

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Option : Hydraulique & techniques des eaux

Présenté par : **Tedri fatcn**

Thème : hydrochimie des eaux des puits de la région de Guelma

Sous la direction de : **Mr :Nouar Tahar**

Juin 2011

Avant Propos



Nous tenons d'abord à remercier en premier lieu et avant tout, le bon Dieu, qui nous à donné la force et la patience d'accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer ma reconnaissance à tous celui qui m'a permis de la réaliser.

Mes vifs remerciements et profonde reconnaissance à mon promoteur Monsieur <<NOUAR Tahar>>, Pour son encadrement efficace et son soutien sans relâche totaux long de la réalisation de ce travail. Je le remercie pour n'avoir jamais mesuré son temps au laboratoire et pour la correction du manuscrit. Son grand savoir m'a été d'une grande aide qans mon travail de recherche. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance et de mon respect le plus sincère.

J'exprime ma gratitude au membre de jury d'avoir usé de leur temps pour lire le manuscrit.

Je remercie tous les membres de ma famille en particulier ma mère, mon père, mon conjoint, père de conjoint et mère de conjoint, mon oncle HAFID, et tout la famille Zaghoudi qui m'ont encouragées durant la période du travail.

A ^{me}mon fille **Darinn**

A mes Chères sœurs : **Ahlem** et **Karima**.

A Mon chère frère : **Adel** et **Salim** et **Bilel**.

Mes sincères remerciements à toutes mes amies et mes collègues de ma promotion master.

Enfin toute ma reconnaissance aux enseignants du département de génie civil option Hydraulique (Université de Guelma) pour le soutien qu'ils m'ont apportées tout le long des années d'étude.



Résumé

La région d'étude appartient au domaine Tellien, ce domaine est caractérisé par des formations calcaires plio- quaternaire reposant sur des marnes paléocènes Du point de vue faciès, les eaux m'entrent un seul type sulfaté calcique avec cependant des concentrations des éléments qui varient d'un puits à l'autre , En général les eaux Sont de qualité médiocre et peuvent être l'usage agricole avec corrections des eaux pour l'usage domestiques.

Mots clés : Hydrochimie, Qualité des eaux, Guelma.

- Remarque générale sur le travail
- Il faut faire une correction sur les fautes d'orthographe.
 - L'étudiante n'a pas exploré les études faites sur le royaume de Guelma - (Mémorandum de M. Thérèse, ingénieur - - -)
 - L'hydrochimie de Guelma avec 6 puits ? voir o. venifun.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

avant propos

résumé

liste des figures

liste des tableaux

Chapitre I: Géologie et Hydro climatologie

Introduction

Situation géographique.....	2
Géomorphologie et réseau hydrographique.....	2
Cadre géologique.....	3
Cadre hydrogéologique.....	4
1 Nappe alluvionnaire de Guelma.....	4
1.1. La basse terrasse (terrasse actuelle).....	5
1.2. La moyenne terrasse.....	5
1.3. La haute terrasse (terrasse ancienne).....	5
Aspects sociaux économiques.....	6
Etude climatologique.....	6
1. Température.....	7
1.1. Températures moyennes mensuelles.....	7
2. Précipitation.....	8
2.1. Répartition des précipitations moyennes mensuelles.....	8
3. La relation température – précipitation.....	9
3.1. Diagramme pluviométrique.....	9

4. Le bilan hydrique.....	9
4.1. Estimation de l'évapotranspiration.....	10
4.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	10
4.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	11
4.2. Estimation du ruissellement.....	12
4.3. Estimation de l'infiltration.....	12
Conclusion.....	13

Chapitre II : Hydrochimie

INTRODUCTION.....	14
Facies Hydrologique.....	14
Indice De Saturation.....	15
Théorie de l'Indice de saturation.....	15
Application Aux Eaux Du Bassin.....	16
Usage De L'eau.....	18
1. Usage Agricole.....	18
1.1. Classification De Wilcox.....	18
Usage De Potabilité.....	19
1.1 Dureté de l'eau.....	19
2 Usage Industriel.....	19
2.1 LARSON (indice de corrosion).....	21
CONCLUSIONS GENERALES.....	22
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	23..24

Liste des tableaux

leau 1.	Situation géographique de la station de Guelma.....	6
leau 2.	Température mensuelle.....	7
leau 3.	Précipitations moyennes mensuelles (station de Guelma 1994 – 2008).....	8
leau 4.	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.....	11
	Station de Guelma(1994 -2008).....	11
leau 5.	Analyse des paramètres physico-chimiques (mg/l).....	14
leau 6.	Indice de saturation et PCO_2	17
leau 7.	Valeurs de la dureté totale.....	19
leau 8.	Indice de Ryznar et quantité de $CaCO_3$ précipitée.....	20
leau 9.	Indice de Larson.....	21

Liste des figures

1.	Situation géographique des puits	2
2.	Carte géologique de Guelma (Vila, 1980).....	4
3.	Répartition des Températures mensuelles.....	7
4.	Répartition mensuelle des pluies.....	8
5.	Diagramme pluviométrique à la Station de Guelma.....	9
6.	Diagramme de Piper.....	15
7.	Pression Partielle en CO ₂	17
8.	Diagramme de Richards.....	18

Introduction

INTRODUCTION

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et dans l'activité humaine. C'est une composante majeure du monde minéral et organique. Elle participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Elle est aussi considérée comme un transporteur potentiel de nombreuses maladies.

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un problème énorme de détérioration de la qualité de cette source souterraine, souvent existante en quantité limitée. Le mécanisme de cette pollution des eaux souterraines est souvent un processus évolutif dans l'espace et dans le temps et il est difficilement maîtrisable.

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même de toucher à la santé de toute une population (Roux, 1987).

Vue cette importance majeure, nous avons essayé d'étudier et de déterminer la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de certains puits et sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie) et ceci dans le but d'apprécier l'évolution de sa qualité et son impact sur l'environnement et sur la santé publique.

Nous avons structurés notre démarche en deux chapitres interdépendants :

Chapitre I : introduction couvrant la situation géographique et l'aspect hydroclimatologique

Chapitre II : l'hydrochimie et qualité des eaux de quelques puits et source du bassin de Guelma.

Chapitre I

Géologie et Hydro climatologie

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le bassin de Guelma est située au Nord-Est de l'Algérie à 60 km environ de la Méditerranée. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Annaba, au Nord-Ouest par la wilaya de Skikda, au Nord-Est par la wilaya d'El Tarf, à l'Ouest par la wilaya de Constantine et au Sud-est par la wilaya de Souk Ahras et Oum-El Bouagui. Elle s'étend sur une superficie de 3686,84 Km². (DPAT, 2008).

La zone d'étude se situe dans la plaine de Guelma. Ses limites naturelles sont :

- Au Nord; les monts de Houara (932 m);
- Au Nord-Ouest Djebel Debar (1408 m);
- Au Sud les monts de la Mahouna (1411 m);
- Et à l'Est, la chaîne de Beni-Mezline et Beni Salah. (Fig. 1).

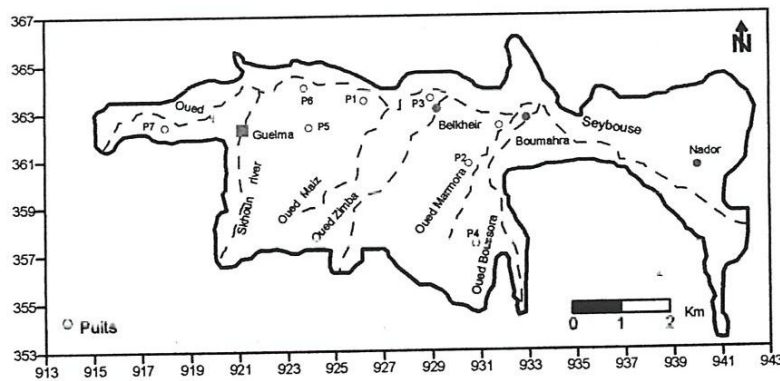


Fig.1: situation Géographique des puits

2. GEOMORPHOLOGIE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

La région de Guelma est un ancien bassin d'effondrement longtemps fermé où s'est entassé un ensemble varié de sédiments allant du miocène au quaternaire. Les mouvements tectoniques du plio-quaternaire ont joué un rôle important dans la morphogenèse de la région. En effet, au cours de cette période se sont produits de petits soulèvements donnant naissance à des terrasses et des cônes de déjection. L'extension de ces terrasses fluviales et leur discontinuité le long de la Seybouse témoignent de la complexité morphologique du bassin. Du point de vue morphométrique, le domaine étudié est constitué d'une plaine de faible altitude (environ 150 m à l'Est et 300 m à l'Ouest).

Le réseau hydrographique (Fig. 1) est très dense. Il est constitué principalement de l'oued Seybouse (57,15 km) et ses majeurs affluents dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'Oued Bouhamdane (45,37km) et du Sud vers le Nord pour l'Oued Cherf (36,46 m), l'Oued Zimba, l'Oued Maiz, l'Oued Skhouné, l'Oued Boussora, l'Oued Halia et l'Oued Melah. L'Oued Bouhamdane et l'Oued Cherf drainent respectivement des sous bassins de 1105 km² et 2845 km² à la station de Medjez Amar, point de confluence et de naissance de l'Oued Seybouse. (A.B.H-C.S.M, 2005).

Le réseau hydrographique emprunte surtout les axes des principaux plissements dans les couches marneuses facilement érodables. D'autres affluents suivent le sens des failles affectants les formations mio-pliocène. (Zeddouri, 2003).

Le relief montagneux prédominant entoure trois dépressions importantes: la dépression de Tamlouka au Sud, celle de Guelma au centre et la dépression de Bouchegouf au Nord –Est (Fig. 3). (Benmarce, 2007).

3. CADRE GEOLOGIQUE :

La géologie de la région de Guelma est caractérisée par des formations allant du quaternaire au Trias, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement: les alluvions (sable, gravier, cailloutis,...), les grés, les marnes, les argiles, les flyschs et les calcaires. La dépression qui forme le réservoir aquifère de la vallée de Guelma est remplie par les alluvions d'âge Plio-quaternaire. Ce remplissage constitue l'ancienne et l'actuelle terrasse de la vallée de la Seybouse. (Fig. 4). (Khadri, 2004, Brahmia et Kirratti, 2006).

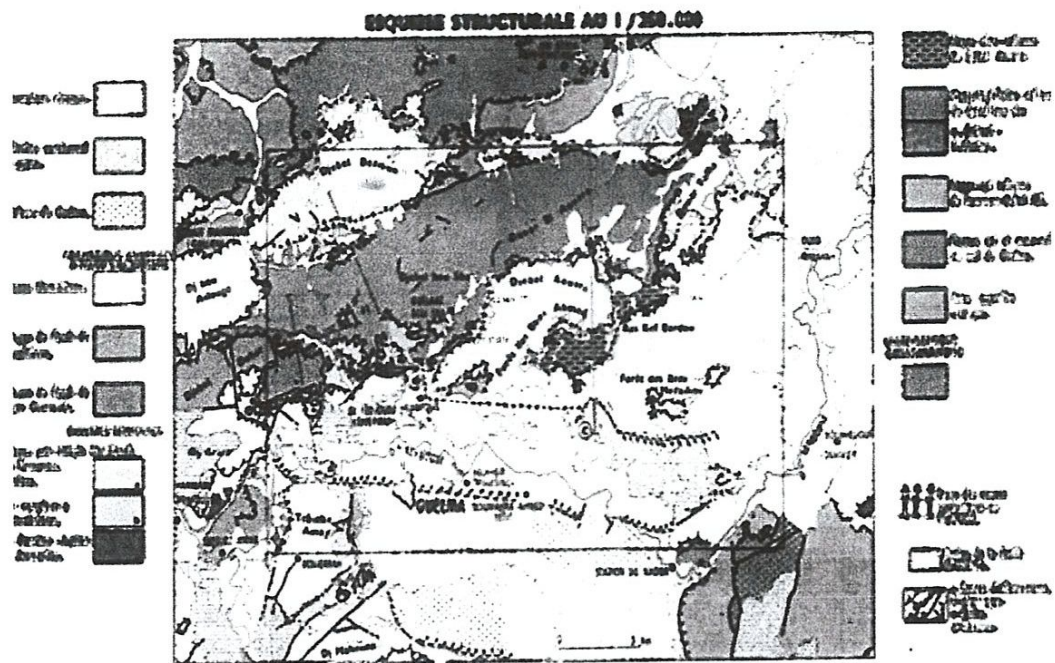


Fig.2 : Carte géologique de Guelma (Vila, 1980)

4. CADRE HYDROGEOLOGIQUE :

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique de la région de Guelma. D'après les études géophysiques (ENAGEO, 1971, Algéo, 1997 et C.R.A.A.G, 2004), le système hydrogéologique de la région renferme les six aquifères suivants:

- Nappe alluvionnaire de Guelma (située dans la zone d'étude);
- Nappe alluvionnaire de Boucheouf;
- Nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis;
- Nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba- Sellaoua-Announa
- Nappe des calcaires de Bouhechena;
- Nappe des calcaires de Tamlouka.

4. 1. NAPPE ALLUVIONNAIRE DE GUELMA :

Elle est située dans la vallée de l'Oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite. Elle est sillonnée par l'Oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Amar jusqu'à Nador. (Djabri, 1996). C'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts miocènes (argiles et marnes à gypses) et quaternaires (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses). Ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et des

apports latéraux du bassin versant de la Seybouse. Elle est constituée de trois terrasses distinctes (basse, moyenne, et haute). (Fig. 2).

4.1.1. LA BASSE TERRASSE (TERRASSE ACTUELLE):

C'est la vallée dans laquelle coule l'actuel Oued Seybouse. Elle est formée de graviers, de sable et de galets. Son épaisseur croît vers l'Est, elle est de 8 m au Nord de la ville de Guelma et atteint 16 m au Nord-Est de Boumahra. Le substratum est constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène dans sa partie Ouest. A l'Est, il est constitué d'argiles et de grès numidiens (Mouassa, 2006).

4.1.2. LA MOYENNE TERRASSE :

Elle est constituée d'un matériel détritique relativement fin en alternance avec des passées argileuses. Le substratum est toujours marneux à gypse. Son épaisseur est plus importante que celle de la basse terrasse (40 m environ) (Mouassa, 2006).

4.1.3. LA HAUTE TERRASSE (TERRASSE ANCIENNE):

Elle est située au Sud de la moyenne terrasse et elle est formée d'alluvions grossières plio-quadernaires (galets, graviers, grès, sables et quelques passées argileuses) perméables. La couche superficielle montre une affinité argileuse nette. Le substratum est aussi constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène jusqu'à l'Oued Boussora. Vers l'Est, il est constitué d'argiles éocènes.

L'épaisseur de cette partie de la nappe aquifère est plus importante que celles des deux premières et varie de 50 m à 150 m par endroits (H'Fais) entre Belkheir et Boumahra. Elle est limitée au Sud par les travertins de Guelma qui l'alimentent en partie. (Mouassa, 2006).

La plus grande quantité en eau de la nappe est exploitée par le biais de forages de différentes profondeurs, de puits, et de captage de sources.

➤ Les forages :

D'après le bilan actuel de la D.H.W de Guelma, on a dénombré près de 23 forages répartis à travers la plaine, mobilisant annuellement un volume total de 12. 8 Hm³/an. ils sont essentiellement destinés à l'alimentation en eau potable et aussi pour l'industrie et l'agricole.

➤ Les puits :

A travers la superficie de la zone d'étude, il existe un nombre considérable de puits, près de 32 captent les surfaces de la nappe superficielles, dont le rôle est limité uniquement à satisfaire les besoins domestiques et l'irrigation de quelques surfaces agricoles, les débits d'exploitations sont peu significatifs. Ces puits mobilisent annuellement un volume de 0.37 Hm³/an. (D.H.W.G, 2008).

➤ Les sources :

Près de 19 sources, dont la plus part sont captées. Le débit de ces sources généralement varie entre 0,1 à 3 l/s Ces sources mobilisent annuellement un volume de 0.57 Hm³ /an. (D.H.W.G, 2008).

5. ASPECTS SOCIAUX ECONOMIQUES :

La région de Guelma est une région agricole connue par les cultures de céréales, de tomate, de pomme de terre et des agrumes. On signale aussi l'importance de l'élevage de bétail et de volailles. L'activité industrielle est a ne pas négliger. Plusieurs unités industrielles ont été implantées, à titre d'exemple : la Sucrierie, l'Unité du Céramique, la Sonacom (fabrication des ycles et cyclomoteurs), la Laiterie (Guelmoise), Unité de fabrication des pâtes, et la Conserverie de tomate industrielle (CAB Amor Benamor). En plus, il existe un nombre intéressant de mines et de carrières comme celles du Kaolin du djebel Debagh, de marbres utilisés par l'unité de l'ENAMARBRE de Boumahra Ahmed. (Zeddouri, 2003, Khadri, 2004, Brahmia et Kirratti, 2006).

6. ETUDE CLIMATOLOGIQUE :

Les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau, et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines, notamment les précipitations qui constituent le facteur essentiel intervenant par leurs répartitions annuelles et mensuelles et journalières. Ces différents aspects des précipitations plus ou moins modifiés par l'effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition), et climatique (température et évapotranspiration), permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique de la région d'étude. (Solter, 1999).

Tableau 1 : Situation géographique de la station de Guelma

Latitude	altitude	longitude	période
36° 28'	227	07° 28'E	1994 - 2008

6.1. TEMPERATURE :

La température est l'un des facteurs les plus importants du climat. Elle agit sur les répartitions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration (Emsalem, 1986). Elle dépend de l'obscurité, de l'altitude, de l'exposition, de la présence d'une grande masse d'eau (l'influence des mers et des lacs sur la régulation des températures), du sol, des formations végétales en place (les végétaux amortissant les variations de températures).

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elle qui nous permet d'évaluer le déficit d'écoulement annuel et saisonnier (Emsalem,1986).

6.1.1. TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES :

Les données des températures disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station de Guelma, sur une période de 15 ans. Ces valeurs sont consignées dans le tableau 2, leur répartition est illustrée sur la (Fig. 6).

Tableau 2 : Température mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T°C	23.56	19.83	14.33	10.87	9.76	10.19	12.47	14.84	19.65	24.25	27.16	27.51

De juin à octobre, avec des températures variantes de 20 à 27.51°C. Par contre les températures les plus basses (9 à 12.47°C) sont observées pendant la période hivernale (décembre à mars) avec un minimum enregistré pendant le mois de janvier 9.76°C.

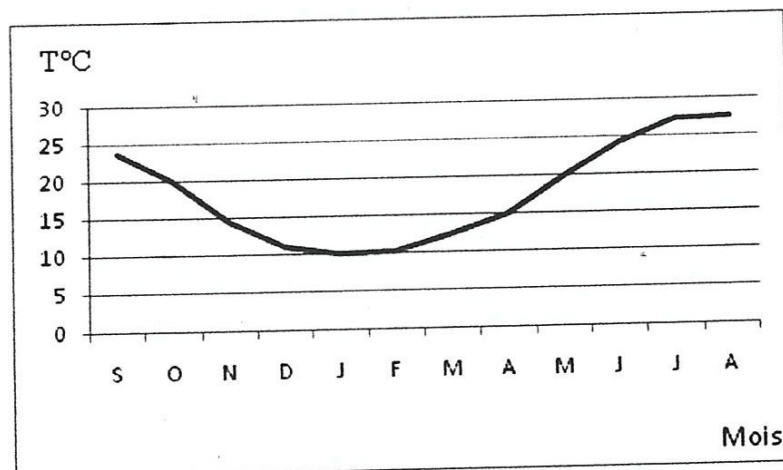


Fig.3 : Répartition des Températures mensuelles

6.2. PRECIPITATION :

Avec la température, les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat. (Faurie *et al.*, 1983). Le terme de précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide. Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, etc. Ces divers types de précipitations sont le plus souvent mesurés par le pluviomètre usuel, elles représentent l'épaisseur de la couche d'eau qui resterait sur une surface horizontal s'il n'y avait ni écoulement, ni évaporation. (Dajoz; 2000).

6.2.1. REPARTITION DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES :

La répartition mensuelle des précipitations au cours de l'année est en relation étroite avec le régime thermique. Elle influe directement sur le régime des cours d'eau ainsi que sur les fluctuations des niveaux des nappes phréatiques.

Les précipitations mensuelles recueillies à la station météorologique de Guelma sur une période de 15 ans (1994 - 2008) sont récapitulées dans le Tableau 3, leur répartition est illustrée par la (Fig. 4). La valeur maximale est observée au mois de janvier avec, 102.03 mm et la valeur minimale au mois de juillet avec 2.96 mm.

Tableau 3 : Précipitations moyennes mensuelles (station de Guelma 1994 – 2008)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août
P(mm)	46.41	37.50	71.25	81.8	102.03	62.77	60.12	67.71	45.05	16.45	2.96	12.47

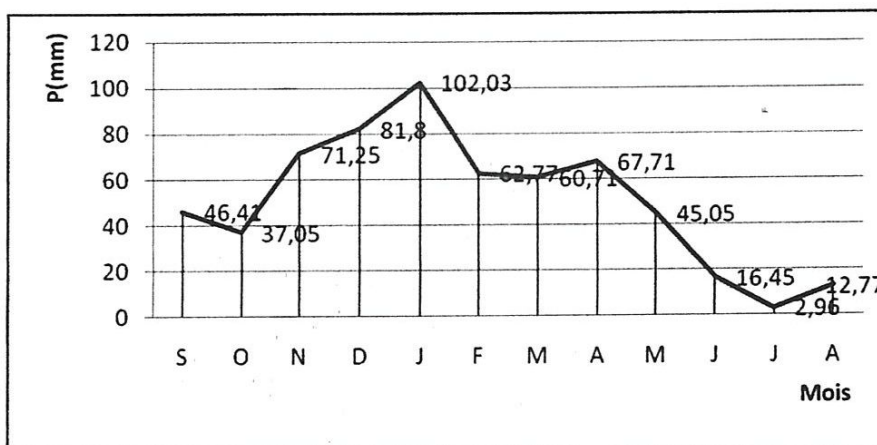


Fig.4 : Répartition mensuelle des pluies

6.3. LA RELATION TEMPERATURE – PRECIPITATION :

6.3.1. DIAGRAMME PLUVIOMETRIQUE :

Selon Bagnouls et Gaussen, une période sèche est due au croisements des courbes de température et des précipitations. Cette relation permet d'établir un graphe pluviométrique sur le quel les températures sont portées à une échelle double des précipitations. (Fig. 5).

D'après ce diagramme établi à partir données des températures et des précipitations de la Station de Guelma, on peut distinguer deux périodes;

- ❖ La première froide et humide qui s'étale sur 8 mois, du mois d'octobre jusqu'au mois de mai.
- ❖ La seconde chaude et sèche qui s'étale sur 4 mois, du mois de juin jusqu'au mois de Septembre. La détermination de cette période est d'une grande importance pour la connaissance de la période déficitaire en eau.

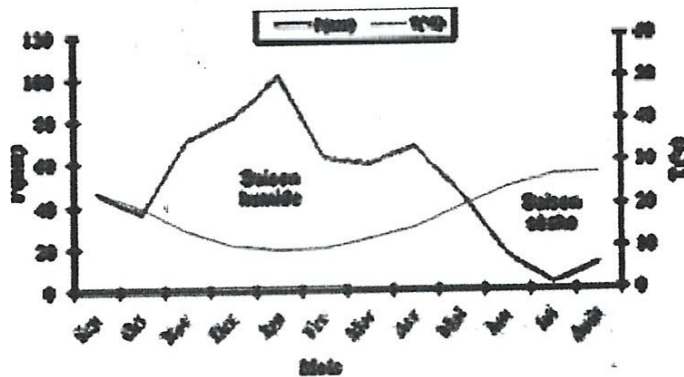


Fig. 5 : Diagramme pluviométrique à la Station de Guelma

6.4. LE BILAN HYDRIQUE :

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par ruissellement, infiltration, ou évaporation.

Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

6.4.1. ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION :

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après Les précipitations. Elle résulte de la combinaison de deux phénomènes ; d'évaporation (processus physique) et la transpiration (phénomène biologique), on distingue ;

❖ Evapotranspiration potentielle (ETP).

❖ Evapotranspiration réelle (ETR).

6.4.1.1. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP) :

C'est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer et respirer sur une surface limitée et Pendant une période bien définie. Pour l'estimation de l'Evapotranspiration on utilise la formule suivante :

Formule de C.W. Thornthwaite :

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

ETP: Evapotranspiration mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I: Indice thermique annuel; $I = \sum_{i=1}^{12} i$

i : Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression; $i = (T/5)^{5.14}$.

a : coefficient calculé par la formule ; $a = 1.6 (I/100) + 0.5$.

K : coefficient d'ajustement.

6.4.1.2. EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR) :

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

Calcul de l'ETR:

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

- Si pour un mois, $P \geq ETP$ on pose que $l'ETP = l'ETR$, 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 soit sous forme d'infiltration efficace (Ie) vers la nappe, soit sous forme de ruissellement (R).
- Si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$ jusqu'à égalisation avec l'ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole (Da) ; $Da = ETP - ETR$ qui représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

⚡ Si $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$

⚡ Si $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$

Donc: $ETR = ETP$ (si RFU est suffisante)

$ETP > ETR$ (RFU est insuffisante) $\Rightarrow Da = ETP - ETR$

$BH = P - ETP$

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau 4

Tableau 4 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Guelma (1994 -2008).

Mois	P (mm)	T°C	i	ETP	ETR	RFU	EXC	DA
S	46,41	23,56	10.44	110.22	46.41	0	0	63.81
O	37,05	19,86	8.03	69.12	37.05	0	0	32.07
N	71,25	14,33	4.90	38.96	37.78	32.29	0	0
D	81,8	10,87	3.23	38.96	17.03	96.06	0	0
J	102,03	9,86	2.74	14.45	14.45	100	84.91	0
F	62,77	10,19	2.92	16.76	23.69	100	46.01	0
M	60,71	12,47	3.97	32.39	32.39	100	27.83	0
A	67,71	14,84	5.17	50.44	50.44	100	17.27	0
M	45,05	19,65	7.74	98.63	98.63	55.42	0	0
J	16,45	24,25	10.37	147.44	71.87	0	0	75.57
J	2,96	27,16	12.95	182.89	2.96	0	0	179.93
A	12,77	27,51	13.21	188.70	12.77	0	0	176.23
Total	606.10	17.86	85.67	967.03	439.42	583.77	173.02	527.61

Le Tableau ci-dessus 4 illustre les résultats du bilan. Nous constatons que l'évapotranspiration atteint son maximum au mois d'août (188.7 mm), ce qui provoque un déficit agricole nécessitant une irrigation. A partir du mois d'octobre on assiste à une reconstitution du stock qui devient important entraînant une RFU maximale (SE), et ceci jusqu'au mois d'avril où l'épuisement du stock (ES) commence.

6.4.2. ESTIMATION DU RUISSELLEMENT :

Le coefficient de ruissellement "R" renseigne sur la quantité d'eau ruisselée durant une Période bien définie. Il est calculé par la formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk pour $P > 600$ mm (Laborde, 1997):

$$R = P^3/3$$

R : Ruissellement (mm)

P : Précipitation annuelle moyenne (mm)

$$R = 74.21 \text{ (mm)}$$

6.4.3. ESTIMATION DE L'INFILTRATION :

L'infiltration, élément très important du bilan hydrologique, est définie comme étant le Mouvement de l'eau dans un sol en passant par la surface. Elle est calculée à partir de la formule générale du bilan:

$$P = ETR + I + R$$

Donc:

$$I = P - ETR - R$$

Où; **I** : infiltration (mm).

P: Précipitation annuelle moyenne (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement (mm).

$$I = 92.47 \text{ mm}$$

D'après le bilan hydrique : pour une précipitation de 606.1 mm, nous notons une ETP très élevée de l'ordre de 967,03 mm et une ETR de l'ordre de 439,42 mm, contre des lames d'eau de 74.21mm, ruisselées et 92.47 mm infiltrées.

Conclusion

Il en ressort de l'étude hydro climatique que la répartition des pluies mensuelles et annuelles est irrégulière, ceci est due à la sécheresse qu'a connu la région. La quantité d'eau atteint la nappe est de 92.47 mm/an ce qui correspond à 15% de la pluie.

Chapitre II

Hydrochimie

1. INTRODUCTION

Dans cette partie, des analyses physico-chimiques qui ont trait aux eaux de 7 puits éparpillées sur le bassin de Guelma. Les prélèvements des eaux souterraines ont été réalisés sur deux années hydrologiques mars 2011.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire (LCGH, université de Guelma) et analysées par référence à Rodier et al, 1996

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire (LCGH, université de Guelma) et analysées par référence à Rodier et al, 1996. Les résultats d'analyse sont récapitulés dans le (tableau5).

Tableau 5 : Analyse des paramètres physico-chimiques (mg/l)

Puits	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ²⁻ ₄	HCO ⁻ ₃	NO ⁻ ₃	pH	TDS	CE (µs/cm)
P1	159,5	71,5	200	17,5	0,38	428	232	124	91	8,1	1315	2140
P2	93	27	48	2,5	0	151	82	149	34	7,66	587	919
P3	101	17	33	0,5	0	130	89	119	29	7,76	519	816
P4	111	33	71	0,5	0	195	45	207,5	55	7,91	718	1108
P5	84	28	84	2,5	0,05	125	123	205	88	7,9	740	1075
P6	137	21	112	21	0,43	158	258	226	60	7,92	994	1420
P7	149	25	88	14	0,3	153	148	269	113	7,6	960	1345

*C (µs/cm)

La balance ionique est inférieure à 5% (OMS, 2000) donc les résultats peuvent être interprétés (0<B1<4%).

2. FACIES HYDROLOGIQUE

Pour mieux apprécier les principaux grands traits hydro chimiques et les rapports mutuels, les résultats analytiques ont représentés sur le diagramme de piper et Schoeller Berkloff, en relation avec les anions et les cations. Le faciès hydro chimique observé est Chloruré sulfaté et calco magnésien dans le (Fig 6)

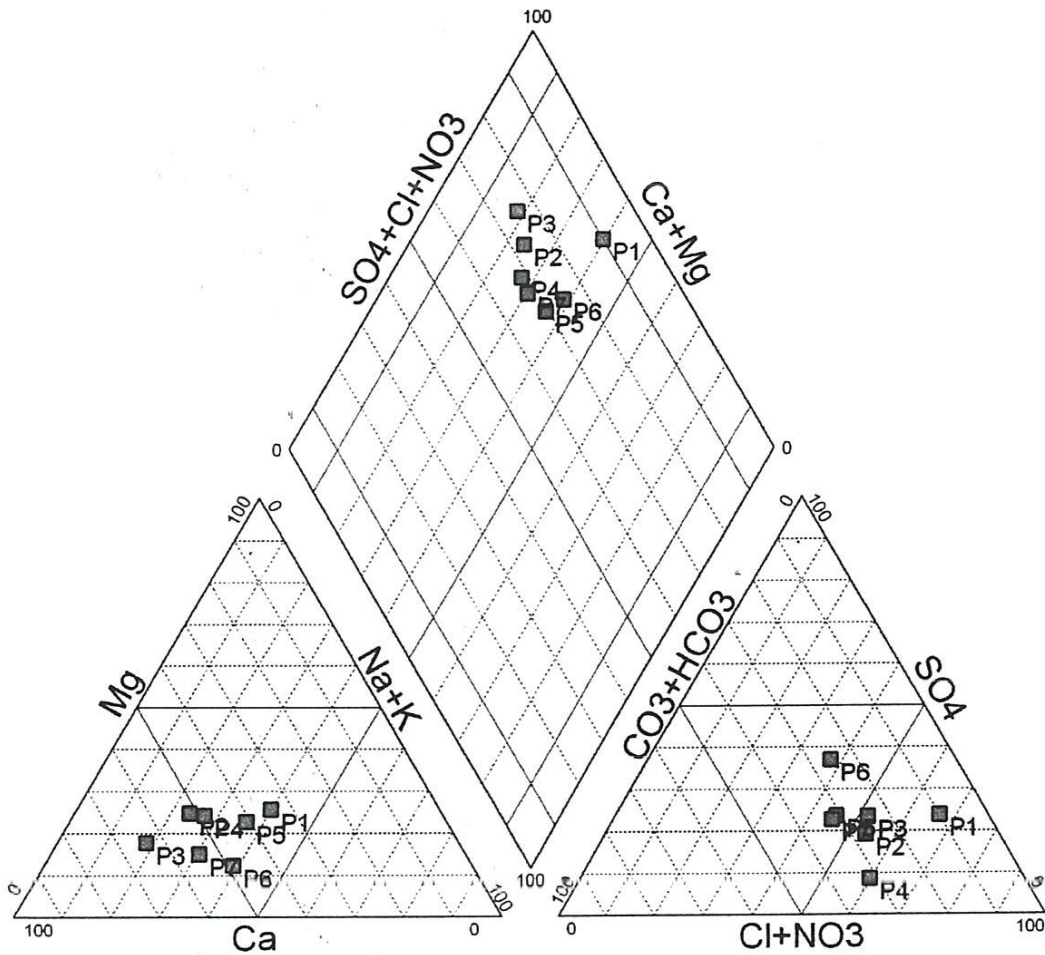


Fig. 6: Diagramme de Piper

3. INDICE DE SATURATION

3.1 Théorie de l'indice de saturation

L'équilibre de CaCO_3 , $\text{Ca} + \text{CO}_3^{2-}$, le produit de l'activité ionique $\text{Ca} + \text{CO}_3$ est une constante donnée à n'importe quelle température et est définie par la constante thermodynamique.

K_{CaCO_3} : (K calcite dans la matrice minéral), le degré de saturation calcite est défini par l'indice de saturation et donné par la relation suivant :

$$\text{IS calcite} = \log_{10} [(\text{Ca}^2) * (\text{CO}_3^{\ominus})] - \log_{10} K \text{ calcite}$$

Où la saturation est déterminée à l'échelle logarithmique, est un degré de saturation dans les eaux naturelles variant par ordre de magnitude.

Pour cette expression, la valeur de IS est égale à 0 correspond à la solubilité de la calcite dans l'états d'équilibre.

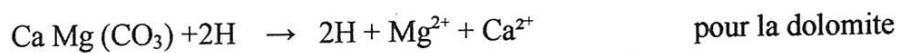
Ce pendant les valeurs de + 1 et -1 correspond à 10 temps à 1/10 de temps de saturation respectivement.

Les mêmes étapes sont applicables aux autres minéraux.

$I_s > 0 \rightarrow$ sursaturation

$I_s < 0 \rightarrow$ Sous saturation

$I_s = \rightarrow$ équilibre entre l'eau et le minéral



4. APPLICATION AUX EAUX DU BASSIN

Afin de bien identifier les processus géochimiques responsables de l'évolution chimique observée dans les eaux du bassin de Guelma, on a calculé, à partir des Analytiques relatives à l'échantillonnage, l'état de saturation des minéraux qui réagissent dans le système pendant les périodes humides et sèches.

La simulation numérique a été réalisée à l'aide du logiciel PHREEQ (Parkhurst et al. 1990). Les valeurs obtenues de l'indice de saturation pour la calcite, l'aragonite, la dolomite et le gypse ainsi que la pression partielle de CO_2 , sont réunies dans le (tableau 6).

Puits

Tableau 6: Indice de saturation et PCO₂

Puits	Is calcite	Is Dolomite	Is gypse	PCO ₂ .10 ⁻³
P1	0.73	1.47	-1.17	1.05
P2	0.28	0.19	-1.65	3.51
P3	0.32	0.21	-1.55	2.23
P4	0.72	1.27	-1.87	2.74
P5	0.58	1.03	-1.54	2.77
P6	1.11	1.11	-1.09	2.92
P7	0.47	0.81	-1.28	7.92

Sur le tableau, il est clair que les eaux sont sursaturées en calcite, dolomite dans tout les puits, ce qui leurs donnent un appauvrissement en calcium et magnésium. Les indices de saturation obtenus pour le gypse, démontrent une sous saturation généralisée en ce minéral qui est, peut-être, à l'origine des hautes teneurs obtenues surtout en sulfates.

Les valeurs obtenues de la pression partielle en CO₂ varient entre (1.05 10³ et 7.92 10⁻³ atm) sont supérieures à la pression atmosphérique (10^{-3.5} atm) ce qui signifie un apport du CO₂ du sol vers la nappe (fig.7).

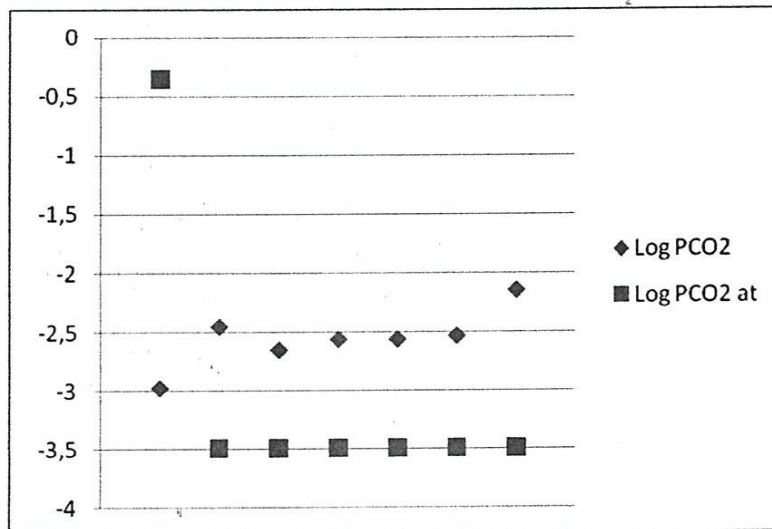


Fig.7 : Pression Partielle en CO₂

5. USAGE DE L'EAU

L'usage de l'eau pour l'agriculture, l'industrie et l'alimentation en eau potable, dépend des conditions physico-chimiques des eaux rencontrées au niveau de la région de Guelma.

5.1. USAGE AGRICOLE

Pour évaluer l'aptitude de l'eau pour l'irrigation, nous avons opté pour les méthodes de wilcox. Cette méthode est étroitement liée aux éléments calcium ; magnésium, potassium, sodium et la (SAR : ration en sodium) et conductivité électronique et sur le taux de sodium.

$$SAR = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2} \text{ m\acute{e}q/l}$$

5.1.1. CLASSIFICATION DE WILCOX

Selon le diagramme (figure 8), les eaux des sources de Guelma appartiennent à la classe :

La classe C3S1 caractérisée par une faible salinité, un faible SAR et de faibles teneurs en chlorures ne dépassant pas la 4m\acute{e}q/l. ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation avec pour certaines plantes

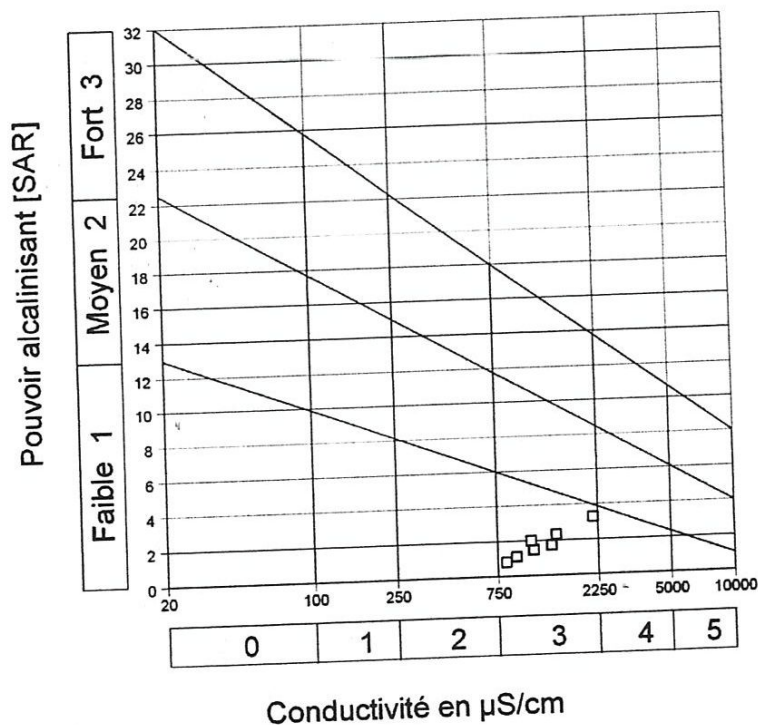


Fig.8 : Diagramme de Richards

5.2. USAGE DE POTABILITE

L'usage de l'eau pour l'alimentation en eau potable doivent satisfaire les conditions imposées par la norme algérienne (Jora, 2011), toutes les eaux sont bonnes du point de vue conductivité, TDS et les éléments chimiques sauf pour les nitrates qui dépassent les valeurs de 50 mg/l. cette pollution est due au léchage de fertilisants azotées puisque la région est agricole par excellence.

5.2.1 Dureté de l'eau

La dureté de l'eau est calculée à partir de l'équation de (TODD ,1980)

$$TH (CaCO_3) \text{ mg/l} = 2.497 Ca^{2+} + 4.115 Mg^{2+}$$

Tableau 7 : Valeurs de la dureté totale

Puits	Dureté totale (mg/l)	TH °F= Dt/10
P1	692.49	69.24
P2	343.32	34.33
P3	322.14	32.21
P4	412.95	41.29
P5	324.96	32.49
P6	518.49	51.84
P7	474.92	47.49

Les valeurs sont récapitulées dans le tableau. Nous constatons que les valeurs de la dureté totale sont 300 mg/l de CaCO₃ (30°F).

5.3 USAGE INDUSTRIEL

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux, ainsi que leur action sur le milieu environnant, est souvent traitées comme des cas particuliers à cause de la complexité des relations entre les ions présents.

Ces équilibres sont instables en raison des variations de la température et des teneurs en gaz dissous (évasion ou dissolution), ce qui amène de nouvelles réactions et conséquences sur le milieu en contact avec l'eau.

En particulier, les problèmes de traitement, d'agressivité, d'incrustation ou de corrosion sont générés par les variations d'équilibres physico-chimiques et posent des problèmes techniques pour le captage, l'adduction et la distribution des eaux. Pour connaître le type d'eau nous avons procédé au calcul de l'Indice de Ryznar. Il est appelé également indice de stabilité et est calculé par la formule simple :

$$\text{Indice de Ryznar} = 2 \text{ pHs} - \text{pH}$$

Cet indice donne une indication de la tendance corrosive ou incrustante (entartrante) de l'eau. Il est donné simplement à titre indicatif dans le logiciel, car sa validité n'est pas reconnue par tous les intervenants dans le domaine des équilibres calco-carboniques.

Le résultat peut s'interpréter de la manière suivante :

IR < 6 eau agressive

IR = 0 eau équilibrante

IR > 6 eau entartrant

Tableau 8 : Indice de Ryznar et quantité de CaCO₃ précipitée

Puits	CaCO ₃ précipité (mg/l)	IR
P1	11.80	6.44
P2	5.90	7.16
P3	5.00	7.17
P4	21.20	6.47
P5	15.40	6.73
P6	29.30	6.21
P7	36.20	6.30

Les résultats de cet indice sont consignés dans le tableau. Il en ressort de ce tableau que les valeurs de l'indice de Ryznar sont supérieures à 6 ce donnent à l'eau un pouvoir entartrante à la température de 23°C. La quantité de Ca CO₃ précipitée, varie de 5 à 36.20 mg/l dans les conduites. Ce qui va traduire leur l'obturation.

5.3.1 LARSON (indice de corrosion) :

Pour connaître la tendance à la corrosion, on est amené à déterminer l'indice de Larson qui est donné par la formule :

$$LR = (2 [SO_4^{2-}] + [Cl]) / [HCO_3^-]$$

Le résultat peut s'interpréter de la manière suivante :

LR Tendances

LR < 0,2 Pas de tendance à la corrosion

0,2 ≤ LR < 0,4 Faible tendance

0,4 ≤ LR < 0,5 Légère tendance

0,5 ≤ LR < 1,0 Tendance moyenne

LR ≥ 1 Nette tendance à la corrosion

Tableau 9 : Indice de Larson

Puits	IL	Observation
P1	6.44	Pas de corrosion
P2	7.16	Corrosion légère
P3	2.83	Nette Corrosion des métaux
P4	4.42	Nette Corrosion des métaux
P5	1.81	Nette Corrosion des métaux
P6	2.65	Nette Corrosion des métaux
P7	1.68	Nette Corrosion des métaux

Conclusion Générale

CONCLUSIONS GENERALES

La région de Guelma est située au Nord-est de l'Algérie orientale. Cette région est connue par des potentialités hydriques importantes caractérisées surtout par les eaux souterraines et de surface. Les eaux souterraines proviennent des forages, puits et sources qui sont captés pour satisfaire la demande en eau de la ville de Guelma et les villages de la région où jadis l'eau était de qualité rurale. En effet, le développement agricole, industriel, urbain et les constructions anarchiques avec des rejets non assainis font que les eaux souterraines situées aux alentours de Guelma sont dégradées en qualité.

D'un point de vue géologique, la région de Guelma est considérée comme un bassin subsident à remplissage détritique du plio-quaternaire reposant sur un substratum miocène constitué par des argiles et marnes à gypses où parfois le soufre s'intercale. La géométrie du réservoir plio-quaternaire tient même du mode de dépôts des sédiments détritiques qui dépassent 200 m d'épaisseur au centre de la dépression.

Du point de vue hydrochimique, la minéralisation est caractérisée surtout par les chlorures, sulfates, calcium et magnésium caractérisant le faciès chimique

Les valeurs obtenues de l'indice de saturation pour la calcite, l'aragonite, la dolomite et le gypse ainsi que la pression partielle de CO_2 , montrent que les eaux des puits, sont quasi sursaturées en calcite, et dolomite ce qui leur donnent un appauvrissement en calcium et magnésium et

Les indices de saturation obtenus pour le gypse, démontrent une sous-saturation généralisée en ces minéraux qui est, peut-être, à l'origine des hautes teneurs obtenues en sulfates. Les valeurs obtenues de la pression partielle en CO_2 sont en général faibles dans la majorité des points d'eau étudiés, alors qu'elles augmentent dans les et supérieures à la pression atmosphérique.

- Roux M.(1987).Office International De l'eau ; L'analyse Biologique De L'eau.TEC& DOC. Paris.229p.
- Thornthwaite, C.W (1948) An approach towards a rational classification of climate. Geographical review 38,55-596.
- Vila J.M (1988) Carte géologique au 1/50.000 de Guelma et notice explicative rédigée par Vila J.M.Pub. Serv. Carte géol. Algérie, alger.
- Zeddouri A.(2003). Contribution à L'étude Hydrogéologique Et Hydro-chimique De La plaine Alluviale de Guelma (Essai De Modélisation),Guelma, NE Algérien.Mémoire de Magister , Université Badji Mokhtar, Annaba.107 p.