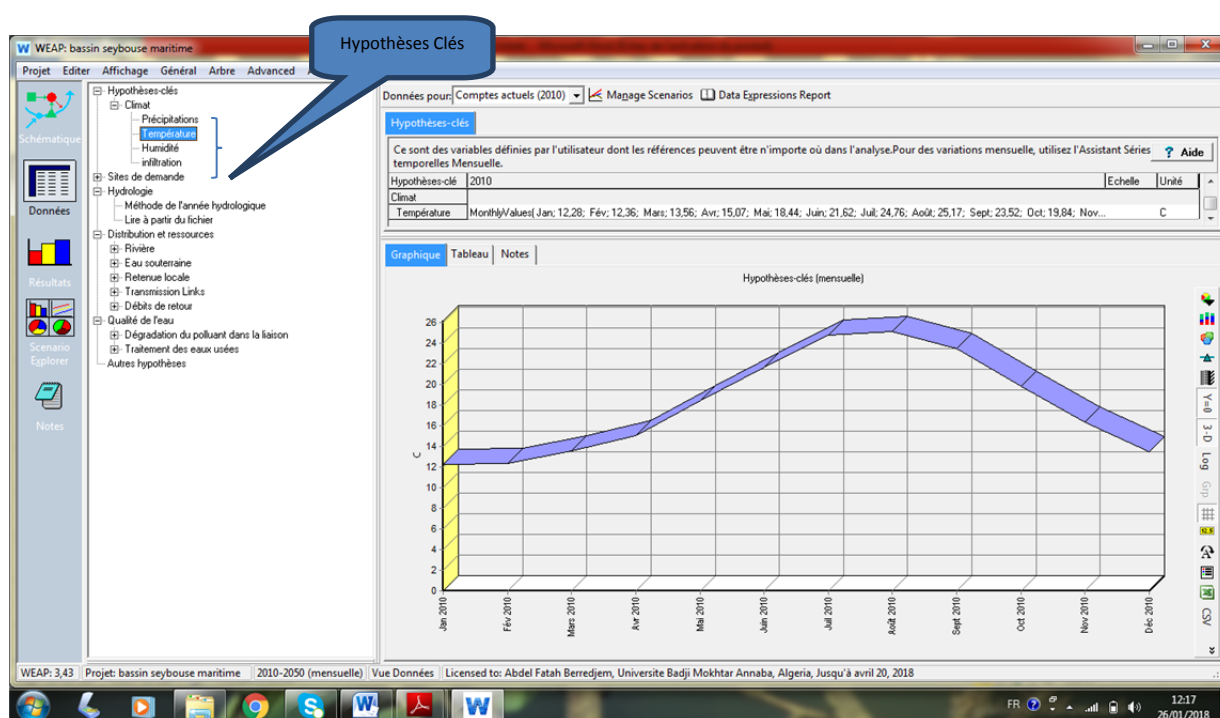


Figure 26. Fenêtre montrant les hypothèses clés

II.3.2.2. Références

Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence dans notre étude 2010 est l'année de référence.

II.3.3. Proposition des Scénarios

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 scénarios pour évaluer les effets des

changements socio-économiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur.

II.3.4. Présentation des résultats

Les résultats se présentent sous forme de graphe et /ou de tableau, cette présentation peut montrer une grande variété de diagrammes et de tables couvrant chaque aspect du système : demandes, approvisionnement et chargements environnementaux, On aura donc des résultats à comparer : les résultats de l'année de référence et les résultats des scénarios proposés

Les résultats peuvent être exportés dans l'Excel.

II.3.5. Rubrique données

Dans cette rubrique, les Outils de modélisation nous aident à créer les variables et les relations, insérer des hypothèses et projections en utilisant des expressions mathématiques, et dynamiquement liées à Excel pour l'importation et l'exportation de données.

II.3.6. Bloc Notes

L'écran de notes est un outil simple de traitement de texte avec lequel on peut écrire des informations documentaires et des références pour chaque branche du lien. On peut importer les notes vers le texte (Microsoft Word).

III. Analyse et traitement des données nécessaires

Etant donné que le modèle WEAP est un outil informatique 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;
- Les sites de demandes.

La majorité des données introduites dans le modèle WEAP proviennent de la direction des services agricoles (DSA), des entreprises de gestion d'eau potable (ADE), de l'office national de d'assainissement (ONA), des agences hydrographiques, de l'office national d'irrigation et de drainage (ONID). Toutes les données ont été vérifiées et harmonisées. L'entrée de données WEAP via des feuilles de calcul simplifie, la des paramètres (précipitations, débit des rivières, demande en eau, approvisionnement en eau, etc.) sont mise à jour

Les liens de transmission entre les nœuds et les règles d'allocation d'eau (application prioritaire et fourniture) sont également pris en compte. Nous avons inclus autant de détails

que nécessaire pour une source de demande et d'approvisionnement correctement caractérisée, sous réserve de la disponibilité des données de terrain.

III.1. Données nécessaires

III.1.1. Etude de l'offre et de la demande en eau

Pour l'étude de l'offre et de la demande ou l'étude de l'approvisionnement en eau, les données nécessaires sont le volume d'eau domestique utilisée, le volume d'eau utilisée pour l'irrigation, le volume d'eau utilisée pour l'industrie, les nombres ou effectifs d'utilisateurs (population , etc), la surface cultivée, les précipitations, l'évapotranspiration et les débits.

Ces données supposées englobant d'une part, les ressources en eau et d'autre part, les principaux usagers de l'eau, nous permettent de faire une modélisation simple de la gestion de l'eau, l'établissement des priorités à l'attribution de demande, La prise en compte des données sur les autres utilisateurs comme l'agriculture, les ménages, l'industrie, rend la modélisation plus proche de la réalité.

III.1.2. Etude de la qualité de l'eau :

Dans cette étude, on peut modéliser les polluants en les classant en deux types : polluants conservateurs et polluants non conservateurs.

Un polluant est dit conservateur s'il n'y a aucun affaiblissement de ses constituants. Par contre, il est non conservateur si ses constituants se délabrent selon une fonction d'affaiblissement exponentielle. Quand on fait la modélisation de ce polluant, on saisit aussi les données sur le taux quotidien d'affaiblissement de l'élément polluant à modeler. Les polluants conservateurs sont modelés par un bilan de matières simples ou constituantes chimiques de l'eau. Par contre, plusieurs modèles peuvent être offerts pour les polluants non conservateurs.

Le modèle nécessite des données entrantes sur la qualité de l'eau (surface et souterraines), des données sur la pollution pour l'emplacement de la demande (eaux usées domestiques), des données sur les eaux usées par des usines et eaux résiduelles.

III.1.3. Etude hydrologique

Dans ce module, WEAP permet de faire :

- la modélisation de captage par le modèle d'écoulement et de précipitations ou par le modèle d'humidité du sol

- la simulation sur l'interaction d'eau de surface - eaux souterraines

Les données nécessaires sont surtout des données climatiques comme l'évapotranspiration potentielle ou réelle (ETP/ETR), précipitations (P), écoulement (R) ou débit (Q), humidité (H), infiltration (I).

A noter que dans le logiciel, existe déjà un modèle nommé « Méthode de l'année hydrologique » qui permet de faire une simulation de l'effet du changement climatique sur les ressources en eau.

III.1.4. Etudes hydro-électriques

WEAP peut modéliser aussi la production d'énergie mais dans la zone d'étude nous n'avons recensé aucun usage hydro-électrique.

III.2. Compte d'état actuel « Current Account »

L'année de l'état actuel est choisie pour servir comme année de base du modèle et tout le système d'information, les données de la demande et de la distribution de l'eau sont introduites dans l'état actuel. L'année 2010 va servir comme compte d'état actuel « Current Account », 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.

III.2.1. Sites des demandes

- *le niveau d'activité annuelle* qui détermine la demande tel que le nombre d'utilisateurs de l'eau domestiques ou le niveau de consommation d'eau par le secteur de l'agriculture par unité d'activités et de la consommation d'eau par le secteur de l'industrie. La consommation de l'eau est calculée en multipliant le niveau de l'activité annuel par un taux d'usage de l'eau. Les Niveaux de l'activité sont utilisés dans l'analyse de la demande en eau de WEAP comme une mesure d'activité sociale et économique.

Les sites de demande domestique sont représentés par le nombre d'habitant actuel, calculé par le logiciel WEAP en utilisant le nombre d'habitant du recensement national de 2008 avec le taux d'accroissement. Les résultats de calcul sont représentés dans la Figure suivante (Figure 27) :

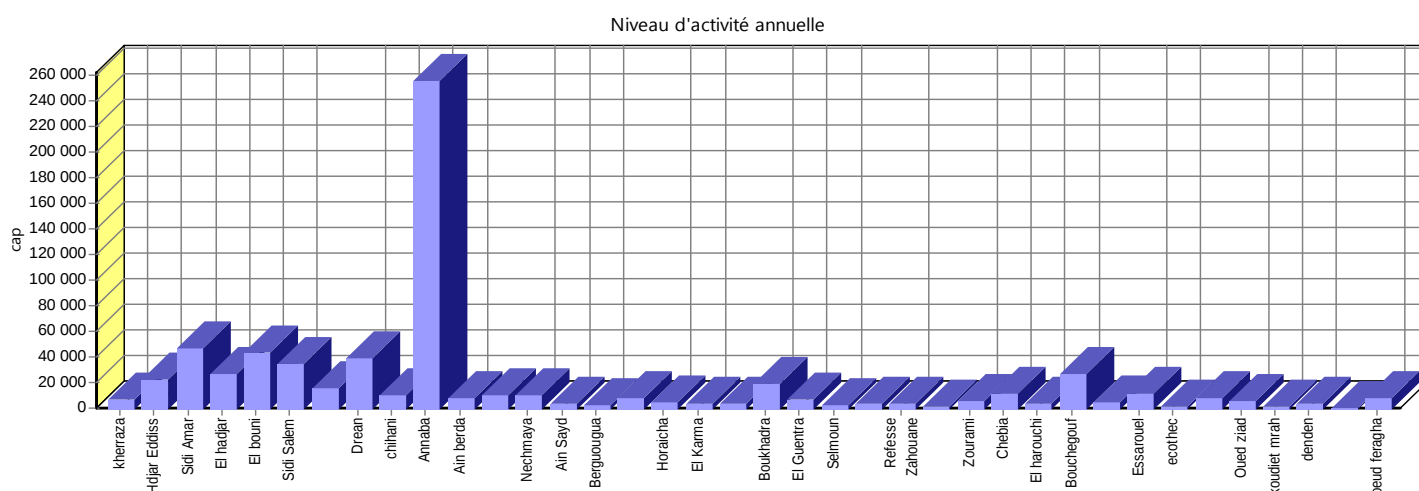


Figure 27. Niveau d'activité annuelle des sites des demandes domestiques - Compte d'état actuel, 2010-

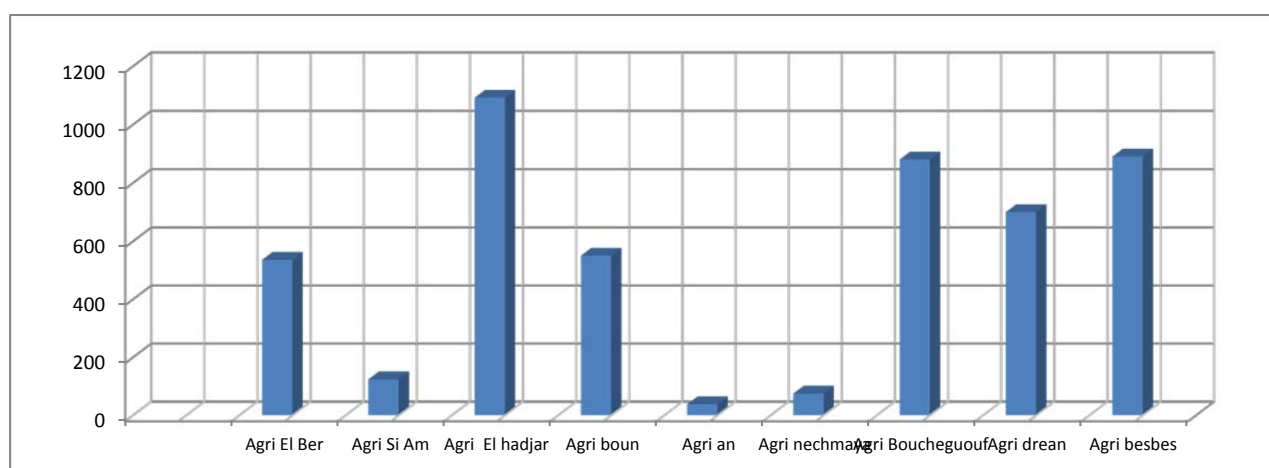


Figure 28. Niveau d'activité annuelle en hectares des sites des demandes d'agriculture. - Compte d'état actuel, 2010-

- *La consommation d'eau annuelle* c'est la consommation de l'eau annuelle moyenne par unité d'activité.

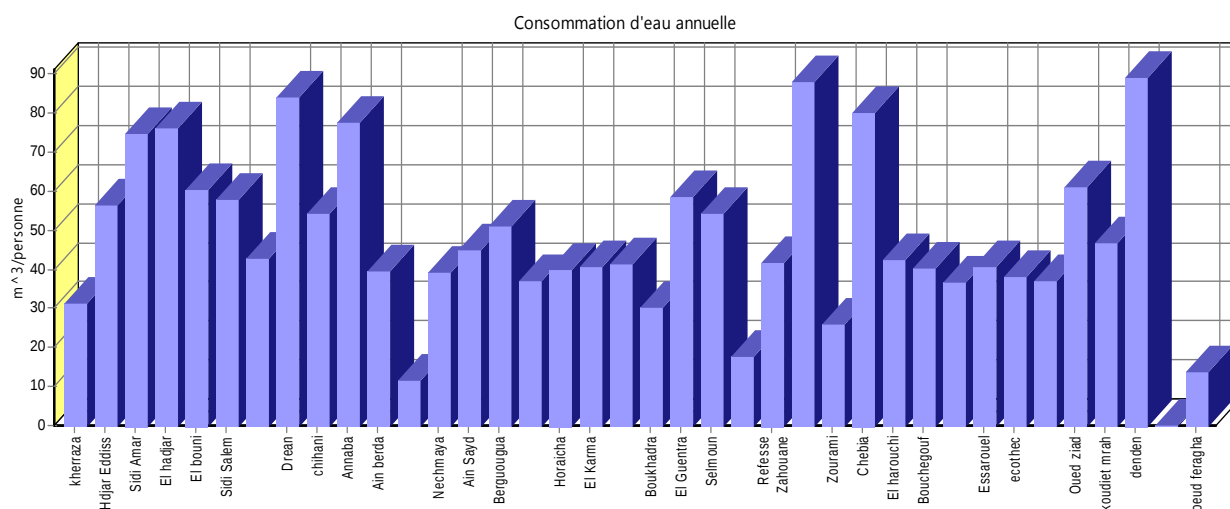


Figure 29. Consommation annuelle des sites des demandes domestiques. -Compte d'état actuel, 2010-

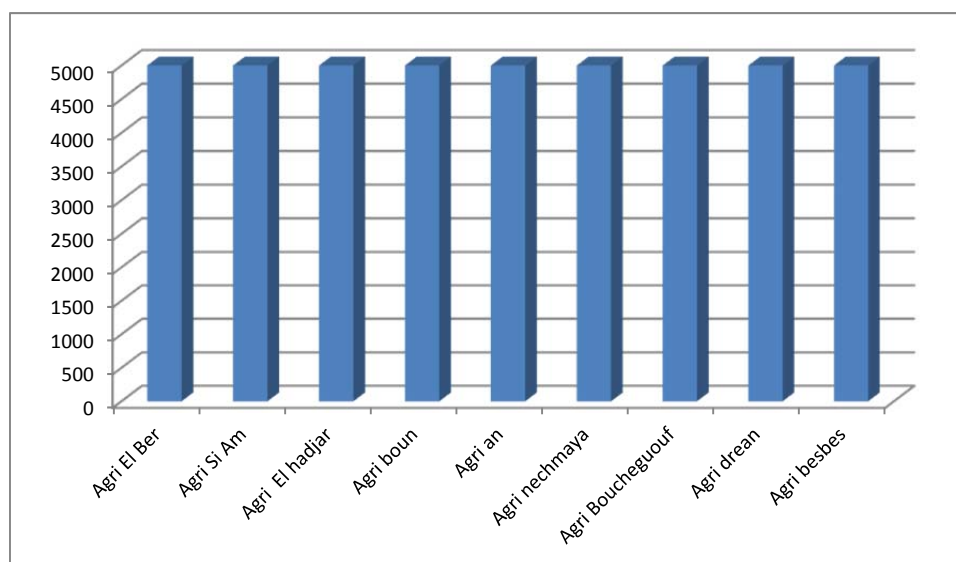


Figure 30. Consommation annuelle des sites des demandes d'agriculture. -Compte d'état actuel, 2010-

Pour pouvoir estimer la demande mensuelle en eau d'irrigation, une dotation moyenne de 5000 m³ par ans et par hectares a été optée.

III.2.2. Sites de l'offre : ressources et lieux de captage

Ce sont les rivières, le barrage, les réservoirs, les eaux souterraines et les autres sources.

➤ Eaux souterraines

Le débit de prélèvement maximum de chaque forage (Figure 31).

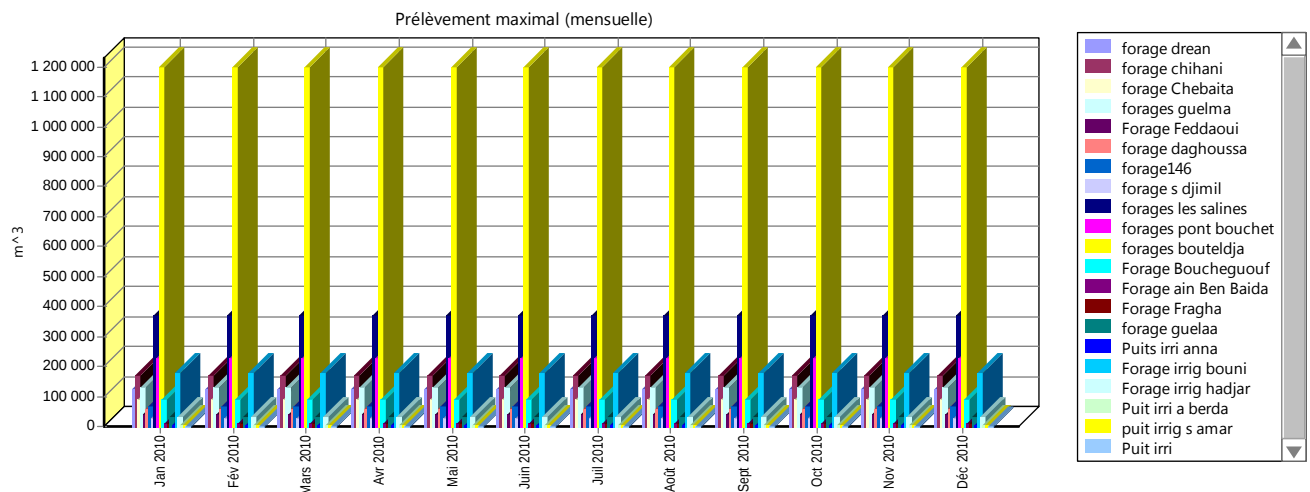


Figure 31. Prélèvement maximal des forages alimentant le sous bassin de la basse Seybouse - Compte d'état actuel, 2010-

➤ Eaux superficielles

Capacité de stockage des barrages alimentant le sous bassin de basse Seybouse, la représentation graphique est dans la figure ci- dessous (Figure 32).

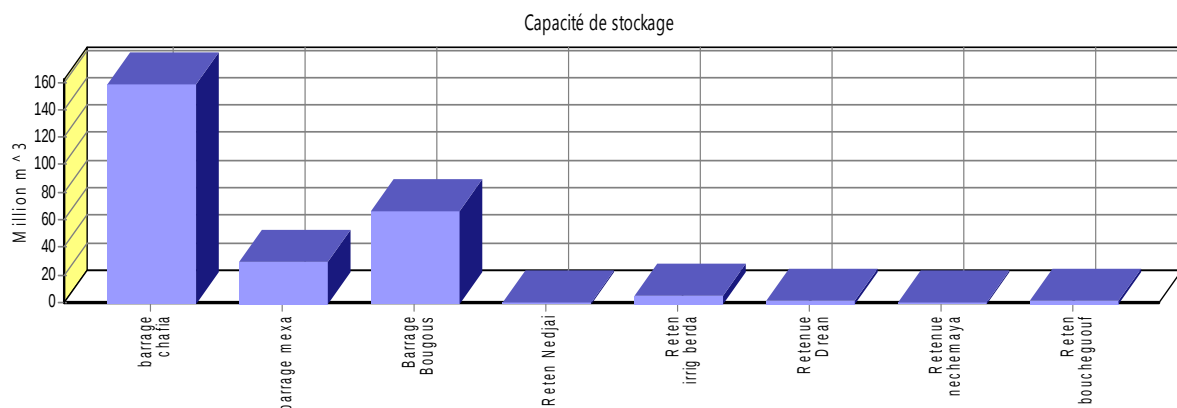


Figure 32. Capacité de stockage des barrages alimentant le sous bassin de basse Seybouse - Compte d'état actuel, 2010 -

III.2.3. Priorités d'approvisionnement

Il existe des liaisons entre les ressources et l'utilisateur suivant la priorité d'approvisionnement.

On parle de débit de retour, certaines d'entre elles devraient être créées suivant la priorité d'approvisionnement :

- une liaison de transmission à partir de l'emplacement urbain jusqu'à l'emplacement agricole pour un modèle conceptuel de réutilisation d'eau usée urbaine dans l'agriculture.
- des liens de débits de retour (eaux usées) avec les emplacements des utilisations (urbain, industrie, élevage, agriculture) vers la rivière si on veut étudier la charge et la propagation des pollutions.

IV. Résultats d'application du modèle WEAP

Les résultats de l'application du modèle WEAP 21 dans le sous bassin de la basse Seybouse sont représentés sous formes cartographique et graphique en procédant à la simulation de scénarios alternatifs. :

- Scénario de référence (SR),
- Scenario fort accroissement de population (SFAP),
- Scénario du changement climatique (SCC),
- Scénario de réduction des pertes et recyclage (RPR).

Ces scénarios sont présentés simultanément dans les résultats et comparés entre eux pour savoir l'impact sur la demande en eau et les ressources en eau.

IV.1. Création et analyse des scénarios

IV.1.1. Changement d'horizon de temps du secteur

Le compte courant est créé depuis que nous avons créé la zone d'étude. On change juste l'année de la fin des scénarios (Figure 33). En choisissant comme compte courant (l'année 2010) et l'année de fin des scénarios est 2050.

Années et pas de temps

Horizon temporel

Année des Comptes Actuels: 2010

Fin des scénarios: 2050

Pas de temps par an

12

☐ Add Leap Days

Longueur du pas de temps

☒ Basé sur le mois calendaire:

☐ Tous les pas de temps sont de même

☐ Définir la longueur du pas de temps

Début de l'année hydrologique

Janvier

La période d'étude courra de Janvier, 2010 à Décembre, 2050.

Aide Fermer

#	Titre	Abbrev.	Longueur	Begins	Ends
1	Janvier	Jan	31	Jan 1	Jan 31
2	Février	Fév	28	Fév 1	Fév 28
3	Mars	Mars	31	Mars 1	Mars 31
4	Avril	Avr	30	Avr 1	Avr 30
5	Mai	Mai	31	Mai 1	Mai 31
6	Juin	Juin	30	Juin 1	Juin 30
7	Juillet	Juil	31	Juil 1	Juil 31
8	Août	Août	31	Août 1	Août 31
9	Septembre	Sept	30	Sept 1	Sept 30
10	Octobre	Oct	31	Oct 1	Oct 31
11	Novembre	Nov	30	Nov 1	Nov 30

Figure 33. Paramètres généraux du modèle

IV.2. Scénario de référence(SR)

Le scénario de référence est le scénario de base à travers lequel les autres scénarios sont comparés. Ce scénario est hérité du compte courant, traduisant ainsi simplement une projection des tendances courantes sans changements majeurs, et sert comme point de comparaison pour les autres scénarios dans lesquels des changements des données du système peuvent être réalisées.

La barre d'outils située en haut du gestionnaire de scénarios nous permet d'ajouter, de copier, de supprimer et de renommer des scénarios (Figure 34).

Dans notre scénario de référence (2011-2050) utilisé;

- on fait varier les variables de niveau de la taille de la population estimée entre les deux derniers recensements nationaux effectuée par l'office national de statistiques une exploitation et à partir des RGPH (Recensement Général de la population et de l'Habitat) de 1998 et 2008, et en maintenant tous les paramètres de structure constants. Cela a pour effet de faire croître le besoin en AEP des ménages au sein du sous bassin.
- faire croître les besoins en eau d'irrigation au taux de croissance de la superficie irriguée

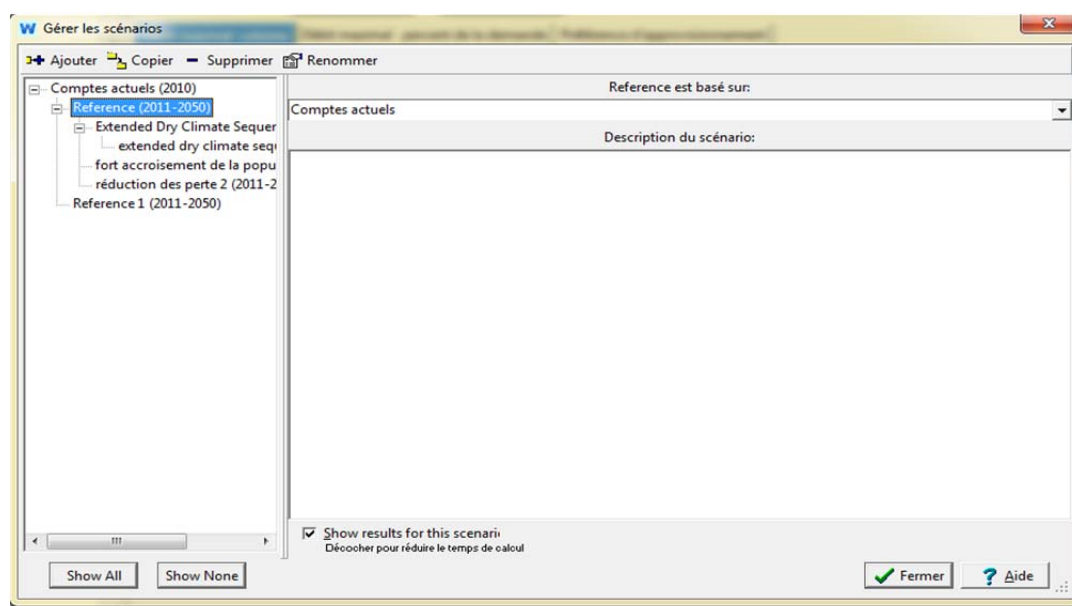


Figure 34. Création du scénario de référence

IV.2.1. Niveau d'activité annuelle

IV.2.1.1. Projection d'accroissement de la population

La présente étude de prospective démographique 2011-2050 repose sur une exploitation et un traitement des informations et données des populations publiées par l'Office National des Statistiques (ONS), à partir des RGPH (Recensement Général de la population et de l'Habitat) de 2008(Figure 35).

Tableau 27. Projection de la population totale dans le sous bassin de la basse Seybouse.

2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
679 938,0	712 950,5	750 438,7	790 615,4	833 714,6	879 993,6	929 735,6	983 253,0	1 040 890,3

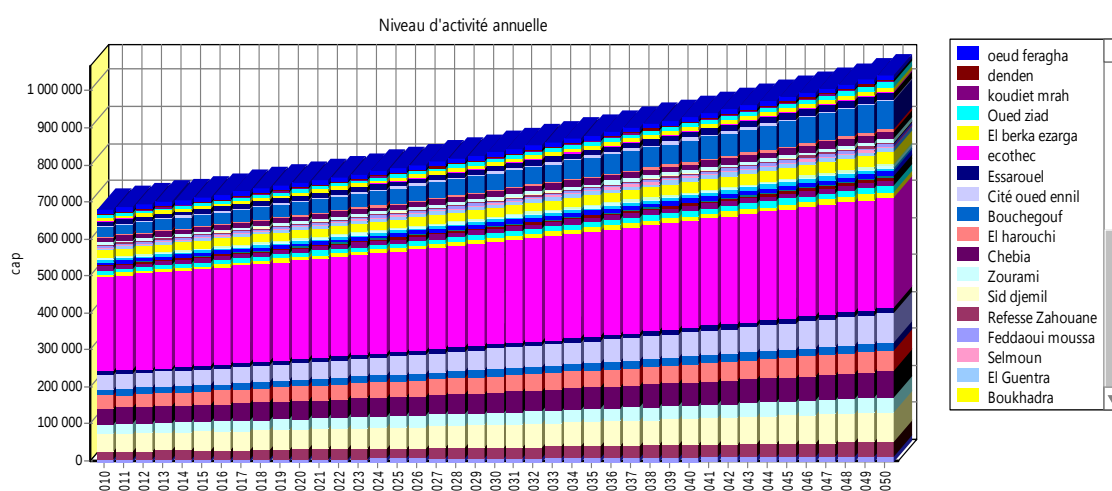


Figure 35. Evolution de la population dans le sous bassin de la basse Seybouse - Scénario 1 : Scénario de référence (2011-2050)-

IV.2.1.2. Projection d'augmentation des superficies irriguées

Pour établir le scénario de référence pour l'horizon 2011-2050, on maintient constant tous les paramètres du modèle sauf la superficie du secteur irrigué. Par cela, la superficie irriguée passera de 4885 ha en 2011 à 10938 ha en 2050 selon les services de la DSA.

Avec cette hypothèse, les tensions sur les ressources vont être plus fortes car les prélèvements vont croître alors que les ressources restent à un même niveau. Cela peut se voir dans la progression des prélèvements qui seront effectués au cours de la période.

IV.3. Résultats du scénario de référence (2011-2050)

IV.3.1. Sources de production

Dans ce scénario de référence, on spécifie la production souterraine des forages, les transferts externes des barrages de Chaffia, Mexa et Bouhamdane vers le sous bassin et les prélèvements sur l'oued Seybouse.

Les priorités d'affectation des ressources en eau sont de deux niveaux qui doivent être précisés dans le programme de résolution:

- *Les priorités de demande:* elles indiquent l'ordre dans lequel les besoins des sites sont satisfaits. On impose que les localités sont prioritaires dans la satisfaction de leur besoin d'eau par rapport à l'agriculture et vient après l'industrie.
- *Les préférences d'approvisionnement:* lorsqu'un site de demande peut être alimenté par plusieurs sources (station de traitement, forages, transferts ou autres sources), la priorité d'approvisionnement doit être précisée.

La répartition des ressources en eau dans les différents sites est alors réalisée par le modèle sous les priorités de demande et des préférences d'approvisionnement retenues.

IV.3.2. Projection de la demande en eau globale dans la basse Seybouse

La demande en eau globale pour les différents secteurs dans le sous bassin de la basse Seybouse est de l'ordre de 79,81 hm³ en 2011 et s'élèvera en 2050 à près de 178,04 hm³ par an. Soit 36 % sont des besoins domestiques, 19% industriels et 44% sont des besoins pour l'agriculture.

Le graphique ci-dessous nous montre l'évolution de la demande en eau globale (Figure 36)

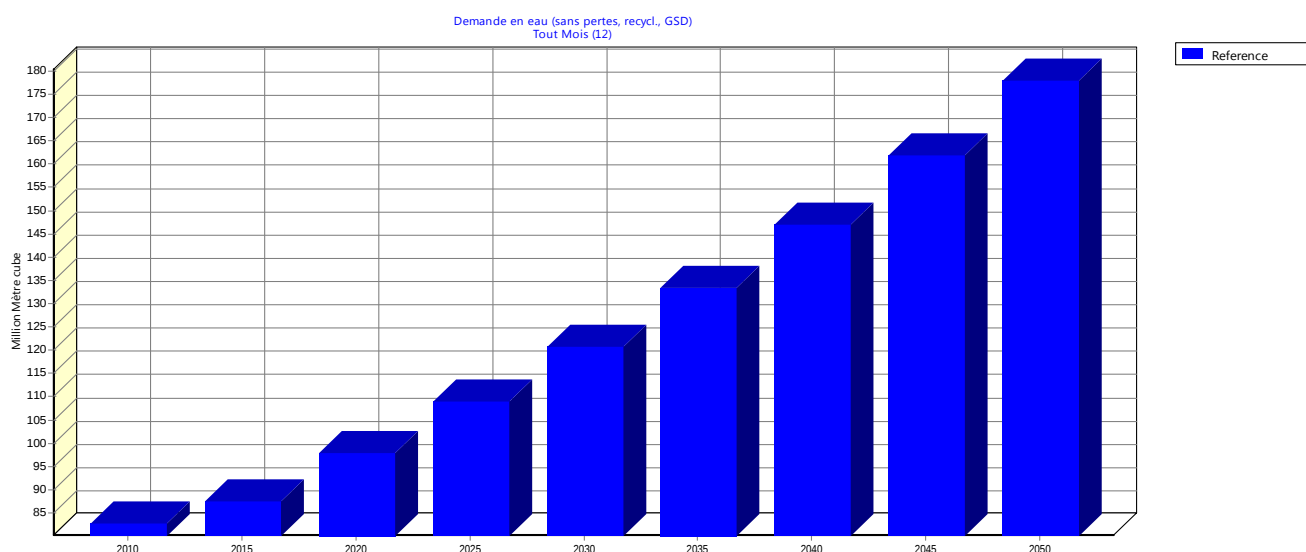


Figure 36. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1 : Scénario de référence (2011-2050)-

IV.3.3. projection de la demande en eau des ménages (domestique)

La demande en eau domestique a été définie comme le volume d'eau approvisionné à l'ensemble de la population, des commerces et des industries raccordées au réseau municipal, face à la croissance de la population du sous bassin, la demande en eau potable domestique augmente régulièrement soit 44,28 hm³ en 2011 et s'élèvera au total en 2050 à environ 64,8hm³.

Le graphique ci-dessous résume l'évolution des demandes en eau domestique (Figure 37).

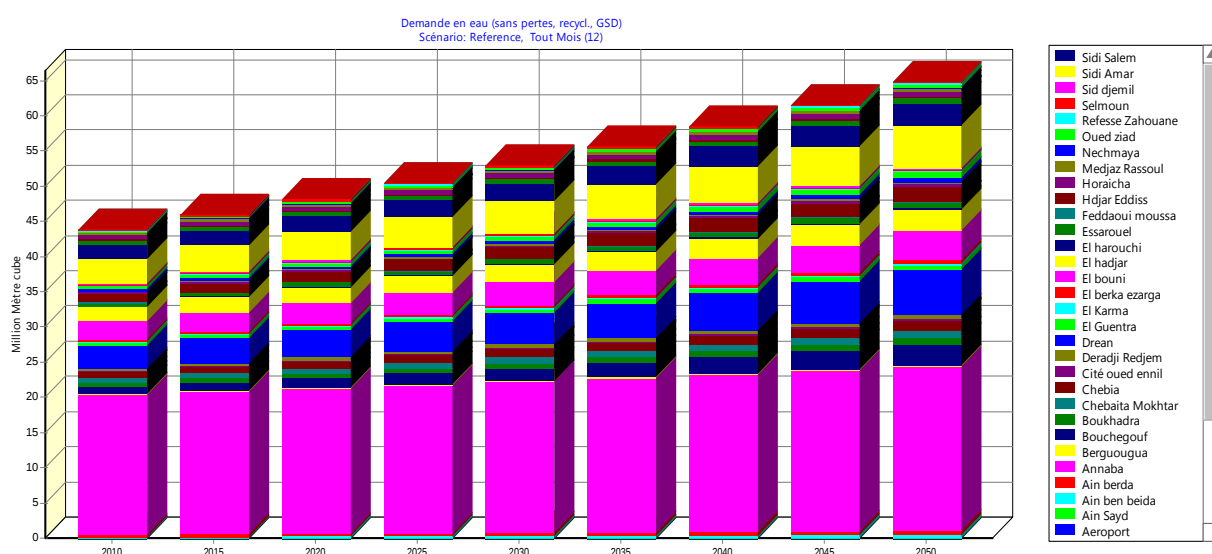


Figure 37. Evolution de la demande en eau domestique dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1 : Scénario de référence (2011-2050)-

IV.3.2.2. projection de la demande d'agricole

La demande en eau à usage agricole est classiquement estimée à partir de données des superficies irriguées, de la nature des cultures et du développement des superficies (intensité culturale), des techniques d'irrigation ainsi que d'autre données (GPI / PMH, exploitations individuelles ou collectives, etc.).

Toute fois s'agissant de la demande en eau agricole, nous avons estimé la dotation à 5000 m³ par hectares et par an (selon les services de la DSA).

La demande en eau agricole en 2011 à environ 25,65 hm³, et s'élèvera au total en 2050 à entour de 79,12 hm³.

Le graphique ci-dessous résume l'évolution la demande en eau d'irrigation (Figure 38).

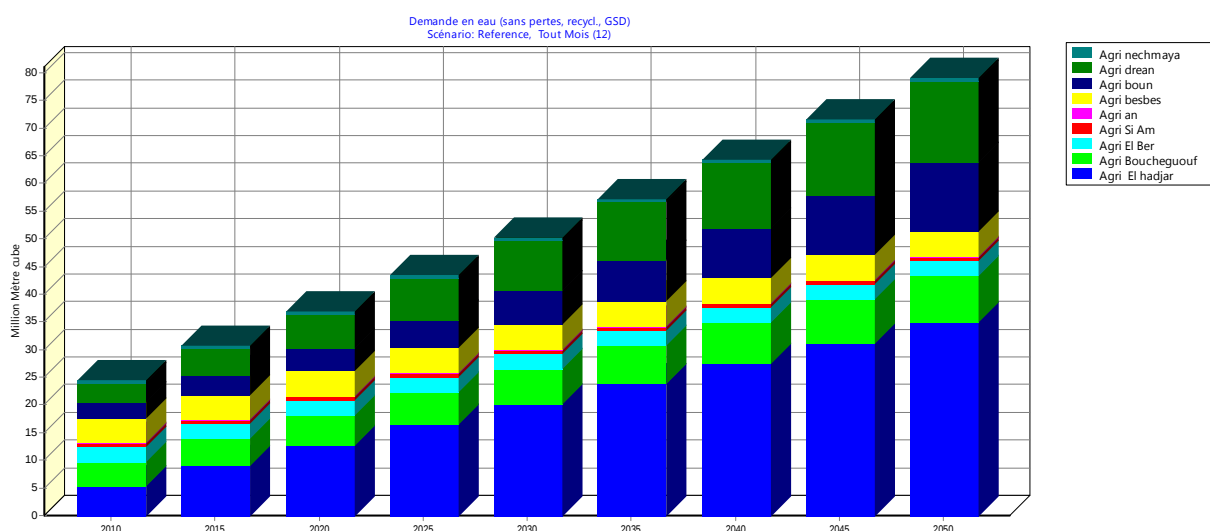


Figure 38. Demande en eau d'irrigation dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-

IV.3.2.1. projection de la demande en eau industriel

La demande en eau industriel augmente régulièrement en 2011 à 9,88 hm³, et s'élèvera au total en 2050 à environ 34,13hm³ par an.

Le graphique ci-dessous résume l'évolution des demandes en eau (Figure 39).

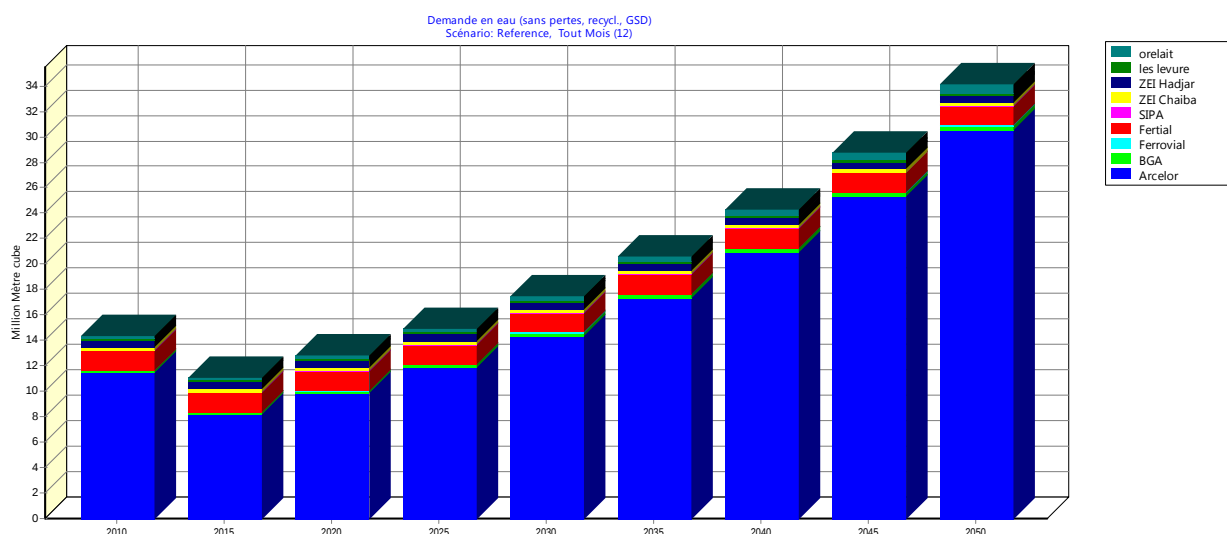


Figure 39. Demande en eau industriel dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-

IV.3.4. Eau distribuée

Les ressources en eau distribuées à partir de tous les sources disponibles dans le sous bassin de la basse Seybouse sont de l'ordre de 27,38 hm³ en 2011, intégrant les apports d'eau provenant des bassins avoisinants (barrage de Chafia et les barrages de Mexa et barrage Bougous), et devenant vers l'horizon 2050 à environ 28,27 hm³. Donc on constate une très faible augmentation pour le scénario de référence.

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de l'eau distribué (Figure 40).

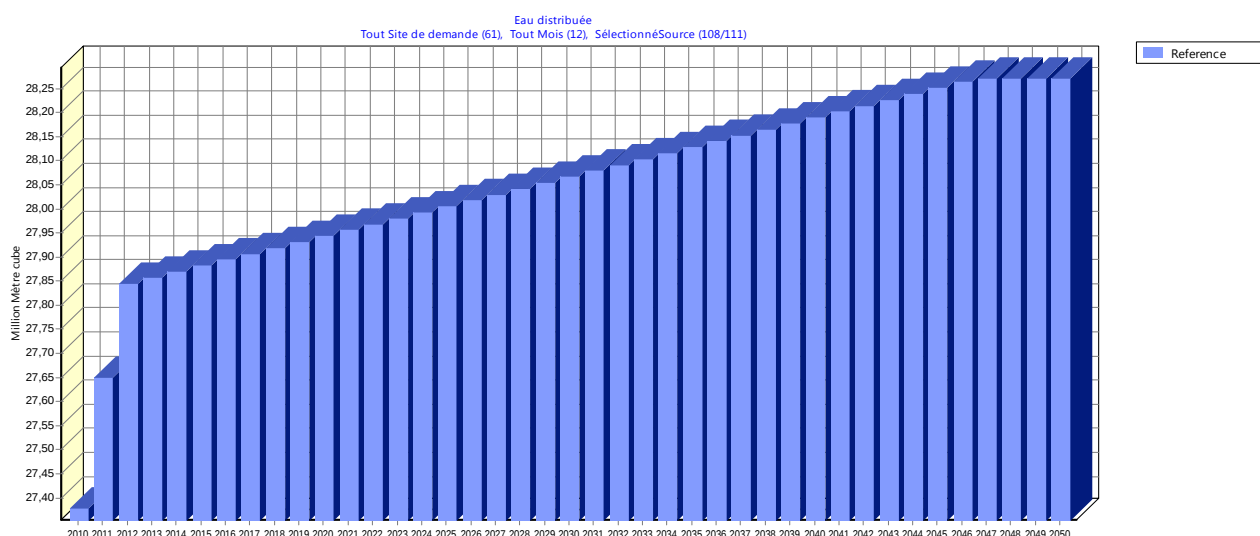


Figure 40. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse - Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-

IV.3.5. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin

Une simulation d'analyse de la demande non satisfaite a été réalisée afin de mettre en évidence le volume des déficits, nous constatant un volume d'environ 70,14hm³ en 2011 à environ 172 hm³ en 2050.

Le graphique de la figure ci-dessous présente la demande en eau non satisfaite (Figure 41).

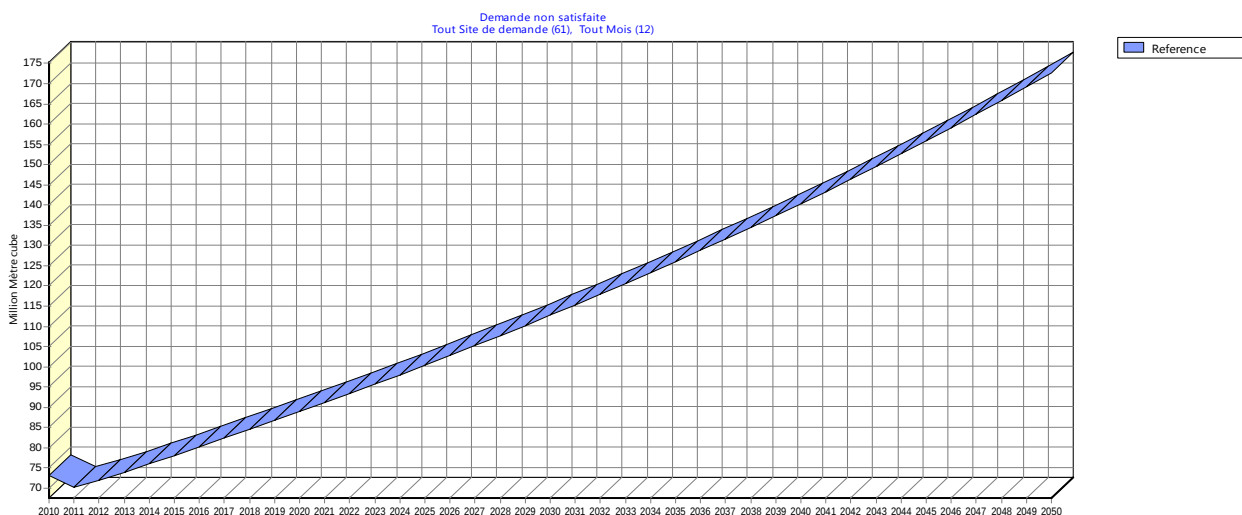


Figure 41. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin de la basse Seybouse - Scénario1: Scénario de référence (2011-2050)-

IV.3.6. Conclusion du scénario de référence(SR)

Ce scénario est passif, puisqu'il repose sur l'hypothèse que les gestionnaires n'ont pris aucune mesure de développement des infrastructures en réponse à l'augmentation de la taille de la population et du nombre d'entreprises. Un nombre plus grande des zone urbaine, l'exode rurale vers les villes requièrent un accès plus vaste à l'eau potable à travers un plus grand taux de raccordement sans compter les besoins unitaires qui vont augmenter avec l'amélioration du niveau de vie entraînant une demande globale encore plus grande.

Compte tenu de l'évolution des demandes des différents usagers de l'eau dans le sous bassin de la basse Seybouse (ménages, agriculture et industrie) et de leur croissance. Les ménages sont considérés comme le plus grand consommateur d'eau et constitue le secteur aux besoins en eau les plus importants sur le sous bassin suivi par le secteur de l'agriculture.

IV.4. Analyse du scénario 2 : Scénario d'un fort accroissement de la population (SFAP)

Ce nouveau scénario a été créé pour évaluer l'impact d'un taux de croissance plus élevé que les taux adoptés au scénario de référence pour la période 2011-2050, où la démographie et particulièrement l'urbanisation sont les premiers éléments qui déterminent la demande en eau.

On étudie un premier scénario alternatif où les taux d'accroissement démographique augmentent de 2% de plus par rapport au premier taux d'accroissement adopté au scénario de référence qui est publié par l'ONS à partir des RGPH de 2008, sous l'effet de plusieurs facteurs, la croissance rapide des petites agglomérations, et la stabilisation des populations de ces agglomérations, Amélioration de l'alimentation, l'hygiène, progrès sanitaire, industrialisation...).

IV.4.1. Evolution de la demande en eau

Dans ce scénario fort accroissement de la population (SFAP) l'évaluation et la comparaison de la demande en eau.

En fait, pour l'année 2010, nous avons bien sûr les demandes en eau dans ce scénario correspondent à la situation de compte actuelle et resteraient valables pour le scénario de référence c à d 43,88 hm³.

Le graphique de la figure ci-dessous présente la croissance de la demande en eau totale correspondant au scénario d'un fort accroissement de la population (Figure 42).

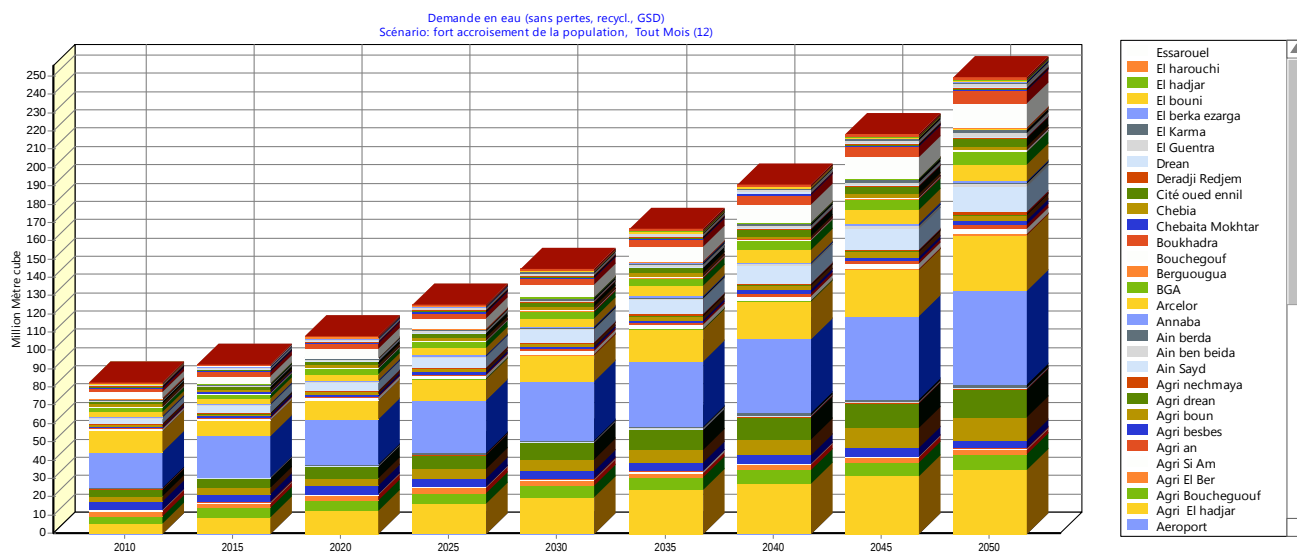


Figure 42. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario2 : Fort accroissement de la population (2011-2050)-

L'aspect de l'effet d'un fort accroissement de la population sur la demande en eau est bien visible, où on observe une demande en eau domestique de l'ordre de $136,30 \text{ hm}^3$ en 2050 cependant elle ne dépasse pas les $64,80 \text{ hm}^3$ pour le du scénario de référence (Figure 37), Soit une augmentation des demandes de 47,54 %. La demande en eau totale s'élèverai à $249,54 \text{ hm}^3$ en 2050 pour le scénario d'un fort accroissement de la population contre 178.04 hm^3 pour le scénario de référence (Figure 35), soit une augmentation de 71,35 %.

IV.4.2. Eau distribuée

Dans ce scénario les ressources en eau distribuées resteront constantes par rapport au scénario de référence le long de la période de simulation, qui est de l'ordre de $27,65 \text{ hm}^3$ en 2011 à environ $28,27 \text{ hm}^3$ en 2050.

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de l'eau distribué (Figure 43).

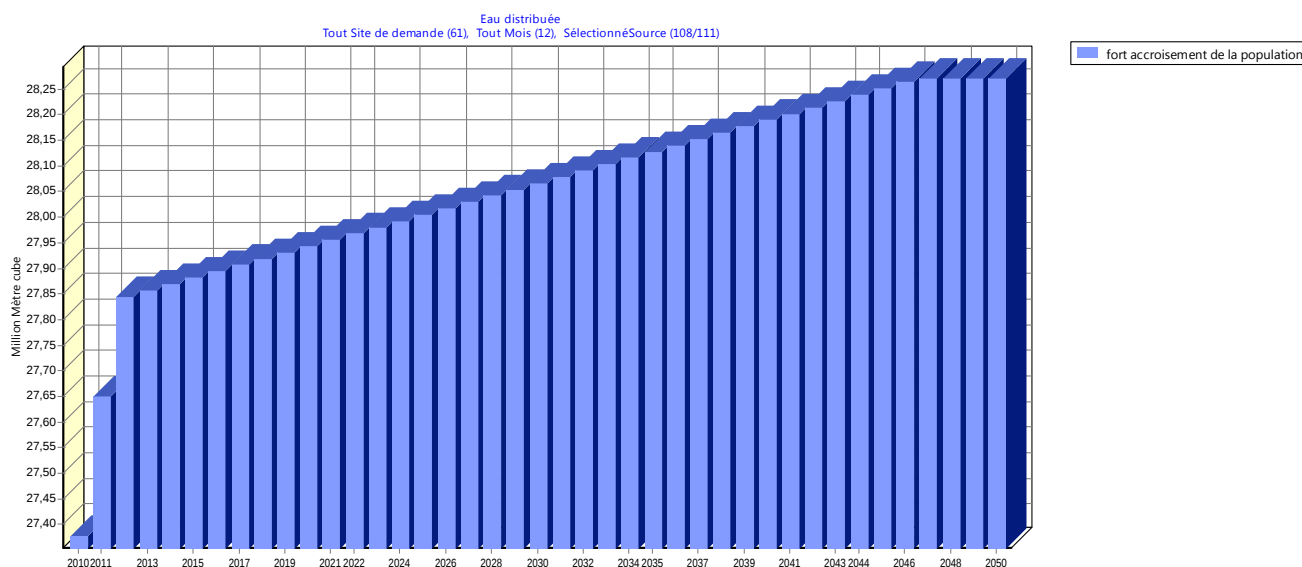


Figure 43. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse.- Scénario2: Fort accroissement de la population (2011-2050)-

IV.4.3. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin

Pour la demande en eau non satisfaite dans le scénario Fort accroissement de la population on constate un déficit qui augmentera à l'avenir par rapport au scénario de référence, qui sera de l'ordre de $71,17 \text{ hm}^3$ en 2011 passant à l'horizon 2050 à environ $261,85 \text{ hm}^3$.

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de la demande en eau non satisfaite Figure 44.

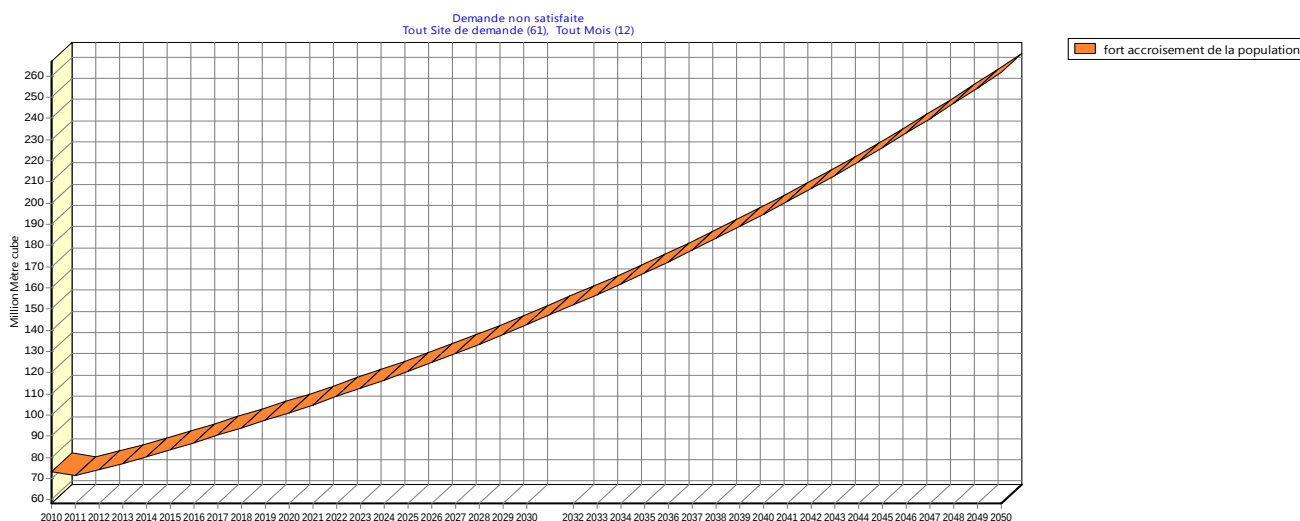


Figure 44. Demande en eau non satisfaite dans sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario2: Fort accroissement de la population (2011-2050)-

IV.4.4. Conclusion du scénario d'un fort accroissement de la population (SFAP)

Dans ce scénario, le taux d'accroissement démographique proposé est de 2% de plus que le taux d'accroissement naturel RGPH 2008 admit dans le scénario de référence. Cela a pour effet une augmentation plus ou moins conséquente de la demande en eau domestique par rapport à celle du scénario de référence.

On a abouti à une demande à l'horizon 2050 qui peut être de 249,54 de hm³. Cette valeur fortement tranchée met en évidence que les besoins en eau vont aller en s'accroissant et la pénurie de l'eau ne peut que s'aggraver.

IV.5. Analyse du scénario 3 : Scénario changement climatique (SCC)

L'élaboration de scénarios climatiques pour l'Afrique du Nord révèle une tendance à l'augmentation de la température annuelle moyenne (entre 0,6 et 1,1 ° C) et une réduction du volume moyen annuel des précipitations d'environ 4% en 2020 par rapport aux niveaux de 2000 (BENNANI et al. 2001). Pour prévoir le changement climatique et le modèle, les scientifiques s'appuient sur un certain nombre de scénarios (IPPC). Chaque scénario suppose une direction sensiblement différente pour les développements futurs, couvrant un large éventail de caractéristiques clés « futures » telles que le changement démographique, le développement économique et le changement technologique.

-Evolution des précipitations par scenario

Les conséquences du changement climatiques sont apparues très claires, une diminution progressive des apports pluviaux et de leurs irrégularités (Figure 45).

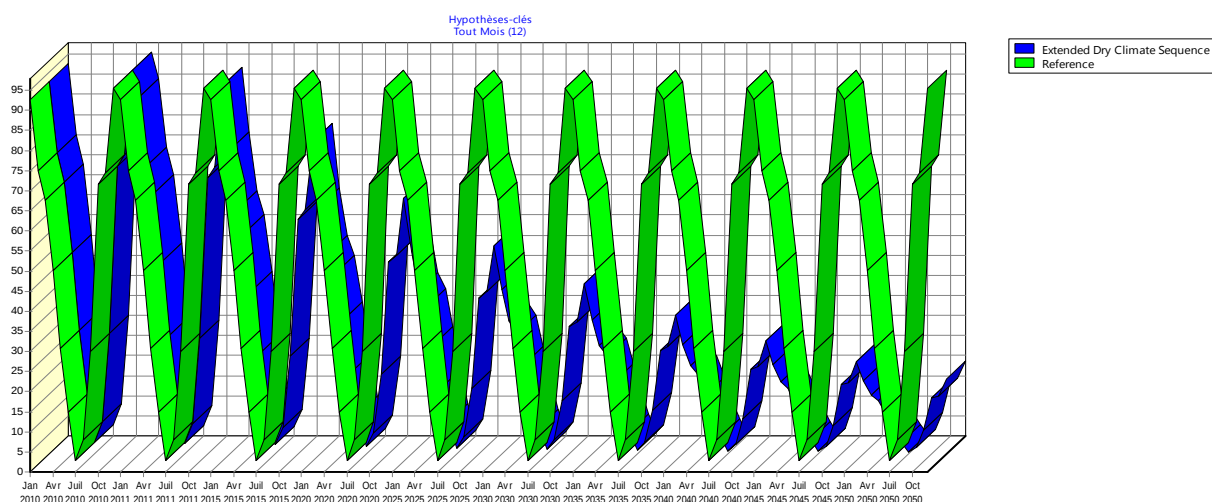


Figure 45. Evolution des précipitations annuelles Scénario3- scénario de changement climatique (2011-2050)-

-Evolution des températures par scénario

L'impact du changement climatique simulé par le modèle peut être observé dans la Figure 45, les températures maximums et minimums passent de 12,42 °C et 25,45 °C en 2011 à 19,02 et 38,35°C en 2050 respectivement (Figure 46).

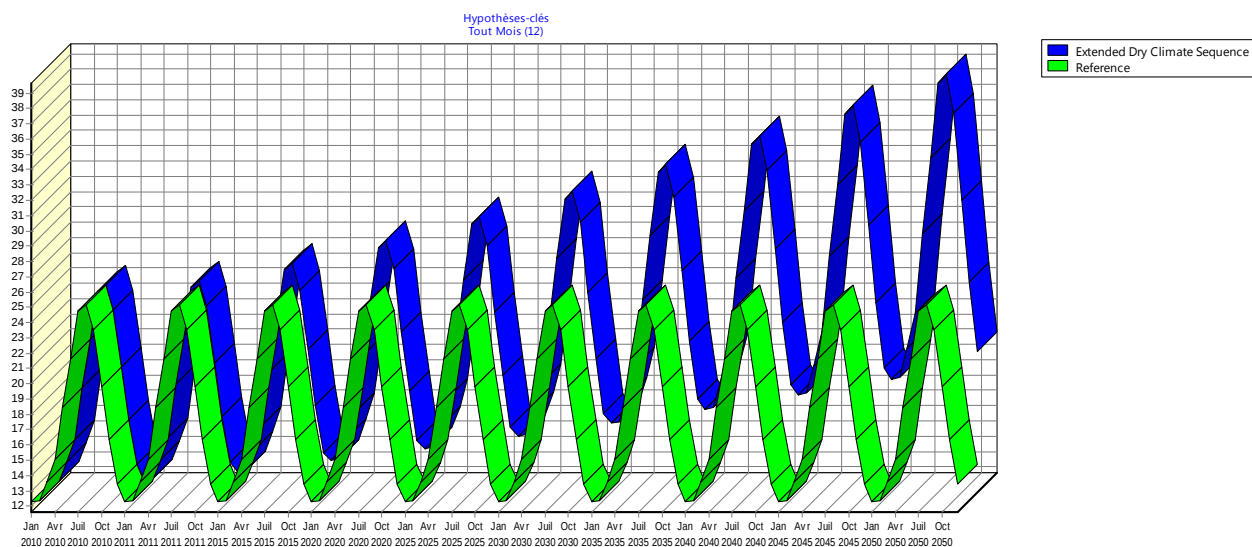


Figure 46. Evolution des températures mensuelles par scénario -scénario de changement climatique (2011-2050)-

IV.5.1. Evolution de la demande en eau

Dans ce scénario changement climatique (SCC) l'aspect du résultat du changement climatique sur la demande en eau globale pour les différents secteurs dans le bassin est bien visible, où

on observe une demande globale de l'ordre de 79,90 hm³ en 2011 à plus de 185,67 hm³ à l'horizon 2050.

Le graphique de la figure ci-dessous présente de l'évolution de la demande en eau globale par rapport au scénario du changement climatique (Figure 47).

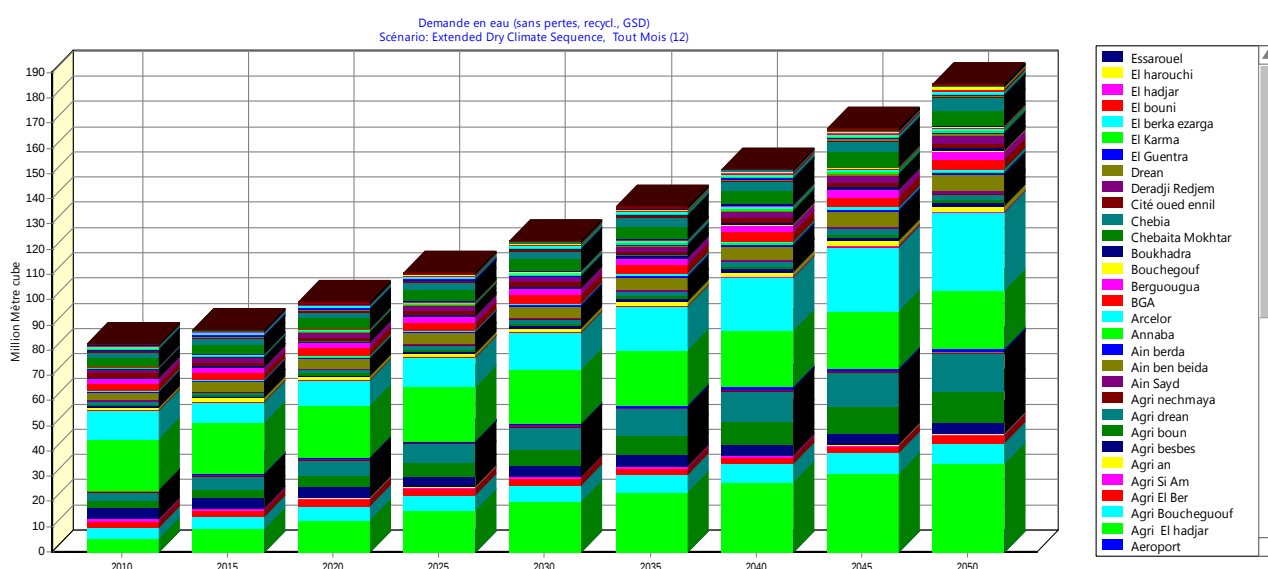


Figure 47. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.- Scénario3: scénario de changement climatique (2011-2050)-

IV.5.2. Eau distribuée

Dans ce scénario du changement climatique (CC) les ressources en eau distribuées sont de l'ordre de 27, 92 en 2011 jusqu'à plus de 27,99 hm³ à l'horizon 2050, donc on enregistre une baisse par rapport au scénario de référence le long de la période de simulation, engendré par la réduction du volume moyen annuel des précipitations.

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de l'eau distribué (Figure 48).

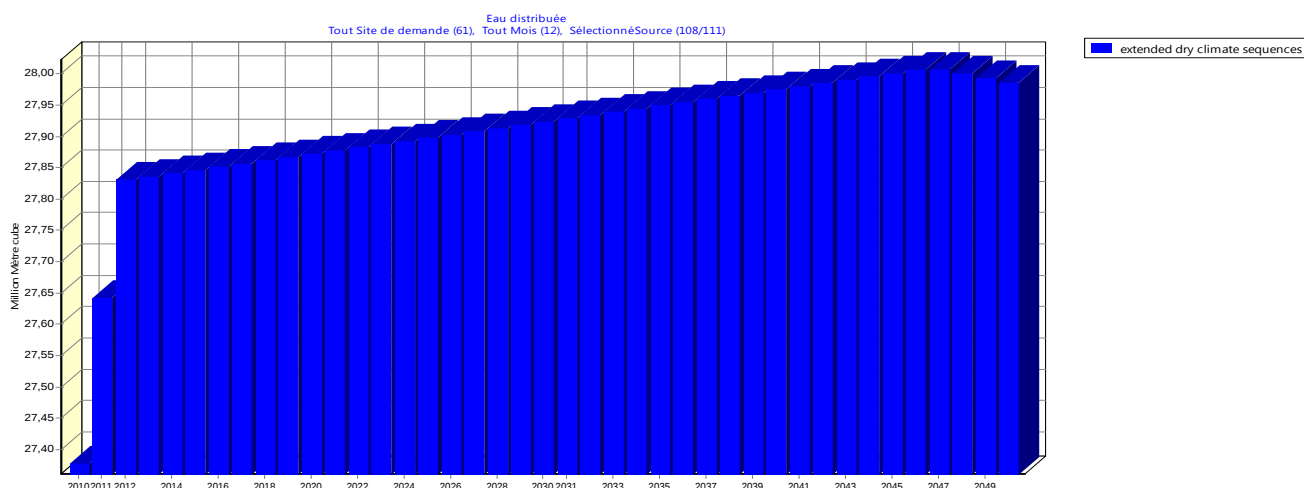


Figure 48. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse. - Scénario 3 : scénario de changement climatique (2011-2050)-

IV.5.3. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin

Pour la demande en eau non satisfaite résultant du scénario de changement climatique. Les résultats de simulation montrent une tendance à la hausse, démontrant que la demande annuelle non satisfaite moyenne augmentera considérablement, où on observe une demande non satisfaite de l'ordre de 70,67 hm³ en 2011 à plus de 211,26 hm³ à l'horizon 2050

Le graphique de la figure ci-dessous présente (Figure 49).

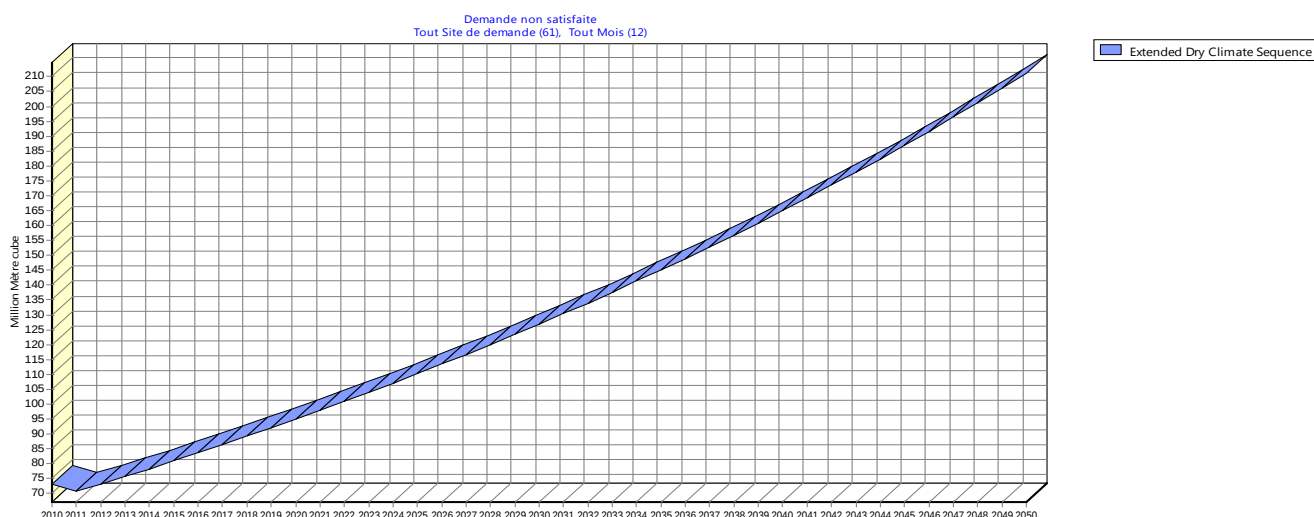


Figure 49. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin de la basse Seybouse-Scénario3: scénario de changement climatique (2011-2050)-

IV.5.4. Conclusion du scénario de changement climatique

L'impact du changement climatique simulé par le modèle peut être observé dans la Figure 47 et la Figure 48 par une diminution du volume d'eau distribuer et une augmentation de la

demande en eau non satisfaite par rapport au scénario de référence du fait de plus faibles précipitations et d'élévation de la température.

IV.6. Le scénario réduction des pertes et recyclage(SRPR)

Une gestion active des ressources en eau permet une économie de l'eau qui peut être importante et contribue à réduire le déficit de l'alimentation en eau (réduction des pertes dans le réseau de distribution d'eau, nouvelle technique de détection des fuites, sectorisation du réseau d'eau potable...etc). Dans ce scénario, on simule une diminution des pertes d'eau dans les liaisons d'adduction qui passe progressivement de 40% à 20% et de 20% à 10% dans les conduites de distribution avec un taux de recyclage de 40% dans l'industrie lourdes et 40% dans l'industrie chimiques.

IV.6.1. Evolution de la demande en eau

Dans ce scénario de réduction des pertes et recyclage (RPR) l'aspect du résultat sur la demande en eau globale, reste la même que la demande globale pour le scénario de référence qui est de l'ordre de 79,81 hm³ en 2011 à plus de 178.04 hm³ à l'horizon 2050.

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de la demande en eau globale par rapport au scénario réduction des pertes et recyclage (Figure 50)

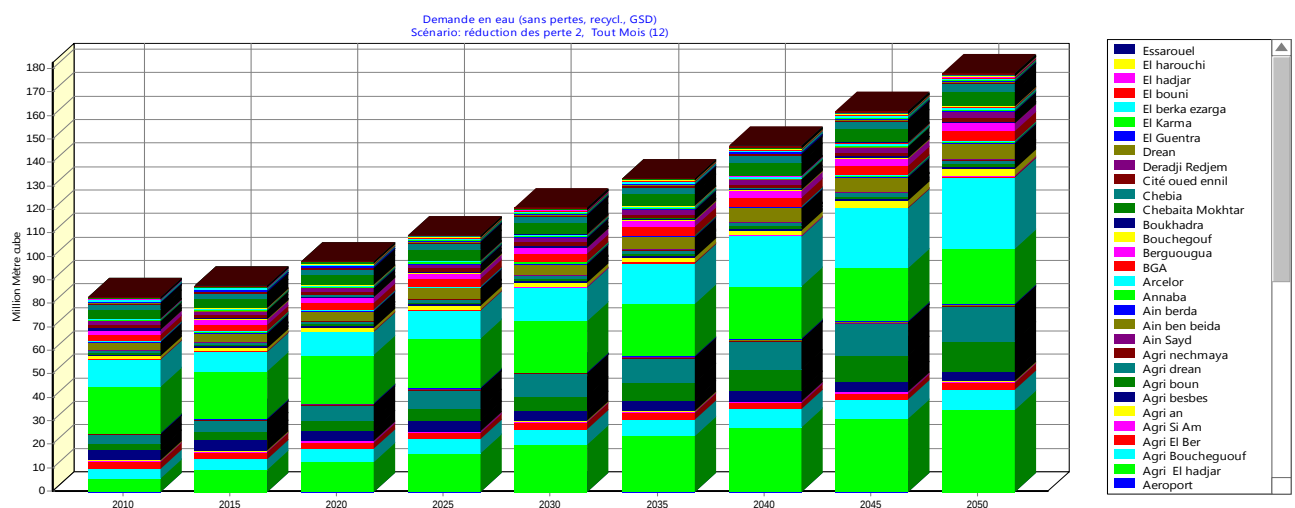


Figure 50. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse.-
Scénario4: Le scénario réduction des pertes et recyclage (2011-2050)-

IV.6.2. Eau distribuée

Les ressources en eau distribuées à partir de tous les sources disponibles dans le sous bassin résultant du scénario réduction des pertes et recyclage sont de l'ordre de 28,67 hm³ en 2011, et devenant vers l'horizon 2050 à environ 29,29 hm³ compte tenu de la réduction des pertes

d'adduction et de distributions et du recyclage de l'eau utilisées dans l'industrie lourdes et l'industrie chimiques, le volume d'eau distribuer enregistre une amélioration par rapport au scénario de référence.

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de l'eau distribué (Figure 51)

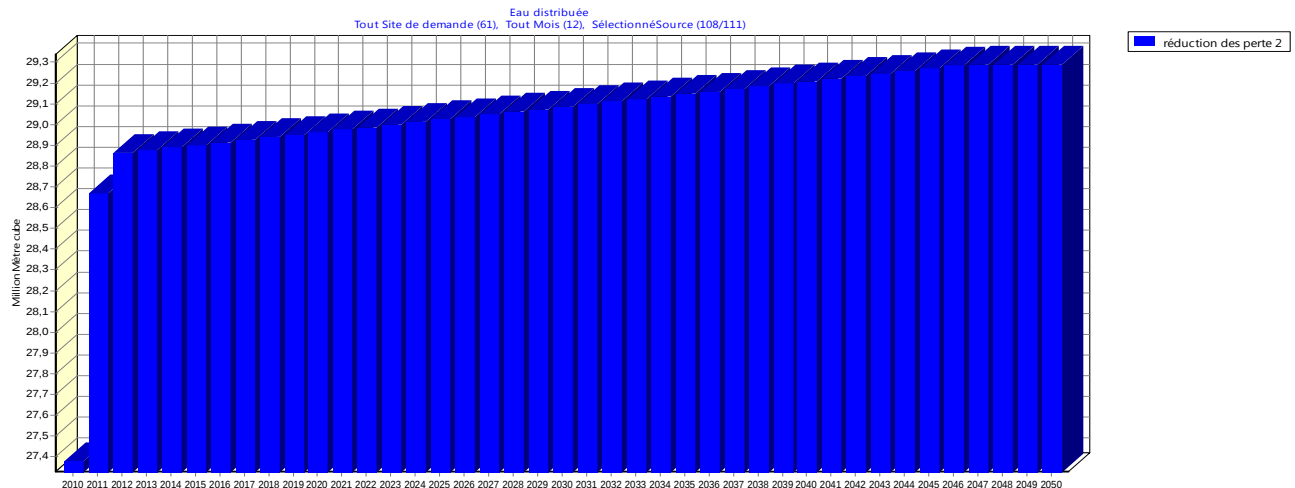


Figure 51. Eau distribuée dans le sous bassin versant de la basse Seybouse. -Scénario 4:
Le scénario réduction des pertes (2011-2050)-

IV.6.3. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin

Pour la demande en eau non satisfaite résultant du scénario réduction des pertes. Les résultats de simulation montrent une tendance à la hausse relativement moins importante par rapport au scénario de référence, où on observe une demande non satisfaite de l'ordre de 59,77 hm³ en 2011 à environ 150,24 hm³ à l'horizon 2050

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'évolution de la demande en eau non satisfaite (Figure 52).

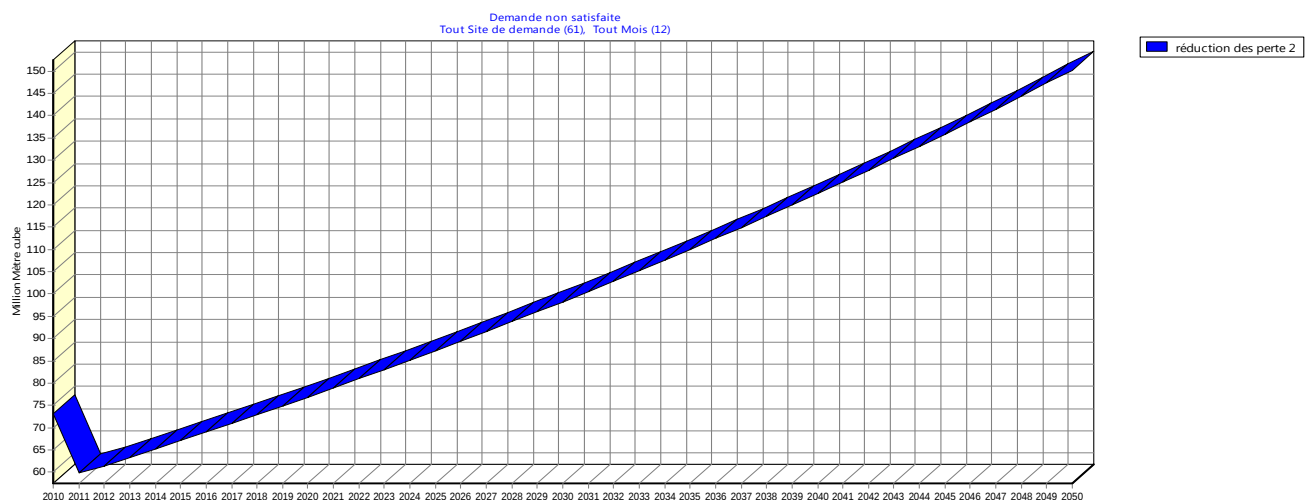


Figure 52. Demande en eau non satisfaite dans le sous bassin de la basse Seybouse.-Scénario4 : scénario réduction des pertes et recyclage (2011-2050)-

Conclusion

Dans ce scénario, on simule une diminution des pertes d'eau dans les liaisons de distribution et de recyclage de l'eau utilisée par les entreprises industrielles permet une économie de l'eau qui peut être importante et contribue à réduire le déficit dans le sous bassin et le recours aux ressources externes.

Une des effets de l'amélioration de la gestion des ressources en eau est la diminution des pertes et la réutilisation des eaux pour l'augmentation des débits et augmenter au moins la plage horaire de distribution.

V. Comparaison entre les différents scénarios analysés

L'ensemble des scénarios retenus sont récapitulés ci-dessous, les résultats montre clairement la différence entre l'impact des scénarios analysés sur la période 2011-2050;

-Evolution des demandes en eau globales par scénario

La plus forte demande est associée au scénario fort accroissement de la population, (Figure 53) dépassant ainsi les 249 hm³ à l'horizon 2050, suivi en deuxième position par la demande du scénario de changement climatique qui n'atteignent qu'environ 185,67 hm³, soit une légère augmentation par rapport au scénario de référence de 7,63 hm³ dans 40 ans.

Pour les scénarios de référence et le scénario réduction des pertes et recyclage, les résultats sont identiques, parce qu'on a gardé les mêmes hypothèses d'évolution de la population, et des superficies irriguées et des mêmes capacités de production industriel.

Les courbes dans la Figure 53 présentent l'évolution de la demande en eau totale dans le bassin en comparaison avec les différents scénarios.

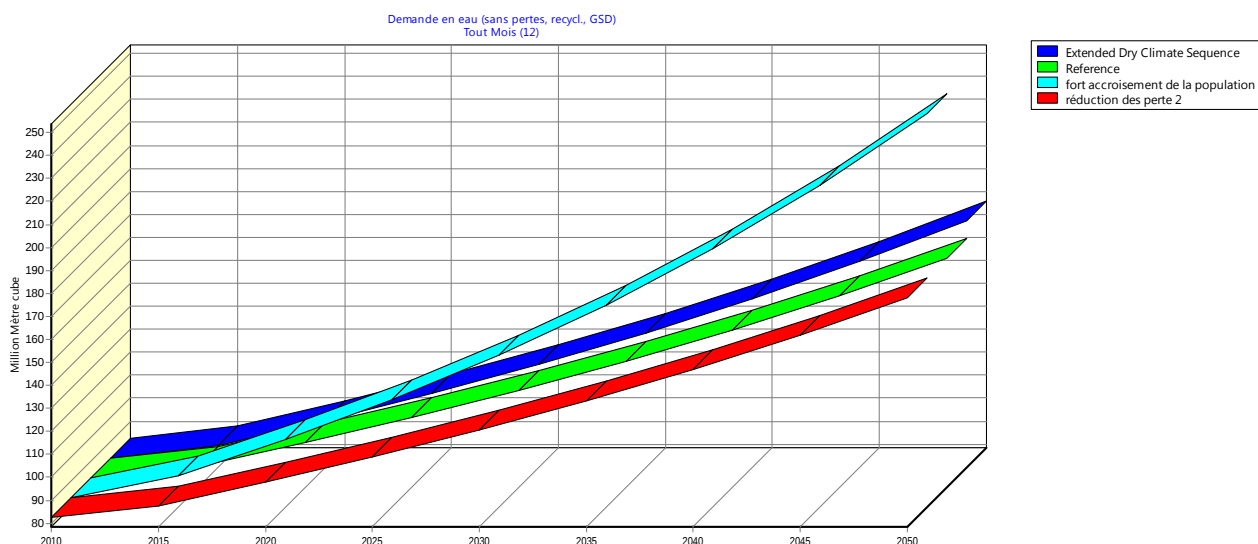


Figure 53. Evolution de la demande en eau globale dans le sous bassin de la basse Seybouse. - Comparaison des différents scénarios (2011-2050)-

-Evolution de l'eau distribuée par scénario

La quantité d'eau distribuée connaît une nette variation entre les différents scénarios, dont leur comparaison (Figure 54) montre que cette fluctuation est très remarquable, et l'eau distribuée va augmenter à plus de de 29,29 hm³ en 2050 pour le scénario réduction des pertes et recyclage(SRPR), contre un volume de 28,27 hm³ pour le scénario de référence, ceci est dû à une meilleure gestion des réseaux d'adduction et de distributions.

Toutefois, en comparant au scénario de référence, le volume distribué va s'abaisser pour le scénario du changement climatique (SCC) et, à moins 27,99 hm³, ceci est dû à la réduction des précipitations donc aussi la diminution de l'écoulement ainsi que de l'infiltration ce qui influe le remplissage des barrage et sur le niveau des nappes.

Les courbes dans la Figure 54 présentent l'évolution de l'eau distribuée dans chaque scénario :

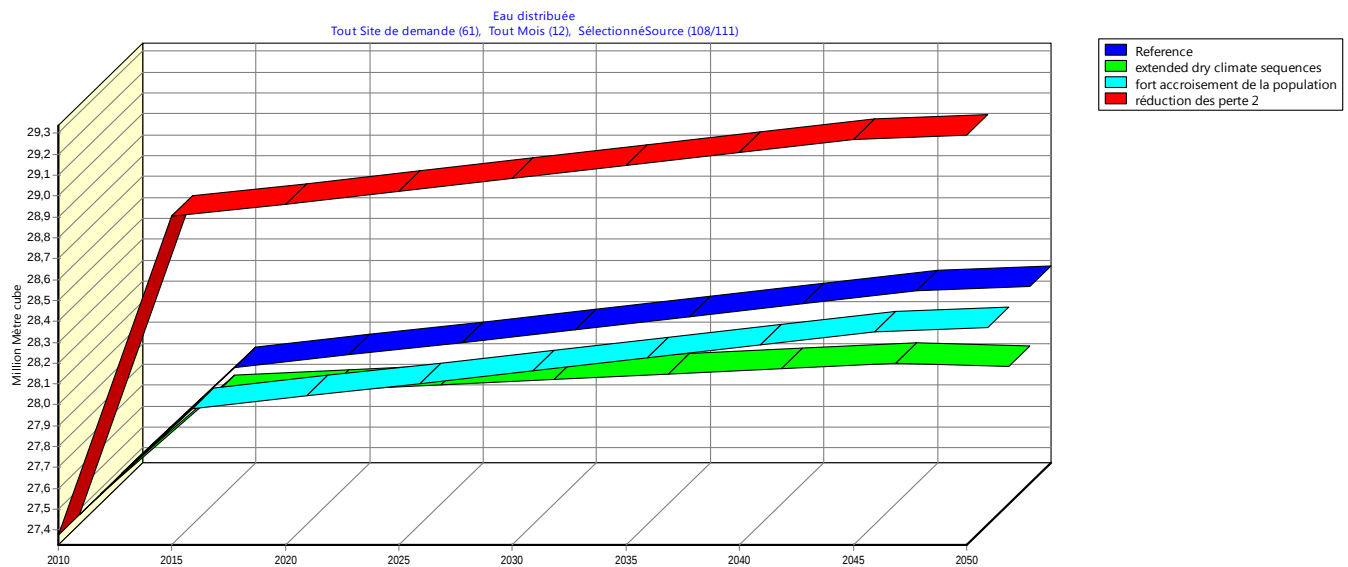


Figure 54. Evolution de l'eau distribuée dans le sous bassin de la basse Seybouse. - Comparaison des différents scénarios (2011-2050)-

-Demandes non satisfaites par scénario

La comparaison des différents scénarios proposés montre que le scénario le plus pessimiste et celui du le scénario du fort accroissement de la population, où la demande non satisfaite est de l'ordre de 71,17 hm³ et atteindra à l'horizon 2050 environ 261,85 hm³, Cependant pour les trois autres scénarios, on constate que les demandes non satisfaite ont des résultat plus ou moins nuancé, (Figure 55), En appliquant les mesures de gestion de la demande comme scénario de la réduction de perte et de recyclage l'allure de la courbe de la demande non satisfaite est la moins grave du fait d'une politique assidue de résorption des fuites et d'intervention plus efficace sur les différente conduite d'adduction et distribution.

Les courbes dans la Figure 55 présentent l'évolution de la demande non satisfaite en eau pour chaque scénario:

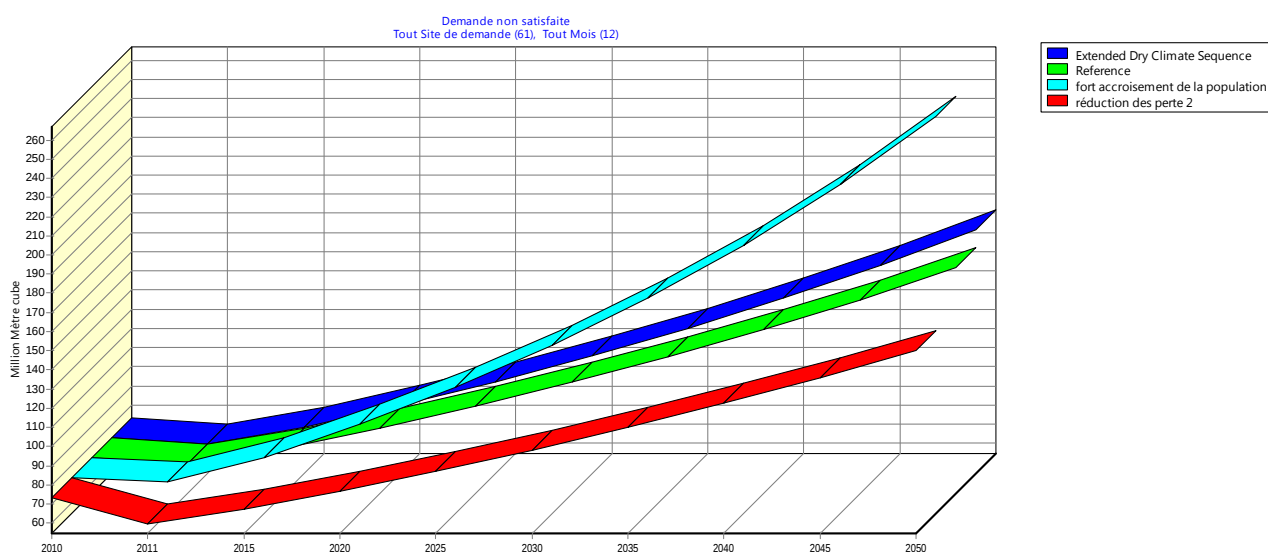


Figure 55. Evolution de la demande non satisfaite en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse. - Comparaison des différents scénarios (2011-2050)-

Conclusion

Le modèle WEAP a été utilisé dans cette étude pour la simulation de l'évolution de la demande en eau des secteurs d'activité de l'homme (urbaine, industrielle et agricole) afin d'analyser les différents scénarios de gestion de l'eau selon plusieurs variantes, cela nous a permis d'évaluer les implications de facteurs de changement qui en résultent, et peuvent être amoindris par des politiques et/ou des apports techniques. le programme a été utilisé pour évaluer l'approvisionnement en eau et les impacts de la demande sous l'effet de l'évolution d'une démographie plus grande que prévue, l'effet du changement climatique est une réalité, aussi la réduction des pertes des réseaux et le recyclage des eaux pour l'industrie essentiellement, qui est autant une recommandation pour faire face à cette augmentation future des demande en eau.

Nous nous sommes basés dans cette analyse avec WEAP sur l'hypothèse qui suppose qu'il y a une stabilisation de l'approvisionnement en eau et des augmentations de la demande en eau domestique, agricole et industriel.

Cette approche simplifiée montre que la demande en eau potable devra croître d'une façon importante au cours des quatre prochaines décennies sous l'effet d'un grand nombre de facteurs qu'on a tenté d'identifier dans ce chapitre.

Toutefois, on s'est limité aux secteurs de l'industrie, l'agriculture et des ménages, ce dernier qui est le plus grand consommateur d'eau, il est donc important de prendre en compte cette nouvelle approche en relation avec l'évolution des besoins et les ressources en eau à mobiliser dans le futur, Ainsi dans une vision optimiste on peut envisager d'améliorer le niveau de la mobilisation en considérant que le surcroît de demande, année après année, due à la démographie, sera compensé par les économies dans les domaines du gaspillage et des rendements en appliquant des mesures de gestion de la demande.

Chapitre VII : Gestion de l'eau en Algérie et dans les pays du Maghreb

Introduction

Au cours des dernières décennies, de nombreux pays ont mené des efforts considérables afin d'améliorer les cadres institutionnels et juridiques relatifs à la gestion de l'eau. Les lois et politiques nationales sur l'eau qui ont été adoptées récemment ont généralement pris en compte les valeurs liées à la bonne gouvernance et les principes de la GIRE, tels que la participation, les questions de genre et d'équité, les préoccupations environnementales et les évaluations économiques. De nombreux pays se sont engagés à élaborer des plans nationaux de gestion intégrée des ressources en eau et d'efficacité de l'eau.

La plupart des défis auxquels sont confrontés les gestionnaires de l'eau ne sont pas nouveaux, cependant compte tenu du fait que la nature et l'étendue des problèmes diffèrent d'une région à l'autre et d'un bassin à l'autre, les réponses varient fortement. Il n'existe pas, et ne peut exister, de solution unique.

I. gestion de l'eau en Algérie :

La politique algérienne de gestion de l'eau a été, depuis une dizaine d'années davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles. Priorité a été donnée au développement de « l'offre » et non à la gestion de la demande.

Cependant, la nouvelle politique de l'eau évolue vers une gestion plus rationnelle et plus économe des eaux impliquant la recherche d'une plus grande efficacité dans tous les secteurs de consommation et d'utilisation de l'eau.

I.1. Une organisation de la gestion de l'eau centralisée

Depuis le transfert du secteur de l'irrigation qui relevait du Ministère de l'Agriculture, le Ministère de ressource en eau (MRE) est le principal responsable de la politique de l'eau dont il assure l'élaboration et la mise en œuvre. Sa compétence s'étend à l'ensemble des activités relatives à la recherche, l'exploitation, le stockage, la distribution de l'eau pour tous les usages, à l'assainissement. Il veille, avec les ministères chargés de l'Environnement et de la Santé, à la préservation de la qualité des ressources en eau.

Au niveau national, le MRE assure ses missions en s'appuyant en particulier sur des établissements publics à compétence nationale respectivement chargés des études et de l'évaluation des ressources hydrauliques (ANRH), de la mobilisation des eaux et de leurs

transferts (ANBT), de l'alimentation en eau potable urbaine (ADE), de l'assainissement urbain (ONA) et de la gestion des périmètres d'irrigations (ONI).

Au niveau local, dans chaque wilaya, les attributions du MRE sont exercées par la direction de ressource en eau de la wilaya (DRE) sous l'autorité administrative du Wali.

Il existe depuis 1996, des Agences de Bassin Hydrographique (ABH) qui constituent un niveau régional de gestion des ressources en eau chargées de promouvoir la gestion intégrée de l'eau par bassin. Leurs missions principales portent sur l'évaluation des ressources, la surveillance de l'état de pollution des eaux, l'élaboration des plans directeurs d'aménagement et d'affectation des ressources, ainsi que l'information et la sensibilisation des usagers à l'utilisation rationnelle de l'eau.

I.2. Gestion de la demande

La politique de gestion des ressources en eau évolue en Algérie en donnant à la gestion de la demande une importance essentielle qui se traduira effectivement dans le Plan National de l'Eau. La volonté politique pour cette évolution existe. En août 2010, le Président de la République a appelé à « asseoir une réelle gestion intégrée de l'eau dans ses différents usages domestique, agricole et industrielle » et, considérant que « le véritable défi est celui de l'économie de l'eau ».

I.3. Une gestion de l'eau axée sur le développement de l'offre

L'évolution considérable de la demande en eau en Algérie, liée principalement à l'accroissement rapide de la population, au développement de l'urbanisation mais aussi à l'élévation du niveau de vie, a conduit le pays à accroître les dépenses publiques liées à l'eau régulièrement durant la présente décennie. La mise en exploitation d'une trentaine de barrages au cours de la décennie a triplé la capacité de stockage d'eaux superficielles la portant ainsi à près de 8milliards de m³.

I.4. Législation et réglementation

C'est essentiellement dans la **Loi sur l'eau du 4 août 2005** que sont clairement exprimées la nécessité et l'obligation d'une gestion économe des ressources en eau et de la lutte contre les pertes et les gaspillages (article 3).

On retrouve les préoccupations d'économie de l'eau à l'article 57 de la Loi sur l'eau, article relatif au Plan Directeur d'aménagement des ressources en eau qui « définit les objectifs en matière d'utilisation des ressources en eau ainsi que les **mesures liées aux exigences**

d'économie, de valorisation et de protection de la qualité de l'eau, dans une perspective de gestion durable de ces ressources ».

La loi de finances du 31 décembre 1995 a institué **une redevance pour l'économie de l'eau**, au titre de la protection quantitative des ressources en eau. Cette redevance est perçue auprès de tout usager (public ou privé) raccordé à un réseau public ou disposant d'une installation individuelle, elle représente un **pourcentage (4 %)** de la facture d'eau potable, industrielle ou agricole.

Une **deuxième redevance**, de valeur équivalente (4 % de la facture d'eau) a été instituée par la même loi pour la protection de la **qualité de l'eau** (ROUISSAT 2009).

I.5. Mesures techniques pour la réduction des pertes

- **Alimentation en eau potable**

L'ADE intervient directement en principe, au niveau de toutes les agglomérations du pays.

Les services d'eau des grandes agglomérations (Alger, Oran, Constantine) sont confiés à des sociétés publiques (Spa) aidées dans leur gestion technique et commerciale par des entreprises internationales spécialisées dans le cadre de contrats de management.

L'ADE et les Sociétés des grandes villes, ont parmi leurs objectifs principaux celui **d'améliorer rapidement la gestion technique des installations dans le but de réduire les pertes d'eau**. Elles mènent, dans le cadre de plans annuels, des actions de réparation et remplacement de conduites d'adduction et de distribution, remplacement de vannes, remplacement et mise en place de compteurs.

- **La tarification** peut être un des moyens d'inciter les usagers à plus d'économie dans leur consommation d'eau et à éviter les pertes et gaspillages. La nouvelle tarification de l'eau potable décidée en 2005 (décret du 9 janvier 2005) avait cet objectif.

Le prix moyen payé par l'utilisateur est de l'ordre de 64 DA/m³ (comprenant les redevances d'assainissement et les redevances pour l'économie et la protection de l'eau).

- **La tarification de l'eau d'irrigation** est définie pour les exploitations agricoles approvisionnées à partir d'installations dont la gestion relève de la puissance publique. Elle concerne principalement les grands périmètres, les aires d'irrigation et les périmètres de petite et moyenne hydraulique, équipés par l'Etat ou pour son compte, dont la gestion est concédée à des associations ou des coopératives d'irrigants.

Actuellement, la partie fixe varie, selon la zone tarifaire, entre 250 et 400 DA par l/s/ha ; la partie variable est calculée sur la base de 2,50 DA par m³ consommé.

• **Information et Sensibilisation** Ce sont les Agences de Bassins Hydrographiques (ABH) qui développent des activités en matière d'information des usagers et de campagnes de sensibilisation, activités dont elles sont officiellement chargées.

EN effet, les missions des ABH, telles que prévues par le statut-type de création (1996) réaménagé en 2008, (précisées ci-après) leur assignent un rôle important dans l'économie des ressources en eau et leur protection à l'égard des pollutions.

Les ABH sont chargées d'exercer la gestion intégrée de l'eau à l'échelle des bassins hydrographiques (Guemraoui, Chabaca. 2005).

II. La gestion de l'eau au Maroc

II.1.Organisation de la gestion de l'eau

Le Ministère de l'Équipement s'occupe de la construction des barrages, le ministère de l'agriculture s'occupe de l'irrigation et le Ministère de l'Intérieur assure la présidence des comités de développement dans les provinces par le biais des gouverneurs. En 1995, tous les textes de la loi sur l'eau ont été unifiés dans la Loi 10-95 sur l'eau. Cette loi regroupe un ensemble d'instruments juridiques dont l'objectif est d'aider à faire face aux défis de la rareté croissante de l'eau, de la forte pression de la demande par les secteurs socio-économiques, de la dégradation de la qualité des eaux. Les principes de gestion de l'eau apportés par cette loi se présentent comme suit:

- La domanialité publique de l'eau: toutes les eaux font partie du domaine public hydraulique à l'exception des droits d'eau traditionnels dont la propriété est juridiquement déjà établie ou reconnue par une procédure appropriée;
- l'unicité de la ressource: la ressource en eau est unitaire et les aspects quantitatifs et qualitatifs des eaux souterraines et de surface sont indissociables ;
- l'unité de la gestion de l'eau: la gestion de l'eau est menée à l'échelle du bassin hydraulique, cadre géographique approprié pour appréhender le développement et la gestion de l'eau ;
- La concertation dans la gestion de l'eau : la gestion de l'eau doit être concertée à tous les niveaux (national, régional, local) entre les services de l'administration, les usagers et les élus.

Deux dispositions majeures ont été adoptées par cette loi pour institutionnaliser la concertation de tous les intéressés par la gestion de l'eau :

- l'affirmation du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, forum permettant à tous les acteurs nationaux concernés par l'eau de débattre de la politique nationale et des orientations fondamentales en matière de gestion des ressources en eau.

- la création d'agences de bassins hydrauliques qui va permettre une véritable décentralisation de la gestion de l'eau impliquant toutes les parties concernées dans la prise de décision. Outre les Agences de Bassins, la Loi sur l'eau a, en outre, souligné l'importance du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC), et des Commissions Préfectorales/Provinciales de l'Eau.

- Le Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat institué par la loi. Il est chargé de formuler les orientations générales de la politique nationale en matière d'eau et de climat. Il examine et formule, en outre, son avis sur :

- * la stratégie nationale d'amélioration de la connaissance du climat et de son impact sur les ressources en eau;

- * le plan national de l'eau (PNE);

- * le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) de chacun des bassins hydrauliques.

II.2. Les ressources en eau

Le Maroc dispose de ressources en eau relativement importantes : le potentiel hydraulique mobilisable est estimé à 21 milliards de m³ (16 milliards de m³ d'eaux de surface et 5 d'eaux souterraines). Mais l'appartenance du Maroc aux domaines semi-aride et aride et la croissance soutenue de la demande en eau sont à l'origine de l'insuffisance des ressources disponibles et de conflits entre utilisations dans les moments de pénurie.

Les perspectives sont d'ores et déjà difficiles, encore plus si la tendance à l'irrégularité, sinon même à l'assèchement climatique se confirme, la ressource ne sera plus que de 632 m³/h/an, à un moment où la demande en eau totale aura atteint le plafond des 20 à 21 km³ d'eaux mobilisables. Le pays descendra au seuil de pénurie (500 m³/h/an) vers 2030. Comparé aux pays maghrébins voisins qui ont déjà atteint ce seuil, le Maroc a des possibilités réelles. Mais il va falloir lancer des programmes d'économie et progresser dans l'efficacité d'usage, réviser

certaines allocations de ressources, pour répondre aux besoins croissants. Les choix futurs risquent donc d'être critiques.

II.3 Les droits d'eau et la gestion moderne de l'eau

Le législateur, a prévu dans plusieurs articles de la Loi sur l'Eau la préservation des droits d'eau. Les articles 6 à 11 ont été consacrés dans la loi 10-95 pour cerner ces droits. Pour en finir définitivement avec les «droits reconnus» sur le domaine public hydraulique, le législateur a fixé une durée de 5 ans à partir de la publication de cette loi les propriétaires ou possesseurs de droits d'eau pour les faire valoir, (les propriétaires ou possesseurs qui, à la date de publication de la présente loi, n'ont pas encore déposé devant l'administration des revendications fondées sur l'existence de ces droits disposent d'un délai de cinq (5) ans pour faire valoir ces derniers. Passé ce délai, nul ne peut se prévaloir d'un droit quelconque sur le domaine public hydraulique, article 6 de la loi 10-95).

Hormis cette reconnaissance, les détenteurs de droits d'eau sont soumis au terme de l'article 8 de cette loi aux dispositions relative à l'utilisation de l'eau édictées par le plan national de l'eau et les plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eau.

II.4. Les limites de la gestion moderne de l'eau

L'application des lois modernes relatives à l'eau est marquée par des dysfonctionnements qui en limitent l'efficacité. Plusieurs facteurs sont responsables de cette situation, en l'occurrence

- Le nombre important des unités administratives œuvrant dans le domaine des ressources en eau et la multiplicité des lois et des systèmes en la matière. En outre, la gestion des ressources en eau selon cette nouvelle approche n'a pas enregistré de progrès notables, En effet, cette gestion est marquée par une interférence des fonctions, tant au niveau du contrôle et de la protection des eaux, que sur le plan de la production de l'eau potable.

- La dualité et la contradiction marquant plusieurs textes concernant notamment les unités chargées de la gestion des eaux et l'absence de coopération entre ces dernières.

- L'absence d'organes administratifs capables de contrôler les lois et de pénaliser les personnes qui les transgressent. La fonction de «police de l'eau» imputée à plusieurs intervenants constitue un handicap majeur. Les ressources en eau se trouvent ainsi exposées à la surexploitation, à la pollution, à la prospection aléatoire et à la détérioration des équipements hydrauliques (Laouina , 2007).

II.5. La valeur de l'eau pour l'irrigation

L'indicateur de contribution à la richesse nationale est la valeur ajoutée par m³. Dans les grands périmètres irrigués gérés par les offices agricoles, elle varie entre 1,7 et 1,84 dirham/m³ selon les sources, la valeur ajoutée totale étant estimée à 7,5 milliards de dirham, soit 9 500 dirham/habitant (Plan national de l'eau, 2002 ; Programme national de transfert de technologie en agriculture, 2000). Ainsi, la valeur de l'eau d'irrigation étant inférieure à son coût, on peut en déduire que ce secteur coûte plus qu'il ne rapporte à la collectivité. Ce constat est aggravé par le fait que l'agriculture représente 80 % des prélèvements d'eau au Maroc et que l'efficacité des réseaux.

II.6. La valeur de l'eau potable

Si la valeur privée de l'eau potable est la même pour chaque habitant, il n'en est pas de même de la valeur totale, qui inclut notamment le développement économique de la région concernée. Ainsi, apporter de l'eau dans un village où la population va s'exiler faute d'activités économiques relève de l'acharnement thérapeutique. Discuter de cette valeur de l'eau, même si elle est difficile à évaluer avec précision, permettra de concilier les choix d'allocation et les priorités d'aménagement du territoire.

Cette réflexion permet aussi de mieux comprendre la différence entre la capacité à payer et le consentement à payer. Si l'utilisateur considère que la valeur du service fourni n'est pas supérieure au tarif proposé, il sera réticent à payer même s'il en a les moyens. Ainsi il est primordial, lorsque l'on poursuit des objectifs sociaux, de proposer des modes de gestion qui correspondent réellement à la demande, c'est-à-dire qui intègrent non seulement les besoins en volume, mais aussi d'autres services adaptés au contexte : tranche minimum à prix forfaitaire, possibilité de fractionnement ou d'étalement des paiements, etc. Les tarifs actuels de l'eau vont de 2,73 DH/m³ en tranche 1 à 11,32 DH/m³ en tranche 6.

II.7. Gestion de l'offre et gestion de la demande

La politique de l'eau s'est longtemps focalisée sur l'offre, notamment par la multiplication des efforts et des investissements en vue de garantir la mobilisation de ressources suffisantes. La gestion de la demande a pratiquement été ignorée ; elle n'est devenue une préoccupation que lorsque les premières crises sont apparues, du fait de la croissance de la demande ou de la réduction du potentiel, après la sécheresse persistante des années 80-85.

La réponse a été l'adoption d'une politique planifiée par bassins-versants, intégrant la participation de tous les acteurs et des usagers en particulier. En 1995 a été promulguée la loi sur l'eau qui a introduit une série de principes fondamentaux dont l'unicité de la ressource en

eau, sa gestion intégrée et décentralisée par bassin-versant, la participation des usagers, la maîtrise des gaspillages et l'économie de la ressource.

L'introduction de la tarification par seuils de consommation a déjà eu, dès les années 90, un effet en termes de limitation de la consommation d'eau potable. Des efforts ont aussi été menés en agriculture irriguée, même si les résultats restent très relatifs. Le développement de nouvelles sources d'approvisionnement (comme la réutilisation des eaux usées après traitement ou l'importation d'eau) ne suffira pas à faire face à la croissance des demandes (Taïbi, 2004).

III. La gestion de l'eau en Tunisie

La Tunisie jouit d'une relative autonomie de ses ressources hydrauliques par rapport à ses voisins. Des conflits majeurs ne semblent pas prévisibles pour le partage de quelques ressources communes réduites (le bassin de la Medjerda, ressources sahariennes). Néanmoins, le renforcement de cette sécurité passerait par une étroite coopération frontalière au moyen d'éventuels transferts à profil mutuel des ressources, particulièrement en période de pénurie, et d'une collaboration plus étroite à des niveaux plus vastes : maghrébin et méditerranéen.

III.1. Instruments juridiques et institutionnels :

des initiatives ont été lancées depuis quelques années par les pouvoirs publics en vue de mettre en œuvre des réformes et des solutions pratiques et viables aux grands problèmes que pose la réalisation d'une gestion durable des ressources en eau considérées les plus rares et les plus vulnérables dans le pays.

Ces réformes se sont appuyées, des instruments juridiques adéquats qui ont été mis en place depuis les années 70 dont le Code des Eaux (Loi n°75-16 du 31 mars 1975) est la forme principale. Celui-ci a introduit des dispositions fondamentales nouvelles telles que : (i) la domanialité publique des ressources hydrauliques, (ii) le rôle prépondérant des pouvoirs publics dans la planification, la mobilisation, le suivi et le contrôle de l'utilisation des eaux, (iii) l'introduction de la notion d'économie d'eau en considérant le principe de la valorisation maximale du m³ d'eau à l'échelle du pays, (iv) la possibilité d'exploitation des eaux usées traitées à des fins agricoles après traitement adéquats.

III.2. Organisation de la gestion de l'eau

La Tunisie s'est dotée de fortes institutions responsables de la gestion de l'eau et de la conduite des différentes réformes :

- Le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH) qui est l'opérateur principal dans le domaine de l'eau est chargé du suivi et de l'évaluation des ressources en eau (DG/RE), la construction et la gestion des barrages (DG/BGTH), de l'irrigation – drainage et de l'approvisionnement en eau des populations rurales (DG/GREE). Des établissements publics administratifs sont responsables de la mise en application des politiques régionales en matière d'eau (24 CRDA). D'autres établissements publics sous-tutelle du même Ministère sont chargés de l'exploitation des grands transferts ou adductions d'eau (SECADENORD) et de l'approvisionnement en eau des zones urbaines et agglomérées (SONEDE).
- Le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) intervient particulièrement dans l'assainissement (ONAS) et la protection de l'environnement en général et hydrique en particulier (ANPE).

- Les ressources en eau :

Les estimations des apports annuels en eau de surface durant la période 1990-2003 montre que le maximum enregistré est de 3.9 milliards de m³ en 1996, alors que le minimum est le ratio de la quantité de ressource naturelle disponible par habitant qui a été estimé à 512 m³/habitant en 1990 et devra évoluer de 490 m³/habitant en l'an 2000 à 370 m³/habitant en l'an 2030. Ces ratios classent la Tunisie parmi les pays en situation de pénurie.

III.3. La Stratégie d'Economie de l'Eau d'Irrigation

La Tunisie s'est engagée depuis le début des années 90 dans une politique de l'économie de l'eau d'irrigation pour répondre ainsi à la rareté physique de ses ressources en eau et dans l'objectif d'asseoir les instruments de la gestion de la demande en eau susceptibles d'inciter à rationaliser l'utilisation de l'eau agricole et à en tirer le meilleur profit économique, tout en maintenant la demande de l'irrigation à un niveau compatible avec les ressources en eau disponibles.

Les principes fondateurs de la stratégie tunisienne de GDE en matière d'irrigation sont :

- passer d'une approche essentiellement technique avec des mesures isolées à une approche intégrée ;
- démarche participative et responsabilisation des usagers (1 159 Groupements d'Intérêt Collectif sur 67% des périmètres publics irrigués) ;
- système de tarification alliant transparence et souplesse articulée avec les objectifs de sécurité alimentaire et qui a permis un rattrapage progressif du recouvrement des coûts ;

- système d'incitations financières pour la promotion des techniques modernes et efficaces d'irrigation à la parcelle ;
- progressivité des différentes réformes, adaptation aux contextes locaux, implication des usagers et promotion de leur auto-organisation.

III.4. Impact général de la stratégie

En général la conception des réseaux collectifs d'irrigation en Tunisie est relativement moderne et vise particulièrement à réduire les pertes d'eau à la distribution (étanchéisation des systèmes d'eau) en raison de la rareté des ressources en eau d'une part, et en vue d'éviter les risques de salinisation des sols par rehaussement des nappes phréatiques d'autre part.

En parallèle, diverses mesures à caractère technique destinées à réduire les consommations d'eau ont été adoptées :

- La généralisation des compteurs individuels a permis de réduire les consommations.
- La réduction de la pression de service dans certains systèmes d'eau a conduit à réduire le débit et la fréquence des fuites dans les canalisations.
- La mise en place d'équipements intérieurs économiseurs d'eau a été promue dans le secteur touristique, et il semble que l'on puisse espérer jusqu'à 50% d'économie sur la consommation.
- Le renouvellement des équipements vétustes (canalisations, branchements, compteurs, etc..) a permis de réduire considérablement la consommation d'eau dans certains secteurs.

- Aspects techniques :

Le premier tarif est destiné exclusivement aux usagers à revenu modeste raccordés au réseau d'eau potable et dont la consommation ne dépasse pas 20 m³ par trimestre, et pour les populations alimentées par des bornes fontaines publiques ou des systèmes d'eau potable gérés par les GIC.

L'eau industrielle est tarifée selon la tarification par tranches sus-indiquée, alors que l'eau touristique est soumise à une redevance constante au prix unitaire de 840 millimes /m³.

Il est à signaler que le mode de tarification progressive est utilisé par la SONEDE comme outil de gestion de la demande. Chaque consommateur est amené par ce mode à veiller à ne pas dépasser la limite supérieure de sa tranche habituelle de consommation.

B- la prise en compte de la GDE dans la politique de l'eau :

Bien que certains instruments de la gestion de la demande, particulièrement à caractère technique et économique, aient été adoptés depuis les années 80 dans divers secteurs d'usage, le concept de la GDE dans la politique de l'eau a été exprimé récemment et d'une façon explicite dans le cadre du Plan de Développement Economique et Social à travers un projet d'envergure nationale « le Projet d'Investissement du Secteur de l'Eau (PISEAU) ».

III.5. La gestion de la demande

En Tunisie, il s'agit donc actuellement d'une politique qui vise la gestion de la demande tout en cherchant à développer encore mieux la ressource. En effet, on veut continuer à mener de front l'aménagement de la ressource et la rationalisation des usages. Cette politique qui marque une rupture progressive avec la politique de l'offre, s'impose en raison de la rareté des ressources et du stade de développement général du pays qui implique de continuer encore les efforts dans l'approvisionnement en eau potable des agglomérations et des zones rurales encore démunies et dans le développement des périmètres irrigués dans les zones économiquement faibles des régions arides et semi-arides du pays. En outre, vu les conditions climatiques fort aléatoires de la Tunisie et afin d'améliorer la sécurité d'approvisionnement en eau des différents secteurs socio-économiques, des interconnexions entre réservoirs et des transferts seront mis en œuvre progressivement pour satisfaire les besoins en eau potable des régions de faibles ressources (rapport national Tunisie, 2007).

Conclusions

La mise en place progressive d'une gestion intégrée, concertée et équilibrée entre les usagers a vu émerger progressivement des modes de gestion qui, de facto, tendaient vers une meilleure gestion de la demande et de l'offre, la préservation des écosystèmes aquatiques, y compris dans des contextes de stress, étant un enjeu pivot de solidarité.

Les récentes sécheresses, le changement climatique et l'approche économique liée à la mise en œuvre des directives, ont conduit à introduire de nouveaux principes de gestion dans les nouvelles lois sur l'eau et qui vise à une meilleure gestion de la demande pour les différents usages dont l'alimentation en eau potables, l'agriculture, l'industrie mais aussi les besoins des écosystèmes.

Conclusions générales et recommandations

Conclusions générales et recommandations

Cette étude a pour objectif l'étude prospective de la gestion des ressources en eau dans le sous bassin de la basse Seybouse (Nord-Est Algérien).

S'intéressant à l'utilisation de la modélisation pour la gestion de l'eau et les simulations des scénarios (court et moyen terme), tout en essayant d'aider les praticiens à choisir et à appliquer des modèles dans divers types de situations de gestion des bassin hydrographique et à soutenir la recherche en continuant d'améliorer et d'étendre les capacités de modélisation, et à montrer l'importance de la modélisation et les bénéfices qu'on peut en tirer dans le cadre d'une analyse prévisionnelle.

Le sous bassin de la basse de la Seybouse se situe dans le nord est Algérien entre Bouchegouf et Annaba, se caractérisant par une topographie à pente forte de Bouchegouf (400 mètres d'altitude) jusqu'à Dréan, à partir de cette localité la pente devient faible pour devenir presque nulle au niveau de la plaine d'Annaba (zéro mètre d'altitude)

L'analyse des caractéristiques morphométriques du sous bassin versant de la basse Seybouse nous a permis de dégager les principaux paramètres qui ont une influence certaine sur le dynamisme des eaux, particulièrement superficielles qui y circulent. La forme rectangulaire (allongée) du bassin, la dominance des classes altimétriques inférieures à 100 m et l'altitude moyenne est de 179,15 m. Le relief du bassin est assez fort. Le temps de concentration est d'environ 23 heures, et la densité de drainage est de l'ordre de 0,9 km/km².

L'interprétation du bilan hydrologique montre qu'à partir du mois de Novembre, les précipitations sont importantes entraînant ainsi une prédominance sur l'évapotranspiration permettant la recharge en eau. A partir du mois de Mai apparaît le déficit agricole d'où la nécessité d'une irrigation en été.

Les ressources hydriques dont le sous bassin de la basse Seybouse dispose sont très limitées et inégalement répartie, cette limitation est d'abord naturelle, car la majeure partie de l'approvisionnement en eau dans le sous bassin est générés à partir de l'eau qui provient essentiellement de la région d'El Tarf et de Guelma, situées à l'est et au sud du sous bassin.

Cet état de fait est aggravé par les besoins toujours croissants du développement démographique et socio-économique, par le gaspillage, ainsi que par les différents types de

pollutions menaçant le bassin et qui l'impute d'une importante source d'approvisionnement notamment pour l'irrigation.

Dans le secteur de l'AEP de l'industrie et l'agriculture, on a modélisé l'évolution des demandes en eau en spécifiant des variables explicatives : taux de croissance démographique, l'augmentation des superficies irriguées probables... etc. Cela nous a conduits à construire le scénario de référence et de réaliser des simulations tant du côté de la demande (cas de changement dans les paramètres du modèle).

Ainsi, ce travail a utilisé un modèle intégré prenant en compte la modélisation de :

- l'utilisation des ressources en eau,
- flux d'écoulements de l'eau,
- et l'équilibre du bilan hydrique du bassin.

Un autre axe de notre travail s'est focalisé sur l'estimation de la demande en eau du sous bassin pour l'ensemble des secteurs d'utilisateurs (ménages, services collectifs, industrie et agriculture) et la simulation des scénarios alternatifs pour la réalisation, non seulement de l'équilibre entre l'approvisionnement et la demande en eau durant la période 2011-2050.

Nos résultats ont montré les vulnérabilités du bassin vis-à-vis des demandes en eau importante à l'horizon 2050 (plus de 178.04 hm³ dont environs 64.8 hm³ pour les ménages et 79.12 hm³ pour le secteur agricole et 34,13 hm³ pour le secteur industriel.

Aussi les conséquences des changements climatiques sur les ressources en eau seront principalement d'action quantitative. Cette perturbation du potentiel en eau se retournera aussi au niveau de la qualité des eaux des cours d'eaux et des aquifères.

Enfin, les changements de températures et de précipitations pourraient réduire l'humidité des sols et l'écoulement annuel. Donc des conséquences importantes sur les ressources en eau disponibles pourraient avoir lieu avec un impact certain au niveau social, économique et écologique.

Face à cette situation, on a simulé un scénario alternatif de recommandations qui est la réduction des pertes et le recyclage des eaux déjà utilisée permet de pour faire face à cette augmentation future des demandes en eau dans le bassin.

La politique du bassin quant aux ressources en eau, reste le préalable indispensable à toute démarche de GIRE. Celle-ci doit être bâtie sur une évaluation de toutes les composantes ayant

attrait au bassin (milieu naturel et ressources en eau, évaluation sectorielle des différents usages, etc.). Sur la base de cette évaluation globale sont ensuite émis différents objectifs en relations avec les enjeux du bassin (écosystèmes, activités économiques... etc.).

Cependant, des efforts restent à faire dans le domaine de la protection quantitative et qualitative de ces ressources en eau, les recommandations suivantes sont proposer pour affronter les défis de l'eau qui se présentent pour l'avenir dans le bassin.

1. La réutilisation par le secteur industriel de l'eau traité par station d'épuration des eaux usées d'Allélik, permettra de contribuer l'amélioration de la situation de l'AEP.
2. Dans ce contexte délicat, seule une nouvelle stratégie consiste à intégrer la gestion de l'eau dans la politique économique et environnementale susceptibles de prévenir les impacts négatifs éventuels.
3. Optimiser l'utilisation de la ressource par la mise en œuvre d'une gestion de la demande, de développer la recherche scientifique dans le secteur de l'eau et entreprendre de vastes programmes d'informations et de sensibilisations des usagers à l'économie de cet élément vital.
4. Installation des appareils permettant de mesurer les volumes entrant et sortant des réseaux d'eau potable et secteurs de distribution, cette opération peut être très importante pour la détection des fuites, la réduction des pertes. La préservation des ressources en eau, le suivi des volumes transitant dans les réseaux, la réalisation d'économies et la diminution des volumes d'eau non facturé. De plus la minimisation des fuites dans le réseau d'alimentation est indispensable pour des raisons de santé, le danger de pollution de l'eau potable.
5. Il est souhaitable que la gestion de l'eau et l'assainissement soient confiés à une même administration. La gestion de l'eau suppose des actions coordonnées convenablement à la politique d'aménagement du territoire. Ainsi, les ressources hydrauliques seraient mises en valeur et préservées.
6. Les capacités d'approvisionnement doivent augmenter actuellement mais aussi à long terme vu la croissance des besoins.
7. Le traitement de la Seybouse peut être un bel exemple de gestion intégrée, puisque il inclurait des volets de protection de ressources superficielles et souterraines, de rationalisation d'usages domestiques, agricoles et industriels, mais aussi de lutte contre la pollution et de protection de l'environnement. et surtout une quantité d'eau non négligeable.

8. Il s'agit de développer et de vulgariser les méthodes d'irrigation modernes qui permettent de réaliser des économies de l'efficacité des systèmes d'irrigation (pivots centraux, etc.) et l'introduction des méthodes de gouttes à gouttes permet de réduire les prélèvements.
9. Il est nécessaire de réaliser des économies d'eau en luttant contre la faible efficacité des systèmes d'irrigation et en recommandant des choix de cultures moins consommatrices.

Cette étude, menée au niveau du sous bassin de la basse Seybouse porte un certain nombre d'informations et de précisions pourrait orienter les futurs travaux dans le domaine de la maîtrise et de la gestion des ressources en eau dans un contexte du développement durable.

Références bibliographiques

- 1) Aichouri I., (2016). Modélisation de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier d'Annaba. Apport des analyses salinométriques. *Thèse de doctorat*. Université Badji Mokhtar. 114p
- 2) Alfara A., Kemp-Benedict E., Hötzl H., Sader N., Sonneveld B., (2012). Modeling water supply and demand for effective water management allocation in the Jordan Valley. *Journal of Agricultural Science and Applications (JASA)*. Vol. 1. No. 1 p. 1–7.
- 3) Anzab N.R., Mousavi S.J., Roustia B.A., Kim J.H., (2016). Simulation optimization for optimal sizing of water transfer systems. In: Harmony search algorithm. Eds. J. Kim, Z. Geem. 2nd International Conference. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 382. Berlin, Heidelberg. Springer p. 365–375.
- 4) Aoun-Sebaiti B., Hani A., Djabri L., Chaffai H., Aichouri I., Boughrira N. (2013). Simulation of water supply and water demand in the valley of Seybouse (East Algeria). *Desalination and Water Treatment*. Vol. 52. Iss. 10–12 p. 2114–2119.
- 5) Azlinda S., Mohd A.F. (2012). Assessment of water demand in Langat catchment using Water Evaluation and Planning (WEAP) [online]. Technical Paper pp. 28. [Access 01.11.2016]. Available at: <http://www.weap21.org/downloads/langat.pdf>
- 6) Babel M. S., Das Gupta A., Nayak D. K., (2005). Model for optimal allocation of water to competing demands. *Water Resources Management*. Vol. 19. Iss. 6 p. 693–712.
- 7) Balah B., (2009). estimation du coefficient d'abattement spatial des pluies du bassin versant de la Seybouse *Mémoire de magister*. Université Badji Mokhtar 143p
- 8) Belghaouti M., (2014)., planification des ressources en eau dans la ville de Relizane *Mémoire de magister*. Université d'Oran 113p
- 9) Bennani A., Buret J., Senhaji F., (2001). Communication Nationale Initiale à la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques [National Initial Communication to the UN Framework Convention on Climate Change]. Rabat, Morocco. Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Urbanisme de l'Habitat et de l'Environnement pp. 101.
- 10) Berredjem A. F., Hani A., (2017). Modelling current and future supply and water demand in the northern region of the Seybouse Valley. *Journal of Water and Land Development*. No. 33 p. 31–38. DOI: 10.1515/jwld-2017- 0016.
- 11) Bouklia H.R., (2011). Contribution à la gestion de l'eau dans la ville d'Oran. *Mémoire de magister*. Université d'Oran. 129p.

- 12) Bouklia-Hassane R., Yebdri D., Tidjani A.E., (2016). Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: A case study of Oran province. *Desalination and Water Treatment*. Vol. 57. Iss. 13 p. 5971–5980.
- 13) Chinnasamy P., Bharati L., Bhattarai U., Khadka A., Dahal V., Wahid S. (2015). Impact of planned water resource development on current and future water demand in the Koshi River basin, Nepal. *Water International*. Vol. 40. No. 7 p. 1004–1020.
- 14) Daifallah T., (2017). Ressources en eau et leurs utilisations dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (Nord Est algérien) *Thèse de doctorat* .Université Badji Mokhtar
- 15) 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.
- 16) Djabri L., Hani A., Laouar R., Mania J., Mudry J., Louhi A., (2003). Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria. *Environmental Geology*. Vol. 44 p. 738–744.
- 17) Djorfi S., 2012. Analyse, approche de gestion et de réhabilitation des sites pollués de la région de Annaba, Nord-est algérien. Mémoire de Magistère .Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie .143 p.
- 18) Draper, A.J., Jenkins, M.W., Kirby, K.W., Lund, J.R. & Howitt R.E. (2003). Economic-Engineering Optimization for California Water Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*. ASCE, 129(3), 155-164, ISSN 0733-9496.
- 19) Generalized Models of River System Development and Management Ralph A. Wurbs Texas A&M University United States
- 20) Geography Journal. Vol. (2013). ID 923173 p. 1–7. SEI 2011. Water Evaluation and Planning system tutorial. Stockholm. Stockholm Environment Institute.
- 21) Gilles Galéa (1995), Philippe Ramez. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en Vignoble de Coteau, Guide à l'usage des aménageurs, CEMAGREF, 1 ère édition.
- 22) Giorgi F., (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*. Vol. 33, L08707. DOI: 10.1029/ 2006GL025734.
- 23) Hilly J., (1963). Etude géologique des massifs de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois). P.S.C.G., Bulletin N°19, Alger, 408p.
- 24) Impact Evaluation tools, Decision Support System for Environmental Impact Assessment (EIA) (2010). by Luyiga S. Ghada I., Mohd F. , Mukanzu I. ,Ssebuggwawo V. , Sendi R.,

- Musangwa S. , Musenze R. , Kalibbala H. , Mpagi J. , Kinobe Z. , Isaboke O. , Dominic Mucunguzi Lydia N. , Botlhe P.
- 25) Institutional framework and decision-making practices for water management in Algeria Towards the development of a strategy for water pollution prevention and control in the Seybouse River Basin Prepared by the Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue., 2009.
- 26) Joleaud L., (1936). Etude géologique de Bone (Annaba) - la Calle (El kala). B.S.G.A. Alger (2), N°12, Algérie. 199p.
- 27) Khadri S., (2009). Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution Mémoire de Magistère .Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie .134 p.
- 28) Khanchoul K., (2006). Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants de l'extrême Nord-Est algérien [ressource textuelle, sauf manuscrits]. *Thèse de doctorat*. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie .296 p.
- 29) Khelfaoui F., (2014). Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du saf-saf (nord-est algerien) Thèse de doctorat Université Badji Mokhtar.260p
- 30) Leviandier Th., (1986). Rainfall extremes in several sites. Institute of hydrology Wallingford UK.
- 31) nouiri I.,(2016).Outils d'aide à la décision pour la gestion optimale des ressources en eau
- 32) Pachauri R.K., Reisinger A. (eds.) (2007). Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. IPCC pp. 104.
- 33) Rayej M., (2012). California future water demand projections (WEAP Model): Implications on energy demand. Water – Energy Conference. Shenzhen, China. Peking University pp. 6.
- 34) Réménieras G., (1964). L'hydrologie de l'ingénieur. Paris.
- 35) Rochdane S., Reichert B., Messouli M., Babqiqi A., Yacoubi Khebiza M., (2012). Climate change impacts on water supply and demand in Rheraya Watershed (Morocco), with potential adaptation strategies. Water. Vol. 4 p. 28–44.
- 36) Roche M., (1963).Hydrologie de surface, Gauthier- Villarséd .Paris
- 37) Sadoune A., (2012).Vulnérabilité, et évaluation des ressources en eau dans l'extrême Nord-Est algérien. Mémoire de Magistère .Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie
- 38) Salvati L., Zitti M., Di Bartolomei R., Perini L. (2013). Climate aridity under changing conditions and implications for the agricultural sector: Italy as a case study.

- 39) Vicuña S., Garreaud R. D., Mcphee J. (2011). Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. *Climatic Change*. Vol. 105. Iss.
- 40) Watkins, D.W., Kirby, K.W. & Punnett, R.E. (2004). Water for the Everglades: Application of the South Florida Systems Analysis Model. *Journal of Water Resources Planning and Management*. ASCE, 130(5), 359-366, ISSN 0733-9496.
- 41) Wurbs, R.A. (1998). Dissemination of Generalized Water Resources Models in the United States. *Water International*. IWRA, 12(3), 190-198, ISSN 0250-8060.
- 42) Wurbs, R.A., (2012) Generalized Models of River System Development and Management 402, Texas Water Resources Institute, College Station, TX, USA.
- 43) Yates D., Purkey D., Sieber J., Huber-Lee A., Galbraith H. 2005a. WEAP21: A demand, priority, and preference driven water planning model. P. 2. Aiding freshwater Ecosystem service evaluation. *Water International*. Vol. 30. No. 4 p. 501–512.
- 44) Zenati N., 1999. Relation Nappes-lac Confirmation par l'Hydrochimie cas de la plaine Ouest d'El Hadjar Lac Fetzara N-E Algérien. Mémoire de Magister, option : Chimie et Environnement. Université de Annaba, Institut de Chimie.
- 45) Zerrouki H., (2007). diagnostic pour une éventuelle réhabilitation des eaux de la Seybouse la basse plaine - Annaba Mémoire de Magistère .Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie. 109 p.
- 46) Suivi des progrès dans le domaine de l'eau et promotion de politiques de gestion de la demande rapport national de Tunisie, (2007)
- 47) Laouina, A. (2007) L'eau au Maroc Chaire UNESCO-GN, FLSH, Université Mohamed V
- 48) Taïbi A, N .Carta - université d'Angers eso - umr 6590 cnrs

Site internet consultes :

<http://www.weap21.org>
<http://forums.seib.org/weap>
www.deswater.com
<http://www.abhcsn.dz/banqueau/home.htm>
<https://fr.climate-data.org/location/3685/>
<http://environ.chemeng.ntua.gr/Toolbox/Default.aspx?CaseID=9>