

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Sciences de la Terre
Département : De Géologie

Année : 2016

THESE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de DOCTEUR EN SCIENCES

Intitulé

Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de la
moyenne Seybouse.

Option

Hydrogéologie

Par

Brahmia Nabil

DIRECTEUR DE THESE : Chaab Salah MCA : Université Annaba

DEVANT Le JURY

PRESIDENT : Mr KHANCHOUL Kamel Professeur à l'université d'Annaba

EXAMINATEURS:

MAOUI Amar

Pr : Université de Guelma.

LABAR Sofiane

MC : Université d'El Tarf

ZEDDOURI Aziez

MC : Université d'Ouargla.

MAHIA Mohamed

MC à l'université d'Annaba

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو تقييم الموارد المائية في الحوض المتوسط لوادي سيبوس قالمة. تحليل الاستخدامات المختلفة للمياه يؤدي الى تحديد إدارة متكاملة للموارد المائية بغرض الاستغلال العقلاني. الإدارة المستدامة للموارد المائية تعتمد بشكل أساسي على تقييم كمية ونوعية المياه الموجهة للشرب , الري والصناعة . من خلال هذا التحليل نجد ان كمية المياه المستهلكة سنويا بالحوض مصدرها المياه السطحية بنسبة 71 بالمائة , المياه الجوفية بنسبة 29 بالمائة. كما يقدر الحجم الإجمالي للمياه المستعملة في الحوض المتوسط لوادي سيبوس ب 32,22 مليون متر مكعب في السنة. تبلغ كمية الطلب على المياه 79,19 مليون متر مكعب سنة 2030 وهو مايقارب الضعف مقارنة بسنة 2006. تغيير العناصر الكيميائية في الماء مرده التكوينات الجيولوجية المشكلة لطبقة المياه الجوفية بالنسبة للمياه السطحية المشكلة من وادي سيبوس وروافده فهي تحتوي على نسب ضئيلة جدا من المعادن الثقيلة غير أنها محملة بالميكروبات المسببة للأمراض.

كلمات المفتاح: الموارد المائية ، والإدارة المتكاملة، الاحتياجات المياه السطحية، المياه الجوفية، وادي سيبوس ، قالمة .

Abstract:

The purpose of this work is to focus on the assessment of water resources in the Seybouse middle sub-basin. Analyses of water and various current uses are used to draw attention to the necessity of implementing water resources integrated management into a plan aiming at a rational exploitation. Any sustainable management of water resources is closely dependent on the ability to accurately assess the quantity and quality of available water resources that are used as water supply for the population, agricultural production, industrial or energy. The analyzed and processed available data serve as database for integrated water resources management. Analysis shows that the annual water supply is represented by 71 percent of the surface water resources and 29 percent of groundwater. The total volume of water used in the middle Seybouse basin is estimated at 36.22 hm³/yr. The predicted water needs are estimated to 79.19 hm³/yr in 2030. The groundwater of the Guelma alluvial aquifer exhibits a calcium chloride-facies general trend. The evolution of the chemical elements is related mainly to the geological nature of the reservoir lithologies. The heavy metals do not exhibit clear anomalies, but the surface water of the majority of streams is heavily infected with bacterial germs.

Keywords : Water resources, Integrated management, Needs, Groundwater, Middle Seybouse basin.

Résumé:

Le but du travail est l'évaluation des ressources en eau dans le bassin versant moyen de l'oued Seybouse. L'analyse des différentes utilisations de l'eau nous conduit à la nécessité d'établir une gestion intégrée des ressources en eau pour permettre une exploitation rationnelle. Une gestion durable des ressources en eau dépend fortement de l'évaluation des quantités et de la qualité des eaux qui sont destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie. L'analyse et le traitement des données collectées vont servir comme base de données pour la gestion intégrée des ressources en eau. De cette analyse nous constatons que l'alimentation annuelle en eau est représentée par 71 % des eaux de surface, alors que 29 % proviennent des eaux souterraines. Le volume total des eaux utilisé dans le bassin versant de la moyenne Seybouse est estimé à 36.22 hm³/an. Les besoins en eau en 2030 sont évalués à 79.19 hm³/an, ce qui représente presque le double du volume utilisé actuellement. L'évolution des éléments chimiques est généralement définie par la nature géologique des formations formant le réservoir. Les eaux souterraines de la nappe aquifère de Guelma ont un faciès chimique chloruré calcique en général. La présence des métaux lourds n'est pas importante, ce qui n'est pas le cas pour les eaux de surface de certains affluents de l'oued Seybouse, qui sont chargées en germes pathogènes.

Mot clés: ressources en eau, gestion intégrée, besoins en eau, eau de surface, eau souterraine, Bassin versant, Oued Seybouse, Guelma.

Table des Matières

1. Introduction générale.....	1
1.1 Problématique de recherche	1
1.2 Les objectifs de la thèse.....	3
1.3 L'organisation de la thèse.....	4

A. PARTIE I : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, GEOLOGIE ET FACTEURS CLIMATIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA MOYENNE SEYBOUSE

1. L'organisation administrative	6
2. Aperçu socio-économique	7
3. Les caractéristiques morphométriques du bassin de la moyenne Seybouse	9
3.1 Le relief	9
3.2 La courbe hypsométrique	10
4. Les pentes	12
4.1 Classe des pentes très faibles (0 – 4%)	13
4.2 Classe des pentes faibles (4 – 10%)	13
4.3 Classe des pentes moyenne (10 – 16%)	13
4.4 Classe des pentes assez fortes (16 – 22%)	13
4.5 Classe des pentes fortes (22-28 %).....	14
4.6 Classe des pentes très fortes (< 28 %).....	14
5. Les caractéristiques du réseau hydrographique	15
5.1 La hiérarchisation du réseau hydrographique	15
5.2 La densité de drainage et la densité hydrographique	17
5.3 Le coefficient de torrentialité	17
5.4 Le temps de concentration	17
5.5 Le rapport de Confluence	18
6. Le couvert végétal	18
6.1 Le Domaine agricole	18
6.1.1 Le périmètre d'irrigation	18
6.1.2 Les grandes cultures et parcours	19

La Géologie locale.....	21
1. Le Quaternaire actuel	21
➤ La basse terrasse.....	21
➤ La moyenne terrasse.....	21
➤ La haute terrasse.....	21
2. Le Quaternaire ancien	21
3. Le Mio-Pliocène	22
4. Domaine des nappes.....	22
4.1 La nappe Numidienne	22
4.2 Domaine des flyschs	22
4.2.1 Les flyschs de Penthièvre	22
4.2.2 Les flyschs de Guerouche	22
A. Le grès du Crétacé inférieur	23
B. Le complexe de base à calcaires fins.....	23
4.3 La nappe Tellienne	23
4.3.1 Nappe ultra-tellienne	23
4.3.2 Nappe Tellienne	23
4.3.3 Unité néritique constantinoise.....	23
5. Trias	23
5.1 Trias inférieur.....	23
5.2 Trias moyen.....	23
5.3 Trias supérieur.....	23
6. Les formations lithologiques	25
6.1 Les roches résistantes	25
6.2 Les roches moyennement résistantes	25
6.3 Les roches meubles	25
6.4 Les formations superficielles	25
6.5 Les éluvions	25
6.6 Les colluvions	25
6.7 Les alluvions	26
6.7.1 Les hautes terrasses	26
6.7.2 La moyenne terrasse	26
6.7.3 La basse terrasse	26
7. La tectonique	26

7.1 Les plis	27
7.2 Contacts anormaux	27
7.2.1 Les Contacts par failles	27
7.2.2 Les chevauchements	27
7.2.3 Discordances	28
8. Histoire paléogéographique de la région de Guelma	28
Caractéristiques climatiques du bassin de la moyenne Seybouse	30
1. Introduction	30
2. Analyse des données climatiques	30
2.1 Les précipitations	30
2.1.1 Constitution des données manquantes	30
2.1.2 Variation spatio-temporelle des précipitations	32
2.1.2.1 Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin	32
2.1.2.1.1 La méthode des isohyètes	32
2.1.2.1.2 La moyenne arithmétique	34
2.1.2.2 Variation temporelle des précipitations	35
2.1.2.2.1 A l'échelle locale (Au niveau de la même station)	35
2.1.2.2.2 A l'échelle régionale (Inter-Stationnaire).....	37
2.1.2.3 Précipitations mensuelles et les régimes saisonniers	38
3. Etude du régime thermique	39
4. Bilan hydrologique	40
4.1 Evapotranspiration.....	41
4.1.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon la méthode Thornthwaite	42
4.1.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)	43
4.1.2.1 Calcul de l'ETR selon la formule de Thornthwaite	43
4.1.2.2 Calcul de l'ETR selon la formule de Turc	43
4.1.2.3 Interprétation des résultats (ETR)	43
4.2 Le bilan hydrique de la station de Guelma selon la méthode de Thornthwaite	44
Conclusion.....	46

PARTIE II : DIAGNOSTIC QUNTITATIF ET QUALITATIF DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BV DE LA MOYENNE SEYBOUSE.

1. ressource eau souterraine du bassin de la moyenne Seybouse	47
1.1 La plaine alluviale de Guelma	49

1.1.1 Description hydrogéologique de la nappe alluviale de Guelma	49
1.1.2 Coupe hydrogéologique Nord-Sud (d'près Gaud)	49
1.1. 3 Coupe hydrogéologique Nord –Sud (d'près Gaud).....	50
1.1.4 La piézométrie	51
1.2 La nappe des calcaires néritiques et sénonien d'Héliopolis	53
1.2.3 Estimation des réserves	54
2. La ressource en eau de surface	55
2.1 L'apport de l'oued Seybouse	55
2.2 Barrage et retenu collinaires	55
2.3 Barrage Bouhamdane	55
2.4 Les retenues collinaires	57

Diagnostic qualitatif de la ressource en eau dans le BV de la moyenne Seybouse

1. Qualité des eaux souterraines	58
1.1 Qualité de l'eau de la nappe alluviale de Guelma	58
1.1.1 Faciès chimique	58
B. la formule ionique	58
1.1 Dans les eaux de la nappe	58
A. Faciès chloruré calcique	58
B. Faciès bicarbonaté calcique	58
C. Faciès sulfatés magnésiques	59
1.1.2 Diagramme de Schoeller –Berkaloff	59
1.1.3 Répartition spatiale des teneurs	60
1.1.3.1 Les cations	60
1.1.3.1 .1 Le calcium	60
1.1.3.1 .2 Magnésium	61
1.1.3.1 .3 Sodium	62
1.1.3.2 Les anions	62
1.1.3.2 .1 Les chlorures	62
1.1.3.2 .2 Les sulfates	63
1.1.3.2 .3 Les bicarbonates	64

1.1.4 Paramètres physiques	64
1.1.4.1 Température.....	64
1.1.4.2 La durté	64
1.1.4.3 Le taux de salinité	65
1.1.4.4 Le pH	65
2. Qualité des eaux de surface	66
2.1 Qualité de l'eau d'Oued Seybouse	66
1.1-Discussion des résultats	67
1.1.2-Caractéristiques physico-chimiques.....	67
C. La conductivité électrique	67
D. Les éléments majeurs	67
1.2 Les indicateurs de pollution	69
1.2 .1Les nitrates	69
1.2 Micropolluants (Métaux lourds)	69
1.2 .1 Le Plomb	69
1.2 .2Le chrome	70
1.2 .3Le Manganèse	70
1.2 .4 Le Fer	71
1.2 .5 Le Cuivre	71
1.3 Analyse bactériologique	72
2. Aptitudes des eaux d'oued Seybouse à l'irrigation	72
2.2 Classification des eaux d'irrigation selon la méthode Richards	74
2.3 Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de WILCOX 1954.....	76
Conclusion	78

Partie III : Mobilisation et affectation de la ressource dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.

Mobilisation et affectation de la ressource	79
1. Situation actuelle	80
1.1Evaluation des besoins en eau pour différents secteurs	80
1.1.1 Les besoins en eau d'irrigation	80
1.1.2 Besoins en eau potable	81
1.1.3 Les besoins en eaux industrielles	81
1.1.4 Les besoins globaux au niveau du bassin	82

1.2 Mobilisation de la ressource en eau (offre)	83
1.2.1 Mobilisation des eaux souterraines	83
A- Les forages	83
B- Les sources	83
C - Les puits	84
1.2.2 Mobilisation des eaux de surfaces	85
A- Barrage de Bouhamdane	85
B- Les retenues collinaires	86
C- L'eau prélevée à partir de l'oued Seybouse	86
1.2.3 La ressource en eau mobilisable dans le bassin	87
1.3 Affectation de la ressource	88
1.3.1 Alimentation en eau potable	88
1.3.2 Le secteur industriel	89
1.3.3 Le secteur agricole	89
1.3.3.1 L'agriculture de la grande hydraulique	89
1.3.3.2 L'agriculture de la petite et la moyenne hydraulique	90
1.3.4 Utilisation de la ressource	91
1.4 Bilan offre besoin	91
2. Les scénarios possibles à court, moyen et long terme	94
2.1 Secteur industrielles	94
2.2 Secteur agricole	94
2.3 Besoins future en eau potable	95
2.4 Bilan des besoins globaux aux différents horizons	96
Conclusion.....	97

Partie IV : Modèle de consommation en eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.

1.1. Facteurs climatiques	99
1.2. Equipements collectifs	99
1.3. Caractéristiques de l'habitat	100
1.4. Facteurs socioéconomiques / Caractéristiques des ménages	100
1.5. Importance du tourisme	101
1.6. Prix de l'eau	101
1.7. Ressources alternatives	101
2. Les données utilisées	101

2. La consommation en eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.....	102
3.1 Statistiques Descriptives	102
3.1.1 Les Matrices de Corrélation	103
3.1.1 L'Analyse en Composantes Principales (ACP)	104
3.2 Aperçu sur les réseaux de neurones formels et organisation des bases de données	105
3.2.1 Critères de performance des modèles.....	106
A. Coefficient de corrélation « R »	107
B. Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne « RMSE »	107
4. Discussion des résultats	107
Conclusion.....	109
Conclusion et recommandations	109

Liste des Figures

Figure 1 : organigramme décrivant la problématique	3
Figure 2 : Carte de Situation géographique du BV de la moyenne Seybouse.....	6
Figure 3 : Le découpage administratif des communes à l'intérieur du BV de la moyenne Seybouse	8
Figure 4 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences des altitudes dans le BV de la moyenne Seybouse	10
Figure 5 : carte des altitudes du bassin de la moyenne Seybouse	12
Figure 6: Carte des pentes du bassin de la moyenne Seybouse	14
Figure 7 : Carte du réseau hydrographique du bassin de la moyenne Seybouse.....	16
Figure 8 : Carte de couverture végétale du bassin versant de la moyenne Seybouse	19
Figure 09 : Schéma simplifié de la géologie du bassin de la moyenne Seybouse.....	24
Figure10: Carte des isohyètes du bassin versant de la moyenne Seybouse	34
Figure11 : Précipitations moyennes annuelles aux stations pluviométriques du bassin de La moyenne Seybouse (1985-2005)	37
Figure 12: Variations des précipitations mensuelles de la station de Belkheir période (1985 – 2005)	39
Figure 13 : Variation des températures mensuelles dans la station de Belkheir	40
Figure 14 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite station de Belkheir (1985-2005)	45
Figure 15 : Zones hydrogéologique dans le bassin de la moyenne Seybouse.....	48
Figure 16 : Coupe hydrogéologique NNW-SSE (D'après Gaud)	50
Figure 17 : Coupe hydrogéologique Nord –Sud (D'après Gaud)	51
Figure 18 : Carte piézométrique de la plaine alluviale de Guelma	53
Figure 19 : Coupe hydrogéologique Est –Ouest (nappe Hammam Bradaa)	54
Figure 20: Diagramme de Schoeller-Berkaloff (puits, sources).....	59
Figure 21 : Carte de répartition des teneurs en Calcium dans la plaine alluviale de Guelma.....	60
Figure 22 : Carte de répartition des teneurs en Magnésium dans la plaine alluviale de Guelma.	61
Figure 23: Carte de répartition des teneurs en Sodium dans la plaine alluviale de Guelma	62
Figure 24: Carte de répartition des teneurs en Chlorures dans la plaine alluviale de Guelma.....	63
Figure 25: Carte de répartition des teneurs en Sulfates dans la plaine alluviale de Guelma.....	63
Figure 26: Carte de répartition des teneurs en Bicarbonates dans la plaine alluviale de Guelma	64

Figure 27: Points de prélèvements des échantillons dans l'oued Seybouse.....	66
Figure 28: Variation des paramètres physico-chimiques dans l'oued Seybouse	68
Figure 29 : Concentration des nitrates (mg/l).....	69
Figure 30 : Concentration du Plomb (mg/l)	69
Figure 31 : Concentration du Chrome (mg/l).....	70
Figure 32 : Concentration du Manganèse (mg/l).....	70
Figure 33 : Concentration du Fer (mg/l)	71
Figure 34 : Concentration Cuivre (mg/l).....	71
Figure 35 : Diagramme de Richards.....	75
Figure 36 : Diagramme Wilcox.....	77
Figure 37 : Schéma explicative du bilan ressource –besoins en eau dans le BV de la moyenne Seybouse.....	79
Figure 38 : Les besoins en eau globaux dans le bassin de la moyenne Seybouse.....	82
Figure 39 : Taux de volumes des eaux souterraines mobilisées	85
Figure 40 : Le taux de volume d'eau de surface mobilisable.....	87
Figure 41 : La ressource en eau mobilisable dans le bassin.....	88
Figure 42: Le périmètre irrigué du bassin de la moyenne Seybouse.....	90
Figure 43: Affectation et origine des eaux mobilisées	92
Figure 44 : Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans dans le sous bassin de la moyenne Seybouse.....	93
Figure 45 : Evolution de la population au dans le bassin de la moyenne Seybouse	95
Figure 46 : Evolution de la demande en eau potable dans le bassin versant de Guelma	96
Figure 47 : Courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et les ressources mobilisées dans le bassin versant de la moyenne Seybouse	97
Figure 48: Dispersion des consommations moyennes dans le bassin versant de la moyenne Seybouse (m ³ /habitant /an) (2006-2013).	103
Figure 49 : La projection des variables sur les plans factoriels F1 et F2.	104
Figure 50: La projection des trimestres d observations sur les plans factoriels F1 et F2.....	105
Figure 51 : Architecture générale du modèle neuronal utilisé	106
Figure 52 : LA consommation d eau potable observé en fonction de la consommation simulée	108
Figure53 : Courbes des consommations observées et calculées (prédites) en phase de test des modèles (5 6 1)	108

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Données des superficies des communes du BV de la moyenne Seybouse.....	7
Tableau 2 : Répartition hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse	11
Tableau 3 : Les altitudes caractéristiques du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	11
Tableau 4 : Classes des pentes dans le bassin versant de la moyenne Seybouse	13
Tableau 5: Hiérarchisation du réseau hydrographique du secteur d'étude	17
Tableau 6 : Répartition des types de végétation par classes de superficie	18
Tableau 7 : Tableau synthétique des caractéristiques morphométrique du bassin de La moyenne Seybouse.....	20
Tableau 8 : Estimation de lame d'eau précipité sur le bassin par la méthode des isohyètes (1985 – 2005)	33
Tableau 9 : moyenne, écart - type et coefficient de variation des séries pluviométriques (1985-2005).....	36
Tableau 10 : Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	38
Tableau 11 : Précipitations moyenne mensuelles dans l'ensemble des stations (19985-2005).....	39
Tableau 12: Température moyenne mensuelle de la station de Guelma 1985/2005	40
Tableau 13 : distribution mensuelle interannuelle de l'ETP (station guelma 1985-2005).....	42
Tableau 14 : Résultats de l'ETR selon Thornthwaite et Turc.....	43
Tableau 15 : le bilan hydrique selon Thornthwaite	44
Tableau 16 : ressources en eau souterraine dans le bassin de la moyenne Seybouse	55
Tableau17 : bilan interannuel du barrage de Hammam Debagh (1990 – 2005)	56
Tableau 18 : La capacité de la station de traitement à traiter l'eau brute.....	56
Tableau 19 : Retenues collinaires dans le sous bassin de la moyenne Seybouse.....	57
Tableau 20 : Résultats d'analyse bactériologique faite le 20 Juillet 2005.....	73
Tableau 21 : classification des eaux d'irrigation en fonction de la CE et SAR (Méthode de RICHARDS)	74
Tableau 22 : classification des eaux d'irrigation en fonction du pourcentage de sodium (méthode de WILCOX).....	76
Tableau 23: Répartition des surfaces agricoles totale et utile dans les communes du bassin de Guelma	81
Tableau 24 : Besoins en eau industrielle dans le bassin.....	82

Tableau 25 : Inventaire des forages mobilisés dans le bassin	83
Tableau 26 : Inventaire des sources mobilisées dans le bassin de Guelma	84
Tableau 27 : Inventaire des puits dans le bassin de Guelma	84
Tableau 28 : La capacité de la station de traitement d'eau brute du barrage de Bouhamdane	85
Tableau 29 : Retenues collinaires dans le sous bassin de la moyenne Seybouse.....	86
Tableau 30 : Volume d'eau pompée à partir de l'oued Seybouse.....	87
Tableau 31 : systèmes d'approvisionnement en eau potable de la ville de Guelma	89
Tableau 32 : Superficies irriguées de la petite et la moyenne hydraulique	91
Tableau 33 : Evolution des besoins en eau industrielle dans le bassin à différents horizons	94
Tableau 34 : Evolution des terres irriguées et des besoins en eau d'irrigation dans le bassin.....	94
Tableau 35 : Besoins et déficit en eau potable aux différents horizons	95
Tableau 36 : Besoins future en eau des différents secteurs dans le bassin.....	96
Tableau 37: La matrice de corrélation pour les variables analysées.	103
Tableau 38: Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (Consommation d'eau potable).	109
Tableau 39: L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables explicatives.	109

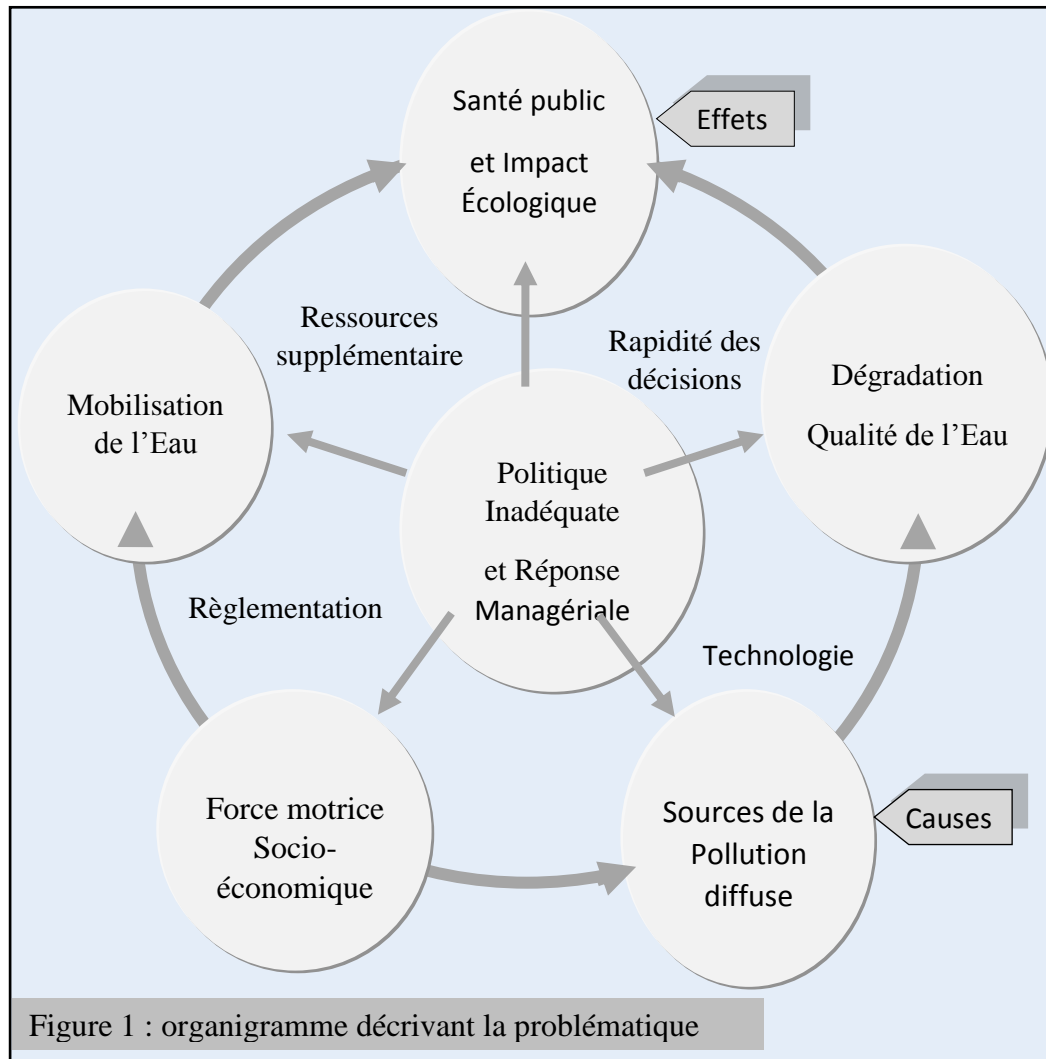
1. Introduction Générale

La gouvernance des ressources en eau constitue un enjeu politique, économique et social majeur que les gouvernements et les institutions identifient comme prioritaire sur l'agenda politique du XXI^e siècle (Bied-Charreton *et al.* 2004; Meublat, 2001). Il existe aujourd'hui en effet, une crise de l'eau due non pas à l'insuffisance des ressources en eau mais plutôt à une mauvaise gestion (Cosgrove et Rijsberman, 2000). Pour le PNUD (2006), la crise de l'eau trouve son origine plus dans la pauvreté, l'inégalité et les rapports de force inéquitable, ainsi que dans des politiques de gestion de l'eau inadaptées qui en aggravent la rareté. La même idée est partagée par Oelkers *et al.* (2011) qui pensent qu'il y a une grave crise de l'eau et affirment que donner l'eau à 6,9 milliards d'individus aujourd'hui et à une population qui ne cesse de s'accroître constituera un gros challenge pour ce siècle. Villiers (2000) l'avait déjà fait remarquer lorsqu'il déclarait que la terre comptera 9 milliards d'êtres humains au milieu du XXI^e siècle et que de nombreuses villes des pays d'Afrique et d'Asie vont souffrir des problèmes d'eau. Actuellement, l'enjeu hydrique auquel est confronté l'Algérie est le suivant : comment mieux répondre aux besoins des utilisateurs (AEP, Industrie, agriculture) avec des ressources en eau relativement limitées. A long terme, face à la croissance des besoins en eau, les volumes mobilisables risquent de ne pas être totalement garantis compte tenu des aléas climatiques et de la dégradation de la qualité des eaux tant superficielles que souterraines. Dans ce contexte, le concept de gestion intégrée des ressources dans un cadre multisectoriel permet d'actionner au même temps sur divers facteurs. Cette gestion intégrée de l'eau s'organise à plusieurs niveaux d'espace et implique des partenaires avec des problématiques et des priorités différentes. Qu'il s'agit de préserver l'eau pour l'irrigation, d'aménager un bassin versant, de réduire le recourt systématique aux eaux souterraines, il est clair que n'importe quelle stratégie pour développer une solution durable pérenne et évolutive, même partielle pour cette problématique, doit être basée sur une approche intégrée qui considère les relations de cause à effet et qui évalue de manière systématique les diverses solutions.

1.1 La Problématique de Recherche :

Marquées par l'instabilité de l'offre et d'accroissement élevé de la demande, les ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse sont sujettes à de fortes pressions qui menacent sérieusement leur durabilité. La qualité de l'eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse est également menacée par les nombreux polluants rejetés dans les eaux douces, soit ponctuellement (rejets domestiques ou industriels non traités, décharges non contrôlées, drains tenant lieu de décharge pour les déchets ménagers), soit de façon diffuse

(engrais, pesticides provenant de l'agriculture intensive, déchets solides, boues des stations d'épuration). Cette situation a fait de ces ressources de véritables biens économiques nécessitant de nouvelles approches et des outils innovants de gestion et d'analyse. Au vu du caractère complexe et multi-usage des ressources en eau, les approches unidimensionnelles et fragmentaires de gestion des ressources en eau ont atteint leurs limites (Auger et al. 2004). D'où l'intérêt de développer des approches intégrées de gestion qui considèrent le bassin versant comme unité pertinente de gestion. Nombreuses sont les références qui adoptent cette approche par bassin versant (Gangbazo, 2004 ; OCDE, 2004). Les conférences internationales sur l'eau et l'environnement, notamment celle de Rio de Janeiro en 1992 et le troisième forum mondial de l'eau, tenu à Kyoto en 2003, ont appelé à son adoption. L'OCDE recommande aux pays membres "d'appliquer les approches intégrées par bassin hydrographique et par écosystème". Une telle orientation constitue l'un des éléments clés pour une gestion efficace de l'eau (OCDE, 2004). Selon Affeltrouger et Lasserre (2003), le recours au bassin versant comme unité de gestion territoriale répond au principe de développement durable. En effet, l'intérêt de considérer l'unité de bassin versant comme unité de gestion réside dans le fait de pouvoir prendre en compte l'ensemble des activités et leurs impacts (Auger et al, 2004). Cette unité permet également de saisir les interactions entre les phénomènes hydrologiques, climatiques, biologiques et sociétaux (Sghaier et al, 2006) (Figure1).



1. 2 Les objectifs de la thèse :

Les principaux objectifs de la recherche sont :

- Présenter les principales caractéristiques physiques du bassin versant.
- Caractériser sur les plans qualitatif et quantitatif les ressources en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.
- Diagnostic de la gestion des ressources en eau dans la zone d'étude.
- Décrire les contraintes liées à la gestion des ressources en eau et évaluer les impacts (socio-économiques, environnementaux et sanitaires).
- Elaboration d'un model conceptuel de consommation en eau potable dans la zone d'étude.

1.3 L'Organisation de la thèse

Cette thèse est structurée en quatre parties et encadrées par une introduction générale et une conclusion générale :

- La première partie présente un diagnostic physico- géographique, première étape de la connaissance du bassin versant, permettra de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement; facteurs morphologiques, lithologiques, climatiques.
- La seconde partie est consacrée à l'évaluation quantitative et qualitative de la ressource dans le bassin.
- La troisième partie porte sur l'évaluation des besoins en eau des différents secteurs d'utilisation, l'établissement du bilan des ressources et des besoins, qui nous permettent de prévoir, si les disponibilités potentielles en eau sont suffisantes, pour répondre à l'accroissement rapide de la demande sectorielle en eau et développer dans une dynamique prospective qui vise à faire d'une part un état des lieux de la gestion des ressources eau dans le bassin versant et d'autre part de proposer une gestion intégrée de la ressource en eau dans le bassin.
- Quatrième partie : destinée a l'application d'un nouveau model conceptuel de consommation en eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse et les statistiques descriptives des variables.

Partie I

Caractéristiques physico- géographiques du bassin versant de l'Oued Seybouse.

Caractéristiques physico- géographiques du bassin versant de l'Oued Seybouse.

Le bassin versant de l'Oued Seybouse constitue l'un des principaux collecteurs des eaux de pluie tombées sur les régions de l'extrême N.E algérien. Il est situé au Nord de l'Atlas Tellien, domaine à vocation agricole, et se caractérise par un relief fort et contrasté à pentes fortement inclinées. Selon la nouvelle restructuration des unités hydrologiques en Algérie, le bassin versant de l'Oued Seybouse appartient à l'ensemble du côtier Constantinois (d'après le découpage de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques ANRH).

Le cours d'eau principal, l'Oued Seybouse draine un vaste bassin versant de 6471 km². Il prend naissance dans les hautes plaines des Heractas et de Sellaoua et finit dans la plaine littorale d'Annaba pour se jeter en méditerranée. Il est formé par la confluence des oueds Cherf et Bouhamdane au niveau de Madjez Amar et reçoit deux autres affluents d'importance inégale : l'Oued Mellah et l'Oued Ressoul.

Le bassin de la Seybouse est divisé en 03 parties à savoir : La haute Seybouse, La moyenne Seybouse, La basse Seybouse.

Le bassin de la moyenne Seybouse est une région montagneuse formée d'une chaîne imposante, au relief accidenté, c'est l'Atlas Tellien, il est constitué par 04 sous bassin :

Le sous bassin du bas de Cherf., sous bassin de Bouhamdane., sous bassin de Guelma et le sous bassin de Mellah.

Le bassin de Guelma s'étend sur la totalité de la wilaya de Guelma, il appartient à la moyenne Seybouse dans sa partie Nord-Est et à la haute Seybouse dans sa partie Sud. Il est d'extension Nord-Sud d'une quarantaine de kilomètres de long et d'une vingtaine de kilomètres de larges pour une superficie de 770.91 km² (figure 2). Le bassin est limité au Nord par les monts de Houaras et Béni Ahmed, au Sud par la Mahouna, Ain Larbi et Sedrata, au Sud Ouest par les monts de Sellaouas, à l'Est par les monts de Nador N'bail et à l'ouest par le mont Débagh. A Medjez Ammar l'Oued Seybouse, formé par la confluence des oueds Bouhamdane et Cherf, débouche dans le vaste bassin de Guelma. L'Oued suit l'axe du bassin orienté Ouest-Est et le traverse dans toute sa longueur, sur environ 25 km. Durant ce parcours, la Seybouse a tracé de nombreux méandres, aidé par un matériau meuble. Pour sortir du bassin de Guelma, la Seybouse a dû se frayer un passage à travers la partie septentrionale du massif triasique du Nador N'bails, qui ferme complètement à l'Est cette vaste dépression. Après un parcours de deux kilomètres dans des gorges encaissées; l'Oued débouche dans une

autre plaine, c'est la dépression de Bouchegouf, où converge un autre système hydrographique qui vient se jeter dans la Seybouse au Sud Ouest de Bouchegouf.

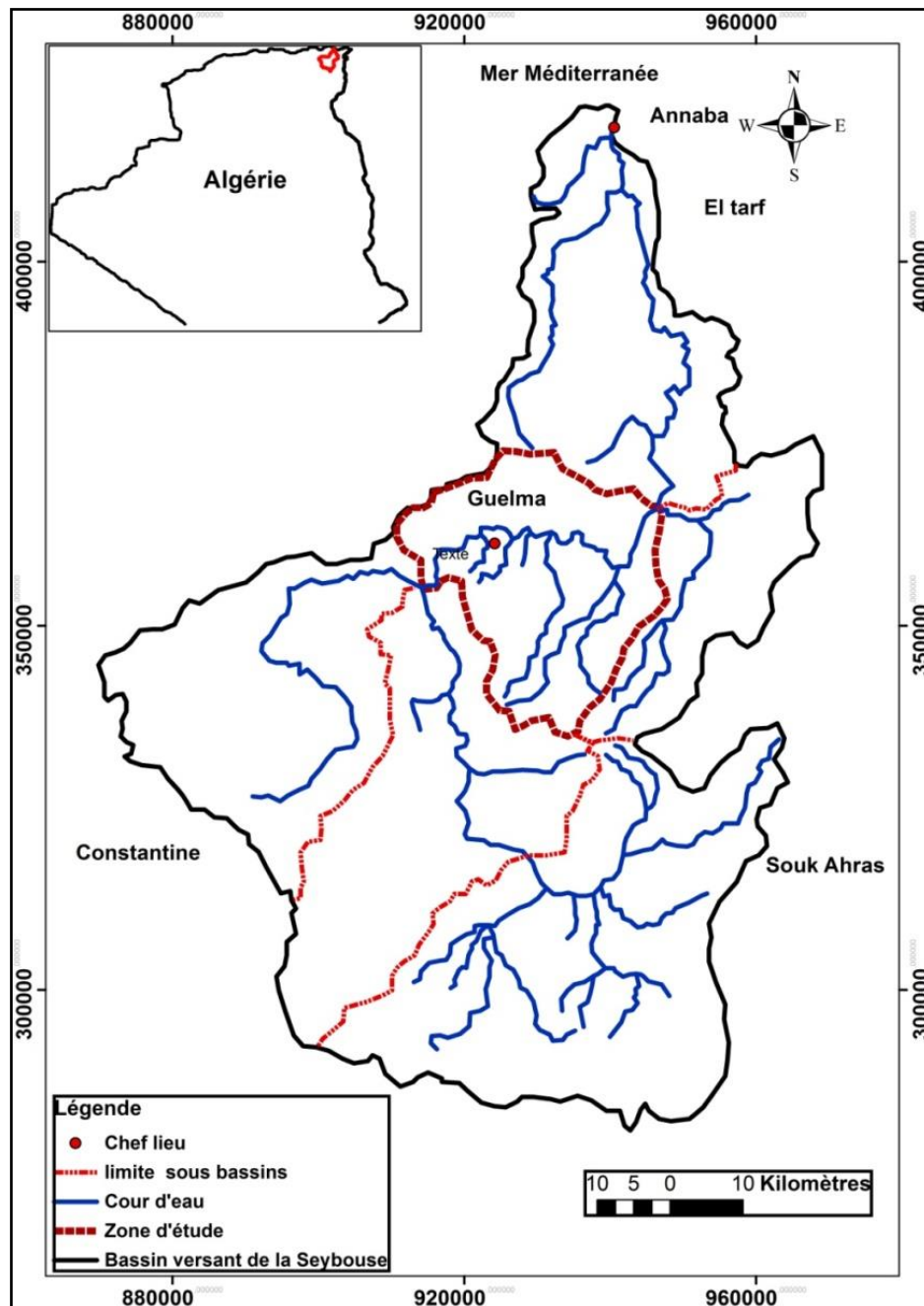


Figure 2: Carte de Situation Géographique du Bassin Versant de la moyenne Seybouse.

1. L'organisation administrative

Le bassin versant de la moyenne Seybouse (Guelma) occupe la partie centrale de la wilaya de Guelma, cinq (05) daïras appartiennent à ce bassin, englobant sept (07) communes : Ben Djerah ; Belkheir, Boumahra Ahmed, Béni Mezline, Djeballah Khémissi, Bouhachana, Ain Sandal, Bouâti Mahmoud et El Fedjoudj (figure 3).

Tableau 1 : Données des superficies des communes dans le BV de la moyenne Seybouse.

Daïra	Commune	Superficie (km²)	Observation
Guelma	Guelma	45	Urbaine
	Ben Djerah	79,37	Rurale
Guelmat Bousbaa	Guelmat.Bousbaa	36,25	Semi Urbaine
	Boumahra.Ahmed	71,25	Urbaine
	Béni Mezline	63,25	Rurale
	Djeballah .Khémissi	66,62	Rurale
	Belkheir	94	Urbaine
Hamam Debagh	Hamam Debagh	58,75	Urbaine
Héliopolis	Héliopolis	76,87	Urbaine
	El Fedjoudj	66,25	Semi Urbaine
Khezara	Khezara	71,22	Semi Urbaine
	Bouhachana	63,62	Rurale fortement

DSA Guelma

La commune de Guelma constitue le plus grand pôle urbain dans le bassin, avec un taux d'urbanisation de 98% ;

2. Aperçu socio-économique :

Le bassin de Guelma est une région agricole connue pour les cultures de céréales, de tomates, pommes de terre et des agrumes, nous signalons aussi l'importance de l'élevage de bétails et de la volaille. L'activité industrielle est à ne pas négliger, plusieurs unités industrielles ont été implantées à titre d'exemple : La Sucrerie, unité du céramique, la Sonacome, la laiterie (Guelma), unité de fabrication des pâtes et conserverie de tomate industrielle. En plus, de l'exploitation de quelques mines et carrières, comme celle du kaolin du Djebel Debagh et de marbre, traité par l'unité ENAMARBRE à Boumahra Ahmed.

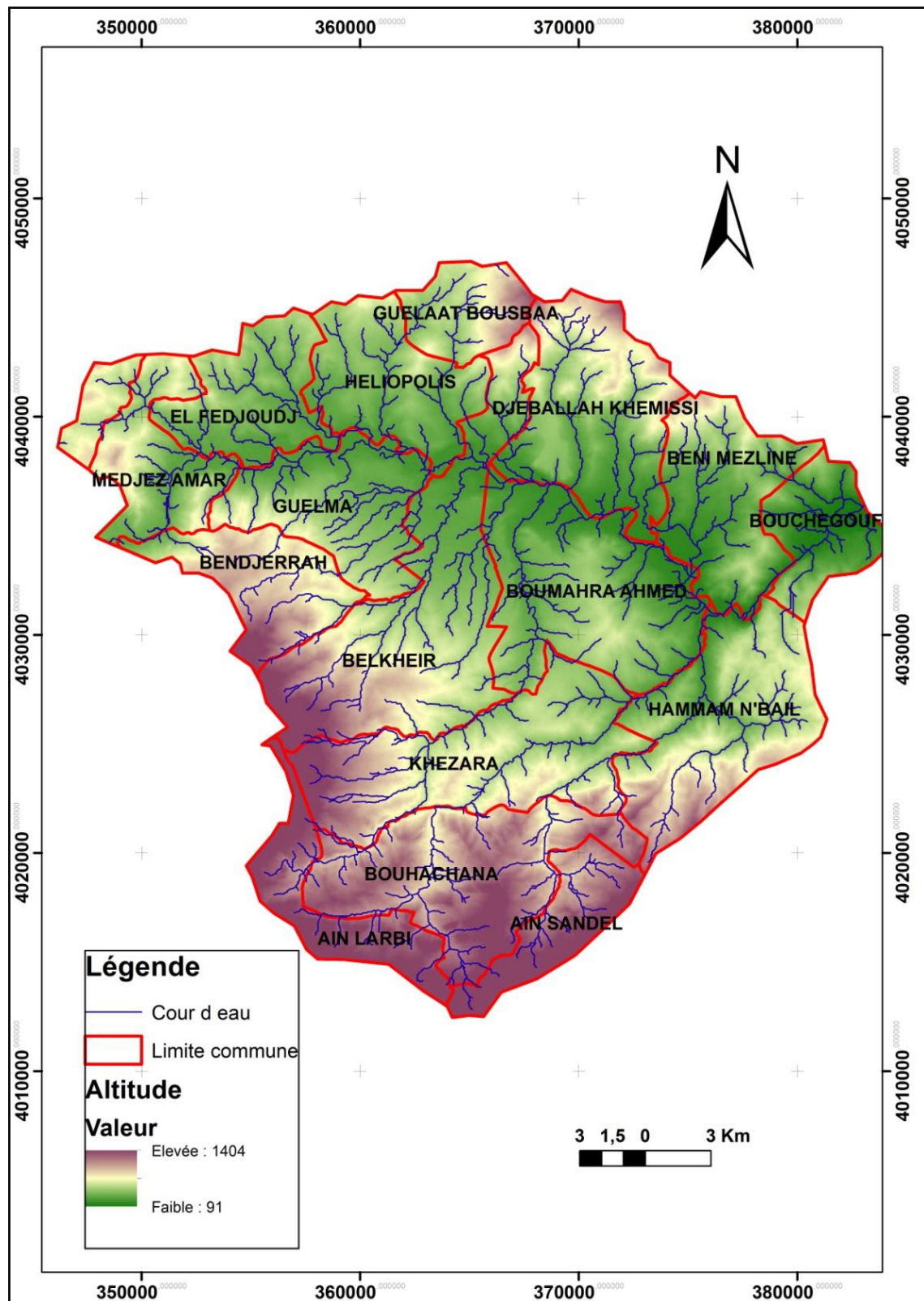


Figure 3: Le découpage administratif des communes à l'intérieur du BV de la moyenne Seybouse.

3. Les caractéristiques morphométriques du bassin de la moyenne Seybouse :

Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration t_c caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une sollicitation des précipitations. Il est influencé par la taille du bassin (sa surface), sa forme, son élévation, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, sont évalués à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques. La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Elle s'obtient par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux, par des techniques de digitalisation. La surface planimétrie du secteur de la moyenne Seybouse au niveau de Guelma est de 770.91 Km². L'exactitude du périmètre du périmètre (P) dépend de l'échelle de la carte, plus ce dernier est bien marqué plus la délimitation est bien nette et plus le calcul des divers paramètres est précis. L'utilisation du curvimètre donne un périmètre de 134 km pour la zone d'étude. La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison du temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de **Gravelius** (1914) K_G (), défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface, Le bassin versant de la moyenne Seybouse est caractérisé par une forme allongée avec $K_G = 1,35$. La notion du rectangle équivalent permet de comparer facilement les bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leur caractéristique sur l'écoulement. Le bassin rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dont lequel est conservée la même superficie, le même périmètre, et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit coté du rectangle. Si $L = 52.21$ km et $I = 14.79$ km, sont respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent.

Le périmètre du rectangle équivalent vaut : $P=2.(L+I)$; la surface : $A=L.I$; le coefficient de

Avec : $K_G = 0.28.P.A^{-0.5}$

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right) \text{ si } K_G \geq 1.12$$

3.1 Le relief :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief est déterminé par les coefficient et indices suivants :

3.2 La courbe hypsométrique:

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en ordonnée la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en abscisse (figure 4). Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude. La tranche d'altitude (200 m - 400 m) est la plus représentée, elle couvre 275.14 km² ; soit 35.69 % de la superficie totale. Elle correspond aux piémonts.

La tranche d'altitude (1200 m - 1400 m) est la moins représentée, elle couvre 1.65 km² soit 0.21 % de la superficie totale. Elle correspond aux montagnes.

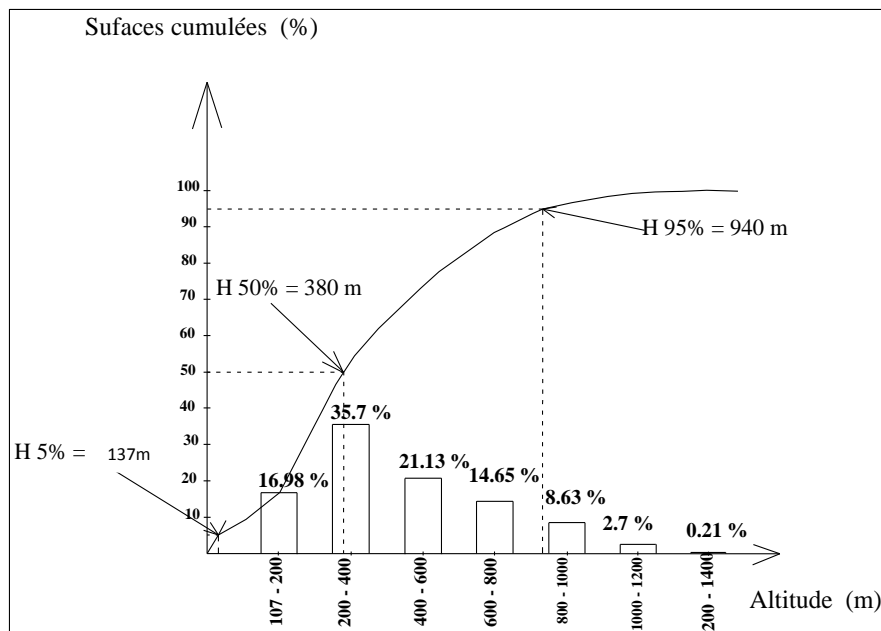


Figure 4 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences des altitudes dans le bassin de la moyenne Seybouse Guelma.

Les valeurs des surfaces, comprises entre les différentes courbes de niveau et obtenues par planimétrie de la carte hypsométrique (figure5), relative au bassin versant, sont reportées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Répartition hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse :

Altitude	Superficie partielle		Σ Superficie cumulée	
	surface (km)	surface (%)	Surface (km)	% surface
107-200	130,9	16,98	130,9	16,98
200-400	275,14	35,69	406,04	52,67
400-600	162,91	21,13	568,95	73,8
600-800	112,92	14,65	681,87	88,45
800-1000	66,57	8,64	748,44	97,09
1000-1200	20,82	2,70	769,26	99,79
1200-1400	1,65	0,21	770,91	100
totale	770,91	100		

Bien souvent, on définit la dénivelée (D) comme étant la différence de cote entre H5% et H95%. **D=H5%-H95%** {H5%=930m et H95%=20m} donc la dénivelée simple de la courbe hypsométrique est D = 910 m.

Tableau 3 : Les altitudes caractéristiques du bassin versant de la moyenne Seybouse.

Altitudes caractéristiques						
Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	H50%(m)	H5%(m)	H95%(m)	D=H5% - H95%(m)
1411	107	451,53	380	137	940	803

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique, elle est de l'ordre de **451.53 m**. L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Pour la zone d'étude, elle est égale à **380 km**.

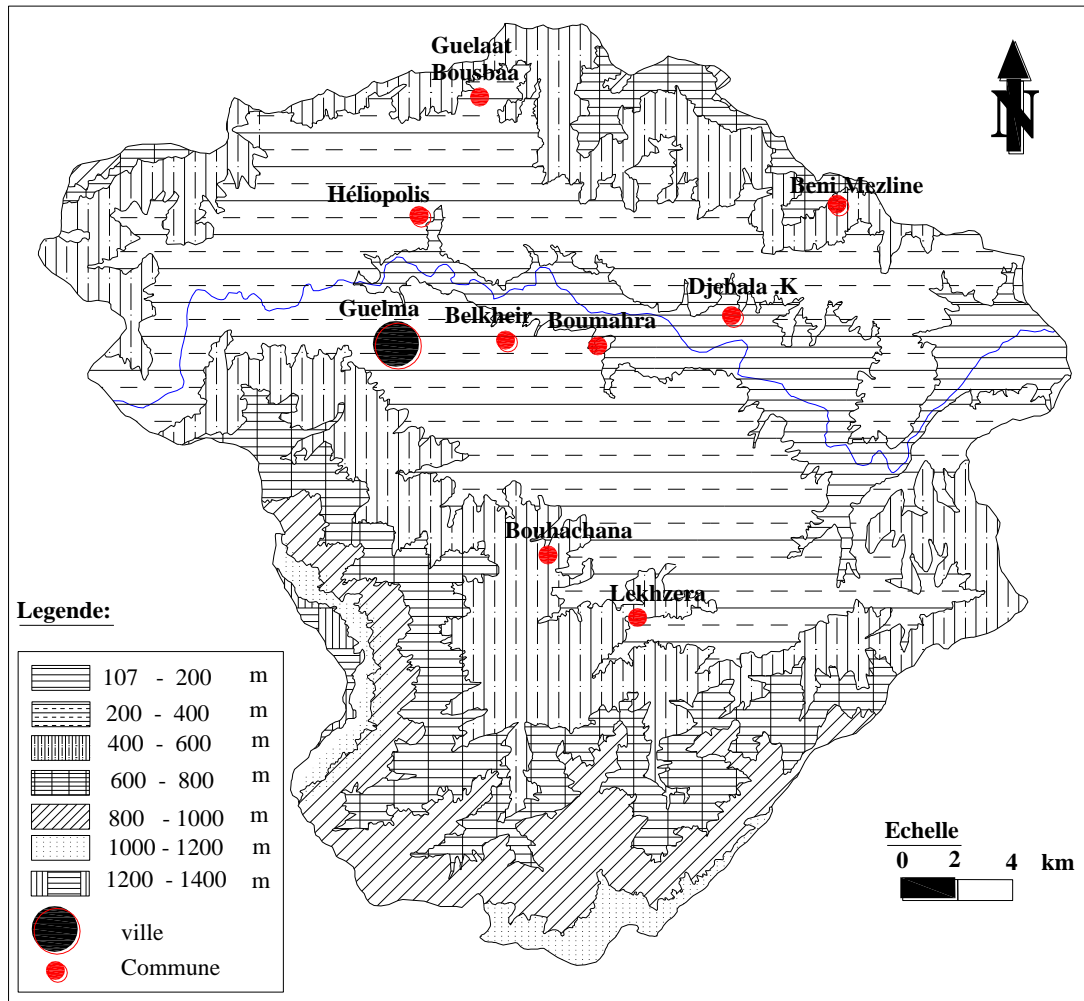


Figure 5: carte des altitudes du bassin de la moyenne Seybouse.

4. Les pentes

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration t_c et influence directement le débit de pointe lors d'une averse. Elle est de l'ordre de 0,052. L'indice de pente globale est de l'ordre de 17,42 m/km. La dénivelée spécifique ne dépend pas de l'hypsométrie et de la forme du bassin. La dénivelée spécifique est plus facile à utiliser que l'indice de pente globale, car elle permet de comparer les sous bassins versants de tailles différentes. La dénivelée spécifique, égale **483.93 m**, donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M indépendante des surfaces des bassins et qui est comprise entre

250m < D_s < 500 et indique un relief du bassin fort. L'indice de pente est de l'ordre de 1,37 (Tableau 4).

Tableau 4 : Classes des pentes dans le bassin versant de la moyenne Seybouse Guelma.

Classes des pentes (%)	Superficies (km ²)	Superficie (%)	Observation
0 – 4	70.5	9,14	Très faible
4 – 10	98.6	12,8	Faible
10 – 16	140.5	18,22	Moyenne
16 - 22	164.25	21,30	Assez forte
22 - 28	98.8	12,82	Forte
< 28	198.26	25,72	Très forte
Totale	770.91	100	

L'analyse des pentes est importante pour caractériser les différentes inclinaisons des versants. L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc).

La carte des pentes établie par la méthode de carroyage fait ressortir six (06) classes de pentes dont les valeurs relatives ont été obtenues par planimétrie (figure 6)

4.1 Classe des pentes très faibles (0 – 4%) :

Cette classe occupe une petite superficie de 70.5 km², soit 9.14 % de la superficie totale de la zone d'étude. Elle s'étend pratiquement sur toute l'étendue de l'oued Seybouse. Ces terrains sont destinés en général à l'agriculture. La faible inclinaison des pentes et l'importance de l'épaisseur des formations superficielles réduisent l'érosion.

4.2 Classe des pentes faibles (4 – 10%) :

Cette classe, couvrant une superficie de 111.5 km², soit 23.82% de la superficie totale, se localise au Nord, à l'Est et au centre de la zone d'étude.

4.3 Classe des pentes moyennes (10 – 16%) :

Cette classe occupe une superficie plus importante que la première et la deuxième classe avec une superficie de 140.5 km², soit 18.22 % de la superficie totale de la zone d'étude.

4.4 Classe des pentes assez fortes (16 – 22%) : Cette classe occupe une superficie moins importante de 164.25 km², soit 21.3 % de la superficie totale de la zone d'étude.

4.5 Classe des pentes fortes (22-28 %) : Elle représente une superficie plus petite de 98.8 km², soit 12.82 % de la superficie totale de la zone d'étude. Les classes de pentes moyennes, assez fortes et fortes représentent des terres qui sont recouvertes par les forêts et les maquis.

4.6 Classe des pentes très fortes (< 28 %) : Cette classe est la plus importante. Elle occupe une superficie de 198.26 km², soit 25.72% de la zone d'étude.

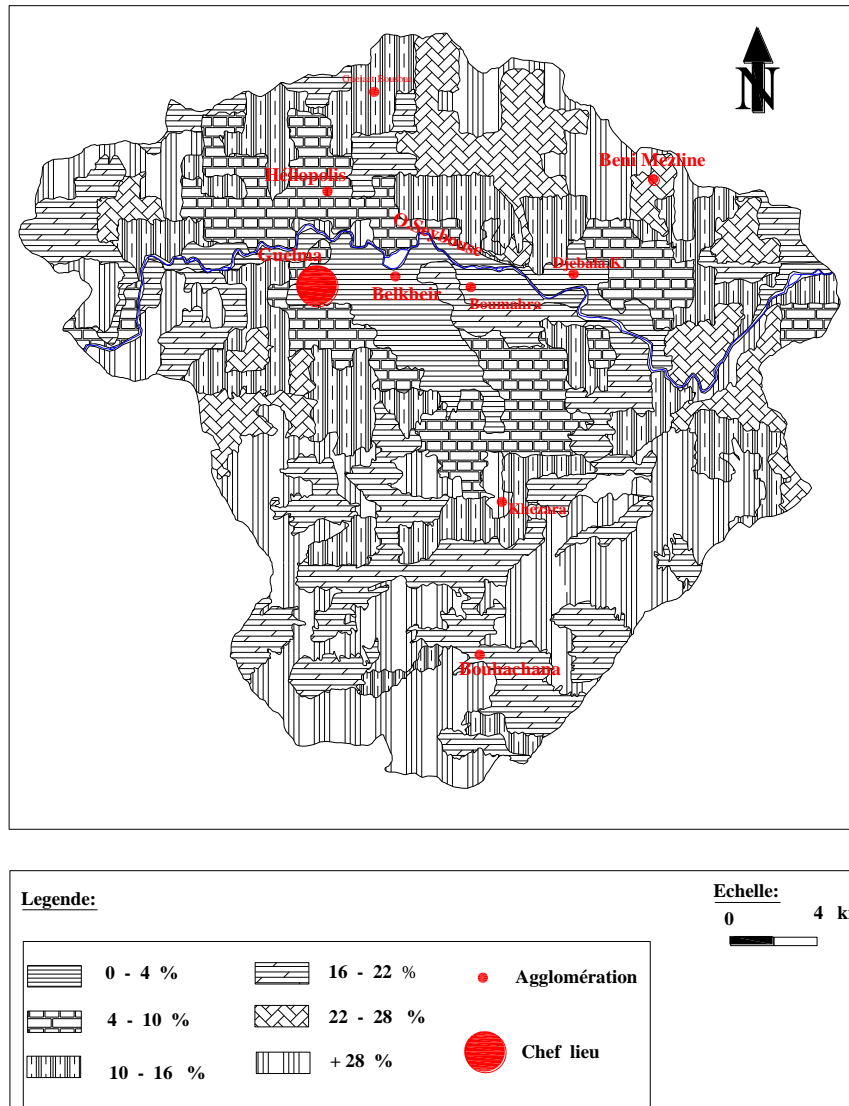


Figure 6: Carte des pentes du bassin versant de la moyenne Seybouse.

5. Les caractéristiques du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux (la géologie, le climat, la pente du terrain, la présence humaine, le couvert végétal). L'étude du réseau hydrographique permet de donner une idée sur le développement de son chevelu (ramification lâche ou dense), sa forme, sa hiérarchisation, sa densité de drainage, son rapport de longueur (figure 7). Le réseau hydrographique du secteur d'étude draine une superficie de l'ordre de 770.91 km². Il est caractérisé par un réseau hydrographique dense au Nord et plus lâche au sud. Le cours d'eau principal, l'Oued Seybouse draine un bassin versant de 469.26 km², il prend naissance dans les hautes plaines de Heracta et de Sellaoua et finit dans la plaine littorale de Annaba, pour se jeter ensuite en mer Méditerranée. Il est formé par la confluence des oueds Cherf et Bouhamdane au niveau de Madjez Amar et il reçoit deux autres affluents d'importance inégale : l'Oued Mellah et l'Oued Ressoul, sur une longueur de 38 km. le réseau hydrographique est composé de l'oued Seybouse et de ses affluents les oueds Bouzitoune, El maiz, Zimba, Bradaa et Berdia.

5.1 La hiérarchisation du réseau hydrographique :

Pour chiffrer la ramification du réseau hydrographique, chaque cours d'eau reçoit un numéro en fonction de son importance. Cette numérotation appelée, ordre du cours d'eau, diffère selon les hauteurs: Nous retenons la classification de STRAHLER qui est la plus utilisée. Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau de même ordre est augmenté de un.

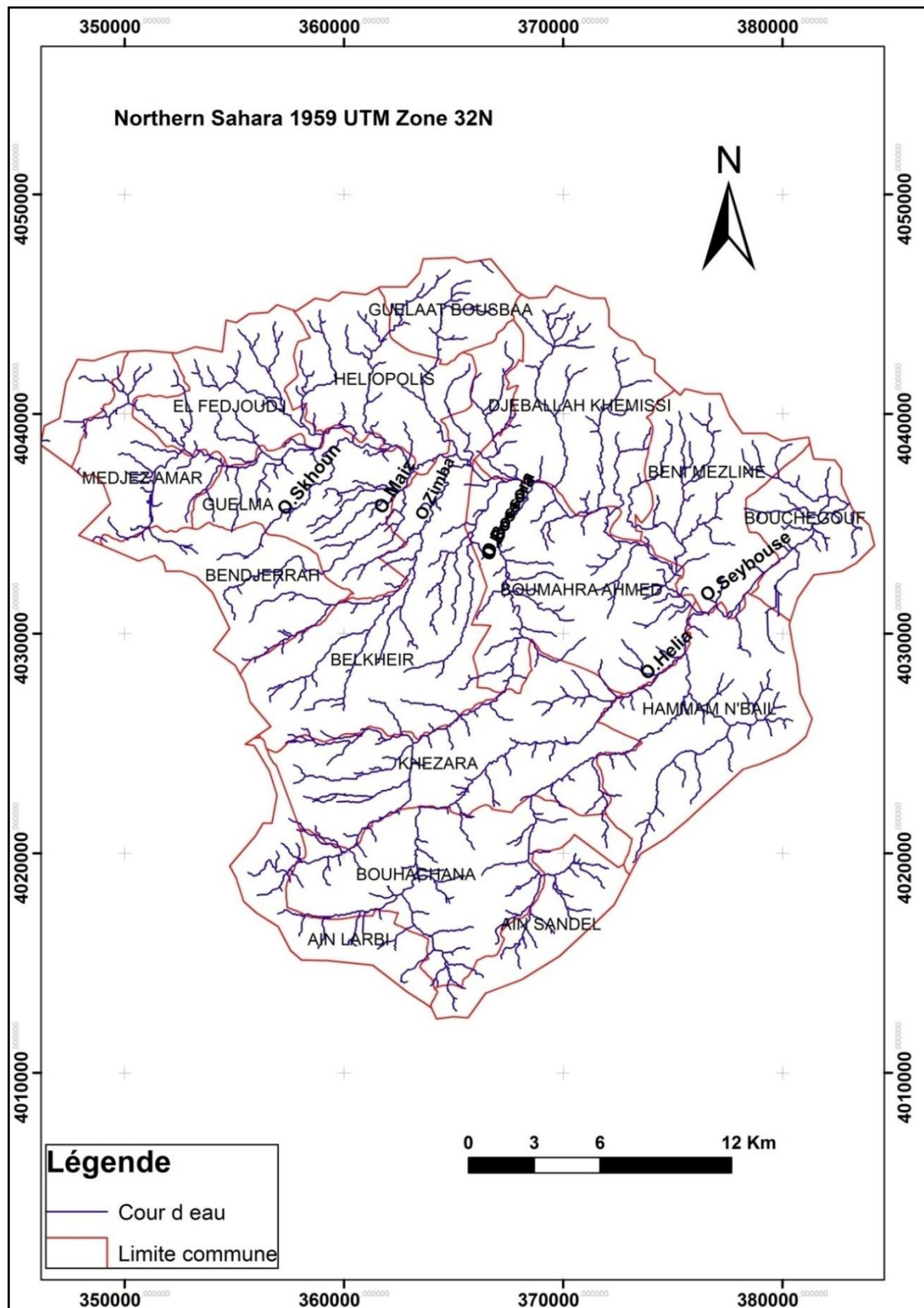


Figure 7 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la moyenne Seybouse

Tableau 5: Hiérarchisation du réseau hydrographique du secteur d'étude :

Ordre	Nombre	Longueur (km)
1	2979	1287,85
2	760	404,55
3	181	326,5
4	42	109
5	10	55,9
6	3	47
7	1	24,5
Totale	3976	2255,3

5.2 La densité de drainage et la densité hydrographique :

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant, elle est estimée à $2.92 \text{ km} / \text{km}^2$.

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface. Pour le bassin versant de la moyenne Seybouse elle est de l'ordre de 5,15.

La densité de drainage et la densité hydrographique deux facteurs allant souvent de paire. Pour ce cas les deux valeurs obtenues indiquent un sous bassin versant moyennement imperméable.

5.3 Le coefficient de torrentialité :

C'est le produit de la densité de drainage (D_d) par la fréquence des thalwegs d'ordre 1. Ce coefficient est relativement faible (15.04).

5.4 Le temps de concentration :

Le temps de concentration T_c des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Nous utiliserons la formule de GIANDATTI, car elle tient compte des paramètres morphométriques. Le temps de concentration dans le sous bassin versant est d'environ quatre (4) heures, c'est-à-dire une courte durée pour l'évacuation des crues.

5.5 Le rapport de Confluence :

C'est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Le rapport de confluence du bassin versant de la moyenne Seybouse est égal à 4.1.

6. Le couvert végétal :

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plu dense. Dans le bassin d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts (tableau 6).

A partir de la carte d'occupation du sol (figure 8) nous pouvons déterminer la superficie occupée par chaque type de végétation; les résultats sont représentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Répartition des types de végétation par classes de superficie :

Type d'occupation	Surface (km ²)	Surface(%)
foret	151,42	19,64
Broussaille	96,5	12,52
Parcours+Grande culture	369,18	47,89
Tissu urbain	4,5	0,58
périmètre irrigué	90,6	11,75
sable	3,46	0,45
olive	55,25	7,17
totale	770,91	100

6.1 Le Domaine agricole:

Le domaine agricole est représenté par quatre types d'occupation :

6.1.1 Le périmètre d'irrigation :

Les cultures pratiquées dans le périmètre sont les cultures maraîchères, les cultures industrielles, les cultures fourragères et l'arboriculture, nous les trouvons surtout sur les

terrains à pentes faible et moyenne. Elle occupe une superficie de 46.52 km², soit 6.03 % de la superficie totale du secteur d'étude.

6.1.2 Les grandes cultures et parcours :

Ce type de culture est prédominant. Il occupe une superficie de 369.18 km², soit 47.89% de la superficie totale du secteur d'étude.

Les oliviers occupent une superficie réduite 55.25 km², soit 7.17 % de la superficie totale.

La végétation naturelle, regroupe toute la végétation naturelle ; les forêts, les maquis et les broussailles. Les forêts et les maquis Ils jouent un rôle important dans la protection du sol, particulièrement contre l'érosion. Ils s'étendent sur une superficie de 151.42 km², soit 19.64% de la superficie totale et se trouvent sur des terrains ayant des pentes assez fortes à fortes.

Les broussailles, occupent une superficie de 96.5 km², soit 12.52 % de la superficie totale.

Le tissu urbain, Il occupe 4.5 km² soit 0.58% de la superficie totale.

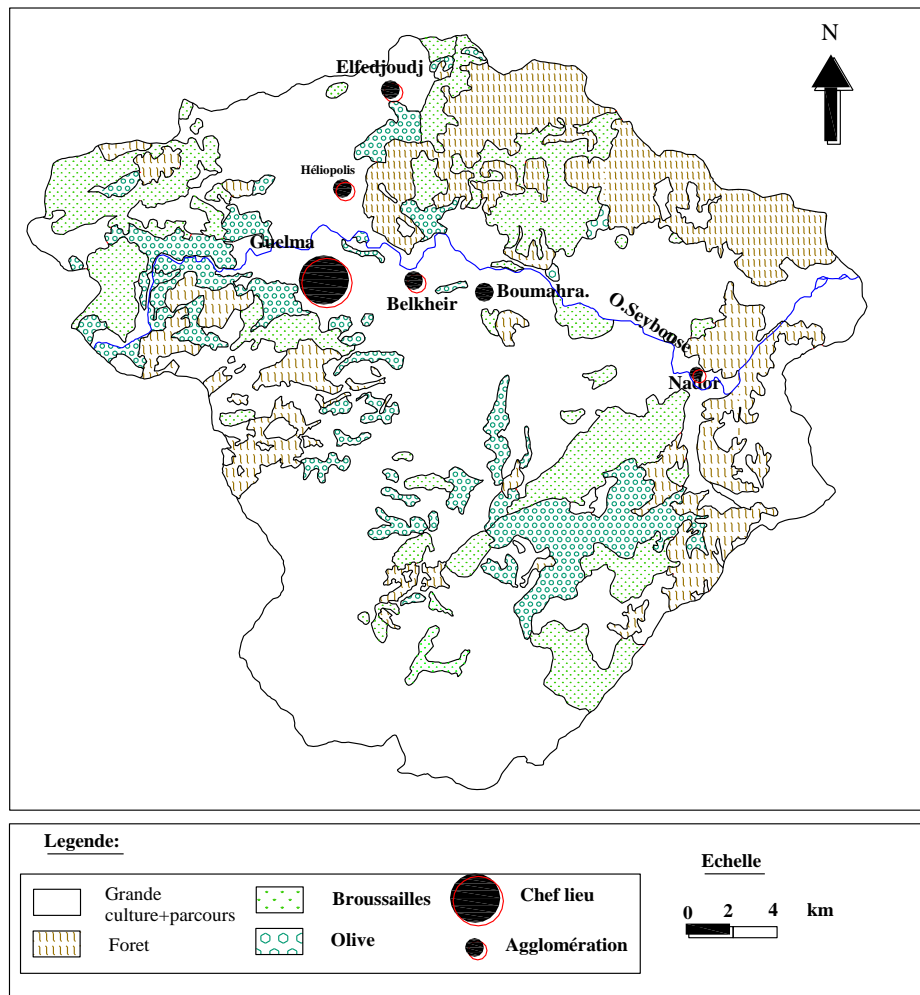


Figure 8 : Carte de couverture végétale du bassin de la moyenne Seybouse Guelma.

Tableau 7 : Tableau synthétique des caractéristiques morphométrique du bassin de la moyenne Seybouse.

Paramètres	Symbole ou formule	unité	valeur
Surface	A	Km ²	770.91
Périmètre	P	Km ²	134
Indice de compacité	$C = 0,28 * (P/A^{0.5})$	-	1.35
Longueur du rectangle équivalent	$L = (A^{0.5} * C) / 1,12 * [1 + (1 - (1,12/C)^2) 0,5]$	Km	52.21
Largueur de rectangle équivalent	$L = A / L$	Km	14.79
Indice de pente globale	$I_g = D / L$	M / km	17.42
Dénivelée spécifique	$D_s = I_g * A^{0.5}$	M	483.93
Altitude maximale	H max	M	1411
Altitude moyenne	H moy	M	451.53
Altitude médiane	H 50 %	M	380
Altitude minimale	H min	M	107
Longueur du talweg principal	Lp	Km	24.5
Densité de drainage	$D_d = L / A$	Km/km ²	2.92
Coefficient de torrentialité	$C_t = D_d * (N1 / A)$	-	15.04
Temps de concentration 'Giandotti'	$T_c = (4A^{0.5} + 1,5 L_p) / (0,8 (H_{moy} - H_{min})^{0.5})$	H	4

La Géologie locale :

La région de Guelma a suscité l'intérêt de beaucoup de chercheurs : J. Blayac, (1912) ; J.M. Vila et Magné, (1969) ; J.M. Vila, (1978, 1980) ; J.C. Lahondère, (1987) ; A. Chouabbi, (1987) ; Dareste de la Chavane, (1910) ; L. Joleaud, (1912) ; J. Flandrin, (1948) ; M. Roubault, (1934) ; P. Deleau, (1952) et Bouilin, (1986). Les terrains rencontrés vont du Trias jusqu'au Quaternaire, on distingue de haut en bas : le Quaternaire, le Mio-Pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne, les écaillés des Sellaoua et enfin la nappe néritique constantinoise (figure 09).

1. Le Quaternaire actuel : Représenté par les alluvions actuelles et anciennes de l'Oued Seybouse. Les alluvions actuelles (récentes), formées par les cailloutis, les graviers, les galets, les calcaires et les limons. Plus au Sud et au Nord, le Quaternaire est caractérisé par des travertins éparpillés en lambeaux d'épaisseur importante. La Seybouse a déposé d'énormes quantités de matériaux détritiques qui remplissent un bassin d'effondrement, créant ainsi un aquifère (Les alluvions anciennes). Il existe trois terrasses principales :

- **La basse terrasse :** Ses alluvions dominant le lit actuel de la Seybouse d'environ 15 m, et sont constitués de sables, de limons et de cailloux roulés bruns clairs ou grisâtres, formant des terres cultivables destinées aux cultures maraîchères et aux agrumes.

- **La moyenne terrasse :** présente surtout dans la partie sud de la vallée avec une altitude relative de 3 à 50 m, elle est constituée de sables, limons, galets et des blocs roulés dans une patine de couleur ocre.

- **La haute terrasse:** d'âge Salétien, la haute terrasse se présente en pente douce vers le Sud, elle est constituée par de gros galets du Numidien de type Râna et conglomérats. Le Djebel Zemzoma en est un exemple typique de 100 m d'épaisseur. Ces terrasses sont en général emboîtées mais peuvent être étagées et laissent apparaître le substratum marneux gypsifère qui les sépare, comme c'est le cas entre l'Oued Maiz et le centre du village de Belkheir (Vila, 1980).

2. Le Quaternaire ancien : Les tufs et les calcaires lacustres du Sud de Guelma sont d'âge quaternaire ancien à Pliocène supérieur. Ils occupent de vastes surfaces au Sud de la ville de Guelma jusqu'au pied de la Mahouma et dans la région d'Héliopolis. Les calcaires sont parfois tuffacés, parfois massifs de couleur grise ou blanc rosé, riches en oogones de Charophytes.

3 Le Mio-Pliocène : Les argiles à gypse grise probablement d'âge messénien renferment des intercalations marno-calcaires et de gypse en couches minces ou en masses litées. Les argiles rouges à conglomérats roulés rouges également témoignent de l'activité d'une phase d'érosion intense en milieu rubéfiant. La mollasse de Guelma, bien développée au Sud, est une épaisse série de grès jaunâtres friables, rarement grossiers, à intercalations argilo- marneuses grises ou jaunes parfois gypseuses.

4 Domaine des nappes :

4.1 La nappe Numidienne : Elle forme les hauteurs des reliefs gréseux de part et d'autre de la Seybouse. Nous la retrouvons au Nord-Est et au Sud-Est (Djebel Bezioun), Au centre et à l'Est (les massifs boisés de Houara et Beni Mezline) elle affleure largement au Nord et au Sud des massifs néritiques constantinois, et repose sur n'importe laquelle des autres unités allochtones. Généralement, la nappe numidienne marquée par la présence de deux faciès essentiels. Formée d'une série argilo-gréseuse de 400 m (Djebel Mahouna), C'est une série gréseuse de type flysch en grand bancs parfois décamétriques à intercalations argileuses claires (Vila ,1980). L'argile numidienne est de couleur verte et rouge à Tubotomaculum, d'âge Oligocène moyen à supérieur (Lahondère et al, 1979) en petits affleurements rares de part et d'autre de la série gréseuse. Elle est recouverte par de vastes épandages sableux qui les oblitèrent.

4.2 Domaine des flyschs : Ce sont des dépôts de mer profonde d'âge allant du Crétacé inférieur jusqu'à l'Oligocène. Nous distinguons,

4.2.1 Les flyschs de Penthievre : formés au Sud Est de Djebel Debagh par une série continue depuis le Cénomaniens jusqu'à l'Oligocène. Les Flysch grés-micacé à patine jaunâtre d'âge Oligocène avec une épaisseur variant de 450 m à 500 m, représentant une puissante formation de grès micacés.

4.2.2 Les Flysch à micro brèches rouges : formés par des argiles à micro brèches assez fines en bancs bien réglés de 15 à 60 cm et renfermant de nombreux débris organiques. Ce flysch est daté du Priabonien à l'Oligocène. Les Flysch conglomératique à Nummulites d'âge lutétien est formé par une alternance de micro conglomérats et des argiles rouges ou vertes, avec prédominance de lie de vin très remarquable.

4.2.3 Les flyschs de Guerouche : Ce flysch affleure au Sud de la pointe orientale de Djebel Debagh et à l'Ouest de la forêt de Beni Mezzeline. Nous distinguons :

A Le grès du Crétacé inférieur : C'est une série essentiellement gréseuse à minces intercalations argilo-schisteuses grises ou brunâtres, rarement affleurantes, sauf dans la zone de Jar Sofra, ce qui indique la rareté de l'Albien.

B Le complexe de base à calcaires fins : C'est une série argilo-gréseuse à nombreuses intercalations de biomicrites claires en bancs centi ou décamétriques. Elle affleure au Sud de la pointe orientale de Djebel Debagh.

4.3 La nappe Tellienne : L'unité tellienne la plus répandue dans notre zone est la suivante :

4.3.1 Nappe ultra-tellienne : Sous le terme ultra-tellien, Durand Delga (1969), désigne les séries superposées anormalement au Crétacé néritique constantinois du Djebel Débar et du Douar Bouzitoune dans la région de Guelma. Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

4.3.2 Nappe Tellienne : Correspond au domaine tellien externe, constitué par des nappes allochtones de matériel épais et profond d'âge crétacé – paléogène. Ces unités chevauchent l'autochtone et apparaissent en fenêtres. On distingue une Unité tellienne à nummulites (en haut), Paléogène à marnes noires, Eocène à calcaires massifs à nummulites, Lutétien inférieur à marnes à débris d'huîtres. Une unité tellienne à globigérines (en bas), Paléogène formé de marne, Eocène à calcaire en banc à Lumachelles, Lutétien inférieur à marnes noires à débris d'huîtres.

4.3.3 Unité néritique constantinoise : La série la plus complète est représentée par la terminaison orientale du Djebel Debagh qui passe sous les nappes pour réapparaître en fenêtre à la piscine romaine d' Héliopolis et dans le coin Sud-Est de Nador. Cette série comprend des niveaux siliceux à la surface de charriage, d'aspect de grès roux d'âge Numidien. Plusieurs centaines de mètres de calcaires allant du Campanien-Maestrichtien jusqu'au Barrémien renferment plusieurs types de fossiles et présentent des faciès assez divers, des bancs de dolomies noires de base de 250 m à 300 m d'épaisseur largement cristalline.

5. Trias : C'est la formation géologique la plus ancienne datée dans la région. Elle affleure uniquement à l'extrémité de Nador sous trois faciès :

5.1 Trias inférieur: Constitué d'argile d'aspect schisteux affleurant au Nord du massif de Nador.

5.2 Trias moyen : formé de calcaires lités à cassures, contenant quelques bancs de calcaires vermiculés (calcaires à fucoides).

5.3 Trias supérieur se rencontre à l'Est de Dj. Debagh, caractérisé par des alternances de marnes et de schistes de faible épaisseur. J. M. Vila (1972) a admis que les schistes de la station de Nador étaient d'âge triasique.

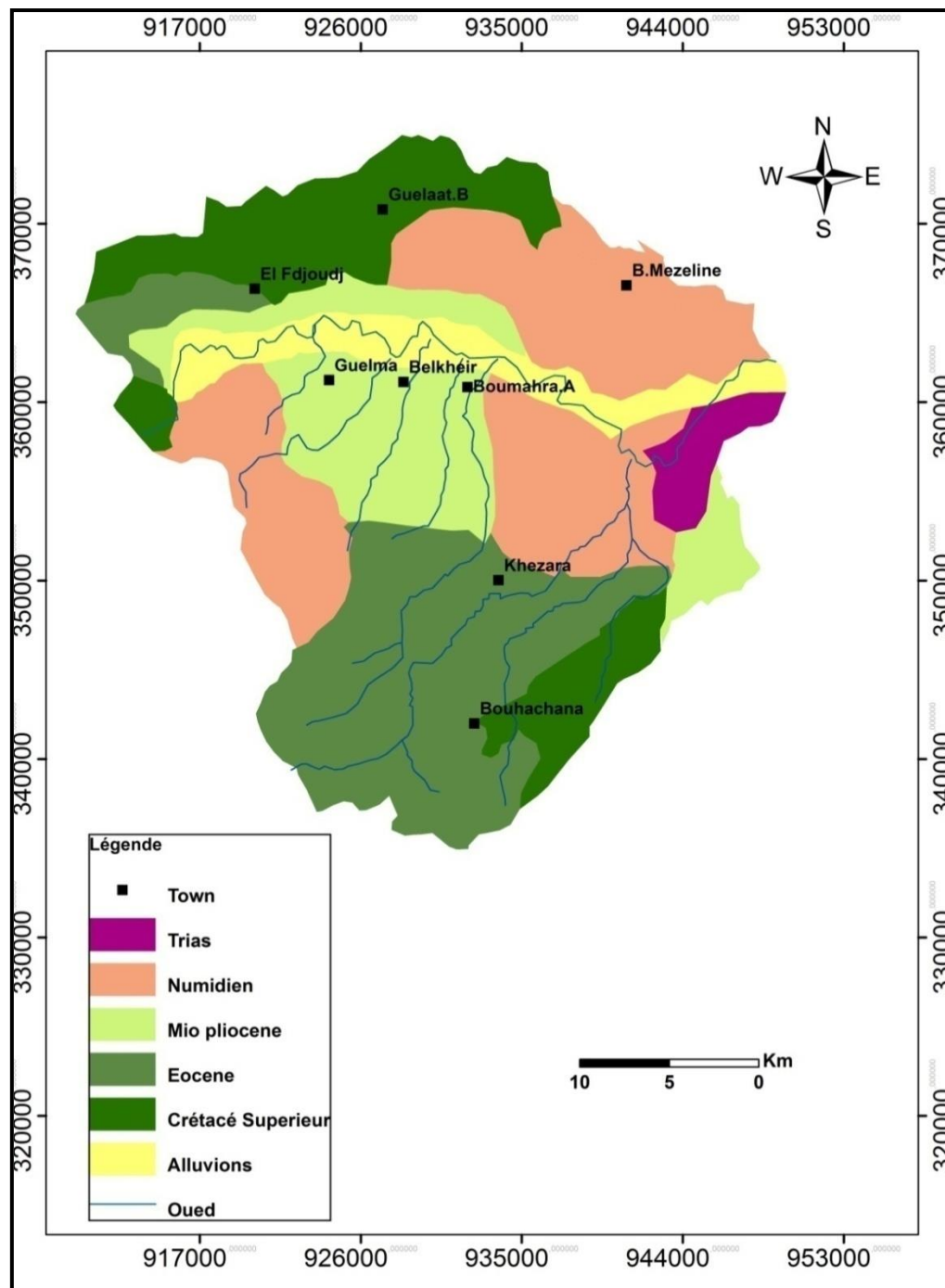


Figure 09 : Schéma simplifié de la géologie du bassin de la moyenne Seybouse (Guelma).

6. Les formations lithologiques :

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Quaternaire au Trias, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement :

6.1 Les roches résistantes : Ce type de faciès occupe une surface assez réduite et se localise dans la partie nord-ouest du piémont de djebel Debagh, ainsi que les dolomies noires jurassiques. Les grés, de couleur rouge et assez riches en argile et en fer, se localisent dans la partie nord-ouest du djebel Bouasloudj et au Sud-Ouest du djebel Guerboussa. Ces grés sont fissurés à leur base, au contact des argiles, se trouve un niveau aquifère assez important, alimentant plusieurs sources, dont le débit devient important à la fin de l'hiver et au printemps.

6.2 Les roches moyennement résistantes : Elles sont constituées par les formations marno-calcaires, qui forment un ensemble très développé en épaisseur et étendu. Ces formations reposent sur une assise imperméable et renferment une importante nappe aquifère. Dans les zones où elles sont plissées en synclinal et suffisamment développées, elles donnent naissance à de nombreuses sources,

6.3 Les roches meubles : Ce type regroupe les marnes et les argiles et se localise essentiellement aux pieds des versants avec des pentes moyennes et plus ou moins faibles. Il comprend des argiles grises fibreuses, des marnes bleu feuilletées, intercalées de lamelles marno-calcaires et du gypse en lame, en plaquette ou en masse.

A certains points, dans la partie supérieure de cette formation, se trouve des lits de marne blanche.

6.4 Les formations superficielles : Les mouvements tectoniques plio-quaternaires ont affecté les glaciais qui se situent dans le bassin de Guelma par les déformations et ont permis à la Seybouse de s'encaisser progressivement. Les principales formations superficielles observées dans la zone d'étude sont :

6.5 Les éluvions : Résultent de l'altération des roches en place. Les éluvions des calcaires et des limons sont encroûtées, par contre ceux des formations gréseuses sont des argiles, des limons et des sables.

6.6 Les colluvions : Constitués de galets, de gravier, de sable et de limons, ces formations se trouvent surtout au pied des massifs calcaires (djebel Debagh) et sont affectées par des

mouvements de masse tels que les glissements, les coulées boueuses ou par des ruissellements diffus.

6.7 Les alluvions : Ces formations superficielles caractérisent les fonds des vallées et constituent l'ensemble des terrasses.

6.7.1 Les hautes terrasses : La haute terrasse de la Seybouse est très importante, vu son épaisseur (150 m) et son rôle dans l'alimentation et le drainage des autres terrasses. Les matériaux de cette terrasse sont composés de sable, d'argile, de graviers et de limons.

6.7.2 La moyenne terrasse : La moyenne terrasse de la Seybouse est discontinue et se présente sous forme de tâche, son épaisseur est de 15 mètres. Elle est formée d'un matériel argilo limoneux avec quelques éléments grossiers.

6.7.3 La basse terrasse : Cette terrasse est constituée d'alluvion limoneuse et graveleuse. Elle est de teinte brune, submersible lors des crues, elle est menacée par le sapement des berges qui la réduit progressivement.

7. La tectonique :

La région de Guelma, située entre le littoral et les abords des Hauts plateaux, se caractérise par un dispositif structural assez complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement, à toutes les époques avec le plus d'intensité, les mouvements orogéniques qui ont affecté cette partie de l'Algérie. La région qui correspond à la chaîne de l'Atlas tellien et au Tell dont fait partie la chaîne numidique, se trouve extrêmement tourmentée et on y trouve représentés des exemples d'accidents tectoniques de tous genres. Selon De La Chavane (1910), les effets tectoniques dans la région de Guelma se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et de refoulement intense des plis qui sont en général déversés vers le Sud et le Sud-Est. Ces plis, souvent empilés les uns sur les autres, se chevauchent et se recouvrent à la façon d'écailles imbriquées. Ce phénomène de structure écaillée est fréquent dans la chaîne atlasique. Dans ces plis déversés, les flancs inverses sont le plus souvent supprimés par compression et/ou par étirement.

Les formes synclinales s'observent par endroit, dans les zones plus ou moins épargnées par les effets tectoniques. Quant aux voûtes anticlinales, elles sont assez rares et quand elles existent, elles se trouvent plutôt à l'état de brachy-anticlinaux ou de dômes, structurés en horst et graben.

7.1 Les plis : Les mouvements tectoniques tertiaires et en particulier, les mouvements post-éocène moyen, contemporains des mouvements pyrénéens, paraissent avoir été les plus importants dans cette région. Ils se sont manifestés par des alignements (plis ordinaires, plis déversés, plis imbriqués, dômes en chapelet, affleurements anormaux de Trias en lame et en ellipse à orientation Est-Ouest, légèrement courbés dans la direction Sud Ouest-Nord Est. Certains axes de plissements de direction Nord-Sud, sans doute déjà esquissés et d'âge Hercynien ou Mésozoïque, se mettent à rejouer de nouveau et donnent lieu à des plis posthumes, orientés dans la direction Nord-Sud, mais toutefois moins accentués que ceux de direction sud ouest-nord est. Dans la région de Guelma, les plis d'orientation est-ouest sont représentés au niveau de la chaîne du Taya-Debagh et qui se prolongent vers l'Est par le massif du Bou Zitoun et du djebel El Haouara. Quant aux alignements nord-sud, la boutonnière barrémienne de Guelma et celle du djebel Bou Sba montre un exemple fort démonstratif. Un autre alignement s'observe plus à l'Est, et sa direction paraît être indiquée par les affleurements triasiques du djebel Tifech, de Ras El Alia, de Hammam N'Baïl's et du massif du Nador. Selon De La Chavane (1910), dans ces systèmes d'alignements, l'orientation de chaque tronçon de pli est-ouest tend, en allant vers l'Est, à se courber vers le Nord-Est, en se rapprochant des plis nord-sud. Ils jouent le rôle d'axe de rebroussement. Cet infléchissement successif des tronçons de plis de direction Est-Ouest vers le Nord, détermine la direction générale des lignes orographiques qui sont sensiblement Sud Ouest-Nord Est.

7.2 Contacts anormaux : Différents contacts anormaux marquent la région de Guelma. Ces contacts anormaux peuvent être résumés comme suit :

7.2.1 Les contacts par failles : ce type de contacts par failles s'observe généralement, autour des dômes et des brachy-anticlinaux constitués par les calcaires récifaux éocènes et crétacés de la chaîne du Taya-Debagh. A titre d'exemple, dans les massifs du Taya et djebel El Grar, suite à l'effondrement de la partie centrale du dôme de calcaires récifaux, les retombées périphériques de ce dôme reposent en discordance sur les assises marneuses du Barrémien.

7.2.2 Les chevauchements : ce type de contact est induit d'une part, par le déversement des plis (cas du chevauchement par pli déversé dans le massif de Djebel Bou Sba) et d'autre part, par la montée diapirique des formations du Trias, qui traversent des terrains de différente nature et de différents âges (depuis le Lias jusqu'au Miocène). Les grands accidents tectoniques affectant la région de Guelma ont grandement favorisé la remontée diapirique des masses marno-gypsifères du Trias. Dans la région de Guelma, les intrusions triasiques

chevauchant les autres formations, s'observent dans la vallée de l'oued El Hammam, dans la région du Hammam Bail's, au Fedj Er Reba, au Djebel Tifech et vers le Dekma.

7.2.3 Discordances : Les discordances de la région de Guelma sont essentiellement représentées par la discordance des flyschs sur les formations crétacées et miocènes et la discordance des formations pliocènes sur les formations du Miocène supérieur.

8. Histoire paléogéographique de la région de Guelma :

D'après De La Chavane (1910) et d'après les données géologiques régionales et locales, la région correspondant au bassin de la Seybouse, devait se trouver au début du secondaire complètement immergée. En effet, les importants dépôts triasiques, très développés dans toute cette région et qui en forment pour ainsi dire le substratum, sont représentés par un faciès laguno-marin. Ces dépôts montrent qu'à cette époque une mer peu profonde recouvrait cette région. La mer s'approfondit au cours de l'Infra lias et prend un caractère bathyal assez prononcé pendant le Lias moyen, avec apparition d'une faune renfermant déjà quelques Céphalopodes. Cette époque paraît correspondre à un maximum de transgression marine. Si l'on excepte le Lias, le Jurassique semble faire complètement défaut dans la région de Guelma. L'absence de sédiments de cet âge dans toute la région de Guelma peut être interprétée de différentes manières : soit, leur absence est liée à des phénomènes d'érosion intenses, soit à leur situation en profondeur. La mise à jour des formations triasiques sous-jacentes aux formations jurassiques étant favorisée par des phénomènes de compression mécanique et qui ont engendré la mise en contact directe des formations triasiques avec les terrains crétacés. Les assises jurassiques sont restées en profondeur et seuls quelques lambeaux de calcaires liasiques ont été amenés à jour et noyés dans les marnes triasiques. Au Crétacé inférieur (au Valanginien, Hauterivien et au Barrémien inférieur), le faciès des calcaires récifaux, indique la présence d'une mer peu profonde. Pendant le Barrémien, la mer s'approfondit à nouveau et un vaste géosynclinal occupant à peu près la zone du Tell, favorise le dépôt de sédiments vaseux à faunes bathyales durant tout le Crétacé et une partie de l'Eocène. Les dépôts et la faune de l'Aptien, Vraconnien, Cénomaniens, Turonien et Sénonien témoignent d'une transgression marine qui atteint son maximum au Sénonien. Au Paléocène inférieur, une régression générale de la mer commence à se produire. Le géosynclinal du Tell paraît diminuer de profondeur. Les faunes de l'Eocène indiquent d'une façon générale que la mer occupait approximativement les mêmes régions qu'occupait la mer au Crétacé. Il devait y exister des seuils bas et des hauts fonds, étant donné les très brusques changements latéraux

de faciès qui s'observe dans ces terrains. Les marnes et les calcaires éocènes montrent par endroits un caractère littoral. Ce caractère littoral se trouve traduit par la présence d'assises conglomératiques et de nombreux bancs de phosphates intercalés dans les masses de calcaires à silex, ainsi que par la faune à polypiers et foraminifères. Après cette longue période de repos, des mouvements tectoniques les plus intenses affectent cette région. Ces mouvements ont provoqué des poussées tangentielles du nord vers le Sud, des écaillages et des plissements. Cette phase tectonique est responsable des plissements et des alignements orographiques de direction sud ouest-nord est, qui marque la région de Guelma. Le Miocène débute par une transgression marine, en effet, le Miocène inférieur transgressif contient à sa base des assises détritiques grossières, représentées par des conglomérats à galets de calcaires nummulitiques et de calcaires à inocérames. Au Miocène moyen les dépôts deviennent alternativement marins et lacustres (molasse sableuse, grès et marnes à Hélix) et ensuite au Miocène supérieur, d'abord des sédiments laguno-saumâtres transgressifs (marnes gypseuses et sulfo-gypseuses à faune et poissons d'eau saumâtre et d'estuaire). Enfin, lorsque le phénomène de dessalure devient complet, se déposent des marnes blanches lacustres à faune d'eau douce. La fin du Miocène a été encore marquée par une dernière phase de mouvements tectoniques, toutefois un peu moins intenses que les précédents. Une des conséquences de ces mouvements dans la région de Guelma est marquée par le redressement des dépôts du miocène supérieur. Au début du Pliocène, le relief actuel était sensiblement formé. Le comblement des grandes vallées commence à se produire et se poursuivra jusqu'au début du Pliocène supérieur. A partir du Pliocène supérieur, commence le creusement progressif des vallées et qui se poursuivra jusqu'à nos jours. Dans la région de Guelma, pendant le Pliocène se sont formées, en de nombreux points, des nappes de calcaires travertineux et des carapaces tufacées (De La Chavane, 1910).

Caractéristiques climatiques du bassin de la moyenne Seybouse

1. Introduction :

Les conditions climatiques (précipitations, température, évapotranspiration) plus d'autres facteurs (lithologie, morphologie, couvert végétal.....etc.) jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettent une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

2. Analyse des données climatiques :

2.1 Les précipitations :

L'ensemble des données pluviométriques de base est mis à notre disposition par l'Agence Nationale des ressources hydrauliques (ANRH). Nous avons retenu 11 postes pluviométriques

La constitution d'une série de valeurs, constituant un échantillon au sens statistique du terme, est un processus long et au cours duquel de nombreuses erreurs, de nature fort différentes, sont susceptibles d'être commises. Des erreurs peuvent en effet être introduite lors de l'une des quatre phases du déroulement classique des opérations, à savoir : la mesure ; la transmission de l'information ; le stockage de l'information et le traitement de l'information (prétraitement et analyse). Il est donc indispensable, avant d'utiliser des séries de données, de se préoccuper de leur qualité et de leur représentativité en utilisant diverses techniques en général de type statistique ou graphique.

2.1.1 Constitution des données manquantes :

Le travail a consisté à combler les lacunes contenues dans les séries de mesures. En effet, des lacunes et discontinuités dans les séries chronologiques des pluies ont été remarquées pendant certaines années ou mois d'une année. Le but recherché est la préparation d'un échantillon de pluie moyenne mensuelle et annuelle du bassin de la moyenne Seybouse (Guelma) afin de dégager les caractéristiques climatiques de la région. Par ailleurs il faut résoudre le problème du choix de la période d'homogénéisation, car il est préférable que la période soit recouverte par un nombre déjà appréciable de stations. Pour cela nous avons choisi de travailler sur une période qui s'étale entre 1985 et 2005. Cette période est couverte par les 11 stations.

Par la méthode de la corrélation linéaire, nous avons essayé de reconstituer par extrapolation les données manquantes dans les stations pourvues de lacunes. Cette méthode consiste à estimer une valeur manquante d'une série pluviométrique lacunaire à partir des observations d'une autre station de série homogène, voisine prise comme référence. Ainsi l'extension des séries courtes à l'aide de la série de base. Pour que cette méthode soit efficace, il faut que la régression soit linéaire et que les variables confrontées suivent une loi normale, si la corrélation est significative, on estime la variable (Y) à partir de la variable (X) par la droite :

$Y = aX + b$. Y : Valeur à estimer. a : Pente de la droite. b : Constante.

$$a = \frac{\sum x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - N \bar{x}^2} \quad b = \bar{y} - a \bar{x}$$

Pour mesurer l'intensité de corrélation, nous calculons le coefficient de corrélation linéaire (r) à partir de l'équation suivante :

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Le calcul est rendu aisé par l'utilisation de l'ordinateur. Nous avons établi une matrice de coefficient de corrélation, calculée pour l'ensemble des stations prises deux à deux et ce, pour les moyennes des précipitations annuelles et mensuelles. Les coefficients de corrélation ne sont pas toujours représentatifs. Aussi le degré de corrélation est différent d'un mois à l'autre ou d'une saison à l'autre.

On décidera si «r» est significatif en fonction du nombre de couples utilisés pour sa détermination, pour cela on utilise la table de Fisher des valeurs critiques du coefficient de corrélation avec un nombre de degré de liberté $K = N - 2$ (N : nombre de couple utilisés). La table de Fisher donne directement la valeur critique minimale que doit atteindre le «r» calculé pour être significatif.

Nombreuses sont les stations qui présentent des lacunes de plusieurs mois dans l'année, ou carrément, dans l'année entière dans ce cas nous procédons selon la démarche de P. Dubreuil (1974). Si la linéarité existe, la méthodologie d'extension s'adapte comme suit :

1. l'extension est faite selon les équations précédentes.

2. Nous établissons ensuite graphiquement les liaisons linéaires ; entre séries mensuelles ou annuelles « Y » à étendre et « X » de base, ceci pour la période commune.
3. nous estimons point par point sur la droite de régression la valeur de la série « Y » non observée où le coefficient de corrélation est significatif.
4. La somme des valeurs est reconstituée par mois afin d'obtenir les valeurs annuelles correspondantes.
5. Nous confrontons enfin pour chaque année de la période étendue le total annuel P_j obtenu directement ci-dessus et le total annuel P_j obtenu par sommation des valeurs mensuelles ; puis nous corrigeons ces dernières valeurs du produit P_j / P'_j afin de les rendre homogènes avec l'estimation globale de P_j faite à l'échelle annuelle.

2.1.2 Variation spatio-temporelle des précipitations :

2.1.2.1 Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin :

Parmi les méthodes généralement proposées pour calculer la moyenne des pluies à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité, nous distinguons les méthodes de la moyenne arithmétique, des polygones de Thiessen ou l'utilisation d'isohyètes. Le choix de la méthode dépendra notamment de la longueur de la série de données dont nous disposons, la densité du réseau de mesure et la variation du champ pluviométrique.

A) La méthode des isohyètes :

Les isohyètes sont des lignes de même pluviosité (isovaleurs de pluies annuelles, mensuelles, journalières, etc.). Grâce aux valeurs pluviométriques acquises aux stations du bassin et aux autres stations avoisinantes, nous pouvons tracer le réseau d'isohyètes. L'élaboration de la carte d'isohyète avec la série corrigée et homogénéisée (1985-2005), la mise en œuvre s'est heurtée à l'absence des stations dans la partie sud du bassin, après avoir tracé la carte d'isohyètes (figure 10). La pluie moyenne a été calculée et représente **639.7 mm** selon la formule suivante:

$$P_{\text{moy}} (\text{mm}) = P_n * S_n / S$$

Avec :

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin (mm).

S : surface totale du bassin.

P_n : la moyenne arithmétique des valeurs de ces deux isohyètes.

S_n : surface entre deux isohyètes.

Tableau 8 : Estimation de lame d'eau précipitée sur le bassin par la méthode des isohyètes (1985 – 2005).

Tranches des pluies (mm)	P_n (mm) (Moyenne arithmétique)	S_n (Surfaces partielles)		Volumes partiels $P_n \cdot S_n$ (mm . km ²)
		Km ²	%	
760-780	770	6	0.78	4620
740-760	750	14.7	1.9	11025
720-740	730	28.7	3.71	20951
700-720	710	33	4.28	23430
680-700	690	43	5.57	29670
660-680	670	92	11.93	61640
640-660	650	120	15.56	78000
620-640	630	136	17.64	85680
600-620	610	160.5	20.82	97905
580-600	590	84	10.89	49560
560-580	570	48.5	6.29	27645
540-560	550	5.5	0.7	3025
Totale du bassin	-	770.9	100	77090

Le milieu du bassin est marqué par des isohyètes biens espacés, ce qui indique une précipitation uniforme. Une augmentation des précipitations est observée vers les hauteurs, par exemple à Hammam N'bail au Sud –Est du bassin (altitude 460 m) avec une moyenne de 698.9 mm et à Bouati Mahmoud (altitude 750 m) avec une moyenne de 982 mm dans le Nord.

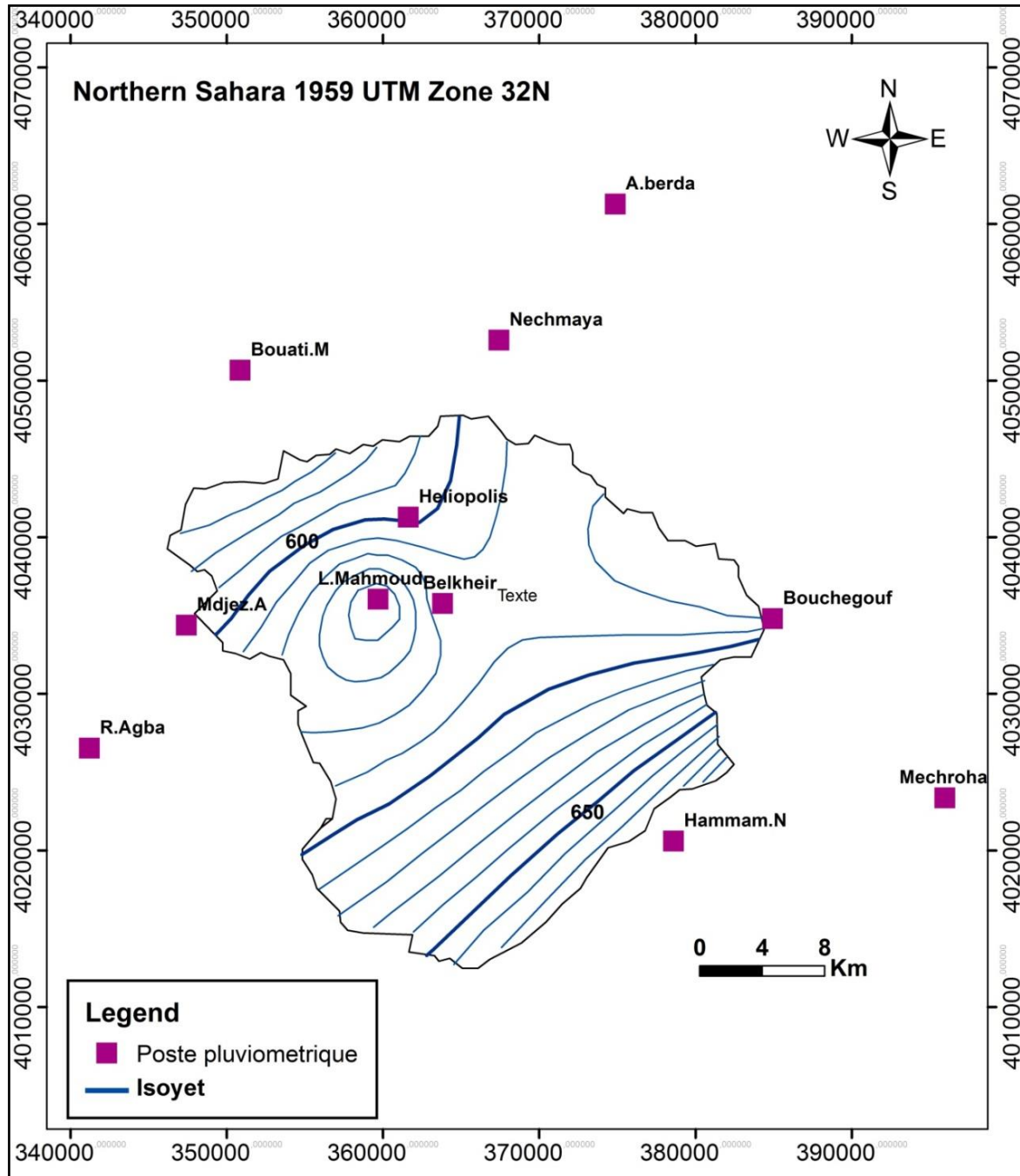


Figure 10 : Carte des isohyètes du bassin versant de la moyenne Seybouse.

B) La moyenne arithmétique :

La méthode la plus simple pour le calcul de la moyenne arithmétique des valeurs obtenues aux stations étudiées s'applique uniquement si les stations sont bien réparties et si le relief du bassin est homogène. Cette méthode est souvent peu recommandée, car peu représentative. Il

faut lui préférer des méthodes graphiques (tracé d'isohyètes) ou statistiques qui permettent de donner un poids différent à chacun des points de mesures (moyennes pondérées).

D'où : $P = \sum P_i / N = 643 \text{ mm}$. P_i : précipitation au poste i

N : Nombre des postes.

2.1.2.2 Variation temporelle des précipitations :

L'irrégularité est le caractère des précipitations annuelles au niveau du bassin de la moyenne Seybouse, cette irrégularité peut être enregistrée à deux niveaux :

2.1.2.2.1 L'échelle locale (au niveau de la même station) :

Aux variations spatiales des précipitations annuelles s'ajoutent des variations temporelles qui restent, toutefois moins marquées qu'à l'échelle mensuelle. Le phénomène de variabilité inter annuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation (C_v) traduisant la dispersion relative des pluies. Les valeurs du coefficient de variation relatives à la période (1985-2005) pour quelques stations importantes du bassin (Tableau 10), oscillent entre 0.28 et 0.45, ce qui implique une variabilité assez faible dans l'ensemble, par rapport à la variabilité des précipitations mensuelles qui s'exprime parfois par un coefficient de variation 10 fois plus élevé. Il est à remarquer que la variabilité inter annuelle est légèrement plus forte dans la station de Mechroha (0.45). La forte variabilité inter mensuelle des précipitations, apparaît à travers les valeurs élevées des coefficients de variation mensuelle (tableau 9). Les plus fortes valeurs concernent les mois d'été où il est compris entre 0.48 et 2.5. Une variabilité aussi marquée en été s'explique par une indigence pluviométrique des mois secs d'été qui sont parfois parsemées par de vifs orages.

Tableau 9: moyenne, écart - type et coefficient de variation des séries pluviométriques (1985-2005).

Stations		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Belkheir	P	40,3	36,7	75,1	84,9	77	67	52,8	67,6	51	19,6	3,5	13	588,5
	$\bar{\sigma}$	26,8	30,9	66,2	55,69	44,2	47,3	30,1	48,1	38,61	22,57	4,53	16,79	163,5
	c,v	0,66	0,84	0,88	0,65	0,57	0,7	0,57	0,71	0,75	1,15	1,3	1,29	0,28
Lycie Guelma	P	36,5	41,4	65,4	80,65	72,7	62,81	47,73	54,67	48,63	19,05	4,11	12,22	545,9
	$\bar{\sigma}$	22,51	35,61	53	50,28	42,38	46,74	25,88	35,98	35,49	25,63	7,39	14,39	157,65
	c,v	0,61	0,85	0,81	0,62	0,58	0,74	0,54	0,65	0,73	1,3	1,79	1,17	0,29
Héliopolis	P	35,32	52,7	73,1	93,49	92,31	63,44	51,98	63,43	43,48	18,26	6,03	9,89	603,4
	$\bar{\sigma}$	26,2	57,06	64,9	66,78	53,02	50,1	31,22	45,66	34,82	20,36	10,73	12,88	197,72
	c,v	0,74	1,08	0,88	0,71	0,57	0,78	0,6	0,72	0,8	1,11	1,77	1,3	0,33
	P	35,72	44,23	71,5	92,31	88,04	69,77	53,27	61,34	39,9	18,32	4,57	12,4	591,3
Nechemaya	$\bar{\sigma}$	24,86	31,05	65,8	66,62	56,68	59,87	39,3	44,75	40,52	26,84	7,7	14,6	207,94
	c,v	0,69	0,7	0,92	0,72	0,64	0,85	0,73	0,72	1,01	1,46	1,68	1,17	0,35
Ain El Berda	P	42,62	45,74	80,6	103	98,59	69,13	53,67	65,63	44,36	14,12	2,79	7,82	628,1
	$\bar{\sigma}$	36,17	29,04	64,4	58,93	47,84	45,76	33,43	39,59	40,65	16,87	4,14	8,46	182,21
	c,v	0,85	0,63	0,8	0,57	0,48	0,66	0,62	0,6	0,91	1,19	1,48	1,08	0,29
Mdjez.Amar	P	41,68	41,76	71,7	95,42	91,98	65,16	54,02	60,04	43,18	21,12	6,4	17,88	610,3
	$\bar{\sigma}$	29	29,99	61,3	65,95	57,44	53,74	27,39	50,2	37,91	26,39	8,85	24,11	189,08
	c,v	0,69	0,72	0,85	0,69	0,62	0,82	0,5	0,83	0,88	1,24	1,38	1,35	0,31
Ras El Agba	P	37,5	31,8	74,2	88	66,7	64,4	45,6	48,8	51,9	29,4	7,5	18,7	564,5
	$\bar{\sigma}$	20,42	27,42	60,9	66,75	56,64	54,61	26,61	24,02	41,54	28,7	10,61	27,21	174,52
	c,v	0,56	0,87	0,84	0,77	0,84	0,86	0,58	0,5	0,8	0,97	1,42	1,42	0,31
Boucheougouf	P	34,5	42,4	65	83,9	84,7	61,2	57,2	62,7	49,1	17,3	3,3	14,5	575,8
	$\bar{\sigma}$	28,42	34,82	52,1	57,14	53,9	46,91	35,31	34,06	52,92	21,83	4,83	19,77	181,5
	c,v	0,82	0,82	0,8	0,68	0,64	0,76	0,61	0,54	1,08	1,26	1,47	1,36	0,31
Mecheroha	P	42,4	57,4	109	120,9	154,6	124,7	141,2	107,9	84,9	30,65	2,1	6,6	982
	$\bar{\sigma}$	47,24	55,86	80,7	96,67	92,36	111,9	87,39	65,68	75,39	31,81	5,53	13,74	438,99
	c,v	1,11	0,97	0,74	0,8	0,6	0,9	0,62	0,61	0,9	1,4	2,56	2,07	0,45
Hamam N'bail	P	34,8	43,7	72,4	112,4	107,1	73,9	72,2	73,4	68,3	24	2,4	14,3	698,9
	$\bar{\sigma}$	28,62	40,83	57,5	96,78	69,13	62,31	43,55	50,19	62,07	30,48	4,66	17,49	249,58
	c,v	0,82	0,93	0,78	0,86	0,65	0,84	0,6	0,68	0,91	1,27	1,96	1,22	0,36

2.1.2.2.1 A l'échelle régionale (Inter-Stations) :

Afin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de « l'écart à la moyenne » correspondant à l'excédent ou au déficit des précipitations de l'année considérée, rapporté à la moyenne de 20 ans. Cet écart est calculé par l'équation suivante:

$$Ei (\%) = (Pi - Pn / Pn). 100 \quad \text{Avec:}$$

Ei : écart à la moyenne, Pn : module pluviométrique moyen, Pi : total de l'année considérée.

L'écart à la moyenne (tableau 10), varie pour les années de plus forte pluviosité, de +93 % à Mechroha à +40 % à Bouati Mahmoud. Ces années sont enregistrées après l'année 2000-2001 pour la majorité des postes. Les années de plus faible pluviosité sont enregistrées avant l'années 2000-2001 et notamment l'année 1996-1997 pour la majorité des postes, l'écart à la moyenne de ces années sèches oscille entre -86 % à Hammam N'bail et - 41 % à Bouchegouf et Ain El Berda.

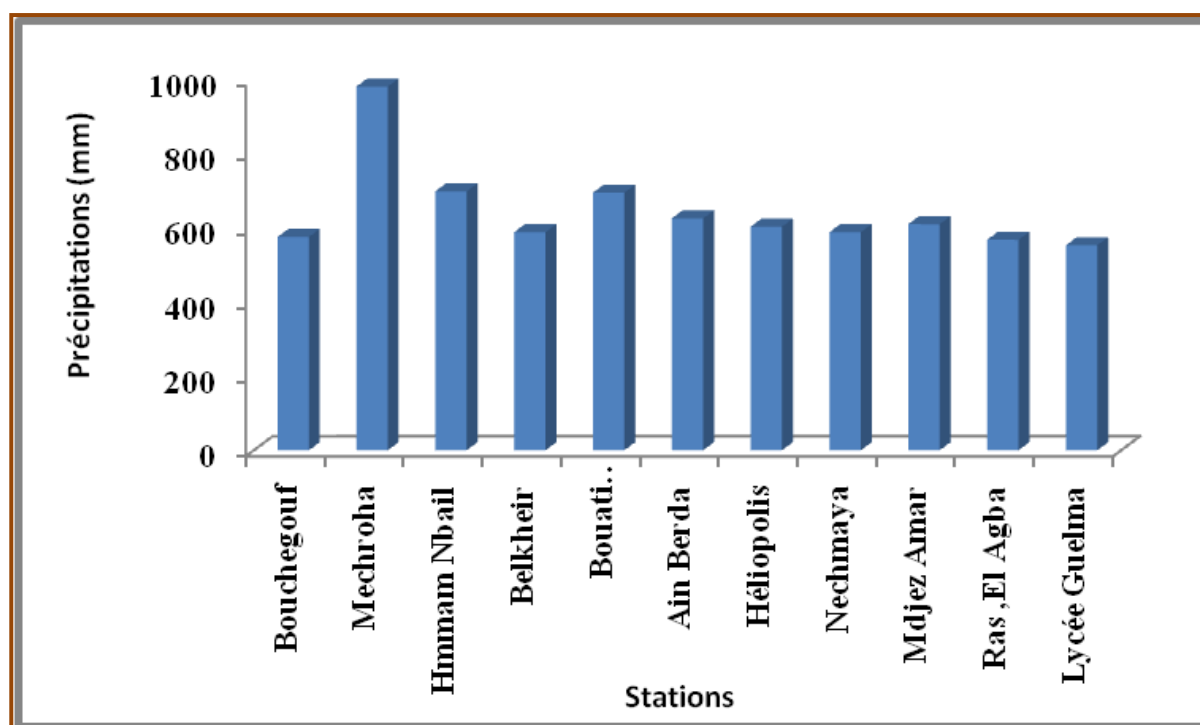


Figure11: Précipitations moyennes annuelles aux stations pluviométriques du bassin de la moyenne Seybouse (1985-2005).

Tableau 10 : Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques du bassin versant de la moyenne Seybouse.

Station		Année humide extrême		Année sèche extrême		Années >moy
		Moyenne	E _i %	Année homologue	E _i %	Année homologue
Belkheir	588,6	47	(03-04)	-55	(96-97)	10
Lycie Guelma	545,9	48	(02-03)	-55	(96-97)	11
Héliopolis	603,4	75	(04-05)	-57	(96-97)	10
Bouati.Mahmoud	695,2	40	(86-87)	-43	(96-97)	10
Mdjez.Amar	610,3	55	(02-03)	-48	(96-97)	10
Ras .Agba	564,5	50	(02-03)	-43	(99-00)	6
Nechmaya	588,7	64	(86-87)	-70	(01-02)	11
Ain.El Berda	625,8	55	(02-03)	-41	(01-02)	9
Bouhegouf	575,8	63	(02-03)	-41	(93-94)	8
Mechroha	982	93	(04-05)	-70	(87-88)	9
Hammam.N'bail	698,9	64	(03-04)	-86	(00-01)	8

2.1.2.3 Précipitations mensuelles et le régime saisonnier :

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là même le régime des cours d'eau, l'érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension ainsi que la recharge des nappes. Les données des précipitations moyennes mensuelles relatives à la période de 20 ans (1985-2005) pour l'ensemble des 11 stations les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques traduisent clairement les variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle (tableau 11). Ainsi, nous pouvons distinguer deux saisons distinctes : la première sèche caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué et qui correspond à la saison d'été (juin, juillet, août) ; la deuxième humide et s'étale sur le reste de l'année. Cependant, il faut souligner que cette période pluvieuse est aussi marquée par une succession de mois humides et de mois relativement secs.

Tableau 11 : Précipitations moyennes mensuelles à toutes les stations (1985/2005).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitation (mm)	37,7	44,3	76,2	95,4	94,7	71,2	63,2	65,9	52,6	20,7	4,3	11,6
Moyenne (mm)	52,7			87,1			60,5			12,2		

L'observation de l'histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (figure11) durant cette période affiche une valeur maximale des précipitations mensuelles au mois de Décembre de 95.4 mm. Alors que la valeur minimale, observée au mois de Juillet, est de l'ordre de 4.3 mm.

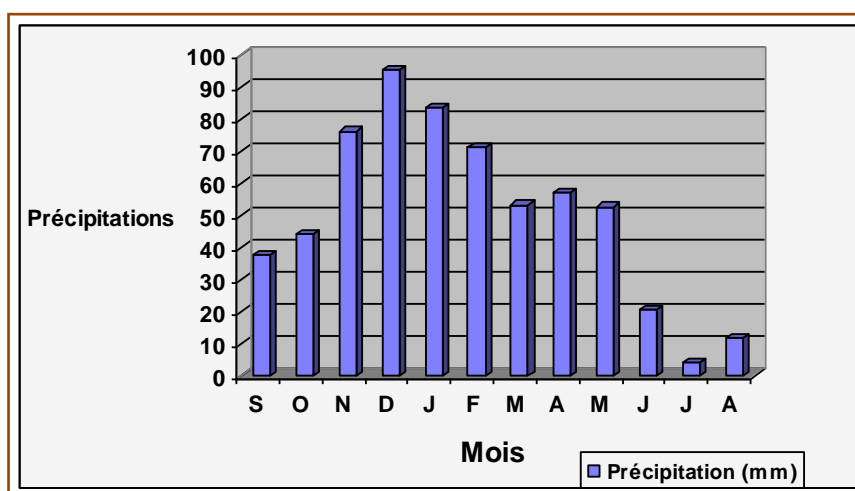


Figure 12: Variations des précipitations mensuelles à la station de Belkheir (1985–2005).

3. Etude du régime thermique :

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation)

biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et

saisonnier. Nous disposons des données de températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (période 1985 – 2005) (tableau 12).

Tableau 12: Température moyenne mensuelle de la station de Guelma 1985/2005.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT
T (c°)	24.1	20.12	14.63	11.03	9.72	10.23	12.39	14.56	18.58	23.14	26.76	27.65

Ce tableau nous indique que la zone d'étude est caractérisée par un climat doux et humide en hiver, chaud et sec en été, ces caractéristiques indiquent un climat méditerranéen.

Les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées pendant la période d'été (Juin à Octobre), avec des températures variantes de 20 à 27.65 °C. Par contre les températures les plus basses (9 à 12.4 °C) sont observées pendant la période d'hiver (décembre à Mars), avec un minimum au mois de Janvier (9.72 °C) (figure 13).

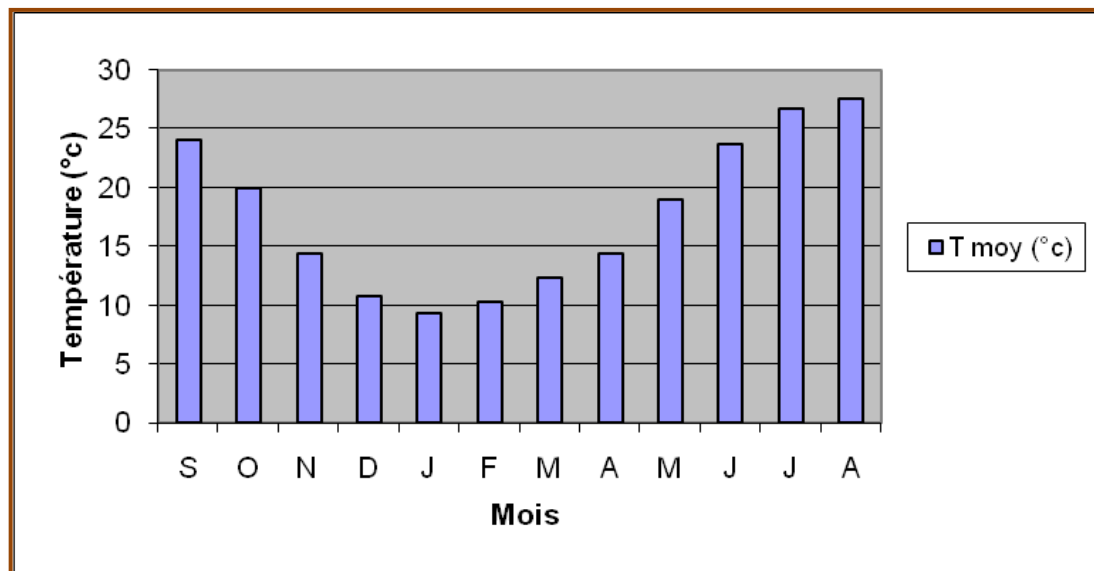


Figure 13 : variation des températures mensuelles dans la station de Belkheir.

4. Bilan hydrologique:

Le bilan permet d'évaluer les apports et les sorties en eau sur une période déterminée. L'évaluation du bilan d'eau est nécessaire aux paramètres physiques du milieu tels que les éléments climatologiques, pédologiques qui interviennent dans le cycle de l'eau. Le calcul de ce bilan est nécessaire pour la connaissance du milieu géographique, pour mieux définir les besoins globaux et chiffrés du milieu et essentiellement pour l'évaluation du volume des ressources en eau souterraine (infiltration) et de surface (ruissellement). Le bilan hydrologique d'un bassin peut se traduire par l'équation suivante :

$$P = ETR + I + R + \Delta RFU$$

Avec :

P : Lamme moyenne précipitée sur le bassin versant en mm

Le terme d'évapotranspiration désigne la quantité de vapeur d'eau rejetée dans l'atmosphère tant par évaporation directe au niveau du sol lui-même que par transpiration des organes aériens des plantes. L'étude de l'évapotranspiration exige que soient définis deux concepts essentiels : l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cette dernière est apparue en particulier avec les travaux de Thornthwaite et se définit comme représentant la quantité d'eau disponible sous forme d'humidité du sol, suffisante pour que les plantes puissent maintenir leur taux de transpiration à un niveau maximal.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm. L'évapotranspiration réelle correspond à la quantité d'eau effectivement évapo-transpirée au dessus de la surface étudiée. L'ETR dépend de la lame d'eau stockée dans le sol et la pluviosité.

R : Ruissellement en mm,

ΔRFU : Variation de la réserve facilement utilisable, c'est-à-dire de la lame d'eau stockée dans le sol, utilisable par les plantes. La RFU commence à alimenter l'ETR quand les précipitations deviennent inférieures à l'ETP.

L'excédent (**EXC**), différence positive, par définition, entre la précipitation et l'évapotranspiration réelle, correspond au surplus des précipitations qui peut ruisseler ou s'infiltrer : l'excédent est assimilé à la pluie efficace, cette notion diffère d'un auteur à l'autre. En hydrogéologie la pluie efficace (Pe) est parfois confondue avec l'infiltration. En hydrologie par contre, la pluie efficace (Pe) correspond à la partie qui alimente les cours d'eau. L'excédent (EXC) correspond à la somme des précipitations ruisselées et infiltrées

Le non-équipement des stations météorologiques utilisées pour la détermination de certains paramètres, nous oblige à utiliser la méthode de Thornthwaite basée sur les données fournies par la station de Belkheir. Nous avons retenu une période de 20 ans (1985-2005), période d'observation relativement longue 20 ans.

4.1 Evapotranspiration

Au cours de travaux sur la croissance des végétaux, Thornthwaite, botaniste et climatologue Américain (*in* Brochet & Gerbier, 1975), avait noté que les échanges d'eau entre la plante et

l'atmosphère conditionnaient pour une grande part la croissance du tissu végétal. L'évapotranspiration potentielle correspond à une alimentation hydrique optimale des végétaux. Pour le calcul de l'évapotranspiration, nous pouvons utiliser l'une des méthodes suivantes :

- i) la méthode Thornthwaite (1948), Thornthwaite & Mather (1955) ont relié l'évapotranspiration potentielle (ETP) à des paramètres facilement accessibles : la température moyenne de l'air et la durée théorique de l'insolation.
- ii) la méthode de Penman (1950) prend en compte quatre facteurs principaux qui agissent sur l'ETP : la température de l'air, la radiation solaire, l'humidité et le vent.
- iii) la méthode de Turc (1954, 1961) utilise uniquement deux variables : la température et la durée d'insolation.

4.1.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon la méthode Thorntwaite :

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

Dans un premier temps pour chaque mois et par la formule donnée, nous devons calculer (ETP) qui est fonction de la température moyenne (t) et de l'indice thermique annuel (tableau 13).

$$ETP = 16. (10t/I)^a \cdot K \quad \text{dont: } I = \sum i, \quad i = (t/5) \text{ et } a = (1, 6. I/100) + 0,5$$

Avec :

I : indice thermique annuel, égal à la somme de douze indices mensuels.

i : indice thermique mensuel.

t : les températures moyennes mensuelles du mois considéré en °C.

Tableau 13: distribution mensuelle interannuelle de l'ETP (station Guelma 1985-2005).

Mois	Sep	Oct	Nov.	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	Total
Paramètre													
ETP (mm)	117.2	72.75	42.25	18.51	15.3	17.96	33.41	50.7	91.14	137.53	180.06	192.28	968.9

4.1.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

4.1.2.1 Calcul de l'ETR selon la formule de Thornthwaite :

Pour le calcul de l'ETR Thornthwaite a considéré deux cas :

1- Pour un mois $P \geq ETP$, on pose $ETP = ETR$, la quantité d'eau qui reste ($P-ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur, il y'aura un excédent (EX) qui va partir sous forme d'infiltration efficace vers la nappe soit sous forme de ruissellement.

2- Pour un mois $P < ETP$ la valeur de $ETP = P + RFU$ jusqu'à l'égalisation avec ETP.

Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $DA = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin de culture à l'irrigation.

4.1.2.2 Calcul de l'ETR selon la formule de Turc :

La formule se base sur les données des températures moyennes annuelles et les précipitations moyennes annuelles pour le calcul de l'ETR. Avec : $ETR = P / (0,9 + P^2/L^2)^{0,5}$

L : pouvoir évaporant $= 300 + 25t + 0,05t^3 = 1022,64$.

T : température moyenne annuelle $= 17.74$ °C.

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

4.1.2.3 Interprétation des résultats (ETR) :

Les résultats donnés par la méthode de Turc sont obtenus en appliquant des formules empiriques, tandis que l'ETR selon Thornthwaite est déduit après le calcul des différents paramètres du bilan de l'eau (ETR, RFU....., etc.), ce qui donne des résultats plus proche de la réalité.

Tableau 14 : Résultats de l'ETR selon Thornthwaite et Turc.

Formule	ETR d'après Thornthwaite	ETR d'après Turc
Station		
Guelma	447.6 mm	538.43 mm

4.2 Le bilan hydrique à la station de Guelma selon la méthode de Thornthwaite:

L'établissement du bilan hydrique nous a permis de dégager les résultats suivants :

L'évapotranspiration maximale a été observée au mois de Juillet et Août pour les valeurs de 180 et 192 mm, ce qui produit un déficit agricole de 176 et 179 mm et nécessite l'irrigation des cultures en général à partir de Juin et ce jusqu'au mois d'Octobre, période au cours de la quelle la réserve utile dans le sol est épuisée (tableau 15). Par contre, pendant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril, nous observons une recharge de la nappe. Au mois de Janvier, la réserve du sol étant reconstituée et l'évapotranspiration potentielle satisfaite, un début d'écoulement se crée et se prolonge jusqu'au mois d'Avril

Tableau 15 : le bilan hydrique selon Thornthwaite :

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	TOTAL
P (mm)	40.29	41.79	75.14	84.92	87.8	62.66	52.94	67.81	51.03	19.58	3.48	13.3	600.74
T (°C)	24.1	20.12	14.63	11.03	9.72	10.23	12.39	14.56	18.58	23.14	26.79	27.65	212.94
K	1.05	0.91	0.95	0.7	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.34	/
I	10.58	8.07	5	3.27	2.71	2.92	3.9	4.97	7.16	9.95	12.4	13	83.93
ETP (mm)	117.1	72.75	42.25	18.51	15.3	17.96	33.41	50.07	91.14	137.53	180.06	192.28	968.9
ETR (mm)	40.29	41.76	42.25	18.51	15.3	17.96	33.41	50.7	91.14	79.47	3.48	13.3	447.6
RFU (mm)	0.00	0.00	32.89	99.3	100	100	100	100	59.89	0.00	0.00	0.00	/
EX (mm)	0.00	0.00	0.00	71.8	44.7	19.53	17.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	153.14
DA (mm)	76.72	30.96	0.00	0.00	0	0	0	0	0	58.06	176.53	178.98	521.25

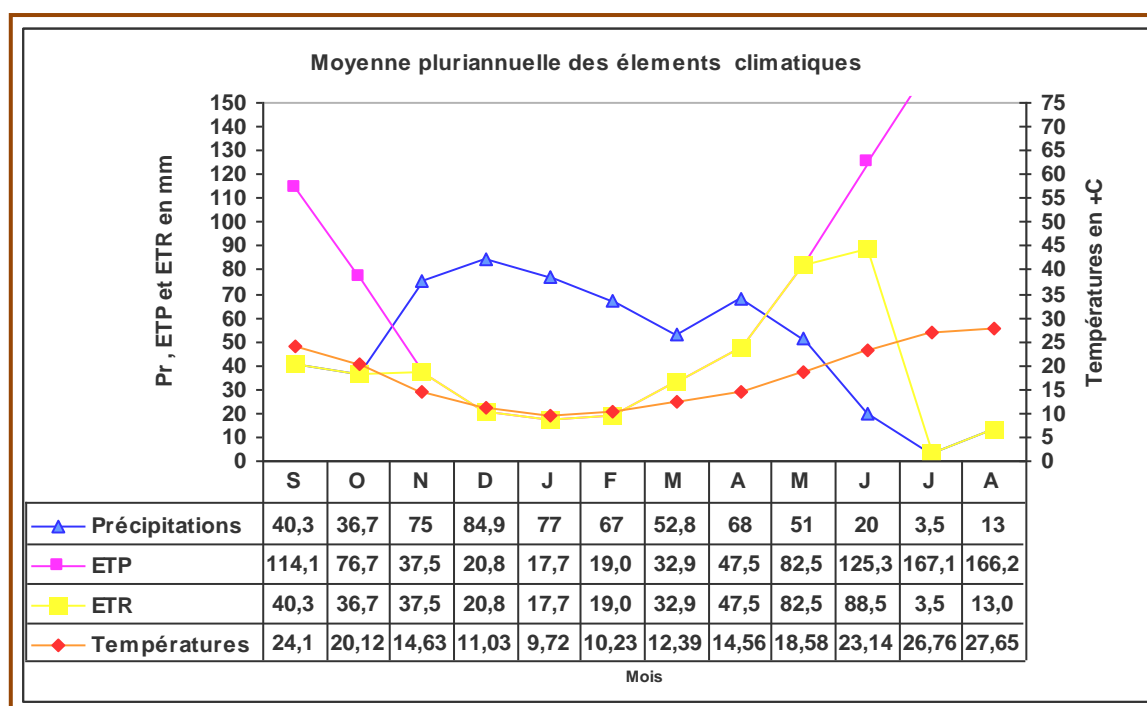
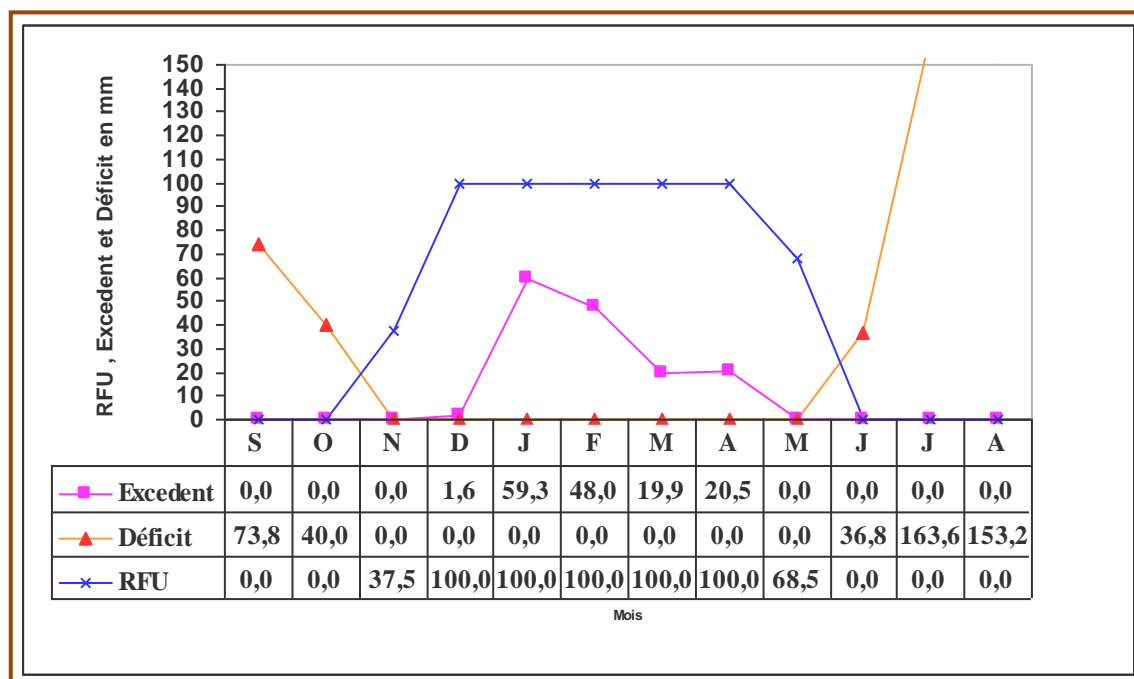


Figure 14: Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite à la station de Guelma.

Conclusion :

La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne des Maghrébides de l'Algérie orientale. l'Hydrogramme à l'exutoire dépend étroitement de la forme du bassin Le bassin versant de la moyenne Seybouse est caractérisé par une forme allongée ($K_G=1.35$), La dénivelée spécifique, égale 483.93 m, donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M indique un relief du bassin fort. Le temps de concentration dans le sous bassin versant est d'environ quatre (4) heures, quand ce temps de concentration est atteint, ceci signifie que toutes les régions du bassin participent au débit. La densité de drainage (2.92 km / km²) et la densité hydrographique(5,15) deux facteurs allant souvent de paire. Pour ce cas les deux valeurs obtenues indiquent un sous bassin versant moyennement imperméable.

Les terrains du bassin versant de la moyenne Seybouse dans la région de Guelma sont variés et leur âge oscille entre le Trias et le Quaternaire. La géologie du bassin Guelma comprend (1) une formation néritique autochtone d'âge crétacé, composée principalement par une formation calcaire épaisse et massive (Toubal, 1984); (2) la nappe tellienne composée de marnes et calcaires du Crétacé; (3) La formation du flysch mauritanien d'Ain Berda , l'âge varie du Cénomanién à l'Oligocène, est composée de divers lithologies: brèche, de la marne, schiste, calcaire et de grès micacé; (4) la " Dorsale Kabyle " est composée de deux unités: unité inférieure (Néocomien à Eocène) constituée de formations pélagiques et une unité supérieure (de l'Éocène à l'Oligocène) composée de formations à caractère néritique; (5) le flysch Massylien du Crétacé est constitué de grès, schiste et marnes; et enfin (6) le flysch numidien composé de grès d'âge oligo-miocène . La majeure partie de ces roches sédimentaires est recouverte par des formations du Miocène, du Pliocène et par une couverture quaternaire de sable, de gravier et d'alluvions. La formation Triasique est observée quelques kilomètres au Sud de la ville Bouchegouf.

Le sous-bassin de la moyenne Seybouse est caractérisé par une irrégularité mensuelle et annuelle des précipitations. L'évapotranspiration maximale a été observée au mois de Juillet et Août pour les valeurs de 180 et 192 mm, ce qui produit un déficit agricole de 176 et 179 mm et nécessite l'irrigation pour les cultures dont la période commence en général à partir de Juin et se poursuit jusqu'au mois d'Octobre, période au cours de laquelle la réserve utile dans le sol est épuisée. Par contre, pendant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril, nous observons une recharge de la nappe. Au mois de Janvier, la réserve du sol étant reconstituée et l'évapotranspiration potentielle satisfaite, l'écoulement de surface apparaît et l'eau dans les oueds coule jusqu'au mois d'Avril.

Partie II

**Diagnostic quantitatif de
la ressource en eau dans le
bassin versant de la moyenne
Seybouse.**

Diagnostic quantitatif de la ressource en eau dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.

1. La ressource en eau souterraine du bassin de la moyenne Seybouse.

L'étude hydrogéologique d'un bassin est nécessaire pour la détermination des différents aquifères existants et pour une meilleure connaissance des différentes formations qui les constituent.

L'identification des aquifères et la détermination de leur caractéristiques hydrogéologiques permettent d'avoir une idée sur les potentialités en eau souterraine de la région.

La région de Guelma est constituée par des terrains sédimentaires d'âge crétacé, oligocène, mio-pliocène et quaternaire. Le fond du bassin est occupé par une plaine alluviale correspondant à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats, marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres. Les formations numidiennes se développent largement au Sud de Guelma en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sédrata. Ce sont surtout les calcaires yprésiens qui dominent, viennent ensuite les grès numidiens du flanc est de la Mahouna, les séries de marnes et de marno-calcaires et les argiles. L'ensemble est fortement tectonisé. Entre Medjez Ammar et la localité de Ben Tabouche apparaissent les marno-calcaires (Crétacé supérieur). L'oued Seybouse, en creusant dans la même série, a mis à jour trois petites sources, dont le débit varie de 1 à 2 l/s. C'est un indice de la présence d'une nappe de faible importance. Les bandes de calcaires yprésiens de la région sud de Guelma affleurent largement jusqu'à Sédrata. Ces calcaires sont fortement fissurés, ce qui favorise la constitution des ressources en eau importantes, qui sortent à la faveur de plusieurs sources d'assez fort débit, telle que la source de l'oued Halia dont le débit est de 60 l/s (service de l'hydraulique Guelma). Le fort débit de ces sources indique une circulation des eaux souterraines assez importante au niveau des bandes calcaires. Au Nord d'Héliopolis, El Fedjoudj et Guelaat Bousbaa, affleurent des formations marneuses et schisteuses imperméables, alors qu'à l'Ouest de cette zone, s'élèvent les calcaires sénoniens du djebel Debar et Taya, où l'infiltration est probablement importante. Il est possible que la source de Hammam Bradaa (100 l/s), soit une résurgence issue de ces formations. Cette source est déjà captée pour l'alimentation de Guelma et d'Héliopolis. Le centre du bassin est occupé par les dépôts quaternaires formant plusieurs terrasses. La dépression de Bouchegouf est encadrée à l'Ouest et au Nord par des grès, au Sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses

et au centre elle est comblée par les alluvions, déposées par la Seybouse et qui forment trois terrasses : haute, moyenne et basse (figure 15).

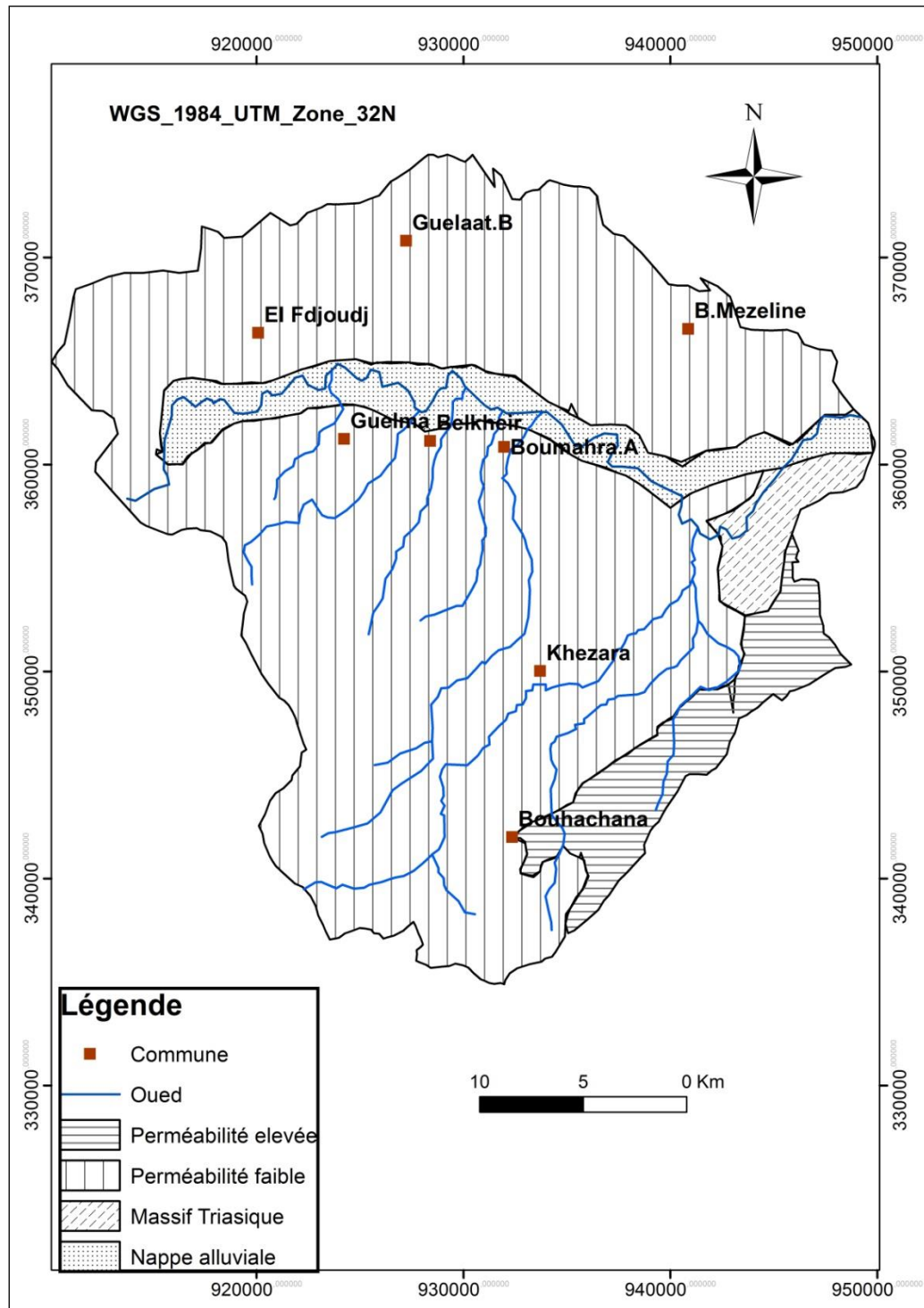


Figure 15 : Zones hydrogéologiques dans le bassin de la Seybouse (D'après Ghachi)

A la base de cette description des différentes unités géologiques, le bassin de Guelma présente plusieurs ensembles lithologiques caractérisant des zones hydrogéologiques différentes. Au Sud, les formations calcaires fracturées favorisent l'infiltration et la formation de nappes

aquifères. Sur la rive gauche de la Seybouse, nous rencontrons des formations où l'infiltration est très faible à cause formations lithologiques moins perméables. Enfin nous distinguons deux systèmes aquifères différents, le premier se localise au centre du bassin versant et est constitué d'alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, marnes et limons) à forte perméabilité. Cet aquifère représente la nappe alluviale de Guelma. Le deuxième aquifère représente la nappe des calcaires de Hammam Bradaa. Ces deux aquifères renferment la principale ressource en eau souterraine du bassin versant de la moyenne Seybouse.

1.1 La plaine alluviale de Guelma :

Elle est située dans la vallée de l'Oued Seybouse. Elle est traversée par l'oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Ammar jusqu'à Nador. C'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts miocènes (argiles et marnes à gypse) et quaternaires (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses). Ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et les apports latéraux du bassin versant de l'oued Seybouse. Elle est constituée de trois terrasses distinctes (basses, moyennes et hautes) (figures 15 et 16).

1.1.1 Description hydrogéologique de la nappe alluviale.

Des coupes hydrogéologiques ont été dressées afin de visualiser la géométrie et la structure de la nappe aquifère.

1.1.2 Coupe hydrogéologique Nord-Sud(d'après Gaud):

Cette coupe est d'orientation Nord – Sud (figure16) traverse la ville de Belkheir à l'Est. Nous observons presque les mêmes ensembles aquifères :

Les alluvions grossières (cailloutis et sable), d'une épaisseur de 15 m environ, forment la basse terrasse, d'une épaisseur de 30 m environ, avec la présence d'un horizon argileux, d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 8 m, qui s'intercale dans les alluvions pour former la moyenne terrasse. Cette couche est plus importante avec ses 100 m d'épaisseur, en moyenne, (elle atteint 110 m, forage G2). Elle est formée essentiellement de dépôts plio-quaternaires grossiers, constitués de cailloutis et de graviers avec de petites lentilles d'argiles de faible épaisseur au niveau des forages BK1. La colonne stratigraphique du forage G2 indique une nature semi perméable. L'ensemble forme les hautes terrasses.

Les formations plio-quaternaires (galets et graviers) forment un bon réservoir aquifère, dont le substratum imperméable est constitué des formations miocènes marneuses et qui présentent un sous bassement au centre de la plaine (ancien lit probable de la Seybouse).

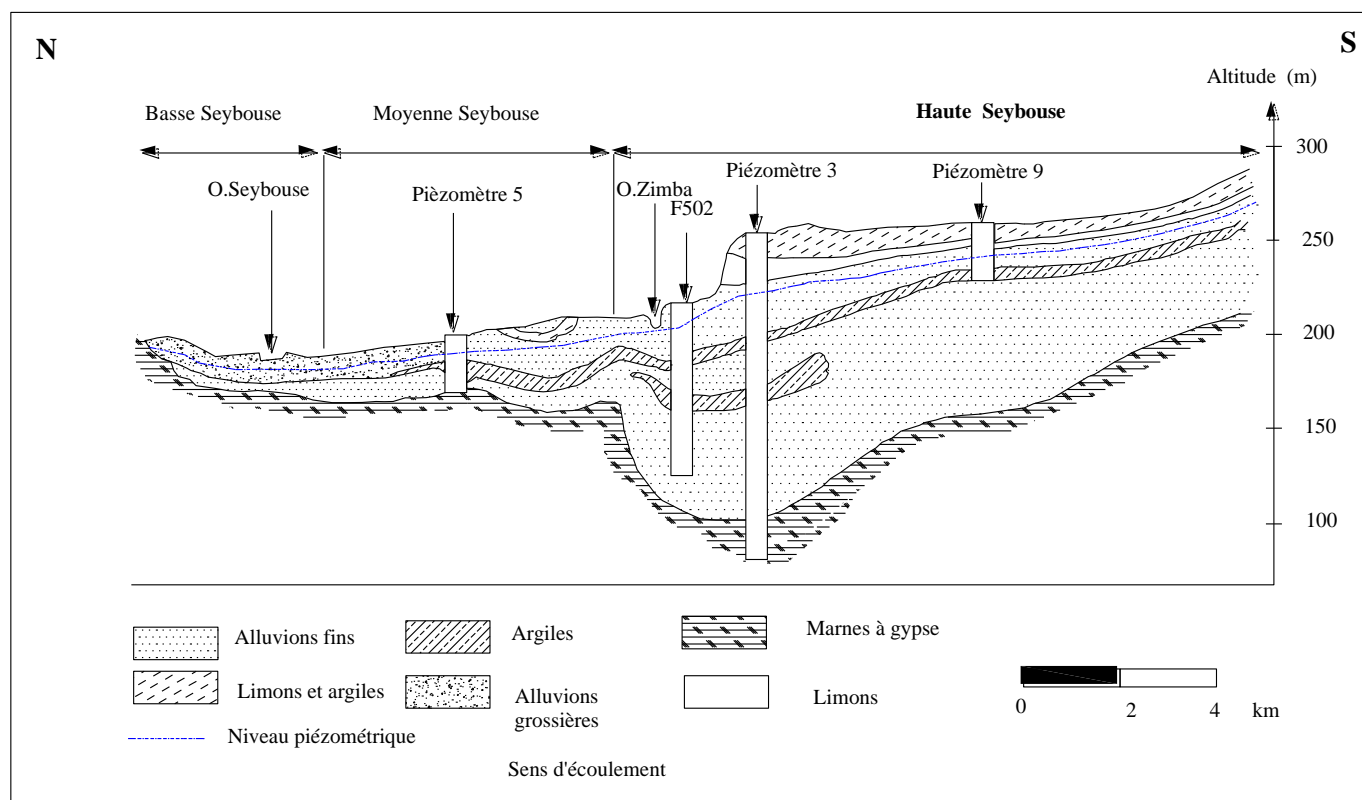


Figure16 : Coupe hydrogéologique NNW-SSE (d'après Gaud).

1.1.3 Coupe hydrogéologique Nord –Sud(d'après Gaud):

Cette coupe est établie à l'Ouest de Belkheir mais toujours d'orientation Nord – Sud (figure 17). Nous distinguons du Nord au Sud quatre nappes aquifères différentes :

- Au Nord, la basse terrasse formant la nappe actuelle de la Seybouse. Elle est constituée par des alluvions grossières d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 10 m reposant sur un substratum marneux à gypse;
- La moyenne terrasse est constituée d'un matériel relativement fin en alternance avec des passées argileuses d'une épaisseur plus au moins importantes d'environ 40 m et repose sur un substratum marneux à gypse

- La haute terrasse a une épaisseur plus importante (plus de 90 m), grâce à un remplissage alluvionnaire, composé essentiellement de sables, graviers et de cailloutis avec de petites intercalations argileuses.
- La forme du substratum marneux témoigne de l'ancien lit de la Seybouse qui été positionné plus au Sud que son parcours actuel. L'affleurement des marnes à gypse du Miocène forme un seuil qui sépare les nappes aquifères des vallées ancienne et actuelle.
- La partie sud est occupée par les calcaires travertineux du Pliocène qui sont en contact direct avec les alluvions des hautes terrasses. D'après la colonne stratigraphique du piézomètre P3, il s'agit de tufs vacuolaires ou spongieux, de calcaires blancs crayeux fissurés avec de nombreuses recristallisations de calcite.

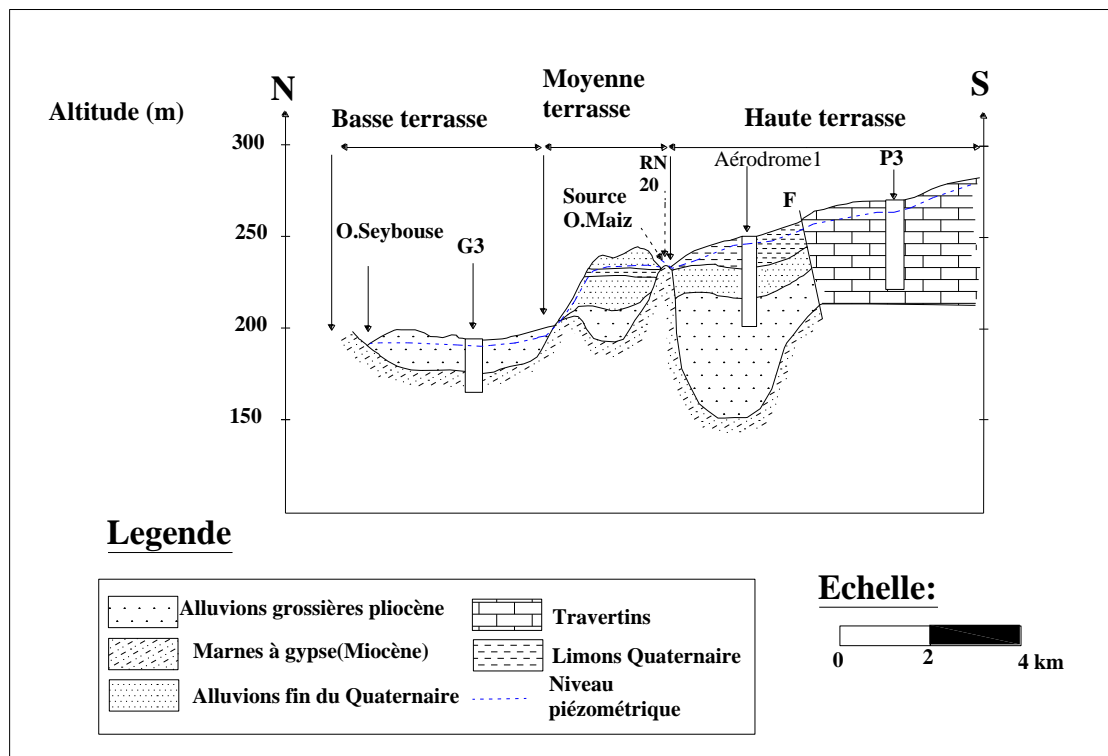


Figure 17: Coupe hydrogéologique Nord –Sud (d’après Gaud).

1.1.4 La piézométrie :

L’inventaire et la mesure du niveau d’eau dans les points d’eau, sur un fond topographique, a permis l’établissement de la carte piézométrique, qui est la base de toute étude hydrodynamique, car elle permet d’avoir des informations sur le sens d’écoulement des eaux

souterraines, des zones d'alimentation et de résurgences de la nappe et la répartition du gradient hydraulique de la période des hautes eaux de l'année 2006.

La figure 18 représente la surface piézométrique du mois de Mai 2006, nous remarquons que l'écoulement se forme au Sud et se dirige vers l'Oued Seybouse au Nord. La morphologie des courbes isopièzes qui se resserrent parallèlement dans la partie Sud –Ouest de la ville de Guelma (zone des travertins) indique que la nappe des travertins alimente celle des alluvions. Ce resserrement signale l'importance du gradient hydraulique dans cette zone et qui est de l'ordre de 0,06.

- La partie centrale de la plaine (entre Boumahra Ahmed et Belkheir) est marquée par une augmentation de l'espacement entre les isopièzes impliquant une diminution sensible du gradient qui passe à des valeurs moins à 0,025. Le sens d'écoulement est toujours du Sud vers le Nord.
- Dans l'extrémité sud – Est une zone d'alimentation apparaît aux limites de la plaine des alluvions avec la molasse argilo- gréseuse mais les valeurs de gradient sont moyennes de l'ordre de 0,04.
- Dans les alluvions situées sur la rive Nord de l'Oued Seybouse, le sens d'écoulement est Nord – Sud, c'est-à-dire à partir du piémont du Djebel Houara vers l'Oued Seybouse.

En ce qui concerne les vitesses de l'écoulement trois (03) zones de vitesses différentes se distinguent:

- La première zone située dans les travertins d'une vitesse moyenne de l'ordre de 12.10^{-6} m/s.
- La deuxième zone est située dans le centre de la plaine avec une vitesse d'écoulement de $0,9 .10^{-6}$ m/s.
- La troisième zone est située à l'Est de Oued Boussora et est caractérisée par des vitesses faibles de l'ordre de $0,3.10^{-6}$ m/s.

D'après la forme des courbes, nous constatons l'existence de trois axes de drainage d'orientation générale Nord – Sud, Ces axes sont situés le long des affluents principaux de l'Oued Seybouse (O. Boussora, O. Zimba et O. Maiz). Cependant il y a trois lignes de partage

des eaux: la première est située au Sud de Boumahra entre Chaâbat El Meklouka et Oued Boussora, la deuxième entre les oueds Zimba et Maiz et la troisième situé à l'Ouest de la ville de Guelma séparant ainsi les travertins des alluvions.

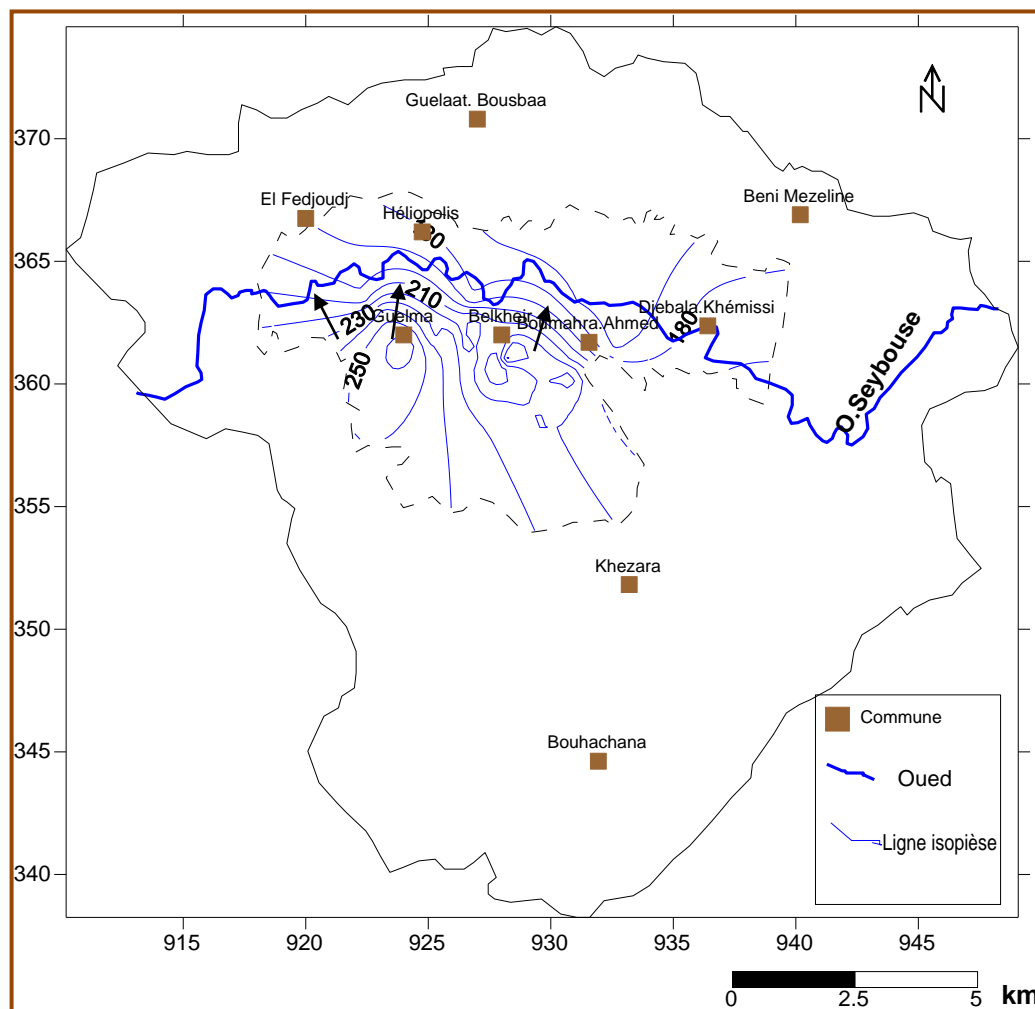


Figure 18 : Carte piézométrique de la plaine alluviale de Guelma (Mai 2006)

1.2 La nappe des calcaires néritiques et sénonien d'Héliopolis :

Dans la région de Hammam Ouled Ali les formations carbonatées sont représentées par quelques dizaines de mètres de calcaires du Sénonien supérieur, calcaire biodétritique ou micritique, analogue à celui de Douar Bouzitoune (Héliopolis). Ces formations plongent en profondeur vers l'Est sous les nappes de charriage pour réapparaître, d'abord, dans la région de Bouzitoune, puis en petite fenêtre près de la source romaine. Elles sont exploitées par un seul forage de 173 m de profondeur avec un débit de 20 l/s, alimentant le village. La

réalisation du forage d'El Fedjoudj a permis de supposer la possible continuité de cette formation depuis Djebel Débar jusqu'à Hammam Bradaa (figure 19).

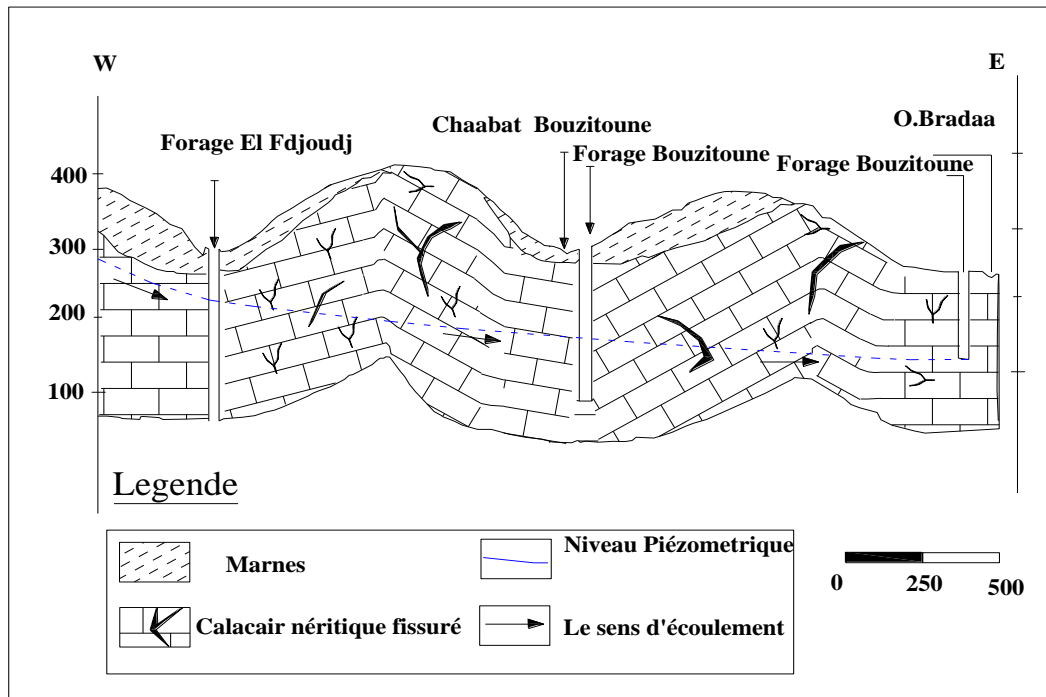


Figure 19 : Coupe hydrogéologique Est–Ouest (nappe Hammam Bradaa).

La formation carbonatée est localisée à 198 m de profondeur découverte par le forage El Fedjoudj II. Elle renferme une nappe captive surmontée par un toit marneux.

1.2.2 Estimation des réserves :

Les eaux souterraines constituent une composante des ressources en eau. Elles couvrent une part importante des besoins, par rapport aux eaux de surface. Elles ont relativement aux eaux de surface un faible coût de mobilisation. Elles sont moins vulnérables à la pollution.

La réserve d'eau souterraine provient de deux principaux champs captant essentiellement dans les formations alluvionnaires et calcaires. Ces réserves sont contenues dans les nappes aquifères alluviales de Guelma, de Hammam Bradaa et d'autres nappes de moindre importance (tableau 16).

Tableau 16 : ressources en eau souterraine dans le bassin de la moyenne Seybouse.

Nappes	Capacité en hm ³ /an	Volume prélevé en hm ³ /an
Hammam Bradaa	50	9
Guelma	70	7.6
Autre nappes secondaires	Indéfinies	1.56
Totale	120	18.16

Source : Agence des bassins hydrographique (ABH)

Le potentiel hydrique souterrain global est estimé à 120 Hm³/an.

2. La ressource en eau de surface dans le Bassin versant de la moyenne Seybouse :

2.1 L'apport de l'oued Seybouse :

La ressource en eau de surface provient essentiellement de l'oued Seybouse et ces principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales.

L'apport hydrique annuel est estimé à 203.15 Hm³ (d'après Djabri.L 1996).

2.2 Barrage et retenu collinaires :

2.3 Barrage Bouhamdane :

Le Barrage de Hammam Debagh sur l'oued Bouhamdane est situé à 20 Km de l'Ouest de la ville de Guelma. Il est implanté à 3 Km en amont de la localité de Hammam Debagh (Hammam Meskhoutine).

Le barrage est destiné principalement au périmètre de Guelma Bouchegouf d'une superficie de 13000 ha et à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma.

La retenue créée par le barrage aura une capacité total de 220 hm³, permettant une régularisation annuelle de 55 hm³ à 60 hm³.

Le bassin versant du barrage s'étale sur 1070 Km² donnant un apport interannuel de 69 hm³, la crue maximale retenue par le projet est de 3500 m³/s.

Le tableau 17 mis en évidence le bilan interannuel du barrage de Hammam Debagh.

Tableau17 : bilan interannuel du barrage de Hammam Debagh (1990 – 2005).

Année	Apports Hm ³	Capacité
1990/1991	95.46	129.76
1991/1992	48.87	170.14
1992/1993	184.54	186.76
1993/1994	38.38	172.92
1994/1995	120.82	154.91
1995/1996	65.15	144.01
1996/1997	2.26	103.63
1997/1998	42.02	127.16
1998/1999	78.86	167.46
1999/2000	14.03	129.08
2000/2001	28.86	56.02
2001/2002	6.52	103.48
2002/2003	286.43	176.07
2003/2004	133.35	193.9
2004/2005	199.08	178.86

A Hammam Debagh une station de traitement a été implantée pour traiter l'eau brute du barrage afin d'alimenter la ville de Guelma en eau potable. La capacité de la station à traiter l'eau brute est représentée dans le tableau 18.

Tableau 18 : La capacité de la station de traitement à traiter l'eau brute.

Eau brute	Eau potable traitée	Eau à différentes utilisations (station)
1630,30 m ³ /h	1500 m ³ /h	130 m ³ /h

(ADE Guelma)

2.4 Les retenues collinaires :

Elles sont au totale cinq (DHW Guelma) et mobilisent un volume global de 0.123 hm³/an d'eau. Sur l'ensemble de ces retenues ; il ne reste que deux ouvrages en bon état, avec des capacités qui peuvent atteindre 53000 m³/an (tableau 19) on prend le cas des retenues d'Héliopolis et Khezara le tableau ci-dessous montre l'ensemble des retenues et leurs caractéristiques.

Tableau 19 : Retenues collinaires dans le sous bassin de la moyenne Seybouse.

Commune	Dénomination	Capacité (m ³)	Etat de l'ouvrage	Destination
Belkheir	Besbessa	30000	Moyen	Irrigation
Belkheir	Medroua	50000	Précaire	Irrigation
Boumahra.A	Chaabat Loba	80000	Précaire	Irrigation
Héliopolis	El Goutrat	28000	Bon état	Irrigation
Khezara	Ben Mabrouk	25000	Bon état	Irrigation
Totale		213000		

DHW Guelma.

\

Diagnostic qualitatif de la ressource en eau dans le BV de la moyenne Seybouse.

La caractérisation physico-chimique, bactériologique des ressources en eau est fondamentale dans le processus de gestion durable des ressources en eau. En effet, l'on ne saurait prétendre gérer efficacement une ressource si l'on ne dispose pas des données fiables devant guider les actions à mener sur cette dernière. Plus tournés vers des aspects quantitatifs.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente partie de la thèse qui s'intéresse à la qualité des eaux souterraines et de surface sur la base des résultats des analyses physico-chimiques, bactériologiques effectuées en 2005 et en 2006.

1. Qualité des eaux souterraines :

1.1 Qualité de l'eau de la nappe alluviale de Guelma :

Il s'agit de 23 échantillons prélevés dans les puits, forages et sources (Mai 2006).

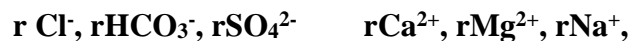
1.1.1 Faciès chimique :

Trois types d'eau apparaissent dans les eaux de la nappe et deux types dans les eaux de l'oued. La famille est définie par l'anion et le cation dominants.

A. Faciès chloruré calcique :

Ce faciès marque la partie centrale de la plaine et représente 82,8% des échantillons, selon les deux formules ioniques, le faciès primaire est chloruré calcique. L'échange de base entre le calcium et le sodium peut aboutir au faciès chloruré sodique. Ce faciès indique une dissolution évaporitique riche en sels et en gypse.

Selon les formules ioniques suivantes :



et



B. Faciès bicarbonaté calcique :

Ce faciès correspond aux des calcaires travertineux composés essentiellement du calcium et des bicarbonates. La dissolution de ces calcaires enrichis la nappe en Ca^{2+} et HCO_3^- , surtout du côté de l'oued Maiz et Sud Ouest de Guelma. Il représente 13% des échantillons.

Il est représenté par la formule : $r \text{ HCO}_3^-, r \text{ Cl}^-, r \text{ SO}_4^{2-} \quad r \text{ Ca}^{2+}, r \text{ Mg}^{2+}, r \text{ Na}^+$

C. Faciès sulfatés magnésique:

Ce faciès provient des formations gypsifères qui forment le seuil séparant les terrasses de l'ancienne vallée et de la vallée actuelle. Ce faciès représente 4,4% des échantillons. Il répond à la formule suivante: $r\text{SO}_4^{2-}, r\text{Cl}^-, r\text{HCO}_3^- \quad r\text{Mg}^{2+}, r\text{Ca}^{2+}, r\text{Na}^+$.

1.1.2 Diagramme de Schoeller –Berkaloff :

L'utilisation de ce diagramme permet de distinguer facilement les différents faciès chimiques et les eaux de même famille. Ce diagramme a donné les mêmes résultats que ceux de la formule ionique chloruré calcique (figure 20).

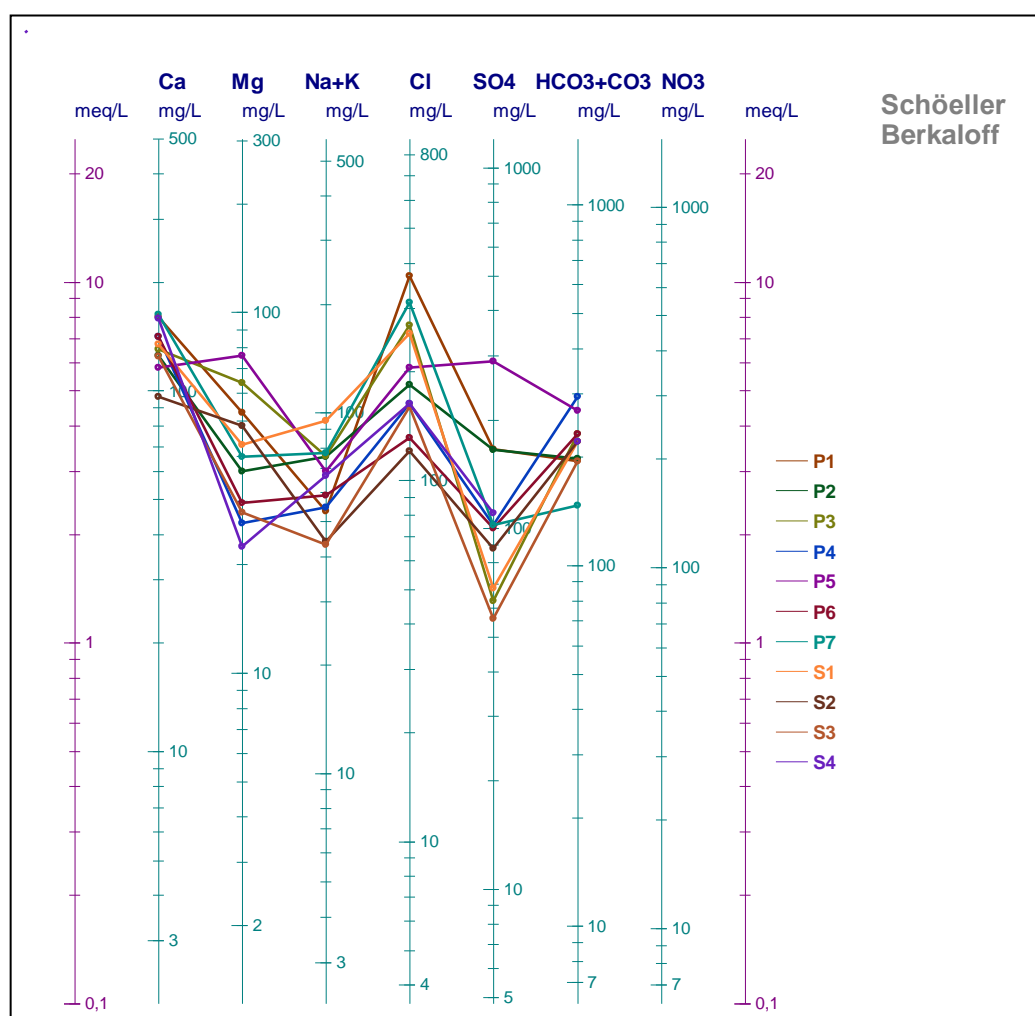


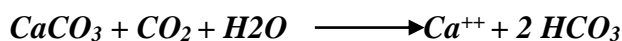
Figure20: Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux souterraines prélevées dans les puits et les sources.

1.1.3 Répartition spatiale des teneurs :

Pour mieux comprendre le chimisme des eaux souterraines et déduire l'origine des différentes composantes chimiques et leur répartition spatiale, nous avons reporté les résultats obtenus sur des cartes d'iso teneurs afin de visualiser les zones de fortes concentrations et d'interpréter les anomalies rencontrées.

1.1.3.1 Les cations :

1.1.3.1.1 Le calcium : sa présence résulte principalement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées. La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



Dans le cas présent, on peut envisager une autre source de minéralisation, engendrée par les formations gypsifères du Trias ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Il représente l'élément principal de la dureté totale de l'eau. Il est aussi, le cation dominant. La carte d'évolution du calcium (figure 21) permet de constater que les fortes concentrations sont localisées sur la partie sud de la région, ce qui indique un apport d'eau riche en calcium (Ca).

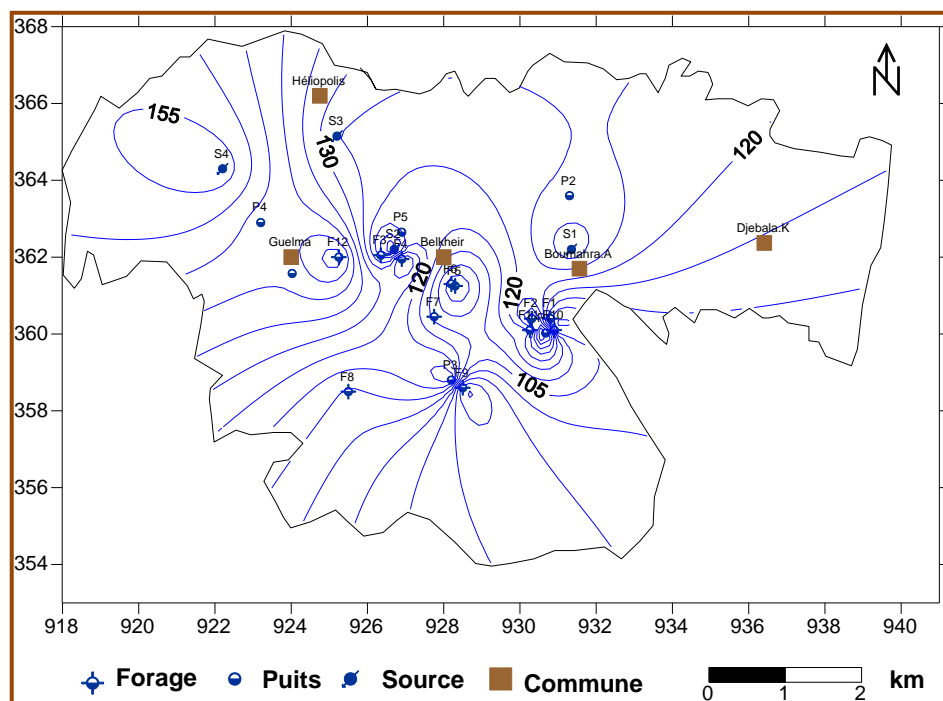


Figure 21 : carte de répartition des teneurs en calcium dans la plaine alluviale de Guelma.

Dans la partie ouest de la ville de Guelma sa teneur maximale est de 160 mg/l. Ceci est dû au lessivage des calcaires encaissants. Les faibles teneurs sont observées à l'Est de Belkheir avec un minimum de 90 mg/l (forage F₅, F₆ à côté d'oued Zimba).

1.1.3.1.2 Le Magnésium est le second élément caractérisant la dureté totale des eaux, le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium. En effet, la majorité des puits de la plaine de Guelma présentent des teneurs inférieures à la norme admissible de 50 mg/l, fixée par l'OMS. Il peut avoir deux origines, dans les calcaires dolomitiques qui le libèrent dissolution, en présence de gaz carbonique ou par la dissolution du Mg SO₄ des terrains gypseux du Trias.

La carte d'évolution du magnésium montre une forte concentration dans la partie centrale de la plaine qui peut atteindre un maximum de 76,2 mg/l, par contre les faibles teneurs se localisent sur les bordures de la région avec un minimum de 18 mg/l.

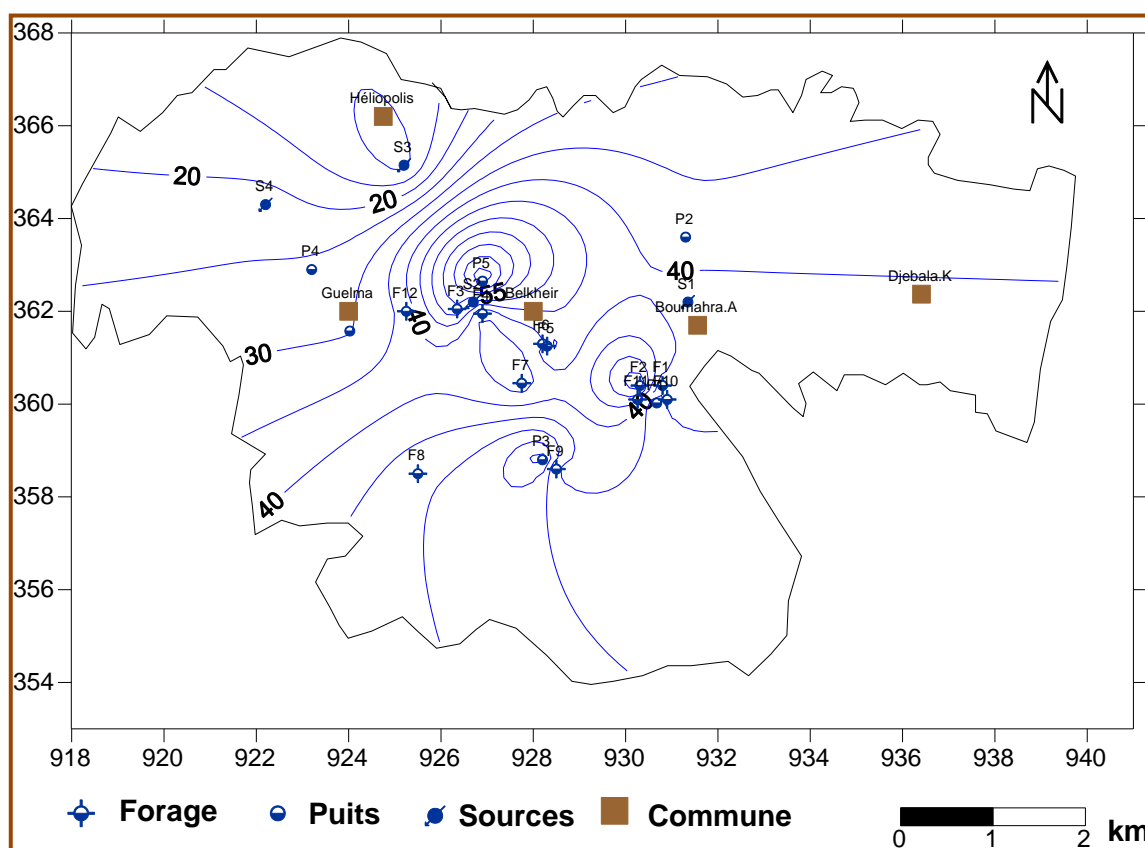


Figure 22 : carte de répartition des teneurs en Magnésium dans la plaine alluviale de

1.1.3.1.3 Le sodium : les fortes teneurs de cet élément sont observées dans la région de Boumahra Ahmed avec un maximum de 92 mg/l (source S1). Il provient des formations évaporitiques. Les faibles concentrations se localisent au Sud de Guelma et de Belkheir avec un minimum de 32 mg/l (forage F5).

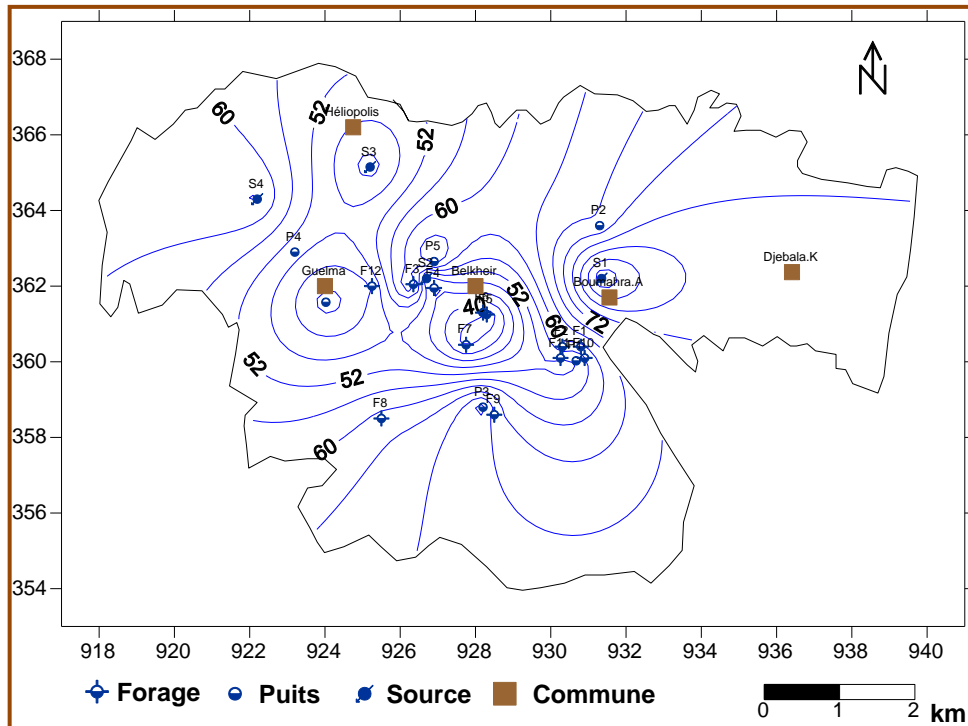


Figure 23 : carte de répartition des teneurs en Sodium dans la plaine alluviale de Guelma.

1.1.3.1.2 Les anions :

1.1.3.1.2.1 Les chlorures : leur concentration dans les eaux de la région d'étude est très forte. La carte montre deux zones de fortes concentrations; la première entre Guelma et Belkheir avec un maximum de 390 mg/l au forage F3, la deuxième au niveau de Boumahra Ahmed avec un maximum de 276 mg/l (forage F11). Ceci peut s'expliquer par la grande quantité des affluents de la Seybouse et par le lessivage des formations géologiques. La partie sud-est de Belkheir présente de faibles teneurs en chlorures avec 113,6 mg/l (figure 24).

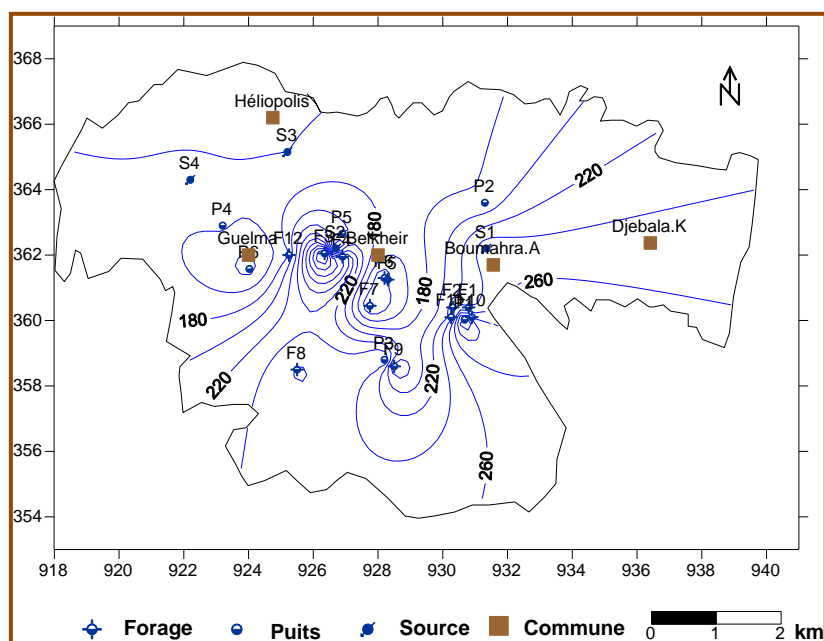


Figure 24 : carte de répartition des teneurs en Chlorures dans la plaine alluviale de Guelma.

1.1.3.1.2.2 Les sulfates : leur plus fortes teneurs sont observées entre Guelma et Belkheir avec un maximum de 290 mg/l, ceci est du à la lithologie (gypse). Par contre les faibles teneurs se localisent dans la partie sud de la zone d'étude, avec un minimum de 56 mg/l (figure 25).

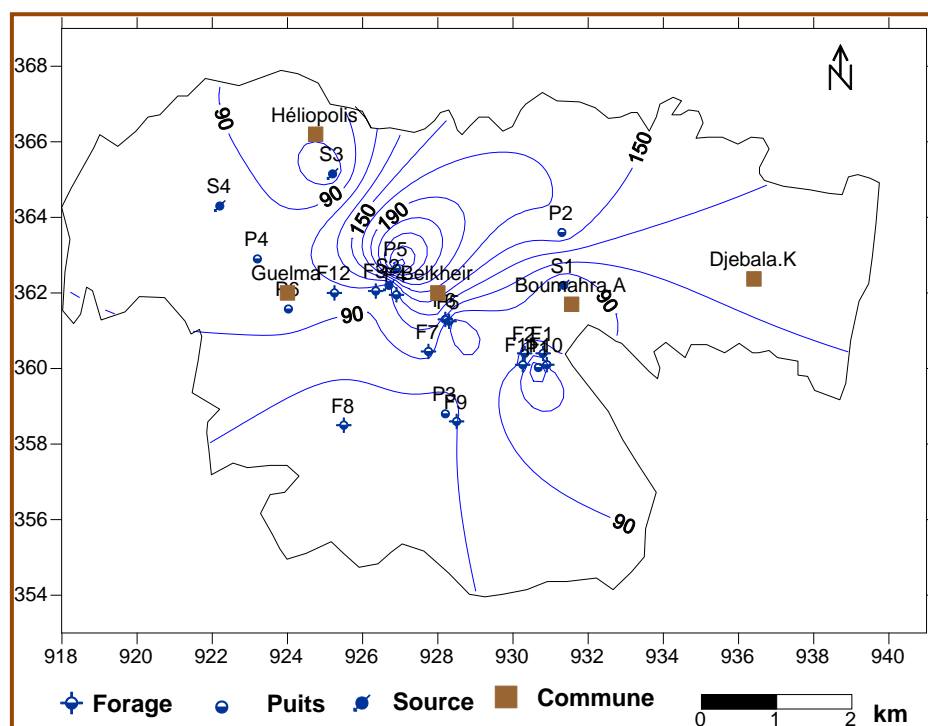


Figure 25 : carte de répartition des teneurs en Sulfates dans la plaine alluviale de Guelma.

1.1.3.1.2.3 Les bicarbonates : l'observation de la carte montre que les valeurs de concentration de HCO_3^- sont comprises entre 100 – 292 mg/l. Il est à noter que les valeurs minimales sont enregistrées au niveau des forages F3, F11 et dans l'Oued Seybouse. Les fortes teneurs sont celles des travertins à l'Ouest et ceux enregistrées au sud de la zone (figure 26).

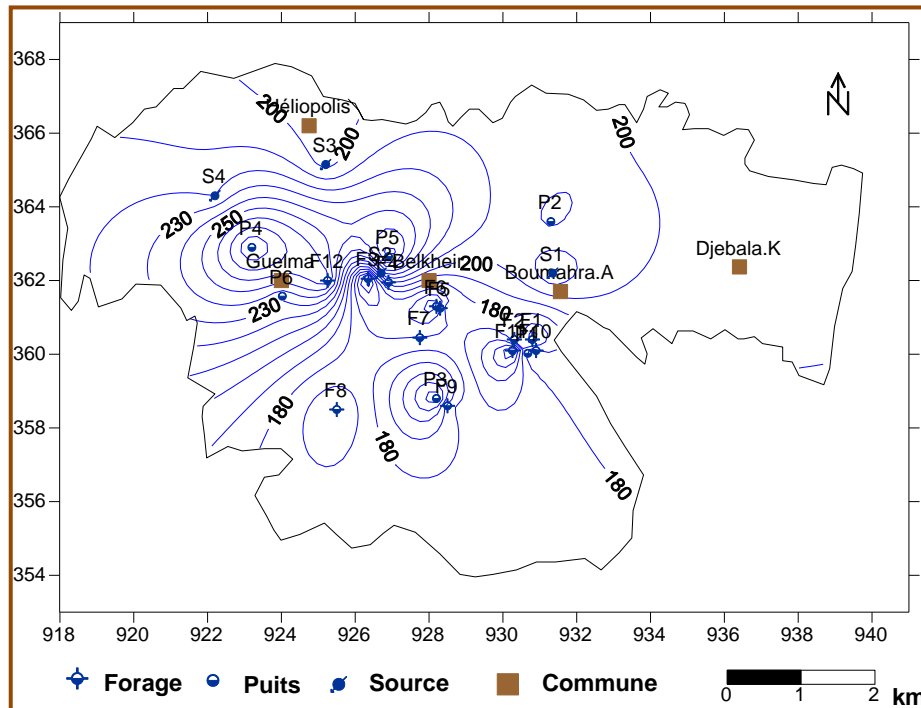


Figure 26: carte de répartition des teneurs en bicarbonates dans la plaine alluviale de Guelma.

1.1.4 Paramètres physiques :

1.1.4.1 Température

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, ainsi que sur la valeur du pH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines. Dans cette étude, les températures des eaux souterraines observées varient de 17 °C à 22 °C. La température des eaux souterraines de la plaine alluviale de Guelma est dans les normes de L'OMS.

1.1.4.2 La dureté :

La dureté totale comprend la somme des concentrations, $c(x)$, des ions Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , comme la plupart des eaux ne contiennent pas d'ions Sr^{2+} et de Ba^{2+} , la dureté totale n'est représentée que par le Ca^{++} et Mg^{++} : $\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$

En générale la dureté totale comprend de 70 à 85% de calcium et 15 à 30 de magnésium. Les eaux du bassin de Guelma présente un TH compris entre 6 et 12 °F. Ces valeurs répondent aux normes fixées par l’OMS pour les eaux destinées à l’A.E.P qui doivent être inférieures à 30 °F.

1.1.4.3 Le taux de salinité :

La minéralisation globale correspond à la teneur totale en sels dissous dans l’eau. Elle est en relation directe avec la conductivité électrique de la solution. Dans le cas de la zone étudiée, les valeurs de la minéralisation se situent généralement entre 900 et 1800 mg/l.

Le TDS dépend directement des sels actifs associés aux chlorures et aux sulfates qui sont abondants dans le résidu sec. Ainsi les eaux de la nappe présentent une minéralisation inférieure à 2 g/l (norme de l’O.M.S).

1.1.4.4 Le pH :

Le pH est une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans l'eau ($pH = -\log [H^+]$).

Le pH des eaux souterraines est généralement compris entre 6,5 et 8,5. Donc s'il est supérieur à sept (7) l'eau sera basique, s'il est inférieur à 7 l'eau sera acide. Le pH joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité et corrosion)
- Dans les processus biologiques qui exigent des limites très étroites de pH.
- Dans l'efficacité de certains traitements (coagulation, chloration, adoucissement, affinage).

Les valeurs de pH mesurées aux différents points varient entre 6,5 et 7,7 les eaux acceptables restent toujours conformes aux normes de l’O.M.S, sauf aux points :

S1 (pH = 6), P2 = (pH = 5,64).

2. Qualité des eaux de surface :

2.1 Qualité de l'eau d'Oued Seybouse :

Dans cette partie du travail on s'intéresse à étudier la qualité des eaux de surface de l'oued Seybouse. La figure 27 illustre la localisation des différentes stations de prélèvements ainsi que les sites de pompage des eaux pour l'irrigation. Les prélèvements ont été effectués par l'OPI Guelma pendant la période des hautes eaux correspondant au mois de Mai 2005. Les analyses effectuées sur les eaux sont essentiellement basées sur caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques.

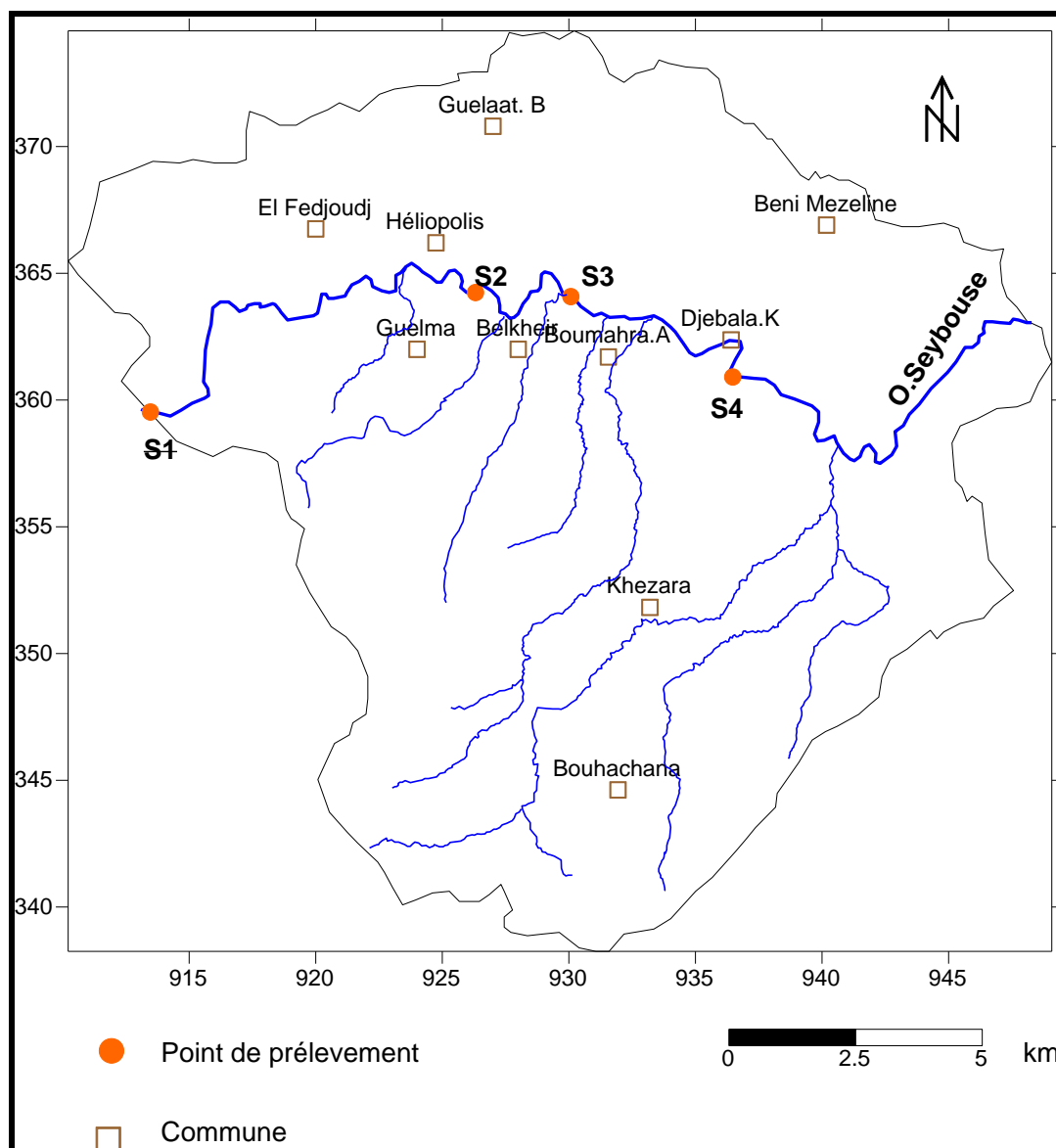


Figure 27 : Points de prélèvements des échantillons dans l'oued Seybouse.

1.1 Discussion des résultats :**1.1.2 Caractéristiques physico-chimiques:**

Les résultats détaillés des analyses physico-chimiques des eaux de l'oued Seybouse qui sont destinées essentiellement à l'irrigation dans le bassin versant sont illustrés sur les figures 28.

A. La conductivité électrique :

Les résultats obtenus traduisent une forte conductivité électrique une forte minéralisation de l'eau de l'oued Seybouse (1.4 - 2 mmoh/cm²). Ces valeurs sont probablement liées à l'érosion mécanique et l'apport des rejets industriels (unité céramique et de marbre).

B. Les éléments majeurs :

Les résultats obtenus indiquant de fortes concentrations en sulfates (314-374 mg/l), chlorures (270-375mg/l), bicarbonates (189-384 mg/l). Magnésium (59-70mg/l). Sodium (74-200 mg/l) calcium (134-148 mg/l) dépassent les normes fixées par l'OMS. Des rejets d'eaux usées non traitées associés à une intensification de l'urbanisation dans cette portion du bassin pourraient être responsables de cette détérioration de la qualité des eaux de surfaces.

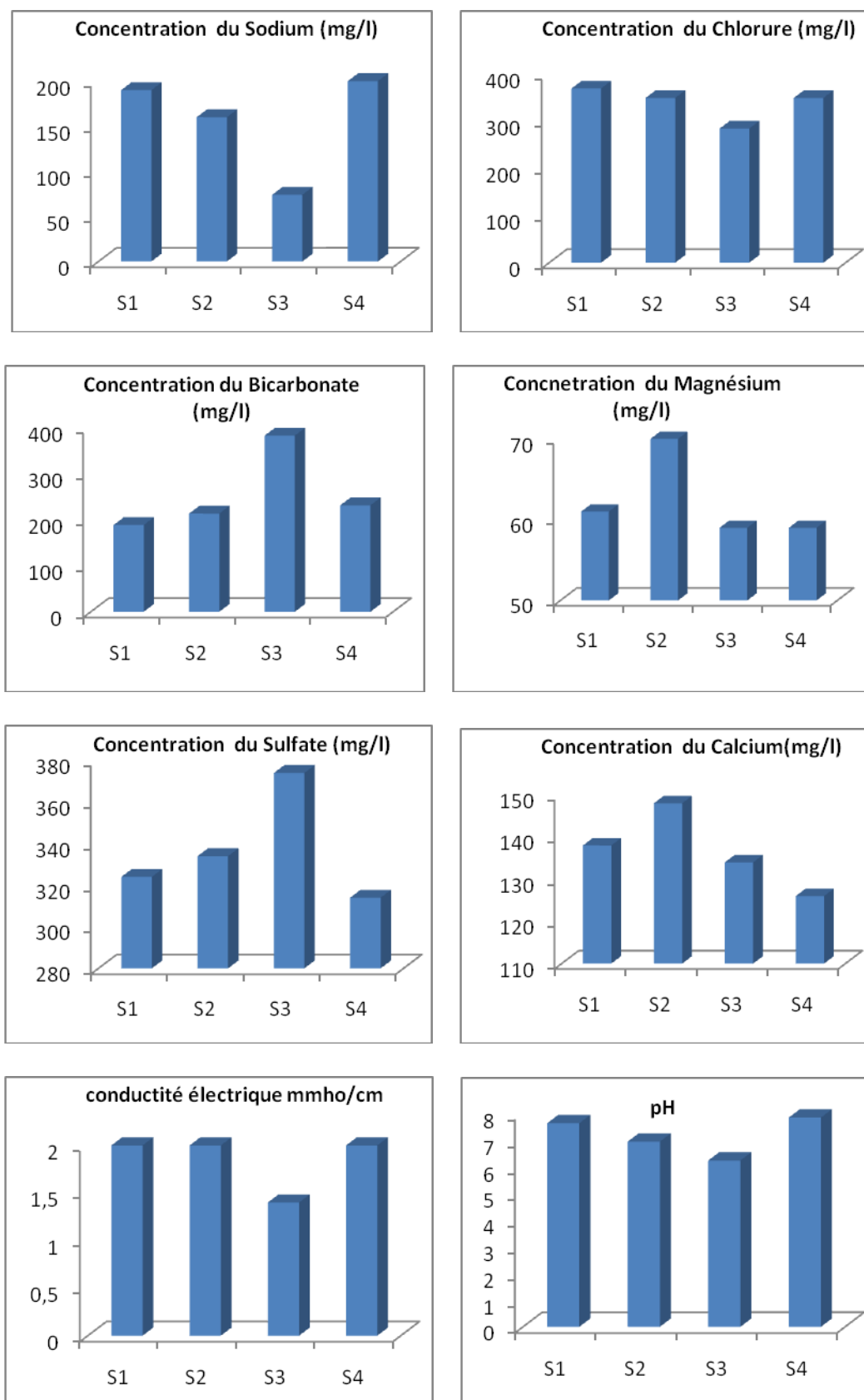


Figure 28 : Variation des paramètres physico-chimiques dans l'oued Seybouse.

1.2 Les indicateurs de pollution :

1.2.1 Les nitrates :

Les teneurs en formes azotées varient de 26 à 37 mg/l. Ces teneurs deviennent importantes et dépassent les 50 mg/l. Leur présence dans les eaux de surface a pour origine les rejets domestiques et le lessivage des parcelles agricoles par la précipitation des nitrates enfouis dans le sol ou épandu durant la saison agricole. Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) les eaux de l'oued Seybouse sont polluées.

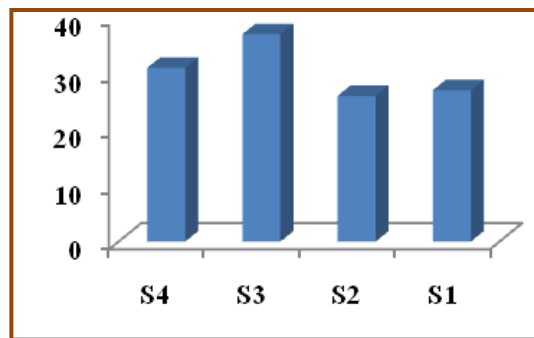


Figure 29 : Concentration des nitrates (mg/l)

1.2.2 Micropolluants (Métaux lourds) :

Plusieurs métaux lourds peuvent être présents dans les eaux usées utilisées en irrigation. Dans notre étude, on se limite à la détermination de six éléments présents dans les eaux d'irrigation de l'oued Seybouse, à savoir : Fe, Mn, Pb, Cr, Cd, Cu et Zn.

A. Le Plomb :

Il est présent dans les stations S1, S2, S3 avec des teneurs qui varient entre 0.029 - 0.075 mg/l. Sa présence est liée aux rejets des industries utilisant le plomb et des stations de services rejetant les huiles de moteur dans le milieu récepteur.

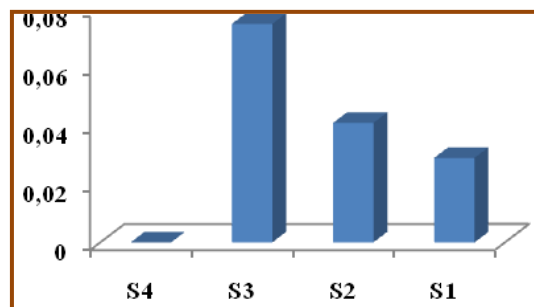


Figure 30: Concentration du Plomb (mg/l)

B. Le chrome :

Il est présent dans les quatre stations avec des concentrations variant entre 0.013 et 0.027mg/l. Sa présence est liée aux unités mécaniques utilisant le chrome pour le traitement de surface de l'acier.

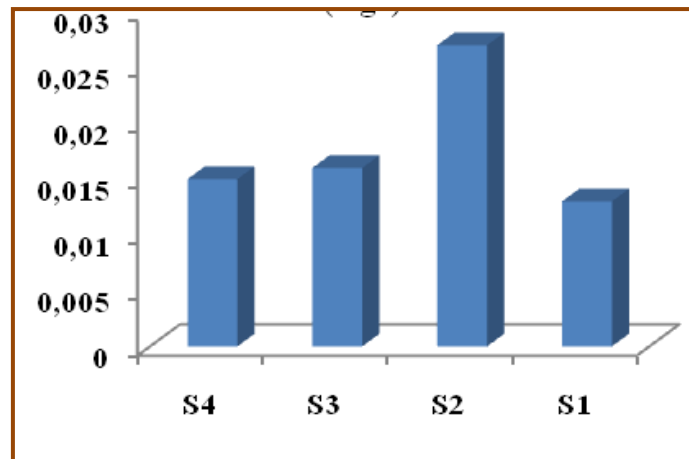


Figure 31 : Concentration du Chrome (mg/l).

C. Le manganèse :

Cet élément est présent dans les quatre stations de prélèvements avec des concentrations qui varient entre 0.028 - 0.05mg/l. La plus grande concentration est observée dans la station S3 (0.05mg/l).

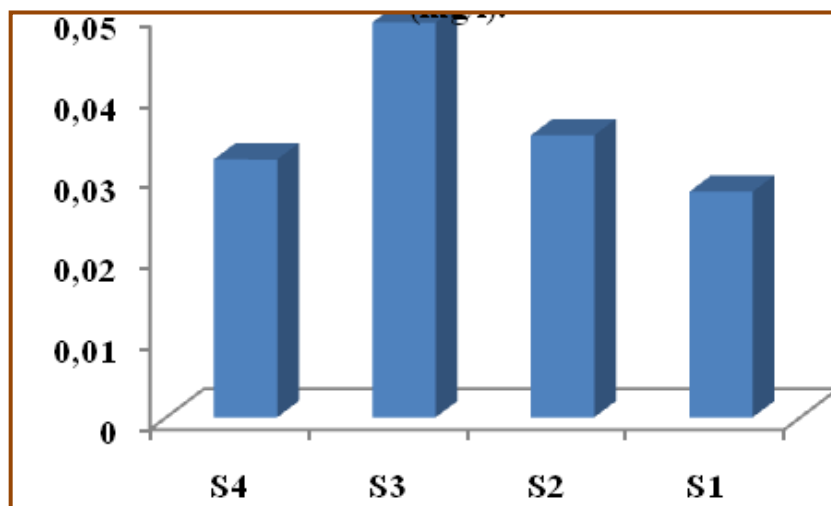


Figure 32 : Concentration du Manganèse (mg/l).

D. Le Fer :

La concentration se retrouve aux quatre stations varie entre 0.063 et 0.102 mg/l ; sa présence est liée au lessivage des formations géologiques ou bien aux rejets urbains.

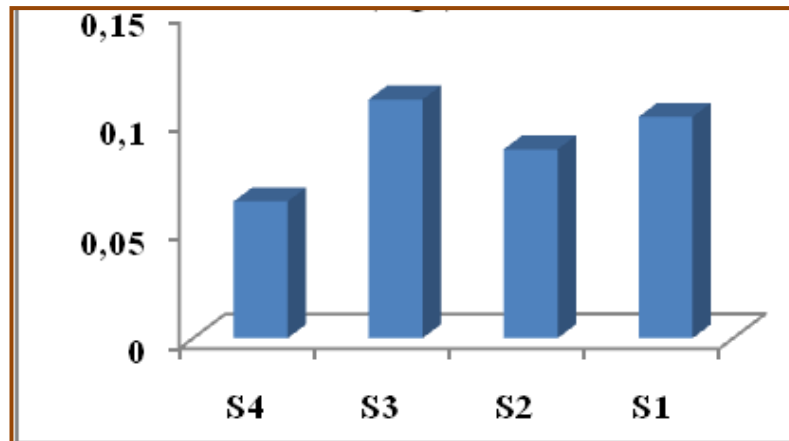


Figure 33 : Concentration du Fer (mg/l).

E. Le Cuivre :

Il est employé dans les alliages, industrie électrique. Il est présent dans les quatre stations avec des teneurs qui varient entre 0,006 et 0,01 mg/l. Sa présence peut être due au lessivage des formations traversées par les cours d'eau. Les concentrations sont très faibles (<0,02 mg/l).

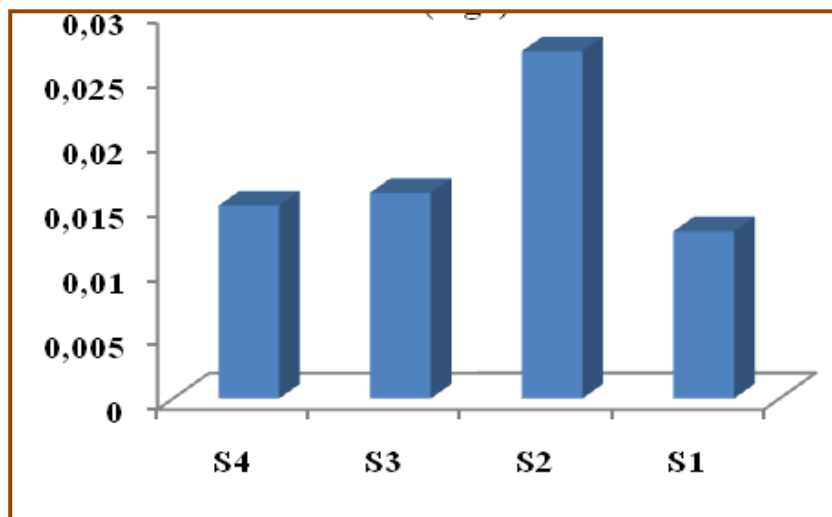


Figure 34 : Concentration du Cuivre (mg/l).

1.2.3 Analyse bactériologique :

Deux campagnes ont été effectuées pendant la période d'irrigation par l'OPI Guelma. La première au mois de Juillet et la deuxième au mois d'Août(2005). Les résultats d'analyses des deux campagnes sont représentés dans les (tableaux 21). L'analyse bactériologique faite au niveau des Trois stations au mois de Juillet 2005 montre que les coliformes totaux thermo-tolérants et les coliformes fécaux dépassent les limites recommandées par OMS. Selon le tableau les deux types de bactéries coliformes totaux et coliformes fécaux dépassent les limites recommandées ou fixées pour les eaux d'irrigation.

2. Aptitudes des eaux d'oued Seybouse à l'irrigation :

La destination et l'utilisation d'une eau pour l'irrigation est fonction de deux facteurs :

- La teneur globale en sels (risque salin).
- La part relative en sodium (risque sodium).

En tout état de cause, toutes ces classifications donnent le même diagnostic en ce qui concerne les eaux utilisables dans le périmètre de Guelma, eau de bonne qualité (en général) pour l'irrigation, mais peut être probablement néfaste aux cultures les plus sensibles en cas :

- D'un risque salin moyen.
- D'un fort à très fort risque sodium.

Une eau peut être de bonne qualité au regard d'un facteur mais par contre de très mauvaise qualité vis-à-vis d'un autre. Ces deux termes ne se compensent pas le deuxième, défavorable, est suffisant pour entraîner une chute de rendement et/ou des troubles de croissance et/ou encore une dégradation des propriétés physiques et chimiques du sol.

La salinité constitue l'aspect le plus important des critères physico-chimiques d'eau d'irrigation. L'irrigation avec des eaux chargées en sels entraîne une accumulation de ces sels dans les sols susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec une baisse de rendement parallèlement. Afin d'apprécier la valeur agricole d'une solution Wilcox (1948) a proposé le premier diagramme délimitant des classes basés sur la minéralisation totale et le pourcentage du sodium absorbé par l'eau, puis en 1954 le laboratoire de salinité du département de l'agriculture au USA a proposé un deuxième (Richards) délimitant aussi des classes fondées sur la minéralisation totale et le sodium absorbé par le sol. (S.A.R).

Tableau 20 : Résultats d'analyse bactériologique faite le 20 Juillet 2005(ONID Guelma).

Paramètre Station de pompage	Nombre de germe pour 100 ml d'eau			
	Coli-totaux Thermo-tolérants	Coli fecaux	Escherichia Coli	Sterptocoque fecaux
Secteur El Fedjoudj	10^6	45.10^4	45.10^4	10^3
Secteur Guelma centre	3.10^4	Absence	Absence	10^3
Secteur Boumahra Ahmed	14.10^3	10^3	10^3	10^2
Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux d'irrigation	10^3	10^2	—	—
Norme de l'office international de l'eau en se referont aux directives de l'OMS (1989); constante de type "A" pour les eaux usées épurées utilisées à l'irrigation Nombre de germe pour 100 ml d'eau	10^3	—	—	—

2.1 Classification des eaux d'irrigation selon la méthode Richards :

Cette méthode consiste à représenter les valeurs de la conductivité électrique en fonction du taux d'adsorption du sodium (SAR) (figure 36).

RICHARDS a proposé cinq classes (05) qui sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 21 : classification des eaux d'irrigation en fonction de la CE et SAR

(Méthode de RICHARDS).

Degrés	Qualités	Classes	L'état d'utilisation
1 ^{ère}	Excellente	C ₁ S ₁	Eaux utilisables sans danger pour l'irrigation pour la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2 ^{ème}	Bonne	C ₂ S ₁ C ₁ S ₂	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol.
3 ^{ème}	Admissible	C ₃ S ₁ C ₂ S ₃ C ₃ S ₂	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4 ^{ème}	Médiocre	C ₄ S ₁ C ₄ S ₂ C ₃ S ₃	eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels sur sols bien drainés.
5 ^{ème}	Mauvaise	C ₃ S ₄ C ₄ S ₃ C ₄ S ₄	eau ne convenant pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels.

L'observation du diagramme de Richards montre que tous les points de prélèvement appartiennent à la troisième classe C₃S₂ : eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

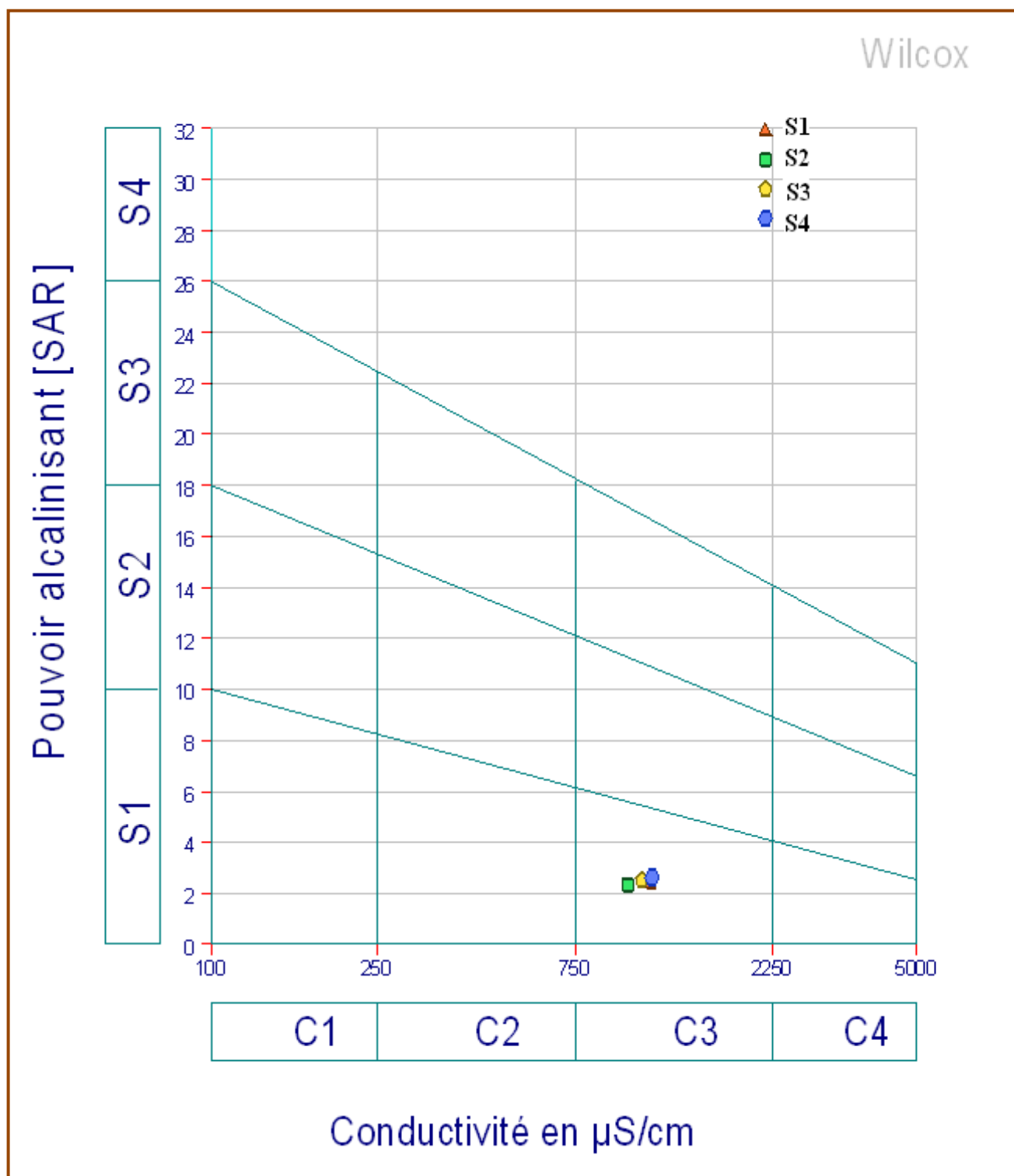


Figure 35 : Diagramme de RICHARDS.

2.2 Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de WILCOX 1954 :

Cette classification est fondée sur la représentation des valeurs de la conductivité électrique (CE) en fonction du pourcentage (%) du sodium dans l'eau.

- le pourcentage du sodium est défini par la formule suivante :

$$\text{Na}^+\% = \left[\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} \right] \cdot 100$$

- tous les éléments chimiques sont exprimés en meq/l.

Les valeurs du pourcentage de sodium (%Na) et la conductivité électrique (CE) des différents points de prélèvement sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 22 : classification des eaux d'irrigation en fonction du pourcentage de sodium (méthode de WILCOX).

Paramètres	% Na en meq/l	CE en $\mu\text{s/cm}$
Secteur Cheref	48.46	1130
Secteur El Fedjoudj	47.07	1008
Secteur Guelma centre	48.90	1086
Secteur Boumahra Ahmed	51.54	1152

La représentation des points sur diagramme de Wilcox montre que les eaux dans le périmètre de Guelma sont bonnes pour l'irrigation (figure 36).

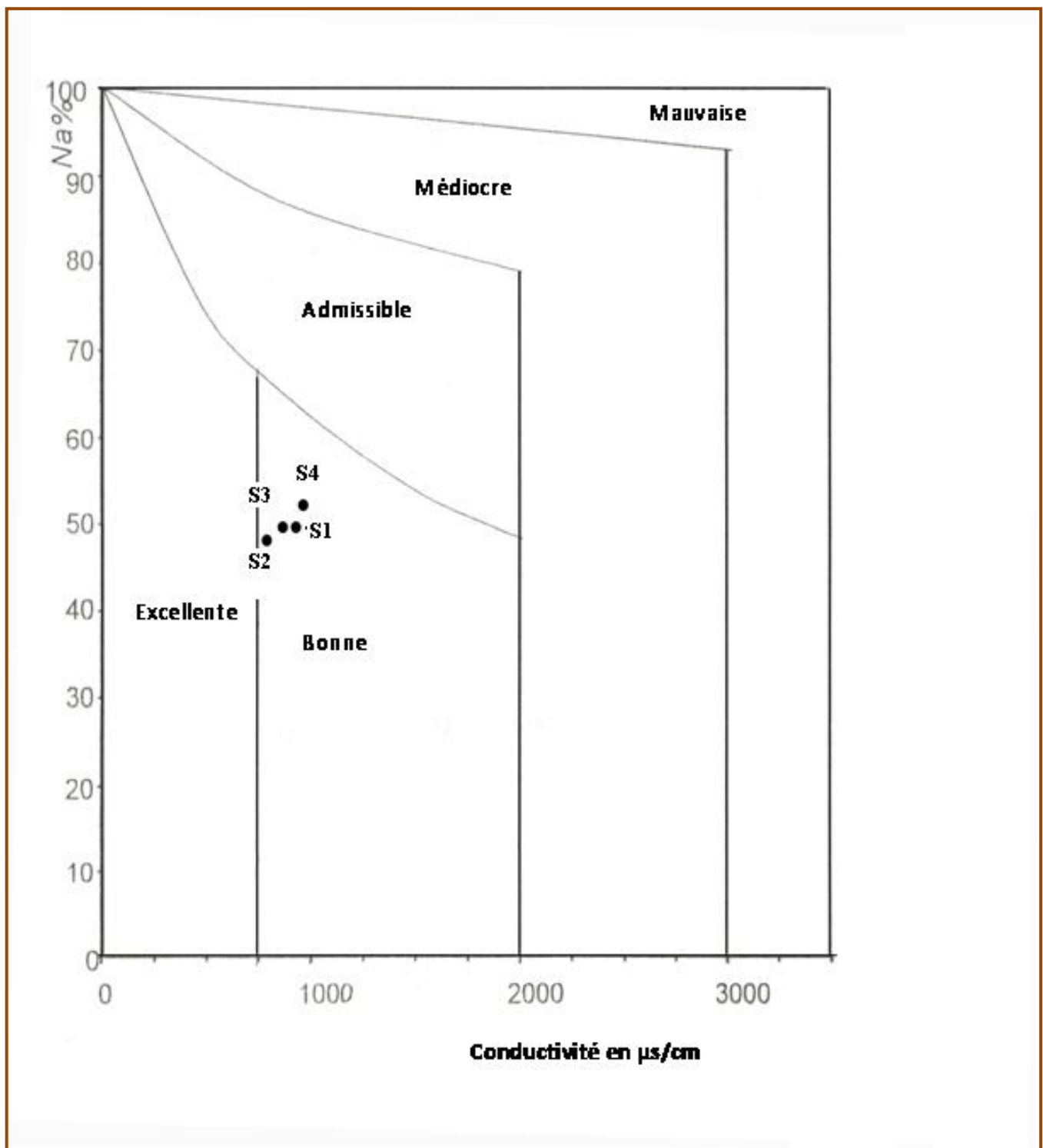


Figure36 : Digramme de Wilcox.

Conclusion :

Les réserves d'eau souterraine sont estimées à 120 hm^3 . La plaine alluviale de Guelma (70 hm^3) est essentiellement représentée par la nappe alluviale de l'Oued Seybouse et par des formations perméables d'extension superficielle restreinte (quelques bancs calcaire à éocènes - travertins mio pliocènes de Guelma et dépôts quaternaires). L'échange nappe-oued est caractérisé par le flux des eaux souterraines drainé par l'oued Seybouse et ses différents affluents. La réserve des eaux souterraines de l'aquifère de Hammam Bradaa est estimée à 50 hm^3 . L'apport de l'oued Seybouse et ces affluents constitue la principale ressource dans le bassin il est de l'ordre de $203.15 \text{ hm}^3/\text{an}$. A cet apport s'ajoute l'eau stockée dans le barrage de Bouhamdane avec une capacité de stockage égale à $220 \text{ hm}^3/\text{an}$ et les retenues collinaires avec une capacité globale de $0.21 \text{ hm}^3/\text{an}$. L'intérêt porté à la qualité des eaux nous a permis de les classer suivant des critères propres (dureté, SAR.....) et aussi voir les incidences au niveau de la potabilité, utilisation en irrigation et l'industrie. On a pu également connaître le rôle des paramètres physiques et la géologie sur la chimie des eaux.

- La dureté des eaux souterraine de la plaine alluviale de Guelma est dans l'énorme fixée par l'OMS.
- Les valeurs de pH sont généralement acceptables.
- Une forte conductivité électrique une forte minéralisation de l'eau de l'oued Seybouse ($1.4 - 2 \text{ mmol/cm}^2$). Ces valeurs sont probablement liées à l'érosion mécanique et l'apport des rejets industriels (unité céramique et de marbre).
- Les résultats obtenus indiquant de fortes concentrations en sulfates ($314-374 \text{ mg/l}$), chlorures ($270-375 \text{ mg/l}$), bicarbonates ($189-384 \text{ mg/l}$). Magnésium ($59-70 \text{ mg/l}$). Sodium ($74-200 \text{ mg/l}$) calcium ($134-148 \text{ mg/l}$) dépassent les normes fixées par l'OMS. Des rejets d'eaux usées non traitées associés à une intensification de l'urbanisation dans cette portion du bassin pourraient être responsables de cette détérioration de la qualité des eaux de surfaces
- La majorité des familles d'eaux sont utilisables en irrigation.
- Les métaux lourds ne présentent pas des fortes anomalies.
- Les eaux des cours d'eau sont fortement chargées en germes bactériens.

Partie III

Mobilisation et affectation de la ressource dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.

Partie III : Mobilisation et affectation de la ressource dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.

L'indicateur retenu pour appréhender la pression quantitative sur la ressource est l'évolution du volume des eaux souterraines et de surface prélevé. Il se distingue du volume effectivement consommé, déduction faite des restitutions importantes au milieu naturel, effectuées par certaines industries et par les réseaux d'eau potable notamment. L'estimation de la part consommée restant délicate, le choix de l'indicateur s'est porté sur les prélèvements bruts, facilement mobilisables par les services de gestion de la ressource en eau. Les prélèvements sont déclinés selon trois usages : 1) l'alimentation en eau potable des habitations et les activités économiques et services publics et collectifs raccordés au réseau, 2) l'irrigation des terres agricoles, 3) l'usage industriel. Les prélèvements peuvent provenir, soit des eaux superficielles des barrages, retenues collinaires et oued, soit des eaux souterraines des nappes aquifères. Ce chapitre est consacré à l'évaluation des besoins en eau des différents secteurs d'utilisation et à l'évaluation des ressources eau, qui nous permet de prévoir si les disponibilités potentielles en eau sont suffisantes, afin de répondre à l'accroissement rapide de la demande sectorielle en eau (Figure 37).

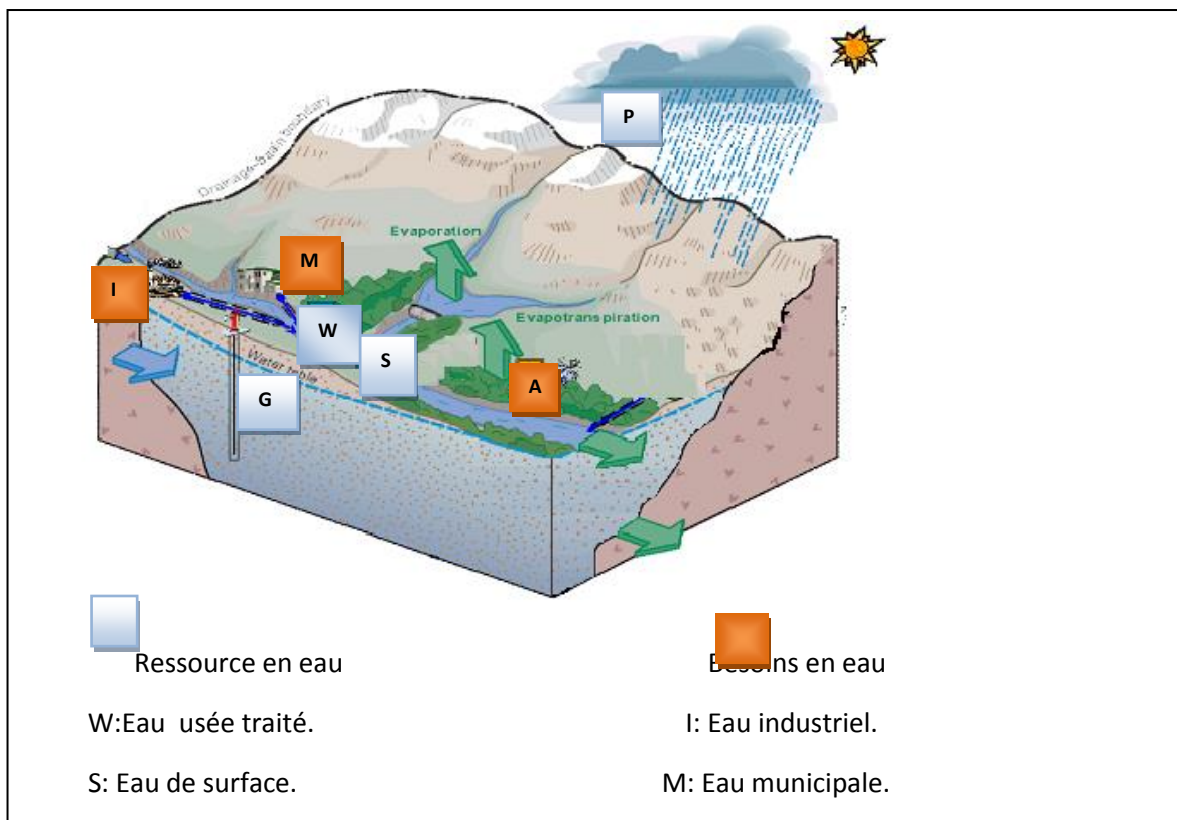


Figure 37 : Schéma succinct des ressources en eau – besoins en eau dans le BV de la moyenne Seybouse.

1. Situation actuelle :**1.1- Evaluation des besoins en eau pour différents secteurs:****1.1.1- Les besoins en eau d'irrigation :**

L'eau assure non seulement les besoins en eau des plantes dans le sol à travers ses racines, mais également l'apport en éléments minéraux dont la plante a besoin. L'absorption d'eau et des matières dissoutes sont deux phénomènes complémentaires mais indépendants. L'eau est présente en abondance dans les tissus végétaux (jusqu'à 95% de leur poids). Elle maintient leur turgescence et assure le transport et les échanges de matières dissoutes à l'intérieur des plantes. L'eau est également partiellement métabolisée puisqu'elle est, avec le gaz carbonique, l'une des matières premières des réactions de photosynthèse.

Des critères essentiels s'imposent pour l'évaluation des besoins en eau d'irrigation. Les principaux facteurs déterminant la consommation d'eau agricole sont ; la superficie irriguée, le type de culture, les conditions climatiques et les techniques d'irrigation employées.

Les dotations en eau d'irrigation sont assez variables, compte tenu de la forte irrégularité du climat et des transitions pouvant se faire d'une région à l'autre, les dotations sont de

4500 m³/ha/an pour les zones sub-telliennes (Guelma). Le potentiel irrigable est estimé actuellement à 5074.11 ha, ce qui représente 11.99% de la superficie agricole utile et 6.88% de la surface agricole totale. 8.31 % de cette surface sont gérés par la petite et moyenne hydraulique, alors que le reste par la grande hydraulique. Le potentiel irrigable reste relativement limité au regard de la superficie agricole totale et au rôle que doit jouer ce secteur dans le développement socio-économique du bassin. Le volume total nécessaire pour répondre au besoin de l'irrigation pour l'ensemble des terres irriguées dans le bassin est estimé pour l'année 2006 à 22.83 hm³ /an.

Tableau 23: Répartition des surfaces agricoles totale et utile dans les communes du bassin de Guelma (DSA 2006)

Commune	SAT (ha)	SAU (ha)
Guelma	3300	2623
Hammam	7193	2884
Khezara	9793	5814
Bouhachana	6219	4240
Heliopolis	7138	4067
El Fedjoudj	5738	3150
Guelaat Bousbaa	3438	2040
Belkheir	8812	5702
Djebala Khemici	6620	2660
Béni Mezline	5960	2404
Boumahra,Ahmed	9475	6747
Totale	73686	42331

1.1.2 Besoins en eau potable :

La population totale du bassin est estimée à 247628 habitants, à l'an 2006, en se basant sur l'année de référence ou un RGPH⁽¹⁾ de l'année 1998, avec un taux d'accroissement démographique de l'ordre de 1.76% selon les données de la DPAT.

La démographie et particulièrement l'urbanisation sont les premiers éléments qui déterminent la demande en eau potable. Dans ce domaine, il est peu probable que les tendances observées par le passé puissent être modifiées au cours des vingt prochaines années. En effet, la population totale est de l'ordre de 215369 habitants en 1998.

Il n'est pas possible de fournir des normes précises de production ou de demande en eau. Les valeurs relevées varient énormément selon de nombreux facteurs parmi lesquels il faut noter la taille des agglomérations, leur industrialisation et l'état des réseaux.

En matière d'alimentation en eau potable, la dotation en eau potable est de l'ordre de 150l/j/ha selon les renseignements des services de l'hydraulique de la wilaya de Guelma, les besoins nets ont été estimés à 13.55 hm³ en 2006,

1.1.3 Les besoins en eaux industrielles :

Pour la plupart des industries, l'eau est un facteur de production. Elle peut être utilisée comme matière première, et être incorporée au produit fini, ou intervenir comme auxiliaire au cours du processus de fabrication. Les utilisations industrielles de l'eau sont extrêmement diversifiées. Les propriétés physiques et chimiques très particulières de l'eau y sont évidemment mises à profit, mais c'est souvent sa relative abondance et son coût modique qui déterminent son usage pour des utilisations qui ne sont pas nécessairement spécifiques. Les

besoins en eau industrielle sont extrêmement variables et dépendent évidemment du type d'industrie. Les principales unités industrielles opérant dans la zone d'étude sont :

- Raffinerie de sucre.
- CYCMA : complexe de fabrication cycle et cyclomoteurs
- Unité de céramique et de vaisselle (EVCE).

Les besoins en eau pour les différentes unités industrielles sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 24 : Besoins en eau industrielle dans le bassin.

LIEU D'IMPLANTATION	UNITE	TYPE DE PRODUIT	BESOINS EN EAU HM ³
Guelma	CYCMA	Cycles, Motocycles	0.12
Guelma	ENA SUCRE	Sucrerie, Raffinerie	0.73
Guelma	ECVE	Vaissellerie	0.13
Boumahra Ahmed	CONSERVERIE	Tomate	0.11
Total			1.09

ABH

1.1.4- Les besoins globaux au niveau du bassin :

Les besoins globaux en eau pour les différents secteurs dans le bassin s'élèvent actuellement à près de 36.47 hm³/an, dont 22.83 hm³/an représentent les besoins globaux en eau d'irrigation du bassin, 13.55 hm³/an en eau potable et 1.09 hm³/an en eau industrielle.

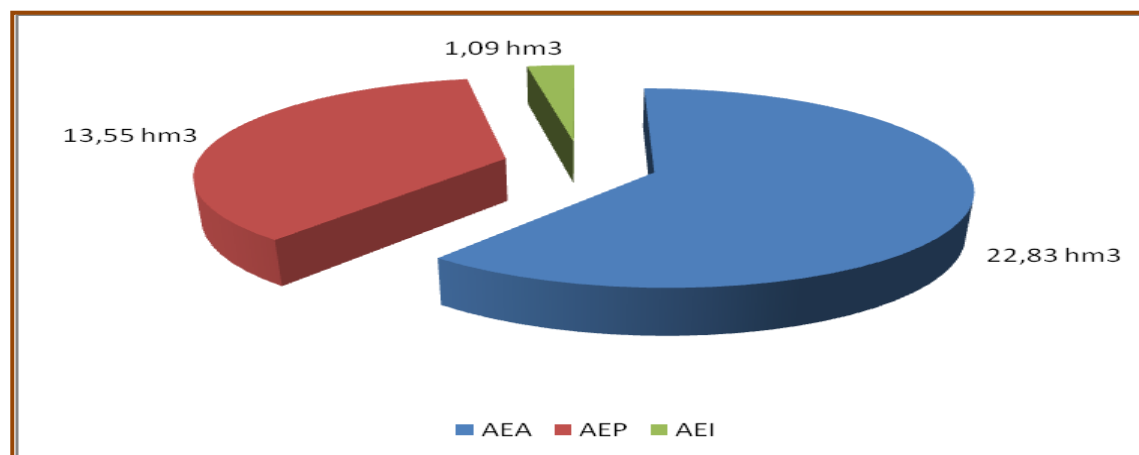


Figure 38 : Les besoins globaux en eau dans le bassin de la moyenne Seybouse.

1.2 Mobilisation de la ressource en eau (offre) :

1.2.1 Mobilisation des eaux souterraines :

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique dans le bassin. Elles présentent des avantages certains sur le plan de la couverture des besoins, par rapport aux eaux de surface, en raison de leur régularité et de leurs faibles coûts de mobilisation comparativement aux eaux de surface. Il s'agit aussi d'une ressource moins vulnérable aux aléas climatiques et à la pollution et mieux répartie géographiquement.

Des efforts importants ont été consentis pour la mobilisation des eaux souterraines qui passe actuellement à plus de 20 hm³/an, soit 17 % du potentiel en eaux souterraines mobilisables.

La méthodologie suivie est simple, elle repose sur un inventaire détaillé de tous les points d'eau (forages, puits et sources), leur classification et l'estimation des réserves hydriques.

A- Les forages :

D'après les renseignements recueillis, un grand nombre de forages, plus ou moins profonds, ont été exécutés dans le bassin de Guelma, accompagnés de piézomètres d'observation du niveau d'eau. Ainsi, nous recensons 29 sondages en service (Tableau 25) pour satisfaire diverses utilisations (AEP, industrie, irrigation et élevage). Notons que sur un total de 33 forages, 4 sont à l'arrêt, soit pour ensablement ou colmatage, soit parce qu'ils sont complètement stériles.

Tableau 25 : Inventaire des forages mobilisés dans le bassin.

Commune	Nombre de forages	Nappe	Volume produit hm ³ /an
Guelma	08	Plaine de Guelma	2.75
Belkhreir	08	Plaine de Guelma	2.37
Boumahra Ahmed	03	Plaine de Guelma	1.55
Khezzara	02	Bassin.O.Hlia	0.29
Bouhachana	02	Bassin.O.Hlia	1.6
Elfedjoudj	01	Hammam Bradaa	0.68
Héliopolis	05	Hammam Bradaa	4.96
Totale	29		14.2

DHW Guelma (2006).

Le volume produit par les forages représente 71% de la ressource souterraine mobilisée.

B- Les sources :

Il existe à travers les communes du bassin de nombreuses sources (tableau 26).

Le volume annuelle produit par les sources est estimé à 2.75 hm³ /an. Il représente 13.75 % du volume souterrain mobilisé. Les débits moyens mesurés des sources inventoriées varient de 0,1 à 3 l/s.

Tableau 26 : Inventaire des sources mobilisées dans le bassin de Guelma.

commune	Nombre de source	Volume produit Hm ³ /an
Guelma	04	0.14
Ben djerrah	10	0.21
Guelaat.B	04	0.03
Boumahra.A	06	0.01
Belkheir	05	0.32
Djebala .K	02	0.01
Héliopolis	08	0.82
El Fedjoudj	05	0.19
Bouhachana	49	0.6
Khezara	31	0.41
Beni Mezline	02	0.01
Totale	124	2.75

DHW Guelma (2006).

C - Les puits :

Selon les données de la DHW de Guelma de 2006 ?, 23 puits sont répertoriés dans les limites des communes du bassin (tableau 27).

Tableau 27 : Inventaire des puits dans le bassin de Guelma

Commune	Nombre de puits	Volume produit Hm ³ /an
Guelma	13	1.39
El Fedjoudj	04	0.11
Héliopolis	01	0.02
Djebala.Khemissi	01	0.04
Belkheir	01	0.01
Guelaat.Bousbaa	3	0.28
Totale	23	1.85

DHW Guelma (2006)

Les 23 puits se répartissent comme suit :

- 01 puits destinés pour l'irrigation
- 09 puits pour l'AEP.
- 03 puits pour l'élevage et le bétail uniquement
- 01 AEP et irrigation.
- 09 puits sans aucune précision.

La ressource en eau souterraine mobilisée dans le bassin de moyenne Seybouse de Guelma est de l'ordre de $18.8 \text{ hm}^3/\text{an}$ soit environ 16% de la ressource souterraine reconnue ($120 \text{ hm}^3/\text{an}$). Ce volume se répartie comme suit: $14.2 \text{ hm}^3/\text{an}$ proviennent des forages, $2.7 \text{ hm}^3/\text{an}$ des sources et $1.85 \text{ hm}^3/\text{an}$ des puits.

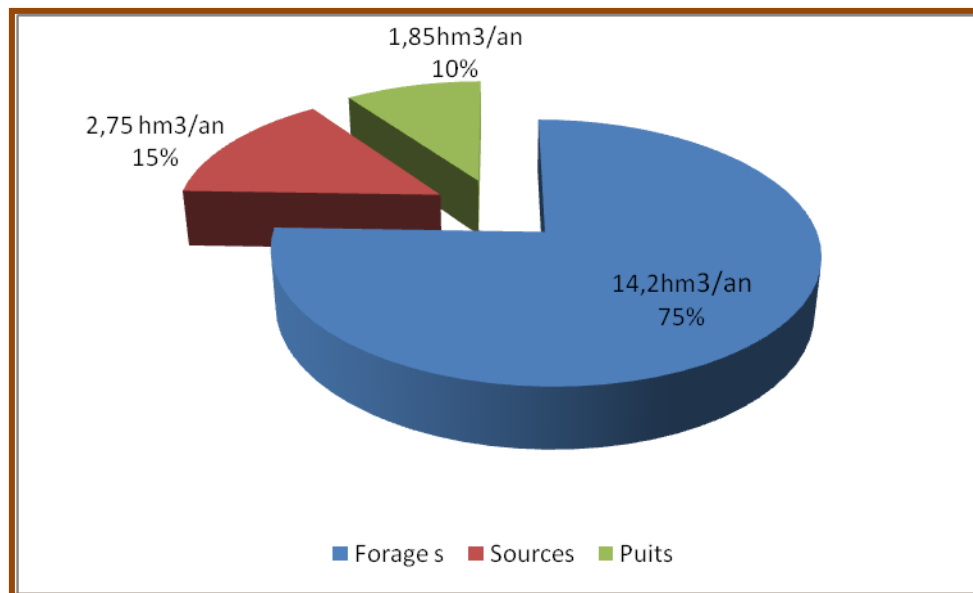


Figure 39 : Taux des volumes en eau souterraine mobilisés.

1.2.2 Mobilisation des eaux de surfaces :

A- Barrage de Bouhamdane :

Le volume d'eau mobilisée à partir du barrage est de l'ordre de $27.73 \text{ hm}^3/\text{an}$, dont $14.08 \text{ hm}^3/\text{an}$ destinée à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et $13.65 \text{ hm}^3/\text{an}$ pour satisfaire les besoins pour l'irrigation.

Le barrage est équipé par une station de traitement d'eau pour la production d'eau potable. Cette station est située dans la commune de Hammam Debagh et dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau 28.

Tableau 28: La capacité de la station de traitement d'eau brute du barrage de Bouhamdane.

Eau brute	Eau potable traitée	Eau à différentes utilisations (station)
1630,30 m^3/h	1500 m^3/h	130 m^3/h

(ADE Guelma)

La capacité annuelle de la station est estimée à 14.08 hm³/an. Cette station alimente la ville de Guelma en eau potable

B- Les retenues collinaires :

Elles sont au total de cinq (DHW Guelma) et mobilisent théoriquement un volume de 0.213 hm³/an d'eau. Sur l'ensemble de ces retenues, il ne reste que les retenues d'Héliopolis et de Khezara qui sont en bon état, avec des capacités qui peuvent atteindre 53000 m³/an.

Tableau 29 : Retenues collinaires dans le sous bassin de la moyenne Seybouse.

Commune	Dénomination	Capacité (m ³)	Etat de l'ouvrage	Destination
Belkheir	Besbessa	30000	Moyen	Irrigation
Belkheir	Medroua	50000	Précaire	Irrigation
Boumahra.A	Chaabat Loba	80000	Précaire	Irrigation
Héliopolis	El Goutrat	28000	Bon état	Irrigation
Khezara	Ben Mabrouk	25000	Bon état	Irrigation
Totale		213000		

DHW Guelma 2006.

C- L'eau prélevée à partir de l'oued Seybouse :

L'irrigation a besoin d'une grande quantité d'eau. La wilaya de Guelma a bénéficié d'un grand projet d'aménagement du périmètre d'irrigation, dont les travaux ont été lancés fin 1986, c'est-à-dire juste après la réalisation du barrage du Bouhamdane par la société Italienne CIR. Rappelons que le périmètre de Guelma court sur 80 km le long de l'Oued Seybouse jusqu'à Drean (W. El Tarf) d'une superficie de 12900 ha. Il est divisé en six (6) secteurs autonomes au plan d'aménagement et de desserte en eau. L'eau mobilisée provient des stations de pompes réparties le long de l'oued Seybouse. Cette eau pompée représente les lâchés du barrage Bouhamdane durant les mois Juin, Juillet, Aout, et Septembre, où le déficit en eau est important, d'où la nécessité d'irriguer. Le tableau ci-dessous montre le volume d'eau distribué, ainsi que les superficies desservies par ces stations de pompage par secteur pour l'année 2006. Le volume d'eau mobilisée pour alimenter le périmètre irrigué est de l'ordre de 16.3 hm³/an pour satisfaire les besoins en eau agricole dans le bassin.

Tableau 30 : Volume d'eau pompée à partir de l'oued Seybouse.

Secteur alimenté	Superficie (ha)	Volume distribué hm^3/an
Boumahra	1419,8	5,4
Guelma	1711,82	6,5
El fedjoudj	1158,75	4,4
Totale	4652,11	16.3

ONID Guelma

Le volume d'eau de surface mobilisé est de l'ordre $44.23 \text{ hm}^3/\text{an}$ et représente 10.78 % de la ressource en eau de surface identifiée dans le bassin, dont $18 \text{ hm}^3/\text{an}$ sont prélevés à partir de l'oued Seybouse, $0.2 \text{ hm}^3/\text{an}$ des retenues collinaires et $27.73 \text{ hm}^3/\text{an}$ à partir du barrage de Bouhamdane .

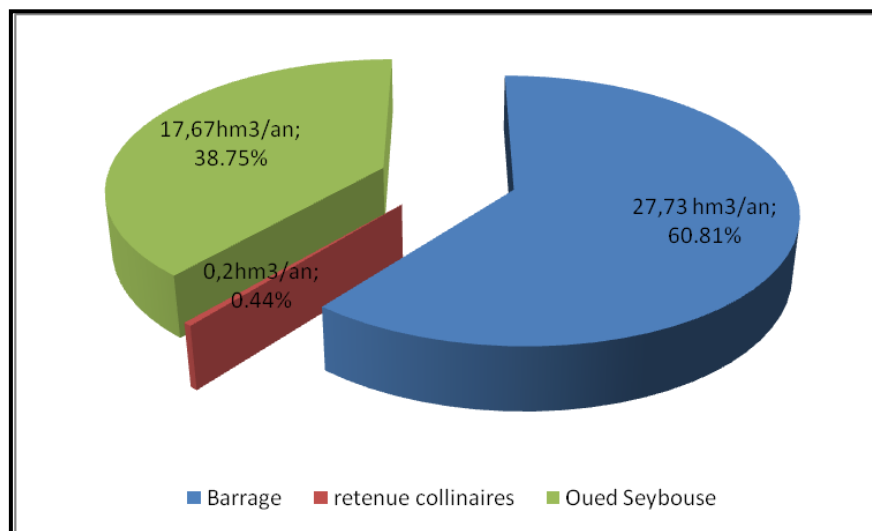


Figure 40 : Le taux du volume d'eau de surface mobilisable.

1.2.3 La ressource en eau mobilisable dans le bassin :

La ressource en eau globale mobilisable dans le bassin est estimée à $64.4 \text{ hm}^3/\text{an}$, dont $18.8 \text{ hm}^3/\text{an}$ représentent le volume en eau souterraine et $45.6 \text{ hm}^3/\text{an}$ en eau de surface.

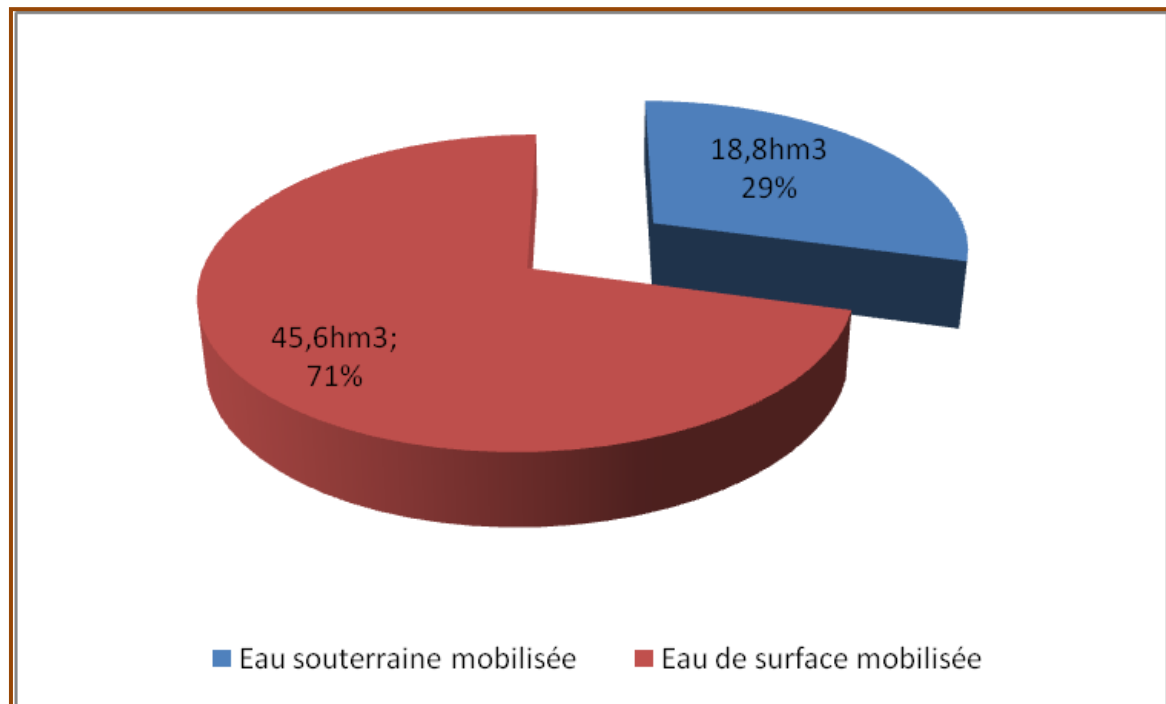


Figure 41 : La ressource en eau mobilisable dans le bassin.

1.3 Affectation de la ressource :

1.3.1 Alimentation en eau potable :

L'alimentation en eau potable de la population du bassin de Guelma est assurée par les eaux souterraines extraites des champs captant de Hammam Bradaa, oued Hlia, oued Maiz ainsi que l'eau traitée du barrage de Bouhamdane. L'eau potable est distribuée par l'intermédiaire de réseaux maillés et ramifiés, anciens et nouveaux, constitués de différents matériaux (acier, l'amiante ciment, PVC et la fonte). Actuellement, ces réseaux fonctionnent selon un régime de coupure d'eau à cause essentiellement de l'indisponibilité de quantité d'eau suffisante pour alimenter 24/24 heures toutes les communes du bassin versant. La production d'eau potable est de l'ordre de 52000 m³/j. La capacité de stockage en eau potable est de l'ordre de 50000 m³/j. Les eaux stockées dans des réservoirs implantés à des altitudes assez élevées, permet d'assurer une bonne pression à différents niveaux.

Tableau 31: systèmes d'approvisionnement en eau potable de la ville de Guelma.

Commune	Nom du système	Capacité en m ³
Guelma	-Barrage Bouhamdane	33570
	-Oued Halia	
	-Hamam Bradaa	
Bendjerrah	-Barrage Bouhamdane	1850
Hamam Debagh	-Oued Maiz	3150
Belkheir	-Oued Maiz	2100
Boumahra Ahmed	-Oued Maiz	2300
Djebala Khemissi	-Oued Maiz	300
Beni Mezeline	-Oued Maiz	300
Héliopolis	-Hamam Bradaa	2400
EL Fedjoudj	-Hamam Bradaa	850
Guelaat Bousbaa	-Hamam Bradaa	1350
Khezara	-Oued Halia	800
Bouhachana	Oued HALia	1100

1.3.2 Le secteur industriel :

L'ensemble des unités industrielles est alimenté par les eaux souterraines des nappes aquifères. Le volume total distribué pour les différentes unités industrielles est de l'ordre de 1.08 hm³, ce qui permet de satisfaire à 99% les besoins en eau industrielles, estimées à 1.09 hm³/an.

1.3.3 Le secteur agricole :

L'irrigation a constitué une voie privilégiée du développement agricole et a bénéficié d'une attention particulière des pouvoirs publics.

1.3.3.1 L'agriculture de la grande hydraulique :

L'irrigation du périmètre se fait à partir du réseau d'irrigation, celui-ci est un dispositif composé d'organes permettant la répartition, la prise en charge et la distribution de l'eau à chaque exploitation agricole. L'eau d'irrigation est acheminée aux différents secteurs par l'oued Seybouse dont le débit est assuré par les lâchés du barrage Bouhamdane. Ce périmètre est géré par l'ONID.

L'irrigation par aspiration est l'une des principales techniques d'irrigation utilisée au sein du périmètre, c'est un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie. Les secteurs d'El Fedjoudj, Guelma et Boumahra Ahmed font partie de la plaine de Guelma où chacun possède sa prise d'eau dans l'oued Seybouse (figure 42). La plus grande superficie est celle du secteur de Guelma (1711.82 ha), suivie de celle du secteur de Boumahra Ahmed (1419.8). Il est important de rappeler que les forages d'exploitation de la nappe alluvionnaire se situent à l'intérieur du périmètre. Le périmètre irrigué consomme actuellement près de 25.3 % du volume total des ressources en eau mobilisées.

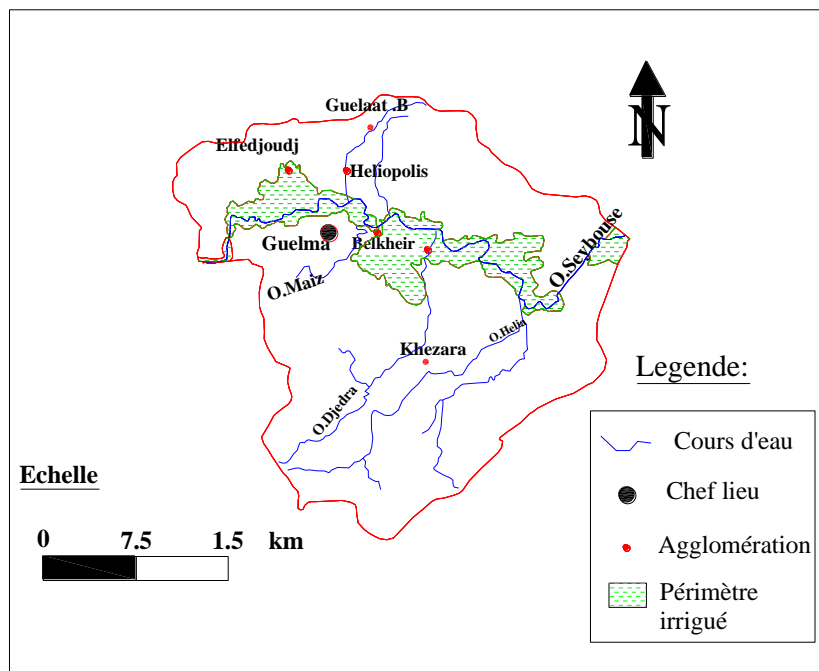


Figure 42 : Le périmètre irrigué du bassin de la moyenne Seybouse.

1.3.3.2 L'agriculture de la petite et la moyenne hydraulique :

La superficie irriguée par la petite et la moyenne hydraulique dans la zone d'étude est de l'ordre de 531 Ha. Cette superficie est irriguée essentiellement à partir des puits, forages, sources et fils d'eau. Le volume total produit ne dépasse pas 1 hm³/an (DHW Guelma 2007). Le taux de satisfaction des besoins en eau des terres irrigables dans le bassin est de l'ordre de 75.88% ce qui représente 17.3 hm³/an des 22 hm³/an de la demande.

Tableau 32: Superficies irriguées de la petite et la moyenne hydraulique.

Commune	Retenu collinaires			Forage		Puits		Sources		Fils d'eau	
	Nbre	sup	Vol.Expl	Nbre	Sup	Nbre	Sup	Nbre	Sup	Nbre	Sup
		Ha	hm ³		Ha		Ha		Ha		Ha
Guelma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bendjerrah	0	0	0	0	0	11	12	10	4	2	30
Guelat Bou Sbaa	0	0	0	0	0	7	6	2	4	6	14
Belkheir	2	16	0,015	1	4	11	30	0	0	0	0
Boumahra Ahmed	0	0	0	0	0	5	16	0	0	8	40
Djeballah Khemissi	0	0	0	0	0	6	8	0	0	0	0
Beni Mezline	0	0	0	0	0	5	11	0	0	0	0
Heliopolis	1	0	0	0	0	24	20	0	0	6	56
El Fedjoudj	0	0	0	0	0	9	14	0	0	2	20
Hammam Debagh	1	12	0,03	0	0	2	6	0	0	8	80
Khezaras	0	0	0	0	0	10	32	0	0	16	96
Total	4	28	0,045	1	4	90	155	12	8	48	336

DHW Guelma 2007

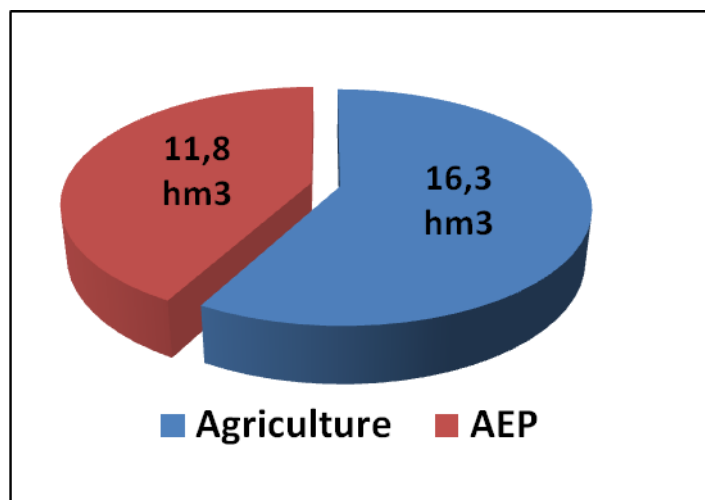
1.3.4 Utilisation de la ressource

Le volume total d'eau utilisé dans le bassin de la moyenne Seybouse s'élève à 36.22 hm³ répartis entre :

- 28.1 hm³/an d'eau de surface utilisés en totalité pour l'irrigation et l'AEP.
- 8.12 hm³ d'eau souterraine utilisée à raison de 0.4 hm³ pour l'irrigation et 8.08 hm³ pour l'AEP et l'AEI. La couverture des besoins actuels est assurée totalement pour le secteur de l'AEP et AEI et reste encore insuffisante pour les secteurs de l'agriculture.

1.4 Bilan offre besoin :

Dans l'ensemble, les efforts déployés en matière de mobilisation des ressources en eau permettent de disposer, en année moyenne, d'un volume global de 64.4 hm³ par an 18.8 hm³ d'eau souterraine et 45.6 hm³ eau de surface (Figure 43). Ce qui permet, en année moyenne, d'assurer l'irrigation de 4712.34 ha, et la production de 19.8 hm³ pour l'alimentation en eau potable et industrielle. La caractéristique essentielle de l'utilisation de l'eau dans le bassin réside dans l'importance de la demande en eau du secteur de l'agriculture qui constitue près de 92 % de la demande globale en eau, l'eau potable et industrielle n'intervenant que pour 8 %. Dans la satisfaction de la demande en eau, la priorité est d'abord accordée à l'approvisionnement en eau potable, puis à l'irrigation.



Eau de surface

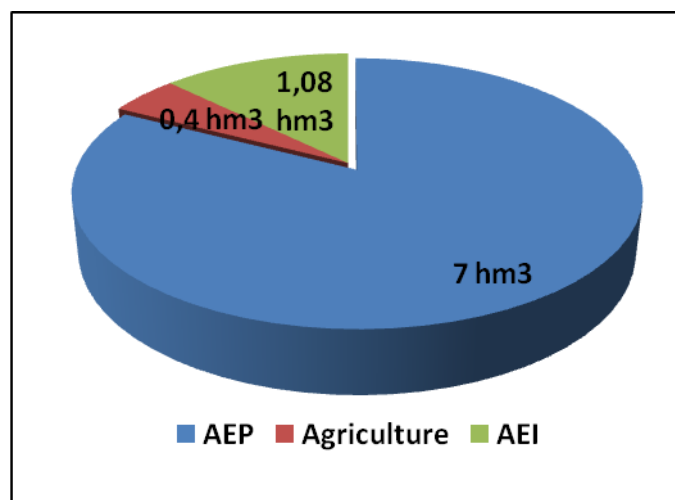


Figure 43 : Affectation et origine des eaux mobilisées

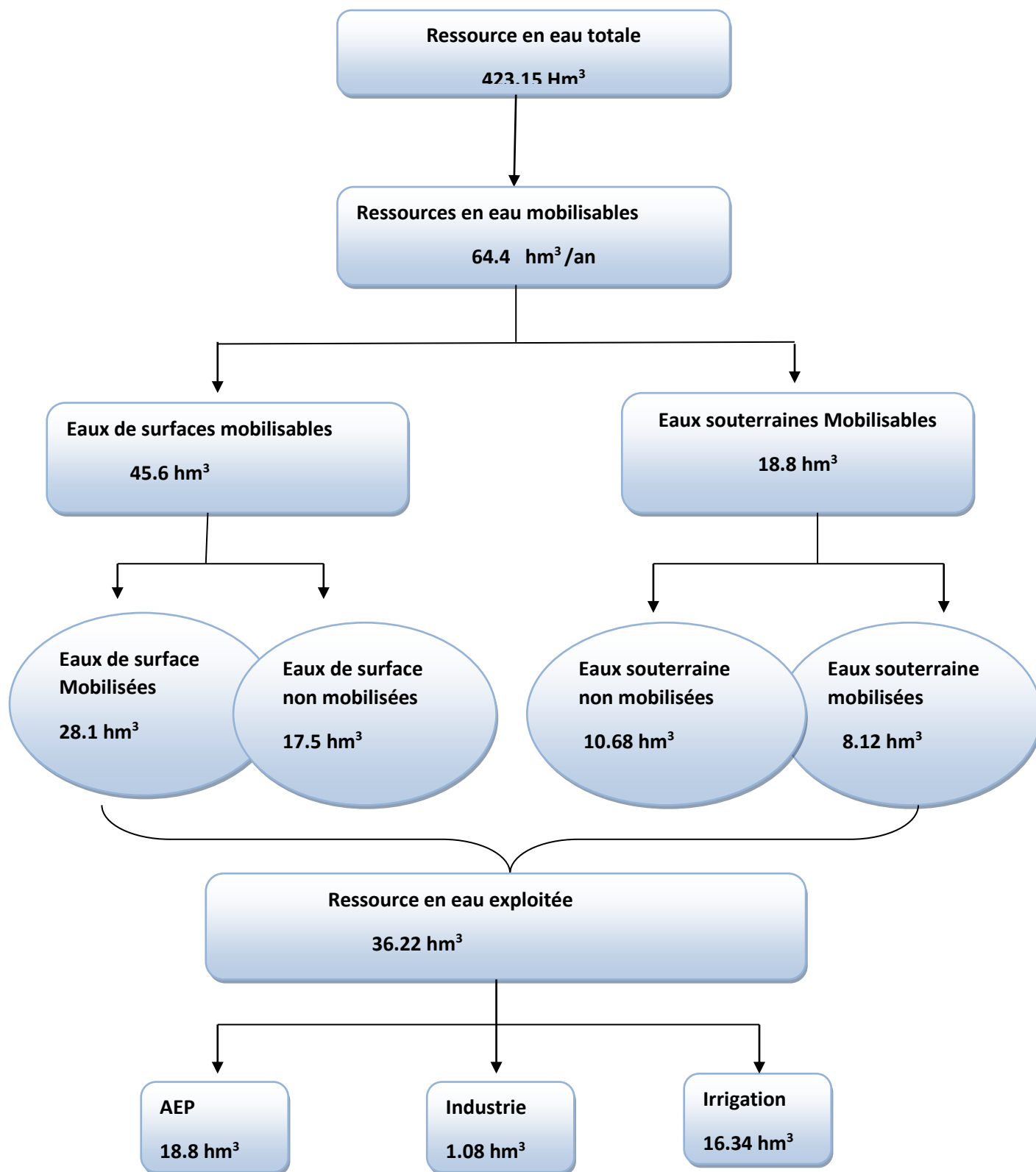


Figure 44 : Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans le sous bassin de la moyenne Seybouse.

2. Les scénarios possibles à court, moyen et long terme :

2.1 Secteur industrielles :

L'évolution des besoins industriels en matière d'eau dépend du développement économique de la région, du type d'industrie et surtout des investissements futurs.

Pour estimer le flux de la demande dans les années à venir, on peut faire une projection des besoins en eau industrielle dans le temps, avec une augmentation arbitraire de 10% des besoins actuels chaque cinq ans, on établie sur la base d'un rapport moyen globalisé de l'ANAT à l'an 2000(d'après Khérici-Bousnoubra2000).

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau

Tableau 33 : Evolution des besoins en eau industrielle dans le bassin à différents horizons.

Année	2006	2010	2015	2020	2030
AEI (hm ³ /an)	1.09	1.18	1.26	1.35	1.56

Les besoins en eau industrielle s'élèvent à 1.09 hm³ en l'an 2006 et peuvent atteindre 1.56 hm³ en 2030. Selon les projections le bilan d'eau pour le secteur industrielle est déficitaire. Le déficit passe de 0.01 hm³/an en 2006 et atteint 0.55 hm³/an en 2030.

2.2 Secteur agricole

L'accroissement de la superficie irriguée dans les horizons projetés engendre une augmentation des besoins en eau d'une façon considérable et aura ces répercutions sur les ressources en eau que se soit souterraine ou superficielle d'où la menace sur le réserves.

Projetant une augmentation de 2000 ha toute les cinq années avenir avec une dose moyenne annuelle de l'ordre de 4500 m³/Ha/an.

Tableau 34 : Evolution des terres irriguées et des besoins en eau d'irrigation dans le bassin

Année	2006	2010	2015	2020	2030
Surface agricole irrigable (ha)	5074.11	6674.11	8674.11	10674.11	12674.11
Besoins en eau hm ³ /an	22.83	30.03	39.03	48.03	57.03

Les besoins en eau d'irrigation s'élèvent donc à 22.83 hm³/an en 2006 pour atteindre un volume de 57.03 hm³/an en 2030. Il est à noter que le bilan d'eau pour le secteur agricole est déficitaire ce déficit s'élève à 5.53 hm³/an et peut atteindre les 39.73 hm³/an en 2030.

2.3 Besoins futures en eau potable :

Les perspectives d'évolution de la demande en eau à long terme sont fonction du taux d'accroissement de la population. Les prévisions démographiques faites à l'horizon 2030 suggèrent un accroissement de la population de l'ordre de 75% par rapport à 1998 (figure45).

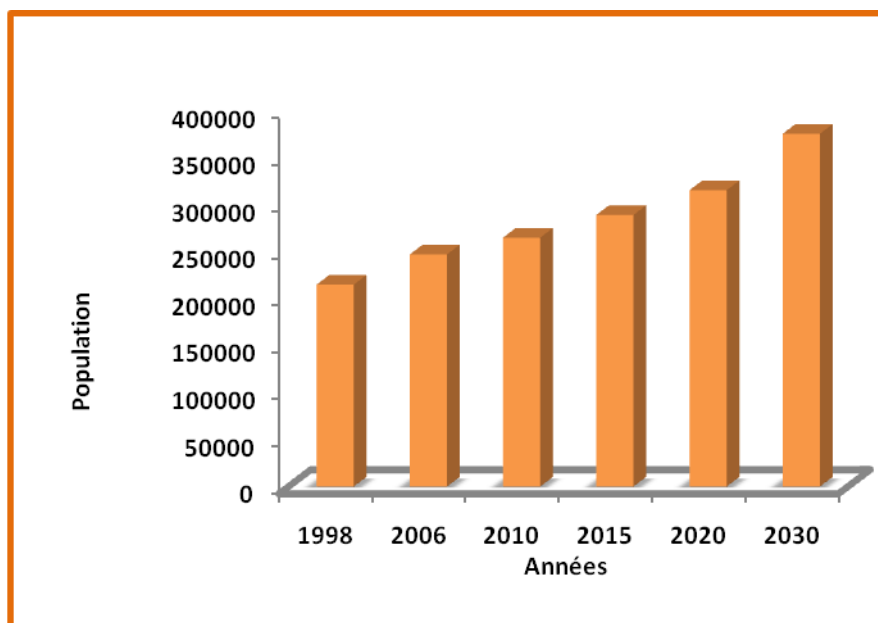


Figure 45 : évolution de la population au dans le bassin de la moyenne Seybouse.

La demande en eau potable passe de 11.8 hm³/an en 1998 à 20.6 hm³/an en 2030. Donc le bilan d'eau pour ce secteur devient déficitaire en 2030 avec un déficit de 1.8 hm³/an. Face à cette perspective, la réponse immédiate de certains consiste à proposer un accroissement de l'offre en engageant des investissements de capacité de production et de stockage.

Tableau 35 : Besoins et déficit en eau potable aux différents horizons.

Année	1998	2006	2010	2015	2020	2030
Besoins	11,8	13,55	14,54	15,86	17,3	20,6
Déficit hm ³ /an	0	0	0	0	0	1,8

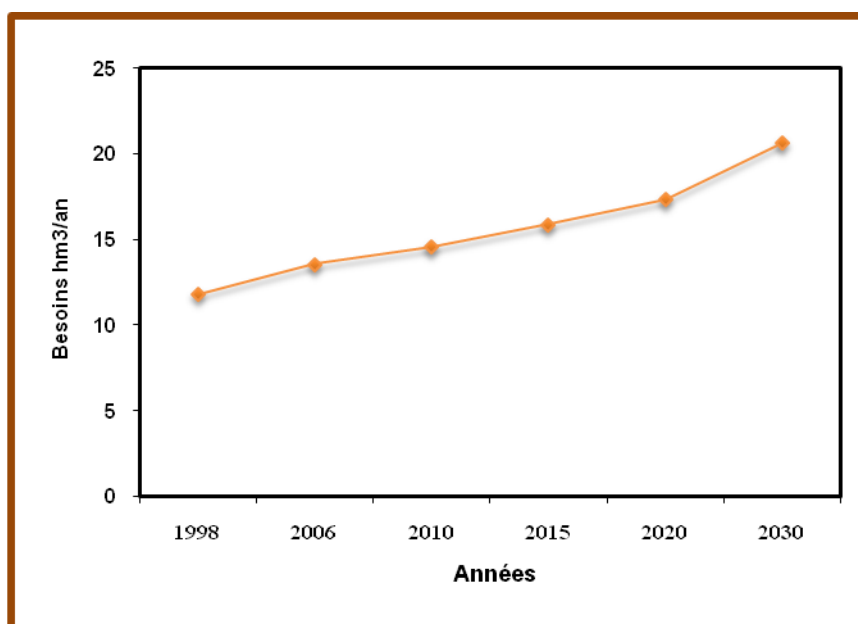


Figure 46 : Evolution de la demande en eau potable dans le bassin versant de Guelma.

2.4 Bilan des besoins globaux aux différents horizons :

Après l'estimation des besoins en eau des différents secteurs (AEP, AEI et AEI) aux différents horizons on procédera à une confrontation de ces besoins avec les ressources en eau mobilisée est nécessaire.

Tableau 36 : Besoins future en eau des différents secteurs dans le bassin

Secteurs d'usagers	Les besoins en eau aux différents horizons (hm ³ /an)				
	2006	2010	2015	2020	2030
L'alimentation en eau potable	13,55	14,54	15,86	17,3	20,6
L'alimentation en eau d'irrigation	22.83	30.03	39.03	48.03	57.03
L'alimentation en eau industrielle	1.09	1.18	1.26	1.35	1.56
Total	37.47	45.75	56.15	66.68	79.19

Les estimations faites concernant les besoins en eau entre 2006 et 2030 sont de 37.47 hm³ en 2006 et 79.19 hm³ en 2030. Cette situation, déjà critique, reste tributaire de la continuité de l'effort supplémentaire de mobilisation des 16.01 hm³ d'eaux de surface et des 10.68 hm³ d'eaux souterraine non mobilisées et qui nécessitent la construction de barrages, forages et de puits entre 2006 et 2030 (figure 47).

Notons que les hypothèses considérées ici n'ont en rien exagéré la situation probable en 2020. En effet, et à titre d'exemple, la dégradation de la qualité des ressources en eau et la

diminution qui en résulterait au niveau du potentiel réel en eau mobilisé, pouvant être utilisé par les usagers, n'ont pas été pris en considération. Ainsi le secteur de l'eau, élément central de la politique du développement économique et social dans le bassin de Guelma, connaît différentes carences.

Les problèmes liés aux ressources pour les décennies à venir se sont causés par : rareté et l'insuffisance de la ressource par rapport à la demande; mauvaise répartition spatio-temporelle de ces ressources; dégradation de la qualité en relation suite à la pollution.

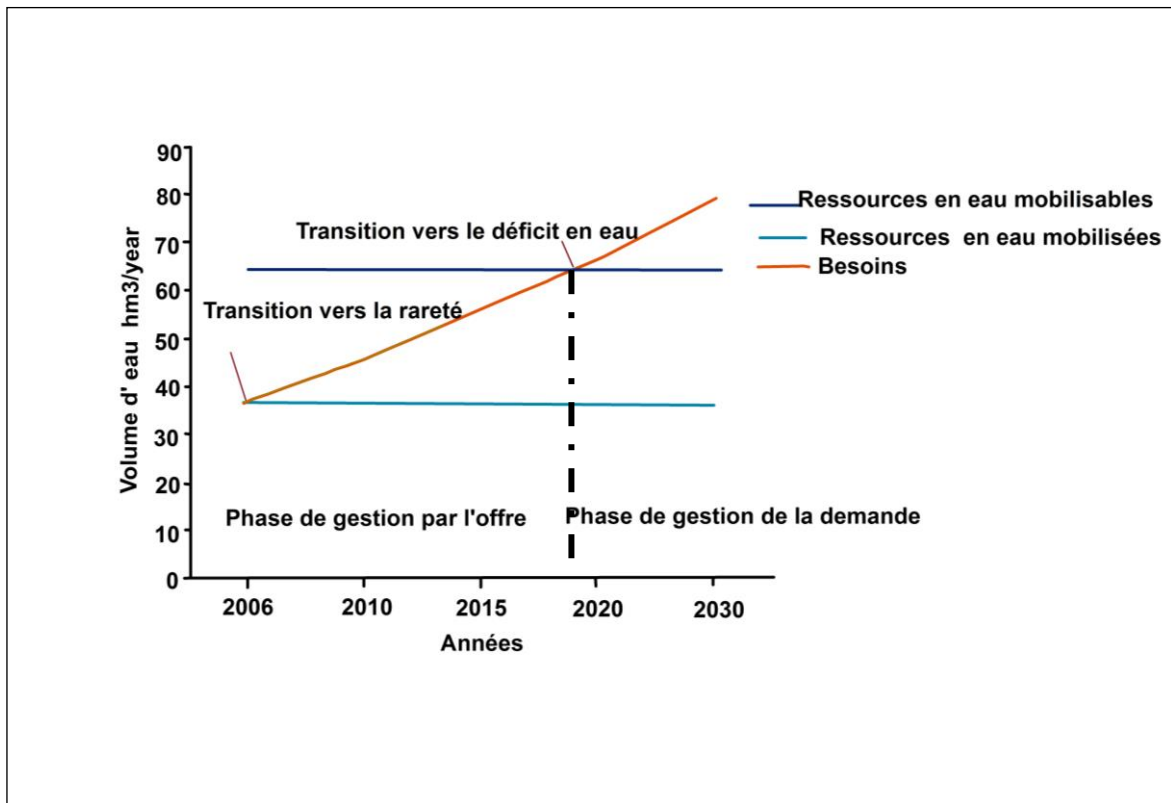


Figure47 : Courbe de l'évolution des besoins en eau globaux et les ressources mobilisées dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.

Conclusion :

En raison de la croissance démographique et des besoins en eau induits par le développement industriel et agricole, les ressources en eaux potentielles du bassin de la moyenne Seybouse s'avèrent insuffisantes à l'horizon 2020. Les potentialités en eau mobilisables évaluées à 64,4 millions de $\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$, se réduisent en fait à seulement 36,22 millions de $\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ (56 %) en terme de ressources réellement mobilisée. Les résultats obtenus montrent que le sous-bassin de la moyenne Seybouse a besoin deux fois autant d'eau d'ici 2030 pour les différentes

utilisations. Cela nécessite une meilleure gestion des ressources en eau pour un développement durable.

Partie IV :

**Modèle de consommation en
eau potable dans le bassin
versant de la moyenne
Seybouse.**

Partie IV : Modèle de consommation en eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.

Avant de développer un modèle statistique permettant d'interpréter les différences de consommations dans le bassin versant de la moyenne Seybouse. Nous avons procédé à une revue de la littérature scientifique et avons passé en revue les études existantes afin d'identifier les groupes de facteurs susceptibles de déterminer la consommation d'eau. Les principaux facteurs, qui ont été identifiés comme déterminant la consommation de l'eau potable, sont : (1) les facteurs climatiques, (2) le niveau d'équipement des communes, (3) les caractéristiques de l'habitat, (4) les caractéristiques socio-économiques de la population, (5) l'importance des activités touristiques, (6) le prix de l'eau potable et (7) les ressources alternatives.

1.1. Facteurs climatiques :

De nombreuses études montrent que les variables climatiques influencent la consommation d'eau des ménages. D'une part, il existe un impact de la pluviométrie (Ruijs 2008), plus il pleut, plus la consommation d'eau potable est faible. Ceci est notamment lié aux usages extérieurs (arrosage des jardins, taux d'équipement en piscines). Les consommateurs pouvant être plus sensibles au fait qu'il pleuve plutôt qu'à la quantité de pluie tombée, plusieurs études font état d'une corrélation de la consommation avec le *nombre de jours pluvieux* plutôt qu'avec la pluviométrie exprimée en millimètres (Martinez Espiñeira 2002 et Schleich et al. 2008). D'autre part, une *température élevée* incite les gens à prendre plus de douches, laver leur linge plus fréquemment, arroser plus leur jardin, utiliser les piscines etc. et fait donc augmenter la consommation d'eau (Ruijs 2008).

1.2. Equipements collectifs : Les espaces verts publics, les effectifs des collèges et lycées et des établissements de soins, etc. ont un effet positif sur la consommation communale. Toutefois, ces facteurs peuvent être pris en compte dans un facteur global "taille de la commune". En effet, selon la taille de la commune, les équipements publics et les commerces seront plus ou moins développés, et les consommations collectives seront plus ou moins importantes. L'étude de Morvan et Grosmesnil (2002) met en évidence une corrélation positive entre la consommation moyenne par habitant et la taille de la commune (exprimée en nombre d'habitants).

1.3. Caractéristiques de l'habitat :

La consommation d'eau diffère selon les caractéristiques de l'habitat. La *présence d'un jardin* fait ainsi augmenter la consommation d'eau du logement via des usages extérieurs : arrosage des pelouses, possibilité de laver sa voiture, d'avoir une piscine etc.). Les piscines étant des installations fortement consommatrices d'eau (30 à 50 m³ par an), on pourrait prendre en compte la présence de piscines comme facteur explicatif à part entière. Mais cette variable peut être englobée dans un facteur plus large, la "présence de jardins", dont l'impact positif sur la consommation a été montré par les études de Renwick (1998) et Barkatullah (2002).

Les *logements en habitat collectif* n'ayant pas de consommation d'eau extérieure, une part importante de logements collectifs dans la commune devrait avoir un effet négatif sur la consommation. Toutefois, les logements en habitat collectif ne disposant pas toujours de compteurs divisionnaires, les consommateurs ne sont pas forcément incités à surveiller leur consommation. Le facteur "taux de compteurs individuels dans les logements collectifs" a ainsi un impact négatif sur la consommation communale (Guellec 1995, Cambon-Grau 2000). De la même façon le *taux de propriétaires* aura un effet négatif : les propriétaires recevant directement leur facture d'eau seront plus attentifs à leur consommation que les locataires qui payent l'eau à travers les charges. Cet effet est décrit par Morvan et Grosmesnil (2002). Enfin, les ménages habitant des *logements récents* consomment moins que ceux qui occupent des logements anciens, car le risque de fuites après compteur est moindre. Ils peuvent aussi être équipés d'appareils ménagers plus récents et plus économes en eau. Deux études françaises ont montré que le taux de logements récents a un impact négatif sur la consommation communale (Le Coz 1998, Nauges et Reynaud 2001).

1.4. Facteurs socioéconomiques / Caractéristiques des ménages :

La consommation d'eau potable est souvent positivement corrélée au *revenu*, les ménages les plus riches étant peu sensibles au prix de l'eau puisque la facture ne représente qu'une faible part de leurs revenus. Le phénomène peut s'observer à l'échelle individuelle mais aussi à l'échelle communale. Plusieurs études statistiques ont ainsi montré que, plus le revenu moyen de la commune est élevé, plus la consommation d'eau est importante (Schleich et al. 2008, Arbués et al. 2004 etc.). Le *nombre de personnes par ménage* affecte également la consommation, car des ménages rassemblant plusieurs personnes réalisent des économies d'échelle. Ainsi, pour un même nombre d'habitants, une commune composée de familles nombreuses consommera moins d'eau qu'une commune où beaucoup de ménages sont composés de personnes seules (Arbués et al. 2000 et 2004, Frondel et Messner 2008).

1.5. Importance du tourisme :

Etant donné que nous considérons ici la consommation moyenne par habitant, en incluant les usages collectifs, commerciaux et institutionnels, cette consommation sera d'autant plus importante que la commune est le siège d'activités touristiques (restaurants, hôtels, résidences) dont leurs occupants ne sont pas comptabilisés dans la population communale. L'étude de Martínez Espiñeira (2002) montre que la variable *pourcentage de résidences principales* a un effet positif significatif sur la consommation d'eau. En ce qui concerne les autres formes d'occupation temporaire, le nombre de chambres d'hôtel et le nombre d'emplacements de camping peuvent aussi influencer la consommation communale à la hausse.

1.6. Prix de l'eau :

Selon la théorie économique les consommateurs sont sensibles au prix marginal du bien consommé, comme le montre l'étude de Bell et Griffin (2008). En pratique, la difficulté de lecture de la facture d'eau peut amener le consommateur à raisonner plutôt en termes de prix moyen (Schleich et al. 2008, Nauges et Reynaud 2001). Un certain nombre d'autres variables ont un effet significatif sur la demande en eau : structure de la tarification, fréquence de la facturation, informations disponibles sur la facture (Gaudin 2006, Frondel et Messner 2008) et campagnes de sensibilisation des consommateurs (Renwick et al. 1998).

1.7. Ressources alternatives :

Dans certains contextes, les ménages peuvent accéder à des ressources en eau alternatives, comme la récupération d'eau de pluie ou des puits d'eau souterraine. Ces ménages peuvent alors substituer de l'eau brute à de l'eau potable pour une partie de leurs usages, ce qui conduit à une baisse de leur consommation en eau potable. La consommation d'eau potable moyenne par habitant est donc susceptible d'être plus faible dans les communes où de nombreux ménages ont accès à des ressources de substitution. Cet effet a d'ailleurs été montré dans une étude en Allemagne (Schleich et al. 2008).

2. Les données utilisées :

Les données utilisées couvrent la période janvier 2006 à décembre 2013. Ces données sont entre autres :

(1) la consommation en eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse fournies par la Direction de l'Algérienne des eaux de la Wilaya de Guelma ; (2) la population (Pop) de vingt (20) municipalités estimée aux divers horizons de la période d'étude à partir du taux de croissance, lui-même calculé à l'aide de certaines valeurs de population fournies par **DPAT** Guelma ; (3) cumul de pluviométrie moyenne (Cumul P) , (4) la température moyenne

(Tmoy) ,(5) le nombre de jour ou la température moyenne supérieure à 28 °C (Tmoy>28) et (6) le nombre de jour pluvieux (Jour P) obtenues auprès de la Station Météorologique de Belkheir. Toutes ces données ont été observées au pas de temps de trois mois.

(1) : Variable à expliquer. (2, 3, 4, 5 ,6) : Variable explicative.

3. La consommation en eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse :

3.1 Statistiques Descriptives :

La « consommation d'eau » est définie comme : « la somme des volumes facturés par le gestionnaire, auquel on a soustrait les volumes facturés aux usagers industriels. Ainsi, la donnée de consommation ne comprend pas seulement les consommations domestiques, mais également les consommations collectives (arrosage des espaces verts publics, consommations des écoles etc.) et les consommations commerciales (boulangeries, petits commerces etc.). Les données correspondent à la consommation annuelle de sept années 2006 jusqu'à 2013 de la population dans le bassin versant de la moyenne Seybouse. Pour comparer la consommation entre les différentes communes, on calcule la consommation annuelle par habitant (en m³) dans chacune des agglomérations. Rapportée à la population, la consommation d'eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse est en moyenne de 12,53 m³/hab/an (34 litre/ habitant /jour) en 2006 et 14,77 m³ /hab/an (40 litre/ habitant /jour) en 2013 (figure 48). On observe une grande dispersion autour de cette valeur moyenne, avec un écart de 7 m³/hab/an en 2006 et 5,3 m³ /hab/an en 2013. Certaines agglomérations consomment presque deux fois plus que la moyenne par exemple : Belkheir, Chihaoui Laid, Beni, Mezline, Saleh Soufi.

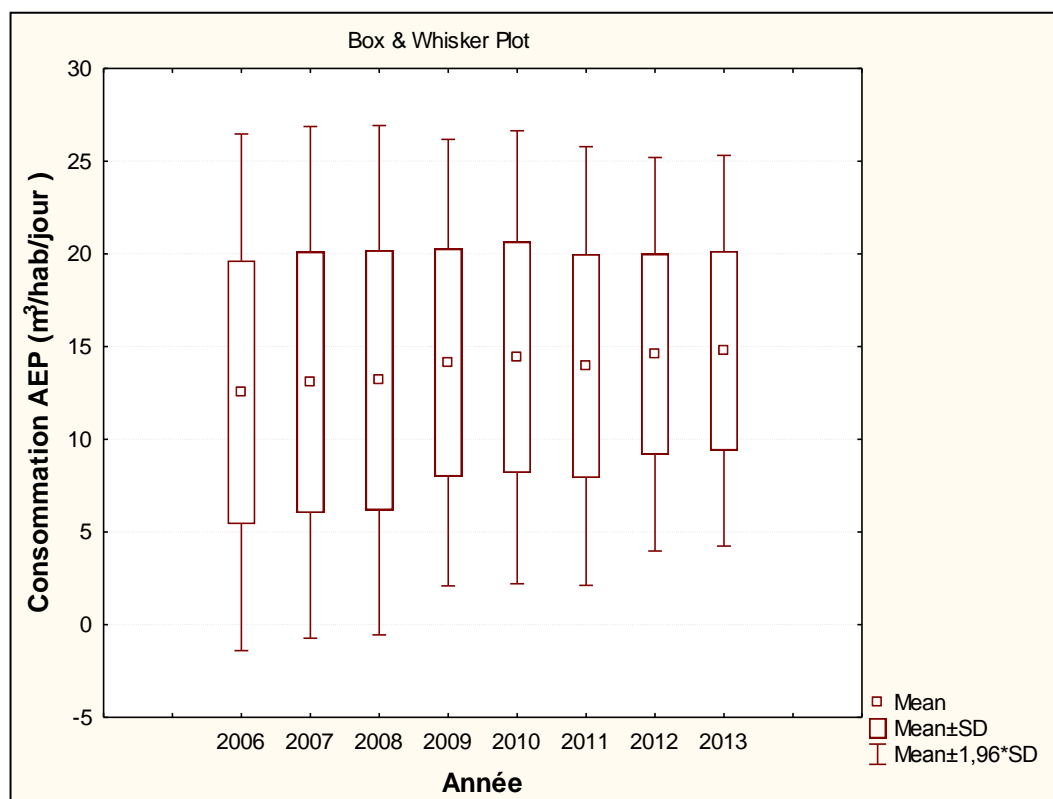


Figure 48: Dispersion des consommations moyennes dans le bassin versant de la moyenne Seybouse (m³/habitant /an) (2006-2013).

3.1.1 Les Matrices de Corrélation :

L'analyse de la matrice de corrélation a été faite pour étudier la direction et la liaison entre deux variables, les coefficients indiquant l'influence que les variables ont les unes sur les autres. C est ainsi qu'on observe une dépendance positive prédominante de la consommation avec la population ($R^2 = 0,72$) et a un degré moindre avec les températures moyennes ($R^2 = 0,48$) et le nombre de jour chaud ($R^2 = 0,49$). Par contre une corrélation négative est enregistré pour les cumuls des précipitations ($R^2 = -0,32$) et le nombre de jour pluvieux ($R^2 = -0,48$).

Tableau 37: La matrice de corrélation pour les variables analysées.

	Pop	Tmoy	Cumul P	Jour P	Tmoy>28	Cons
Pop	1,000000					
Tmoy	0,015794	1,000000				
Cumul P	0,179420	-0,642243	1,000000			
Jour P	-0,177447	-0,475224	0,683914	1,000000		
Tmoy>28	0,020934	0,781567	-0,564868	-0,466402	1,000000	
Cons	0,722511	0,486396	-0,113492	-0,319393	0,496414	1,000000

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) :

L'objectif d'application de l'analyse en composantes principales (ACP) est de réduire le nombre des variables en un petit nombre de dimension (facteurs), de classer les variables et de regrouper les observations (municipalités) ayant des caractéristiques similaires

La figure 49 présente la projection des variables analysées sur les plans factoriels (1x2) et montre que le facteur F1 explique 51,57% de l'information et le facteur F2 quand à lui présente 27,18% de l'information. L'axe F1 représente les facteurs explicatifs démographique par contre l'axe F2 représente les facteurs explicatifs climatiques. Sur l'axe F2 une opposition évidente est remarquable entre les pluies et la température.

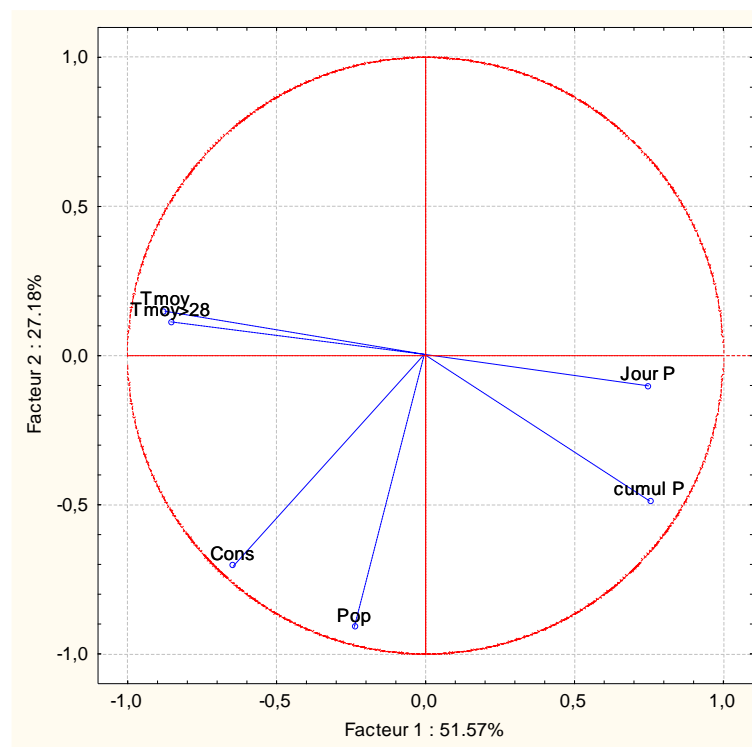


Figure 49 : La projection des variables sur les plans factoriels F1 et F2.

La figure 50 présente la projection des municipalités sur le plan factoriel (F1 et F2), elle montre un groupe de trimestre d'observations (3.7, 11, 19, 23, 27, 31) sont similaires en terme de précipitations (cumul de pluie, nombre de jours pluvieux), de température (température moyenne, nombre de jours ou la température moyenne est supérieure à 28 °C) ainsi que de consommation en eau potable. Ces groupe présentent la saison d'été dans l'année.

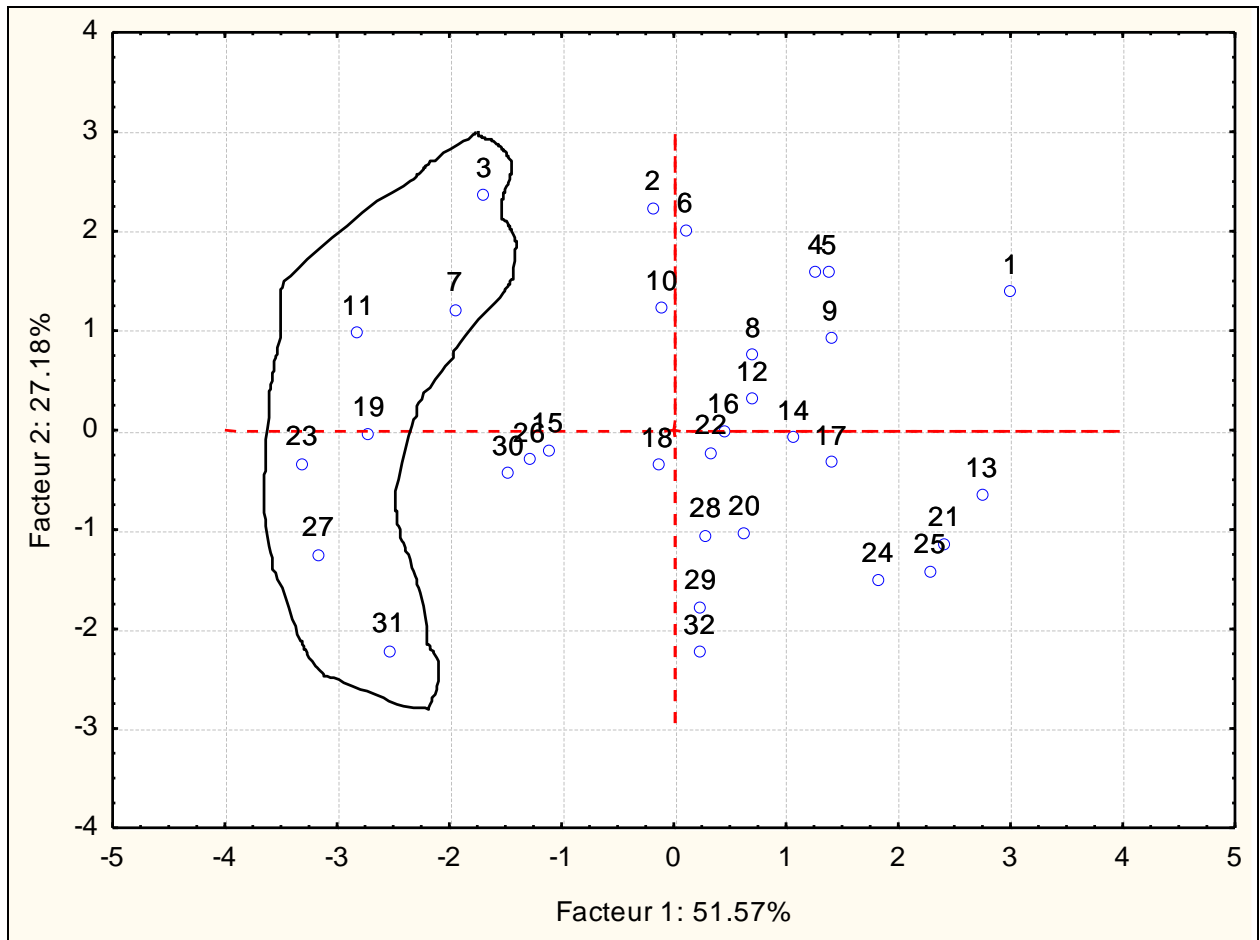


Figure 50 : La projection des trimestres d'observations sur les plans factoriels F1 et F2.

3.2 Aperçu sur les réseaux de neurones formels et organisation des bases de données :

Un Réseau de Neurones peut se définir comme un maillage de plusieurs neurones, généralement organisés en couches (Dreyfus et *al*, 2004 ; Koffi, 2007). De manière générale, le sens de transfert de l'information dans un réseau est défini par la nature des connexions qui sont directes ou récurrentes. Selon le chemin suivi par l'information dans le réseau on peut classer les Réseaux de Neurones en deux grandes catégories : les réseaux "feed-forward" et les réseaux "feed-back" (Dreyfus et *al*, 2004; Koffi, 2007). Les perceptrons multicouches (PMC) utilisés dans cette étude sont à deux (2) couches : une couche cachée et une couche de sortie. La fonction neurone logistique a été choisie pour cette étude. En ce qui concerne la répartition des données, elles ont été subdivisées en trois sous ensembles distinctes : 50% des données pour le calage du modèle, 25% pour arrêter l'apprentissage lorsque l'erreur sur cet ensemble dit de validation croisée atteint un minimum et 25% pour tester et évaluer la performance du réseau afin de le valider. Les données utilisées dans cette étude ont été

auparavant normées afin d'être comprise entre 0 et 1 pour faciliter la convergence des modèles pendant leur apprentissage (figure 51).

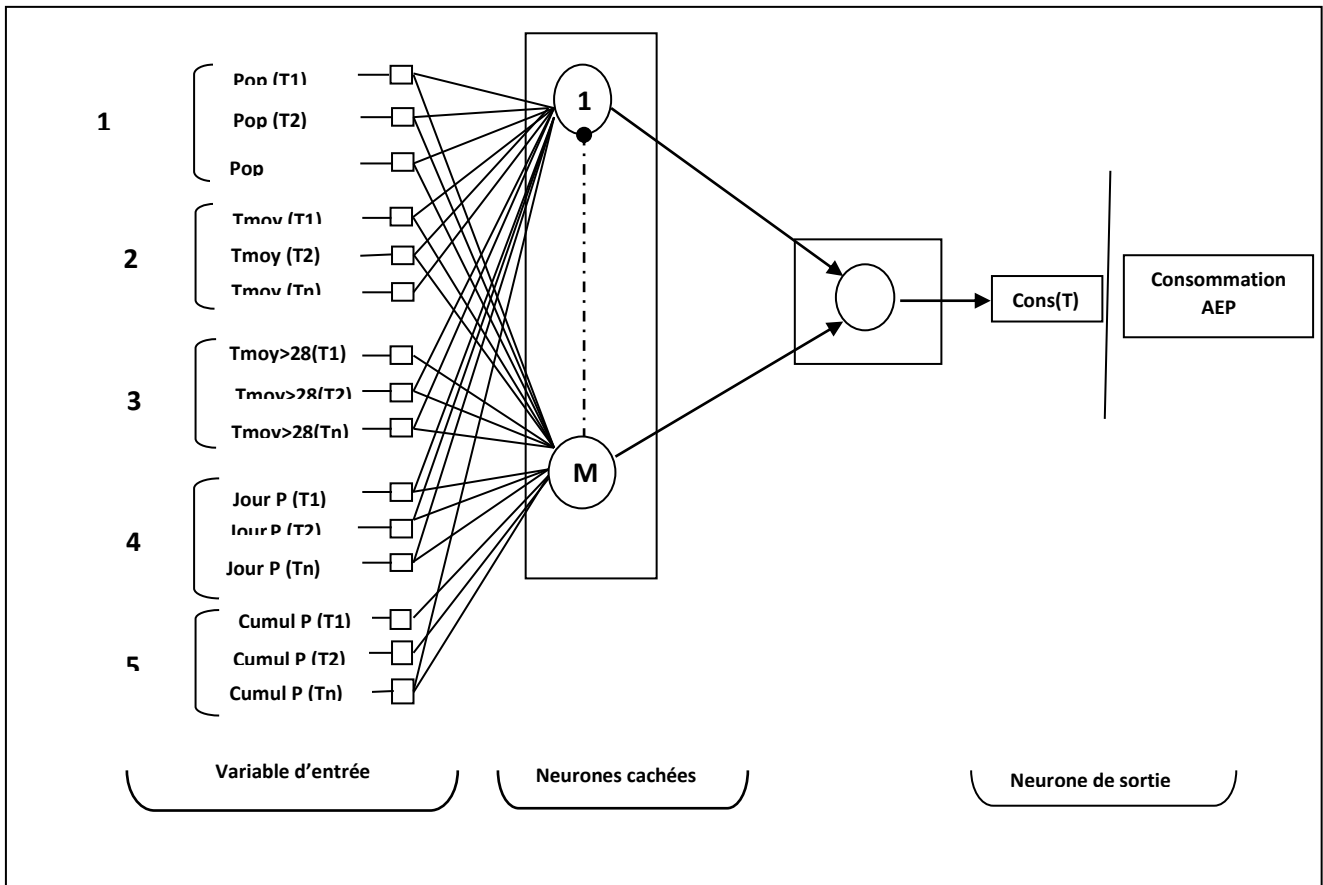


Figure 51 : Architecture générale du modèle neuronal utilisé.

Légende :

(1) : Population en nombre. (2) : Température moyenne en °C. (3) Nombre de jours où la température est supérieure à 28 °C. (4) : Nombre de jours pluvieux. (5) Cumul des précipitations en mm.

3.2.1 Critères de performance des modèles : La performance d'un modèle issu d'une méthode d'apprentissage s'évalue par sa capacité de prédiction ou de généralisation. En effet, les critères de performance mesurent la qualité ou la confiance que l'on peut accorder aux résultats d'une prévision en vue même, dans un cadre légal, d'une certification (Besse, 2005). Pour évaluer la qualité prévisionnelle des modèles développés dans cette étude, le coefficient de corrélation, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne et la moyenne biaisée ont été utilisés.

A. Coefficient de corrélation « R »

Le coefficient de corrélation lui-même est utilisé pour mesurer la corrélation linéaire entre la consommation réelle ou mesurée et la consommation calculée. Sa formule est :

$$R = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X}) \times (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i (X_i - \bar{X})^2 \times \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Avec X_i = consommation mesurée ; Y_i = consommation calculée ; \bar{X} = moyenne des consommations mesurées ; \bar{Y} = moyenne des consommations calculées.

Selon Koffi et al (2006) par convention la relation est parfaite si $R = 1$; très forte si $R > 0,8$; forte si R se situe entre 0,5 et 0,8 ; d'intensité moyenne si R se situe entre 0,2 et 0,5 ; faible si R se situe entre 0 et 0,2 ; nulle si $R = 0$. De manière générale si R est inférieure à 0,7 alors la relation est sujette à problème (Ancil et al, 2004).

B. Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne « RMSE »

La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne est utilisée comme la mesure de la performance globale du modèle. Cet indice permet une évaluation combinée de la variance et du biais. Le modèle est bien optimisé si la valeur de RMSE est proche de zéro, ce qui tend vers une parfaite prévision. Sa formulation mathématique est donnée par la relation suivante (Koffi, 2007) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i (X_i - X_{cal})^2}{N}}$$

Avec X_i et X_{cal} qui sont les consommations observées et calculées ; N est le nombre de données.

4. Discussion des résultats :

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation (Broyden Fletcher Goldfarb Shano : **BFGS** 19 Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC) et le RBF (l'ANN à fonctions radiales de base). Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur ANN trouvé est le MLP

(5 6 1) à cinq (05) couches et à six(06) nœuds cachés (Figure 6.1), présentent un coefficient de corrélation est supérieur à 92% pour la phase d'apprentissage et de test, ce qui montre un excellent accord entre la consommation en eau observée et simulée (Figure52). En outre un minimum de RMSE (Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne) de 0.004070 (Tableau41).

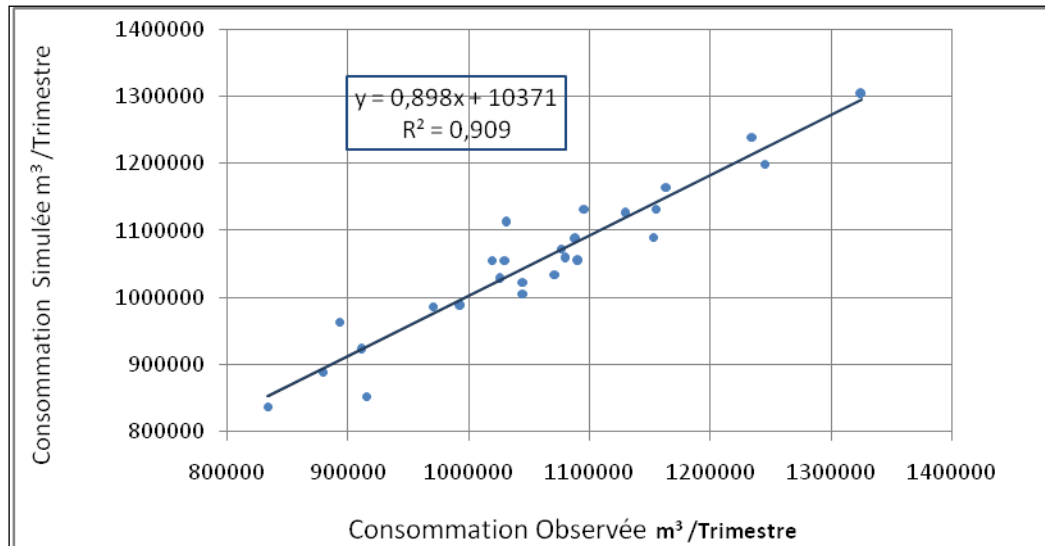


Figure 52 : LA consommation d eau potable observé en fonction de la consommation simulée

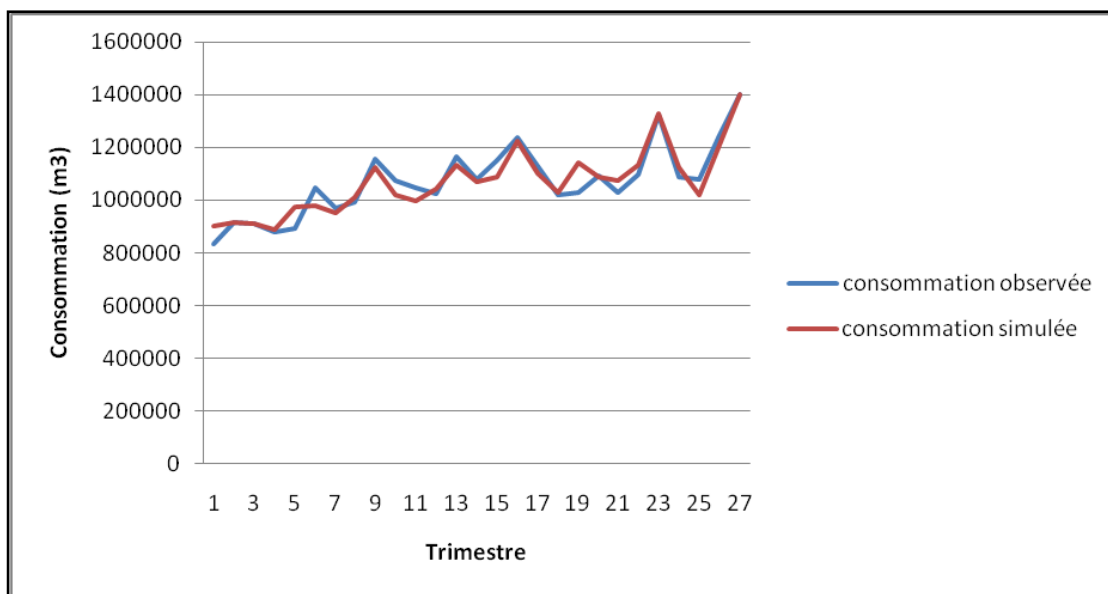


Figure53 : Courbes des consommations observées et calculées (prédites) en phase de test des modèles (5 6 1).

Tableau 38: Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (Consommation d'eau potable).

	Training	Testing
RMSE	0,00407037	0,00719654
Corrélation R	0,92312455	0,94109795

L'analyse de la sensibilité de l'ANN pour les variables indépendantes de la force motrice dans les deux phases de training et de vérification (Tableau 6.3) indique que la Population (Pop) est la variable la plus effective suivie par le nombre de jour où la température moyenne est supérieur à 28 °C (Tmoy>28). Le reste des variables effectives en fonction de leurs rangs dans la phase de vérification sont les suivantes : La température moyenne (Tmoy), Cumul des précipitations (Jour P), nombre de jours pluvieux (Jour P).

Tableau 39: L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables explicatives.

	Pop	Tmoy	Cumul P	Jour P	Tmoy>28
MLP 5-6-1	4,850033	1,773563	1,619600	1,143243	2,568418

Conclusion :

L'analyse des données en utilisant les RNA, les techniques exploratoires multivariées (ACP et AF) montrent ce qui suit :

Les résultats obtenus dans l'analyse ANN indiquent que le Perceptron Multicouche MLP avec l'algorithme de rétro-propagation BFGS (Broyden Fletcher Goldfarb Shano) est avéré être la meilleure structure ANN pour modéliser et simuler la relation entre la consommation en eau potable, la population et les facteurs climatiques (cumul des précipitations, nombre de jours pluvieux, température moyenne, nombre de jours chauds T moy> 28 °C).

La population est la variable la plus effective suivit par le nombre de jours où la température moyenne est supérieur à 28 °C (Tmoy>28). Le reste des variables effectives en fonction de leur rang dans la phase de vérification est le suivant: La température moyenne (Tmoy), Cumul des précipitations (Jour P), nombre de jours pluvieux (Jour P).

La température apporterait donc beaucoup plus d'information au modèle neuronal, développé dans cette étude. On peut en déduire que cette variable climatique induit un effet positif à la consommation en eau potable de la ville. En effet, en période de chaleur, les populations transpirent beaucoup et boivent alors assez d'eau pour compenser celle perdue.

On note donc que les performances obtenues sont relativement bonnes et pourraient être améliorées en utilisant une base de données plus importante. Le choix de variables explicatives de bonne qualité pourrait en outre permettre d'obtenir de meilleurs résultats.

Conclusion générale et recommandations.

Conclusion générale et recommandations :

Ce document présente l'évaluation et la gestion des ressources en eau menées dans le sous-bassin moyen Seybouse. L'alimentation en eau annuelle est représentée par 71 % de l'eau de surface et 29 % des eaux souterraines. Le volume total du l'eau est d'environ 36,22 hm³/an répartis entre 28,1 hm³/an d'eaux de surface utilisées tout à fait pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable et 8,12 hm³/an d'eaux souterraines, où 0,4 hm³ / an sont utilisés pour l'irrigation et 8,08 hm³/an pour la consommation et industrielle l'approvisionnement en eau. La couverture des besoins actuels est fourni complètement pour la consommation en eau potable et de l'eau industrielle fournit aux utilisateurs, mais reste insuffisante pour l'agriculture qui représente 60 % de la demande totale en eau. La qualité des hydrogéochimique les eaux souterraines est meilleure que l'eau de surface qui est polluée par les rejets direct des eaux usées dans les cours d'eau. L'étude indique que l'année 2020 est une période pendant laquelle le sous-bassin sera affectée par la pénurie d'eau et tous les ressource en eau mobilisable seraient déjà mobilisés. Les besoins en eau prévus en 2030 sont estimés à 79,19 hm³ / an pour faire face à cette situation, seule la mise en œuvre d'une gestion intégrée et efficace des ressources en eau.

La prévision de la consommation en eau potable dans le bassin versant de la moyenne Seybouse en fonction la taille de la population grandissante, des facteurs climatiques (précipitations et température), par le recours à des modèles capables de traiter la non-linéarité de cette relation s'avère donc nécessaire. Ce travail présente aussi une modélisation de la consommation au pas de temps de trois mois entre 2006 et 2013 basée sur l'utilisation des réseaux de neurones, indiquent que le Perceptron Multicouche MLP avec l'algorithme de rétro-propagation BFGS (Broyden Fletcher Goldfarb Shano) est avéré être la meilleure structure ANN pour modéliser et simuler la relation entre la consommation en eau potable, la population et les facteurs climatiques (cumul des précipitations, nombre de jours pluvieux, température moyenne, nombre de jours chauds $T_{\text{moy}} > 28^{\circ}\text{C}$).

La population est la variable la plus effective suivit par le nombre de jours où la température moyenne est supérieur à 28 °C ($T_{\text{moy}} > 28$). Le reste des variables effectives en fonction de leur rang dans la phase de vérification est le suivant: La température moyenne (T_{moy}), Cumul des précipitations (Jour P), nombre de jours pluvieux (Jour P).

Outre la poursuite des efforts entamés pour arriver à la mobilisation totale des ressources mobilisables et à la généralisation de l'accès à l'eau potable vers 2030, la vision du secteur eau pourrait s'articuler autour des axes suivants :

- Optimisation de la demande en eau.
- Dépollution et préservation des eaux.
- Mobilisation des eaux non conventionnelles.
- Amélioration de la connaissance du secteur de l'eau.
- Approche axée sur les écosystèmes (y compris l'eau, les ressources terrestres, les utilisations par les humains et les exigences propres aux écosystèmes);
- Participation des intervenants;
- La qualité des eaux de surface et des eaux souterraines est un enjeu majeur du territoire, tant pour l'alimentation en eau potable que pour un certain nombre d'usages et fonctions écologiques, directement tributaires d'une bonne qualité de la ressource. Si des améliorations existent sur certains paramètres, elles restent aujourd'hui globalement insuffisantes, en lien avec les pressions urbaines et agricoles présentes. Importants efforts doivent être consentis par les acteurs du territoire :
- Fiabiliser le réseau de collecte des eaux usées, leur transfert et leur traitement.
- La mise en place des périmètres de protection des captages.
- D'autre part, la croissance démographique et le développement économique du territoire entraînent une augmentation :
 - ❖ Des besoins en eau dont on devra s'assurer qu'ils sont satisfaits et sécurisés pour chaque usage tout en ne pénalisant pas les fonctions écologiques des milieux.
 - ❖ des volumes d'eaux usées à gérer pour lesquels il faudra adapter les systèmes de collecte, de transfert et de traitement existants.
- La gestion des eaux pluviales constitue également un enjeu majeur. Elle devra accompagner l'extension urbaine, afin de limiter l'impact de l'imperméabilisation des sols sur le ruissellement et par conséquent sur la qualité des eaux de surface et l'accentuation éventuelle des phénomènes d'inondations

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

1. **Affeltranger .B . et Lasserre. F. (2003)**, La gestion par bassin versant : du principe écologique a la contrainte politique - le cas du Mékong. VertigO, la Revue électronique en sciences de l'environnement, Vol 4, No 3, 12P.
2. **Arbués, F. and I. Villanúa (2006)**, "Potential for pricing policies in water resource management: estimation of urban residential water demand in Zaragoza, Spain." Urban studies 43: 2421 – 2442.
3. **Arbués, F., R. Barberán, et al. (2004)**, "Price impact on urban residential water demand: A dynamic panel data approach." Water Resources Research 40(W11402).
4. **Barkatullah, N. (2002)**, "OLS and instrumental variable price elasticity estimates for water in mixed-effect models under a multipart tariff structure." University of Sydney, Department of Economics, Working Papers (226).
5. **Benmarce. K (2015)**, Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-Est Algérien. Thèse doctorat université Badji Mokhtar Annaba, (Algérie), 136P.
6. **Besse P. (2005)**, Data mining II. Modélisation Statistique & Apprentissage. Publications du laboratoire de statistique et probabilités"". Université Paul Sabatier, Toulouse, 103p
7. **Bied –Charreton. M, Makkaoui. R., Petit. O et Requir-Desjardins. (2004)**. La gouvernance des ressources en eau dans les pays en développement. Cahiers du Centre d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement et le Développement (France). N° 1.43 P.
8. **Cambon-Grau, S. (2000)**, Baisse des consommations d'eau à Paris : enquête auprès de 51 gros consommateurs. TSM (Techniques, Sciences et Méthodes) 2: 37-46.
9. **Coscorove. W. J. and Rijsberman. F. R. (2000)**, World Water Vision – Making Water Everybody's Business. World Water Council, Earthscan publication. 108 p.
10. **Dareste, De La Chavane, J. C. (1910)**, la région de Guelma, études spécial des terrains tertiaires. Bull. Serv. Carte géol., Algérie. Thèse sciences, Lyon (France), 256p.

11. **Djabri, L., Hani, A., Laouar, R., Mania, J., Mudry, J. and Louhi, A. (2003)**, "Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, North-Eastern Algeria", *Environmental Geology*, Vol. 4 No. 6, pp. 738-744.
12. **Dreyfus, G., Martinez, J. M., Samuelides, M., Gordon, M. B, Badran, F., Thiria, S., et Herault, L. (2004)**, *Réseaux de Neurones Méthodologie et application*. 2ème édition, Groupe Eyrolles, 374 p.
13. **Frondel, M. and F. Messner (2008)**, Price perception and residential water demand: Evidence from a German household panel. 16th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, Gothenburg, Sweden.
14. **Ghachi, A. (1986)**, *Use of Water Resources in Algeria: The Basin Seybouse*, Office des Publications Universitaires, Algiers.
15. **Gaudin, S. (2006)**. Effect of Price Information on Residential Water Demand. *Applied Economics* 38(4): 383 - 393.
16. **Guellec, A. (1995)**. Le prix de l'eau : de l'explosion à la maîtrise ? Assemblée Nationale. Rapport d'information, 2342.
17. **Herault, L. (2004)**. *Réseaux de Neurones* Méthodologie et application. 2ème édition, Groupe Eyrolles, 374 p.
18. **Koffi Y. B. (2007)**. Modélisation pluie-débit en région tropicale humide : Application des réseaux de neurones sur quatre stations hydrométriques du Bandama Blanc (Bada, Marabadiassa, Tortiya, Bou), Nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat d'état, Université de Cocody, 237p.
19. **Le Coz, C. (1998)**. Valorisation des fonctions de l'eau. Application à l'eau domestique sur le bassin versant de la rivière Yerres. Thèse de doctorat Sciences de l'Environnement, ENGREF Paris, France. 338 pages.
20. **Martínez Espiñeira, R. (2002)**. "Residential water demand in the northwest of Spain." *Environmental and Resource Economics* 21: 161 - 187.

21. **Mongi .S, Naceur .M, Monder. F, Ounalli. N (2006).** La gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle de bassin versant en zones arides : Proposition méthodologique et applications. NEW MEDIT N. 4/2006.
22. **Morvan, R. et Grosmesnil. O (2002).** Analyse de résultats de l'enquête logement sur la consommation d'eau. IFEN et INSEE, Paris. Document de travail, avril. 8 p
23. **Nauges, C. and A. Reynaud (2001).** " Estimation de la demande domestique d'eau potable en France." *Revue économique* 52(1): 164 - 185.
24. **Oelkers Eric. H, Hering Janet G. and Zhu Chen (2011).** Water : Is there a global crisis? *ELEMENTS, VOL. 7.* PP. 157–162.
25. **Programme des Nations Unies pour le développement (2006).** Audelà de la pénurie : pouvoir, pauvreté et crise mondiale de l'eau : rapport mondial sur ledéveloppement humain 2006. Programme des Nations Unies pour le Développement, New-York (Etats-Unis) / Economica, Paris (France). 422P.
26. **Renwick, M., R. Green, et al. (1998).** Measuring the price responsiveness of residential water demand in California's urban areas, California Department of Water Resources: 28.
27. **Ruijs, A., A. Zimmermann, et al. (2008).** "Demand and distributional effects of water pricing policies." *Ecological Economics* 66: 506 - 516.
28. **Schleich, J. and T. Hillenbrand (2008).** "Determinants of residential water demand in Germany." *Ecological Economics*.
29. **Toubal, A. (1984),** Contribution à l'étude des Minéralisations Antimonifères du N.E. Algérien, Thèse 3ème Cycle, Université de Paris VI.
30. **Villa, J.-M. (1980) –** la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-Tunisiens. *Thèse doctorat, univ de Pierre et Marie Curie, Paris VI (France), 2 vol, 665p. pp 133-140.*