

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia -Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : Eau et Environnement

Thème

Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique

du système aquifère de la plaine de Tamlouka

(Wilaya de Guelma, NE-Algérien)

Membres de Jury

Président : Debieche TH.

Examineur: Rihia Dj.

Encadrant : Djorfi S.

Présenté par :

Abdallah Fatima

Bougherra wahida

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur MR, Djorfi Samir Nous tenons également à remercier MR, ZahiF, Rihia Dj, Darouiche A.M et MR, Mehdiid S pour leurs précieux conseils et leur aide durant la période du travail.

Et aussi je remercie l'ANRH de Gulema et La ferme pilote de Tamlouka pour leur documentation.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs proposition .

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

Wahida et Fatima

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail A Mes très chers parents :
Ma mère **Saada** qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son
soutien, tous les consentis et ses précieux conseils, pour toute son
assistance et sa présence dans ma vie.*

*Et Mon père **Houssine**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de
longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer
dans la vie qui m'a encouragé durant toutes mes études
C'est grâce à eux si je suis arrivée à ce résultat et à qui je m'adresse
À **ALLAH** les vœux les plus ardents pour la conservation
De leur santé et de leur vie.*

*A Mes chères frères **Nabil, Saleh, Ali, Farres** .*

A tous les enfants de mes frères

Malak Abdraouf, Alae , Maissa, Bassem, Takoua , Baylassen

A tous ma famille

*À mon binôme de travail : '**Fatima**'*

*A mes amies **Amira, Asma, Karima, Lamia, Kanza, Randa, Sara,
Meriem, Fatima, Nassima et Rami** qui n'ont jamais des cesses
de mon encourager tous les jours a toutes la promotion de 2017*

*Spéciale dédicaces à mon amie intime **Lotfi**, Merci pour ton
encouragement, ton aide et tes soutiens moraux et soutenez moi pour
terminer mes études.*

Voilà je pense n'avoir oublié personne et enfin merci à tous qui en lu ou liront ce

Mémoire a tous ceux qui m'aiment

Wahida

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A tous les membres de ma famille pour leurs sacrifices, leurs encouragements, et pour leur soutien matériel et moral tout au long de ma formation, et surtout mes parents :

*Ma mère **Zineb**, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.*

*Mon père **Khalifa**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, merci pour l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

*Mes frères et sœurs (grand sœur **Safia**, et grand frère **Khaled**, me jumelles **Asma**, **Ali** et petit frère **Abdallah**), qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*A mes chers mes neveux de safia **Dania** et **Manar***

A toute ma famille.

*A mon ami intime **Kacem** qui m'a toujours encourager et soutenez-*

*A mon binôme **wahida***

*A tous mes chers amis et mes collègues de l'université de Jijel **wahida**,
Ilham, **Ahlem**, **Samia**, **Rokja**, **Meriem**, **Anisa**, **Nadia**, **Selma**, **Radia**,
Wahiba, **ikram**, **Amira**, **Iness**, **Halima**, **Abla**,
Randa, **Imen**, **Zineb**, **Chaima**, **Bouchra** et **Houda**.*

A toutes les promotions 2017 eau et environnement.

Fatima

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

N°	<i>Titre</i>	Page
	<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I : Cadre Géographique</i>		
	Introduction	3
1.	Situation géographique	3
2.	Situation administrative	4
3.	Reliefs et géomorphologie.....	4
3.1.	Géomorphologie	5
3.1.1	Les Montagnes.....	5
3.1.2	3.1.2 Cuvette (graben).....	5
3.1.3	Les collines (horst)	5
3.1.4	Le karst	5
3.1.5	Les lits des oueds	6
4.	Réseau hydrographique	6
5.	Aperçus économiq.....	6
5.1	L'agriculture	7
5.2	L'industrie	7
<i>Chapitre II : Cadre Géologique</i>		
	Introduction.....	8
1.	Historique géologique	8
2.	Géologie	8
3.	Stratigraphie et lithologie	10
3.1	Jurassique	11
3.2	Crétacé	11

3.2.1	Crétacé Inferieur	11
a.	Hauterivien	11
b.	Barrémien	11
c.	Aptien	11
d.	Albien	12
3.2.1	Crétacé supérieur	12
a.	Cénomanie.....	12
b.	Turonien	12
c.	Sénonien	12
•	Conacien.....	12
•	Santonien.....	13
•	Campanien.....	13
•	Maestrichtien	13
2.3.	Paléogène	13
2.4.	Eocène	13
a.	Dano_Montien	13
2.5.	Néogène	14
2.5.1.	Miocène	14
2.5.2.	Mio-Pliocène.....	14
2.6.	Quaternaire	14
4.	Paléogéographie et tectonique	16
4.1.	Paléogéographie	16
4.2	Tectonique	16
	Conclusion	17
<i>Chapitre III : Etude Géophysique</i>		
	Introduction	18
2.	But de l'étude	18
3.	Problème posé pour la géophysique	18
4.	Interprétation	19
5.	Les sondages Etalons	19
	Introduction	19
5.1	Interprétation	20
6.	Lecture des résultats du point de vue lithologique	20

6.1	Nature du remplissage continental.....	20
6.2	Nature du substratum	20
6.3	Interprétation	20
	Conclusion	27
Chapitre IV : Etude Hydroclimatologique		
	Introduction	28
1.	les données climatiques disponibles	28
2.	Analyse des paramètres climatiques	28
2.1	Coefficient pluviométrique (Cp)	28
2.2	La précipitation	30
2.3	Variation des précipitations moyennes annuelles	31
2.4	Distribution mensuelle et saisonnière de précipitations	32
2.5	Températures.....	32
2.6	Températures moyennes mensuelles	33
3.	Relation Précipitation –température	34
3.1	Diagramme pluviaux-thermique de <i>Bagnouls et Gausсен</i>	34
3.2	Méthode du rapport P/T.....	35
3.3	L'indice climatique de De Martonne(1923)	35
4.	Bilan hydrique.....	36
5.	Estimation des paramètres du bilan	37
5.1	L'évapotranspiration potentielle (ETP)	37
5.2	Calculs de l'ETP par la formule de Thornthwaite	37
5.3	Evapotranspiration réelle (ETR)	38
5.3.1	Formule de Turc	39
5.4	Estimation de la réserve facilement utilisable RFU.....	38
5.5	Formules de vérification	39
5.6	Interprétation du bilan hydrique	40
5.7	Interprétation du graphique du bilan hydrique	42
6.	Estimation de la lame d'eau écoulée.....	42
6.1	Le ruissellement superficiel	42
6.2	L'infiltration	42
	Conclusion.....	43

Chapitre V : Etude Hydrogéologique		
	Introduction.....	44
1.	Les déférents aquifères dans la plaine de Tamlouka	44
2.	Interprétation de la coupe hydrogéologique	44
3.	Identification des nappes	46
3.1.	Aquifère à nappe libre dans les dépôts du quaternaires au Sud	47
3.2.	Aquifère à nappe captive dans les dépôts Mio- plio –quaternaires au Nord	47
3.3.	Aquifère à nappe captive dans les dépôts de l'Eocène	47
3.4.	Aquifère à nappe captive dans les formations maestrichtiennes	47
3.5.	Aquifère à nappe captive dans les calcaires jurassiques	47
4.	Alimentation des nappes	47
4.1.	La nappe libre.....	47
4.2.	La nappe profonde des calcaires.....	48
5.	Inventaire des points d'eau	48
5.1.	Les sources	49
5.2	Les forages	49
5.3	Inventaire des puits	49
6.	Etablissement et interpritation des cartes piezometriques	51
6.1.	Interprétation de la carte piézométrique des hautes eaux	51
	Conclusion.....	52
Chapitre VI : Etude Hydrochimique		
	Introduction	53
1.	les eaux souterraines	53
2.	Matériels et Méthodes	54
2.1	Prélèvements	54
2.2	Paramètres mesurés in situ	54
2.3	Conservation des échantillons	54
3.	Mode opératoire	55
3.1	Mode opératoire des éléments chimiques.....	55
3.1.1	Détermination du calcium (Ca ²⁺) et de la Dureté.....	55
3.1.2	Détermination des chlorures (Cl ⁻).....	55
3.1.3.	Détermination de sulfates (SO ₄ ²⁻).....	55

3.1.4	Méthode au salicylate de sodium.....	56
4.	Faciès chimique des eaux souterraines	56
5.	Représentation graphique des analyses chimique.....	57
5.1.	Le diagramme de Piper.....	57
5.2.	Diagramme de Schoeller-Berkaloff	58
6.	Paramètres physico-chimiques	59
6.1	Température	59
6.2	Le Potentiel d'hydrogène (PH)	60
6.3	La conductivité électrique.....	61
6.4	Les cations.....	63
6.4.1	Le calcium (Ca^{2+})	63
6.4.2	Magnésium (Mg^{2+})	64
6.4.3	Potassium et sodium (Na^+ , K^+)	64
6.5	Les anions.....	65
6.5.1	Les chlorures (Cl^-).....	65
6.5.2	Les Sulfates (SO_4^{2-})	66
6.5.3	Les bicarbonates (HCO_3^-)	67
6.5.4	Nitrate NO_3^-	68
7.	Etudes des valeurs relatives	69
7.1	Origine des éléments chimiques	69
7.1. A	Les éléments $Ca^{2+} - HCO_3^-$	70
7.1. B	Les éléments $Ca^{2+} - SO_4^{2-}$	71
7.1. C	Les éléments $Na^+ - Cl^-$	71
7.1. D	Les éléments $Cl^- - SO_4^{2-}$	72
7.1. E	Les éléments ($Mg^{+2} - Ca^{+2}$)	73
7.2	Etude de l'acquisition de la minéralisation	73
7.3	Mise en évidence de l'indice d'échange de base entre les eaux souterraines et le milieu aquifère	74
8.	Aptitude des eaux à l'irrigation	75
	Conclusion.....	77
	<i>Conclusion général et recommandations</i>	78
	<i>Références bibliographique</i>	

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tab n°01 :	Log stratigraphique de la région de Tamlouka (Hemila M. et Kowalski W., 2002).....	15
Tab n°02 :	Corrélation entre la géologie et les résultats géophysiques (mémoire Bougdah H, Djidel .M, Djorfi. S p53-1994).....	19
Tab n°03 :	Coordonnées de la station d'Ain Makhlouf.....	27
Tab n°04 :	Précipitations annuelles en (mm) et coefficients pluviométriques (d'AinMakhlouf)....	28
Tab n°05 :	Précipitation moyenne mensuelles dans la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).....	30
Tab n°06 :	Précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Makhlouf.....	31
Tab n°07 :	Distribution saisonnières des précipitations d'Ain Makhlouf (1986-2011).....	32
Tab n°08 :	Température moyenne mensuelle en (°C) dans la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).	33
Tab n°09 :	Précipitation et température moyenne mensuelles à la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).....	34
Tab n°10:	Indice mensuel d'aridité (I) et P/T de la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).....	35
Tab n°11:	Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et le climat correspondant (De Martonne in Meddour, 2010).....	36
Tab n°12:	L'ETR annuelle selon Turc de la station d'Ain Makhlouf.....	38
Tab n°13:	Bilan hydrique de Thornthwaite de la station d'Ain Makhlouf (1986-2006).....	40
Tab n°14:	Ruissellement selon la formule Tixeront-Berkaloff d'Ain Makhlouf.....	43
Tab n°15:	Les principaux termes du bilan hydrique d'Ain Makhlouf.....	42
Tab n°16 :	Inventaire des sources `plaine de Tamlouka.....	49
Tab n°17 :	Inventaire des forages de la plaine de Tamlouka (DHW de Guelma).....	49
Tab n°18 :	Inventaire des puits –plaine de Tamlouka, Mars 2017.....	50
Tab n°19 :	Formules ioniques et faciès chimique en %, (Mars, 2017).....	57
Tab n°20 :	Températures (°C) des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka (Mars 2017).....	60
Tab n°21 :	Le Potentiel D'Hydrogène des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka (Mars 2017).....	61
Tab n°22 :	Classification des eaux selon le pH.....	61
Tab n°23 :	Classification des eaux des points de mesure selon la conductivité électrique.....	62
Tab n°24 :	Indices d'échange de base.....	74
Tab n°25 :	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode(SAR).....	76

Liste des figures

Figure	Titre	page
Fig. 01 :	Carte de la situation géographique de la plaine de Tamlouka dans le bassin de la Seybouse (sous bassin d'oued El Maleh).....	3
Fig. 02	Situation administrative de Tamlouka.....	4
Fig. 03 :	Réseau hydrographique du Bassin Versant de Oued El Maleh.....	6
Fig. 04 :	Carte géologique de la plaine de Tamlouka.....	10
Fig. 05 :	Coupes géoélectriques transversales.....	21
Fig. 06 :	Coupes géoélectriques Longitudinales.....	23
Fig. 07 :	Carte des discontinuités électriques –Failles probables.....	25
Fig. 08 :	Carte de position des-COUPES GEOELICTRIQUES.....	26
Fig. 09 :	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles dans la station d'Ain Makhloof (1986-2011).....	30
Fig. 10	Variation interannuelle de la précipitation dans la station d'Ain Makhloof (1986-2011).....	31
Fig. 11 :	Distribution saisonnière des précipitations dans la station d'Ain Makhloof (1986-2011).....	32
Fig. 12 :	Variation des températures moyennes mensuelles dans la station d'Ain Makhloof (1986-2011).....	33
Fig. 13 :	Diagramme ombrothermique de la station d'Ain Makhloof (1986/2011).....	34
Fig. 14 :	Représentation graphique du bilan de Thornthwaite d'Ain Makhloof.....	41
Fig. 15 :	Représentation graphique du bilan de Thornthwaite d'Ain Makhloof.....	41
Fig. 16 :	Les logs de quelques forages réalisés sur la plaine.....	45
Fig. 17 :	Coupe hydrogéologiques schématiques des forages.....	46
Fig. 18 :	Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine Tamlouka 2014.....	48
Fig. 19:	Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe superficielle (Période hautes eaux Mars. 2017).....	51
Fig . 20	Carte d'inventaire des points d'eaux souterraines (Mars 2017).....	54
Fig. 21 :	Diagramme de Piper des eaux souterraines de la région de Tamlouka.....	58
Fig . 22 :	Diagramme de Schoeller Berkloff des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka.....	59
Fig. 23 :	Carte de la repartition des Températures de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	60
Fig. 24 :	Carte de la repartition des Potentiels d'hydrogènes de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	61
Fig. 25 :	Carte de la repartition des Conductivités électriques de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	62

Liste des Figures

Fig. 26 :	Carte de la repartition des Calciums de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	63
Fig. 27 :	Carte de la repartition des Magnésiums de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	64
Fig. 28:	Carte de la repartition des sodiums plus potassium de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	65
Fig. 29:	Carte de la repartition des Chlores de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	66
Fig. 30 :	Carte de la repartition des sulfates de la plaine de tamlouka (nappe libre).....	67
Fig. 31:	Carte de la repartition des Bicarbonates de la plaine de Tamlouka.....	68
Fig. 32 :	Carte de la repartition des Nitrates de la plaine de Tamlouka (nappe libre).....	69
Fig. 33 :	Représentation graphique du Ca^{+2} en fonction de HCO_3^-	70
Fig. 34 :	Représentation graphique du Ca^{+2} en fonction de SO_4^{-2}	71
Fig. 35 :	Représentation graphie de Na en fonction de Cl^-	71
Fig. 36 :	Représentation graphique de SO_4^{-2} en fonction de Cl^-	72
Fig. 37:	Représentation graphique du Ca^{+2} en fonction du Mg^{+2}	73
Fig. 39 :	Représentation graphique de l'aptitude des eaux à l'irrigation.....	75

Introduction générale :

L'eau est un élément biologique important en tant que support de vie et facteur du développement des pays. Elle est considérée comme un vecteur privilégié de l'activité humaine.

La gestion des eaux qualitativement et quantitativement est un problème d'ordre socio-économique et écologique, car l'eau douce, élément constitutif du cycle de l'eau, est une ressource indispensable à la vie. Depuis toujours, sa disponibilité a guidé l'apparition et le développement d'organismes vivants sur la planète.

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 sa disponibilité et son exploitation relativement facile.

La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture et l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Le problème de cette ressource rare et vitale se pose tant dans sa mobilisation, que dans sa protection et sa préservation. Aussi une prise de conscience a débutée pour tenter de protéger l'eau contre toute source de pollution qui constitue un risque permanent de limitation de la ressource en eau dans un proche avenir.

La plaine de Tamlouka est parmi les zones à vocation agricole. Le développement dans ce domaine se fait continuellement sentir par un accroissement considérable de la demande en eau. Les nombreuses données en notre disposition nous ont permis de comprendre qu'une évaluation quantitative, et qualitative ainsi qu'une exploitation rationnelle des ressources en eaux superficielles et souterraines de l'aquifère de cette plaine s'imposent.

La présente étude constitue une contribution de notre part dans le but de mettre à jour cette situation, en se basant sur des données de forages déjà réalisés dans la région, des études géophysiques, l'élaboration des enquêtes de terrain et des campagnes de mesure des paramètres hydrogéologiques et physico-chimiques ainsi que des analyses chimiques.

Dans ce travail nous avons essayé d'exploiter toutes ces données et interpréter les résultats des analyses chimiques qui vont nous permettre d'avoir une idée sur l'origine de la variation de la qualité des eaux souterraines.

En vue d'atteindre nos objectifs nous avons repartie notre travail en six principaux chapitres :

Introduction Générale

- Le premier chapitre qui est le cadre générale est consacré à la présentation de la région d'étude (situation géographique, étude aspect-économique, description des caractéristiques géomorphologique).
- Le deuxième chapitre concerne une synthèse géologique basé sur une esquisse -d'une carte géologique, sur l'analyse des données litho stratigraphiques, et une description structurale de la région.
- Le troisième chapitre est voué à l'interprétation des données géophysique pour définir les différents types d'aquifères.
- Le quatrième chapitre est dédié à l'étude hydroclimatologie et la détermination des termes du bilan hydrique. En se basant sur les données pluviométriques et de la température collectées de la station météorologique d'Ain Makhlouf entre 1986 et 2011.
- Le Cinquième chapitre a pour principal but d'étudier les caractéristiques hydrogéologiques du système aquifère de la plaine de Tamlouka par la combinaison entre les logs stratigraphiques des forages et les données géophysiques ainsi que la réalisation et l'interprétation de la carte piézométrique.
- Le sixième chapitre qui constitue la partie fondamentale du travail vise les caractéristiques physicochimiques et par conséquence la qualité des eaux souterraines de la région d'étude et la détermination du faciès chimiques par des analyses chimiques.

Introduction

La géographie est la base de toute étude de terrain, surtout pour l'étude hydrogéologique, elle délimite le secteur étudié et détermine la distribution des facteurs physico-géographiques caractérisant cette espace.

1. Situation géographique

Le secteur étudié, présenté par la plaine de Tamlouka fait partie de la wilaya de Guelma situant au Nord-est algérien, appartenant à la région Est des hauts plateaux Constantinois et dont la population est estimée à 18894 habitants en 2008. Elle fait partie du bassin versant de la Seybouse (**Fig.01**). La plaine de Tamlouka qui s'étend en longueur dans la feuille d'Ain Regada notamment autour du village de Tamlouka. Elle forme une cuvette, allongée selon une direction Nord- Est, Sud -Ouest, bien encadrée par la Chebka des Sellaouas au Sud-est, Djebel Djahfa au Nord-Ouest et à l'Ouest, Djebel El Oncel au Nord et les collines d'Ain Makhlouf à l'Est. Elle a la forme d'un couloir arqué au niveau de la feuille d'Ain babouche. Elle est située environ 52 km au S-W de la Ville de Guelma. Elle s'étend sur une superficie de 215 km²

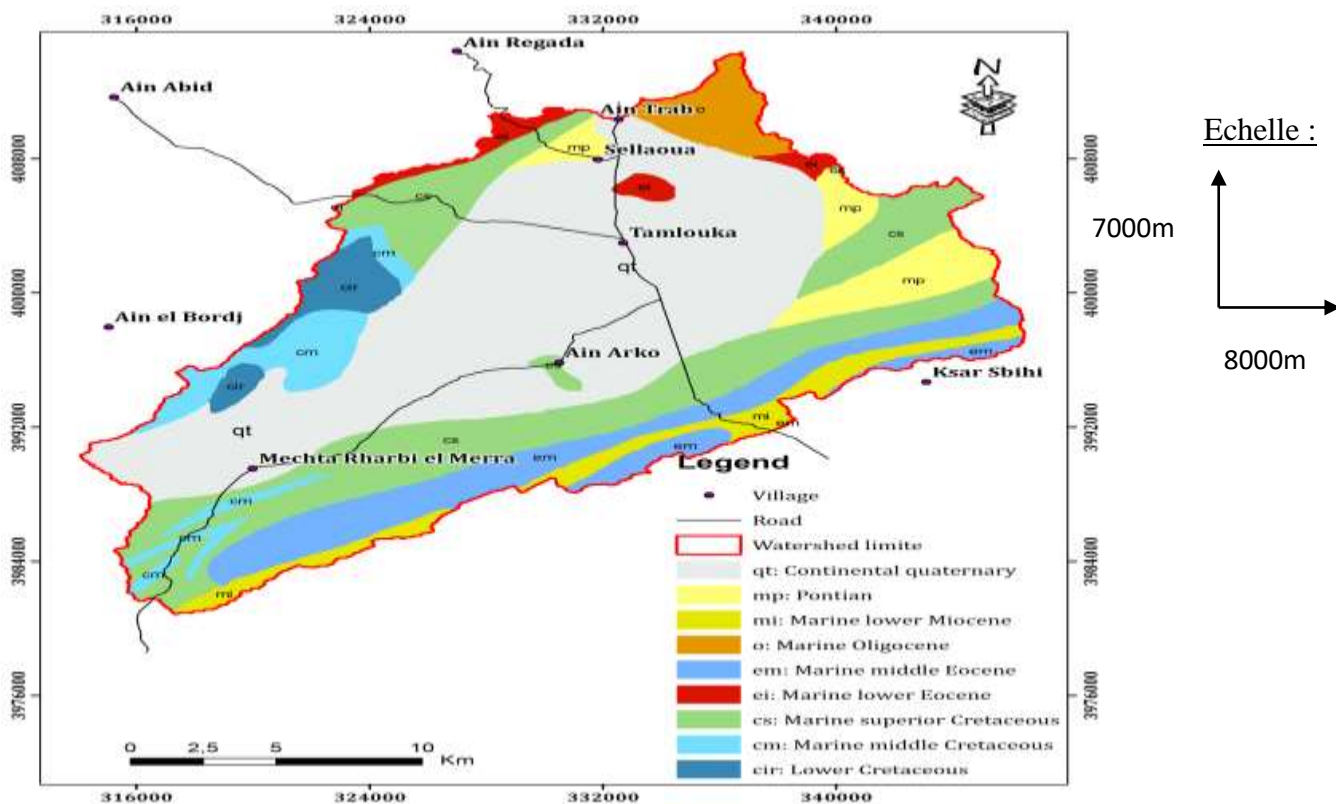


Figure 01 : Carte de la situation géographique de la plaine de Tamlouka dans le bassin de la Seybouse (sous bassin d'oued El Maleh).

La région étudiée occupe une position de synclinal par rapport à la chebka des Sellaouas et

de Djebel Djahfa. Le seul relief marquant cette vaste étendue est constitué par la butte d'Ain Arko, localisée au centre de la plaine.

2. Situation administrative

La plaine de Tamlouka fait partie de la wilaya de Guelma. Le village de Tamlouka présente un point de transition très actif car il constitue le carrefour de trois grandes villes: Constantine, Guelma, Oum Elbouaghi (*Fig.02*).

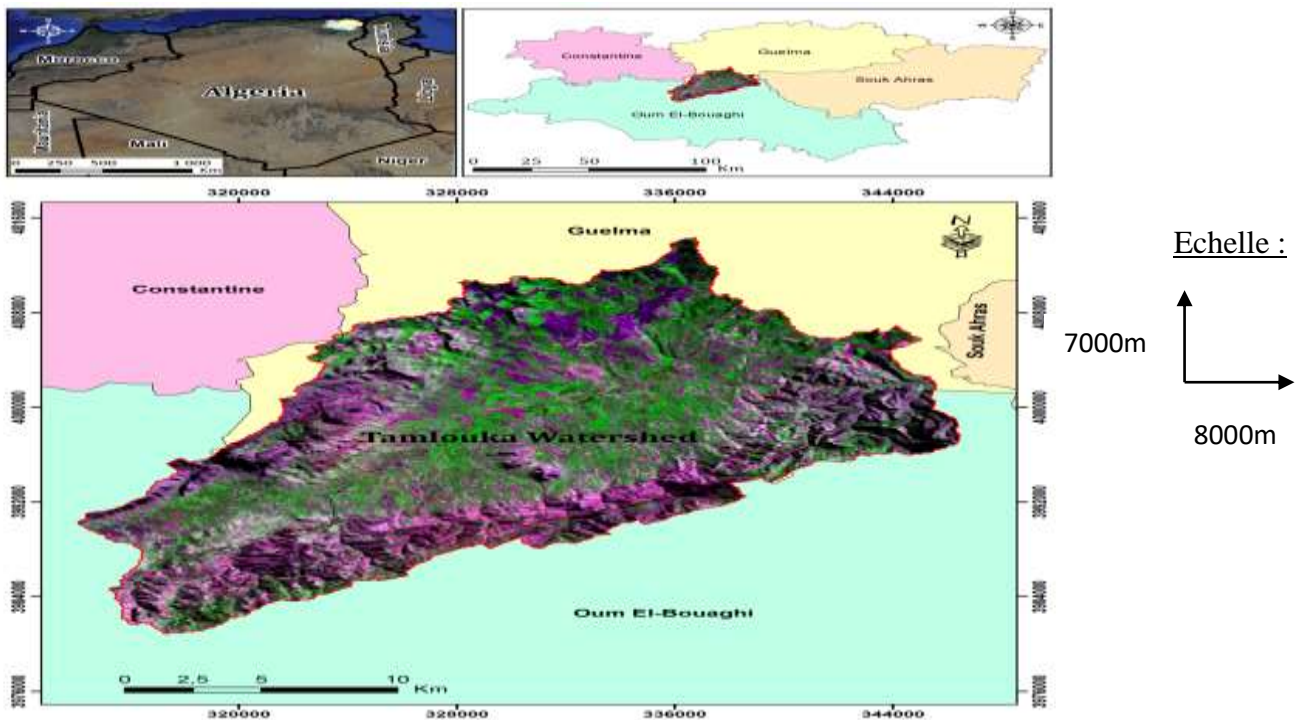


Figure02 : Situation administrative de Tamlouka.

3. Reliefs et géomorphologie

La région étudiée est caractérisée, dans son ensemble, par une topographie plate 80 % de la superficie totale sauf pour la butte d'Ain Arko au centre de la plaine. Ses bordures sont constituées par Djebel Djahfa à l'Ouest et au Nord-Ouest, la Chebka des Sellaouas au Sud et au Sud Est. La pente générale est faible ; elle tend vers le Nord-est.

Les altitudes dans la plaine suivent aussi la pente topographique. Elles prennent des valeurs élevées dans la partie nord de la plaine pour atteindre 825 m à Sebaa Mzair. Les plus faibles altitudes peuvent atteindre 732m au niveau d'Oued Mgaisba.

En ce qui concerne les collines d'Ain Arko l'altitude élevée se trouve dans la butte exploitée et prend une valeur de 929 m (point culminant) (Sebagh et Safi, 2014).

3.1 Géomorphologie

Les formes géomorphologiques existantes sont toutes liées à la tectonique. Le remplissage de la cuvette s'est effectué pendant la période Mio-plio- Quaternaire, par le phénomène d'érosion du matériel existant dans la région limitrophe, on peut citer :

3.1.1 Les Montagnes

A la bordure Nord-Ouest, de la plaine se situent les monts de Djebel Djahfa et Djebel Stitira constitués, essentiellement, par des formations carbonatées d'âge secondaire. Ils sont marqués par une tectonique cassante se manifestant par des failles et une intense fracturation. On y rencontre également Djebel Ain Debagh (992 m) Djebel Foum Ain Alik (1073 m) et Kef El Mohgan et Chebka des Sellaouas et les monts de kef Ain berian 1023m et kef Messerk.

3.1.2 Cuvette (graben)

La cuvette de Tamlouka est la conséquence de mouvements tectoniques. Elle occupe la majeure partie du sous bassin versant d'oued El Melah, qui fait partie du grand bassin versant de « la Seybouse ». Au niveau de la base de la cuvette, on constate qu'elle est tectonisée et karstique donnant un arrangement de calcaire fissuré auquel se forme la nappe karstique cela à différentes profondeurs. Les horizons supérieurs sont constitués par les sédiments du Mio-Pliocène et du Quaternaire formés des argiles sableuses. Au niveau de cet ensemble, on trouve la nappe libre.

3.1.3 Les collines (horst)

Sont situées à mi-chemin entre Balta et Tamlouka et qui sont les conséquences d'une compression N-W suivie par une distension Plio-Quaternaire subméridienne, N-S.

Au niveau d'Ain Arko (850 m). Elles sont formées de calcaire similaire à celui du djebel Djahfa qui apparait au niveau du calcaire Jurassique.

3.1.4 Le karst

La karstification est bien développée dans le calcaire de la région qui présente une micro-fracturation intense. En présence des eaux météoriques et par des processus chimiques et mécaniques cette fissuration va donner des formes karstiques telles que la cavité dans Djebel Djahfa. Les fissures permettent une infiltration quasi-totale et rapide des eaux superficielles ; ce qui assure une alimentation efficace des réserves d'eau souterraine.

3.1.5 Les lits des oueds

On les rencontres dans les remplissages du Quaternaire dans la région traversées par les oueds qui creusent au fur et à mesure, le matériel détritique composé principalement de sable de gravier et de limon....etc.

4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique présente un système de drainage très dense, constitué essentiellement par : Oued Mgaisba qui est tributaire de Oued Cheref et ces affluents, oued elMelah qui prend naissance dans les monts de Djebel Amar et rejoint Oued Mgaisba au centre de la plaine. Notons aussi l'existence d'autres affluents tels qu'Oued Bardo ainsi que plusieurs chaabats qui descendent de Djebel Djahfa et de la Chebka des Sellaouas (*Fig.03*).

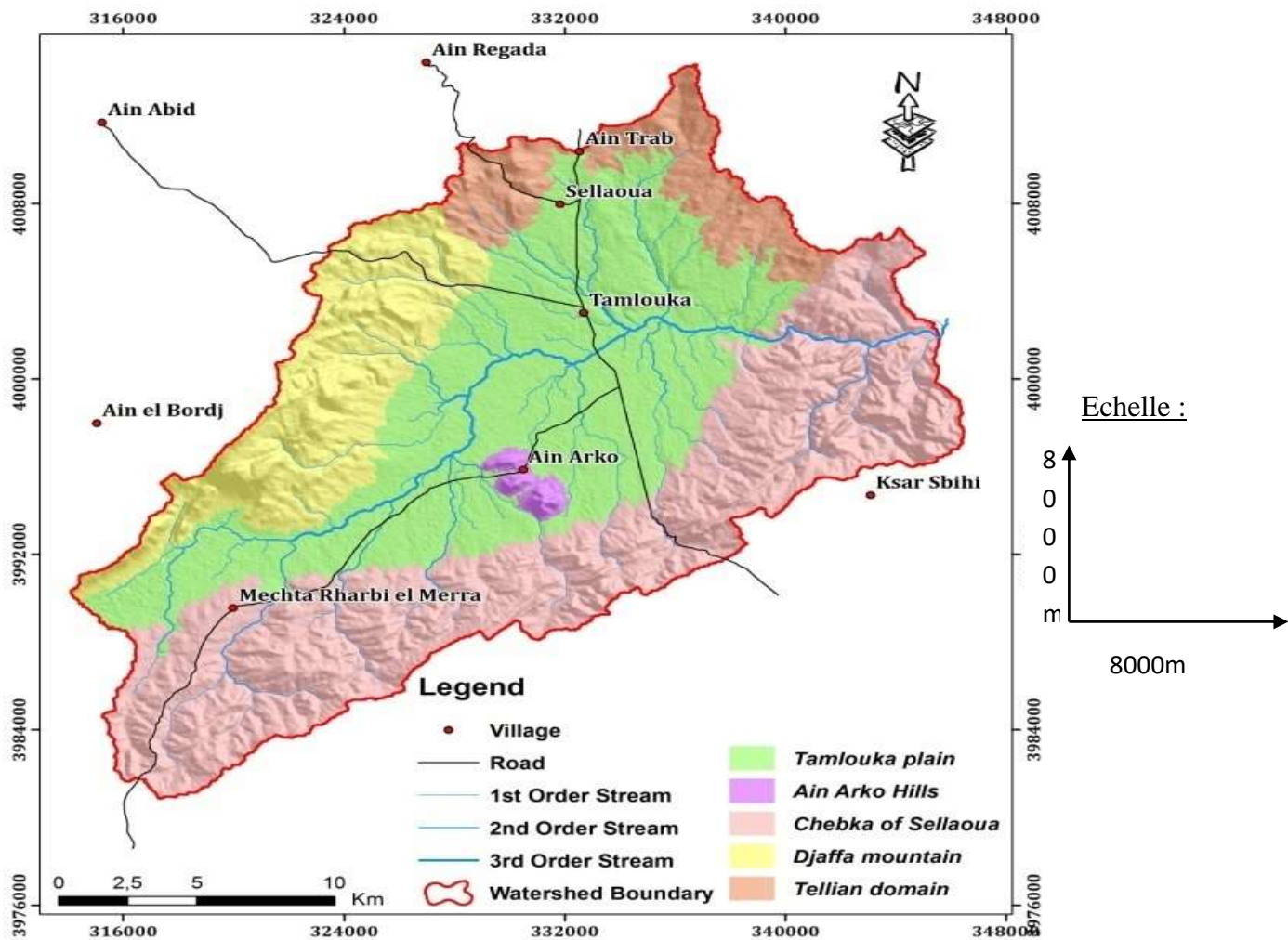


Figure 03 : Réseau hydrographique (sous bassin de L'Oued El Maleh).

5. Aperçus économique

5.1 L'agriculture

La plaine de Tamlouka présente une vocation agricole intensive qui joue un rôle très important dans l'économie de la région, elle occupe la première place avec l'élevage des bétails au sein des activités de la population rurale, on trouve surtout l'agriculture céréalière (blé), pomme de terre, qui demande un important volume d'eau pour l'irrigation.

5.2 L'industrie

L'industrie est presque inexistante exceptées les quelques installations à caractère local (carrière, fabrique de carrelageetc.)

Le gisement de Ain Arko découvert en 1858 constitué les meilleures exploitations jusqu'à nos jour ce sont essentiellement des gisements de Zinc avec 125000t /an de production (actuellement abandonne).

Introduction

La géologie est la base de toute étude hydrogéologique, elle donne des renseignements sur la structure et l'évolution paléogéographique d'une région donnée, cette étude consiste à identifier les différentes formations aquifères et leur aptitude à la contenance des eaux souterraines ainsi que leur influence sur la qualité de ces dernières.

1. Historique géologique

Dans la région l'étude de Lachavannes présente La plus ancienne étude géologique faite au début du 20^{ème} siècle sous le titre : Les fossiles Tertiaires dans la région de Guelma. Cette étude touche nettement les bordures de la plaine. Ensuite vient l'étude faite par (C.Voute) sous le titre : Essai de synthèse de l'histoire géologique des environs d'Ain Babouche, Ain Fekroune et des régions limitrophes. Cette dernière ne touche que la partie Sud de la plaine de Tamlouka. En 1973, l'étude faite par la société SONATRACH en collaboration avec BEICIP, a permis l'établissement du permis d'Ain Regada dont la plaine de Tamlouka fait partie. En 1980, J.M. Villa, dans sa thèse (la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiennes) a essayé de comprendre l'apparition et l'évolution structurale de la colline d'Ain Arko en se basant sur les études antérieures.

2. Géologie :

La géologie de la zone d'étude comprend le remplissage quaternaire qui présente une formation continentale composée essentiellement d'une croûte de calcaire, d'argile, de sable et parfois de graviers. Trois domaines structuraux constituent les hauts plateaux :

- Le sillon des Sellaouas apparaît dans la partie orientale par constituer de marne et de calcaire.
- le deuxième domaine est la série néritique qui apparaît dans la partie occidentale de la plaine par les monts de Djahfa, caractérisées par une alternance de calcaire, marne avec l'argile et parfois le sable.
- Le troisième domaine est la nappe numidienne qui occupe la partie Nord de la plaine et se compose de marne, le calcaire marneux avec la silice de l'âge Crétacé.

Par ailleurs au nord de la plaine il y a la série Néritique Constantinoise depuis le Jurassique jusqu'au Crétacé supérieur et qui est structurellement chevauchées par le Numidien, le tellien, les Babors le pré-kabyle et les flyschs.

La carte géologique au 1/50000 d'Ain Regada n'existe pas. Nous nous sommes basés pour l'élaboration de ce chapitre sur les travaux antérieurs : thèse de C. Voute, carte géologique de Constantine au 1/200000^{ème} et rapport sur l'étude géologique du permis d'Ain Regada fait par la SONATRACH - BEICIP. Ce dernier englobe entièrement notre région d'étude, de plus il a l'avantage de considérer la géologie de la région sous un angle nouveau.

Pour l'élaboration d'une carte géologique au 1/50000^{ème} de la région de Tamlouka, nous nous sommes servis de la carte géologique de Constantine au 1/200000^{ème} et de la photo aérienne de Ain Regada ; des sorties sur terrain ont été également effectuées pour préciser les contours géologiques.

Les dépôts Mio-Plio- Quaternaire couvrent toute la plaine de Tamlouka, donc masquant l'extension horizontale des formations géologiques tertiaires et secondaires plus anciennes. Seules les collines d'Ain Arko et les bordures de la plaine amplement étudiées offrent la possibilité de voir les affleurements et permettent des hypothèses sur les relations entre formation et structure.

Les bordures de la plaine sont constituées par la zone de Djebel Djahfa situé à l'Ouest et au Sud-Ouest. Ce Djebel, comme le souligne le rapport de la SONATRACH – BEICIP, est une zone très tectonisée où deux types de série se superposent.

Au nord, on rencontre la série Néritique du Constantinois depuis le Jurassique jusqu'au Crétacé supérieur et qui est structurellement chevauchées par le numidien, le tellien, les Babors le pré kabyle et les flyschs.

La zone des Sellaouas des écailles dont une grande partie a été étudiée par C.Voute est constituée par un vaste ensemble d'affleurement où l'on peut opposer deux zones se développant parallèlement :

Au Nord-Ouest un ensemble septentrional où les séries atteignent systématiquement au moins le Sénonien supérieur alors que l'Eocène ou le Miocène sont toujours présents. L'ensemble septentrional est recouvert directement par les nappes telliennes. La carapace des séries Néritiques et les faciès intermédiaires de Djebel Djahfa semble manquer dans les Sellaouas.

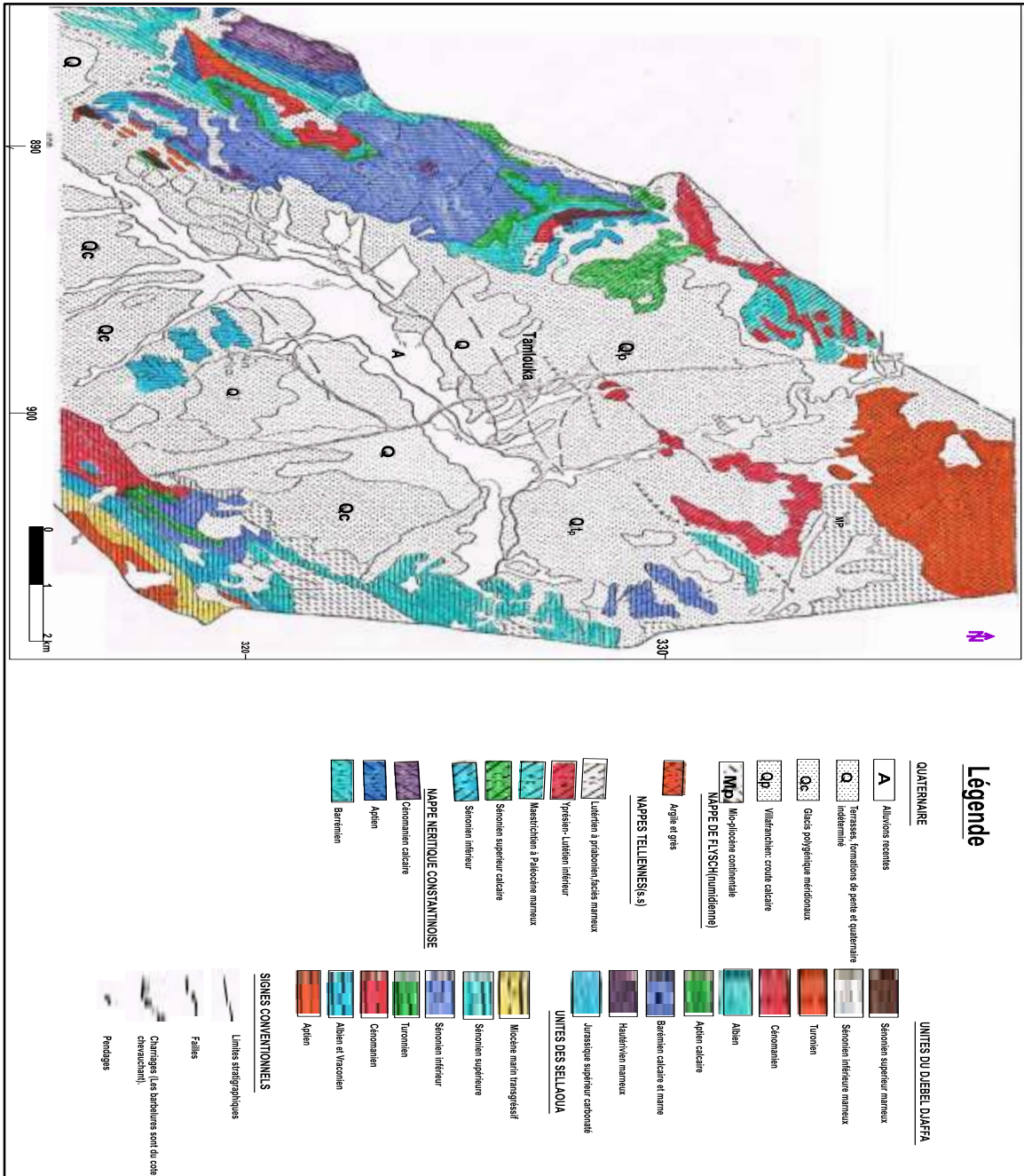


Figure 4 : Carte géologique de la plaine de Tamoulouka.

3. Stratigraphie et lithologie

La stratigraphie étudie la disposition originelle des roches et la chronologie de leurs formations, dans le but de reconstituer l'histoire géologique de l'écorce terrestre.

La plaine de Tamoulouka révèle des unités lithologiques différentes et Les terrains les plus anciens rencontrés dans la zone limitrophe de la plaine appartiennent au Jurassique.

3.1 Jurassique

(C.Voute) dans son étude sur la région, signale l'absence totale de cet étage et situe les formations les plus anciennes du Djebel Djahfa au Barrémien ou à l'Hauterivien ; ce qui n'est pas l'avis des auteurs de la SONATRACH-BEICIP qui relèvent dans la série du Djebel Djahfa des fossiles du Jurassique terminal à savoir Kimméridgien et Portlandien, le microfaciès calcaire Jurassique rencontré à Djebel Djahfa est analogue à celui des collines d'Ain Arko se présentant par dolomie grise à la base plus haut par les calcaires récifaux et graveleux . Donc ce dernier par conséquent d'âge Jurassique contredisant ainsi (C.Voute) et autre sauteurs qui les attribuaient à l'Aptien.

3.2 Crétacé

3.2.1 Crétacé Inferieur

a. Hauterivien

Il se présente au djebel Djahfa avec une épaisseur supérieure à 50m. Il existe 02 faciès différents dans cette zone de transition, les marnes foncées alternant avec les calcaires microbréchiques à ammonites à croute ferrugineuse (signe de phase d'arrêt de sédimentation) et avec une intercalation de calcaire spathique de 20m d'épaisseur passant à une barre dolomitique de 40m d'épaisseur et de barre de calcaire glauconieuse et grumeleuse à Brachiopodes, oursins et huitres ...

b. Barrémien

Au Djebel Djahfa : Avec une épaisseur de 220 m, la série est composée par des marnes avec quelque intercalation de calcaire a Ammonites pyriteuses, le faciès de transition et représenter par 80m de marnes noduleuses et de calcaires béchiques.

c. Aptien

Au cours de l'abtien de dj Djahfa, il atteint une épaisseur de 300m de calcaires subrécifaux à Rudiste à Foum el Allik . Au pied du Djebel Djahfa, un passage très régulier de ces calcaires de 200m d'épaisseur à des marnes avec quelques bancs de calcaire grumeleux fossilifère.

Dans la Chebka des Sellaouas, l'Aptien présente 100 à 200 m de marnes parfois gréseuses avec ammonites ferrugineuses et de niveau de calcaires lités.

Au Djebel Djahfa, la région des massifs calcaires passe brusquement à la zone allongée de la Chebka des Sellaouas ; La plaine de Tamlouka forme un élément de transition, il s'agit d'un fossé plissé en anticlinal parallèlement à son axe allongé, mais L'Aptien montre encore une grosse lentille calcaire à Djebel Hammimat, situé au Sud-est. De là, on peut rappeler la confusion Aptien Jurassique faite par C.Voute et relevée par les autres (SONATRACH-BEICIP).

d. Albien

Les calcaires microbrêchiques ont une épaisseur de 150 m, A la crête de Djebel Djahfa. On observe aussi le passage à un faciès intermédiaire (Draa El ksar) des marnes avec amas conglomératique de calcaire de 100 m d'épaisseur et le sommet de cette série marnes glauconieuses. A la Chebka des sellaouas, l'épaisseur totale varie de 150 m à 400 m et se subdivise en deux unités très distinctes par leur faciès :

-Albien Inferieur et moyen

Il est représenté par une série marno-gréseuse avec une barre très apparente degrés durs de 120 à 300 m d'épaisseur.

- Albien supérieur

Il présente une série de 20 m à 100 m caractérisé par des apports gréseux associés à des marno-calcaire régulière avec dépôt cyclique de calcaire lité.

3.2.2 Crétacé supérieur

a. Cénomanién

Cet étage présente des faciès analogues au dj Djahfa et Sellaouas L'épaisseur de la série est de 420 m, caractérisée par des faciès de marnes et marno-calcaires à ammonites. Au niveau du fossé central, le Cénomanién terminal à faciès Chebka (calcaires en plaquettes) passe à des faciès calcaires grumeleux et marno-sableux avec ammonite ferrugineuse et éponge.

b. Turonien

Il se présente sous deux formes : le Turonien inférieur et supérieur. Le premier est constitué par des calcaires lités avec des marnes. Il se caractérise par une épaisseur varie de 8 m au centre, de 30 m vers le Nord et de 60 m sur la bordure méridionale. Le Turonien supérieur se définit par une série d'épaisseur variant entre 20 à 150 m, formée par des marnes noduleuses à marnes granuleuses en remarquant des petits niveaux discontinus de calcaires glauconiens.

c. Sénonien

• Conacien

Il se présente dans les deux zones bordant la plaine. A Djebel Djahfa, Le fossé axial contient le Sénonien inférieur très mince ; localement transgressif sur le Cénomanién. Le sous étage et présent ou pied Sud-est de Djebel Djahfa ; ce faciès existe aussi en bordure de la Chebka où, il présente un horizon constitué de marnes et calcaire glauconieux souvent grumeleux de 2 à 15 m. il montrent des traces d'algues et de piste de vers. L'épaisseur sur la bordure de la Chebka dépasse les 300 m et se réduit au centre à 250 m.

•Santonien

A Djebel Djahfa, au Nord-Ouest du massif, l'étage est absent ; dans le fossé axial les marnes ont une épaisseur inférieure à 50 m au Nord de Draa El Kharrouba. Dans la Chebka des Sellaouas ; Le Santonien se caractérise par une épaisseur variante de 25 m au centre de la zone et entre 5 et 10 m au niveau de la bordure Sud-est. Il est constitué de deux masses de calcaires grises et jaunes, séparées par des marnes. Au-dessus de la zone on découvre une série épaisse de 50 à 100 m composée de marnes grises verdâtres avec certaines insertions de calcaires.

• Campanien

Au Djebel Djahfa, le Campanien inférieur se présente sous forme de marne de 50 à 100 m, avec des niveaux calcaires de 30 à 50 m ; par contre le Campanien supérieur est strictement marneux d'une épaisseur de 60 à 100 m.

Dans la Chebka des Sellaouas, le Campanien se rencontre dans la partie Sud-ouest avec une succession normale. Les marnes deviennent plus bleu, chargées de pyrite de fer, limonites et gypse.

•Maestrichtien

Au Djebel Djahfa le maestrichtien se présente sous deux étages :

Le Maestrichtien inférieur se présente par des niveaux calcaires lités jaunes blancs de 30 à 50 m d'épaisseur riche en Inocérames.

Le Maestrichtien supérieur est constitué par des marnes de 40 à 50 m d'épaisseur, également riche en Inocérames.

3.2.3. Paléogène

Epais de 170m, est constitué par des marnes noires contenant des boules jaunes selon J.M.VILLA, et des silex et nodules de phosphate selon C.Voute.

3.2.4. Eocène

a. Dano-Montien

Dans la zone de Djebel Djahfa l'éocène est absent aux Sellaouas existe localement, ses différents termes sont transgressifs et leur épaisseur est très faible par rapport aux faciès du même étage appartenant aux nappes telliennes au Nord du de Tamlouka. Cet Eocène présentant par des marnes noires du Paléocène, faciès marno-calcaire à silex de l'Yprésien et des marnes noires du Lutétien.

3.2.5. Néogène

3.2.5.1. Miocène

Cet étage est composé dans la zone des Sellaouas par des couches rouge continentales formées d'argiles, des marnes sableuses et de poudingues, par contre le Miocène marin est constitués des grés jaunes brun, alternant parfois avec des marnes gréseuses, d'argiles et marnes sableuses jaune et grise on rencontre des bancs épais de calcaires brun et gris.

3.2.5.2. Mio-Pliocène


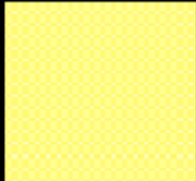
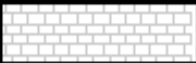


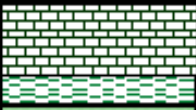






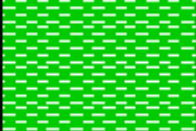
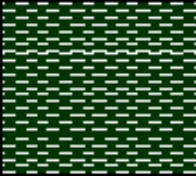

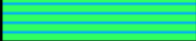

D'après Voute (1957), les dépôts Mio-Pliocène peut atteindre une épaisseur de 500 m. Cette série présente un stade de sédimentation continentale effectuée après la réalisation de la construction allochtone fortement affecté par l'érosion.

3.2.6. Quaternaire

Il peut aller jusqu'à 100 m d'épaisseur, le quaternaire constitue une couverture naissante du bassin de Tamlouka. Il est composé d'une croûte de calcaire, d'argile rouge et brune sableuse et graveleuses.

Chapitre II : Cadre Géologique

Tableau01 : Log stratigraphique de la région de Tamlouka (Hemila M. et Kowalski W., 2002)

	Etage	Epaisseur (m)	Lithostratigraphie	Lithologie
QUATERNAIRE	Quaternaire	40		Calcaire, argile sableuse, marne sableuse, calcaire-marno.
NEOGENE	Mio-Pliocène	500		Stade de sédimentations continentales formé par des calcaire, argile, marno-calcaire, grès, marne sableuse, argile sableuse.
	Miocène	?		Argile rouge, marne sableuse, poudingue, grès jaune, calcaire brun et gris.
EOCENE	Eocène	?		Marne noire, marno-calcaire(calcaire conglomératique), silex.
PALEOGENE	Paléogène	170		Marnes noires contient des boules jaunes, silex, nodule de phosphate.
CRETACE	Maestrichtien sup et inf	100		Calcaire, jaunes blancs, riche en inocéroms, marne riche en inocéroms
	Campanien sup et inf	250		Marnes, calcaires; marnes chargées de pyrite, limonites et gypse.
	Santonien	100		Calcaire gris, jaune, marne gris, verts intercalé par des calcaire.
	Coniacien	300		Marne, calcaire glauconieux, trace d'argile.
	Turonien moy et sup	110		Alternance de calcaire et marne, marne noduleuse à granuleux, calcaire tendre glauconieux, bréchiqes organiques.
	Turonien inf	?		calcaire à inocérames, passage de marno-calcaire, marne sableuse à rudiste.
	Cénomannien	60		Calcaire subrécifaux, marne, marno-calcaire. marne sableuse.
	Albien sup et inf	350		Marne gréseuse, marno-calcaire, calcaire conglomératique, grès
	Aptien	400		Marne, marno-calcaires, calcaire, rarement marnes gréseuses
	Barrémien	300		Marne intercalé par des calcaire.
	Hauterivien	90		marne foncées intercalé par des calcaire microbréchiqes.
Jurassique	Jurassique	?		Dolomie grise, calcaire récifaux et graveleux.

4. Paléogéographie et tectonique

4.1 Paléogéographie

Un aperçu géologique va nous fournir des informations intéressantes sur l'ampleur du mouvement tectonique au Néogène et quaternaire. La couche du Mio-Plio-Quaternaire est supérieure à 100 m, alors dans la partie Sud-ouest (sur la feuille d'Ain Babouche) on note que les épaisseurs ne dépassent pas les 20 m, et que le long de la bordure Nord de la Chebka des Sellaouas, l'épaisseur varie de 30 à 40 m (décrit par C.Voute). La cuvette de Tamlouka ne peut donc pas avoir pris naissance sous la seule influence de l'érosion fluviale, le climat du passé ne se prêtait non plus à un apport éolien très actif de telles phases sèches n'étant connues que dans des régions plus méridionales et beaucoup plus arides.

Des mouvements négatifs (tassement) sont accompagnés probablement d'un entassement de l'anticlinorium de la Chebka des Sellaouas et du massif calcaire de Djebel Djahfa et Kef Ain Debagh. Ces mouvements ont dû commencer au début du Quaternaire et se poursuivent jusqu'après la formation de la croûte calcaire principale. La cuvette de Tamlouka ainsi formée à une allure d'un fossé d'effondrement et de synclinal à sa terminaison Sud- Ouest. Le bombement de la partie axiale de la cuvette au Sud –Est d'Ain Arko peut également s'expliquer par la réactivation d'un anticlinal plus ancien dont le point culminant est formé par le calcaire Jurassique d' Ain Arko.

4.2 Tectonique

Selon Voute (1957), la plaine de Tamlouka présente une forme de cuvette allongée. Elle est bornée par le djebel Djahfa et la Chebka des Sellaouas qui possèdent une direction Nord-est et Sud-ouest. Le djebel Djahfa constitue une grande coupole dont la structure est combinée par des failles et flexures longitudinales et par une faille transversale récente. Le flanc Nord-est est composé par une série épaisse de calcaires rigides morcelés en paliers monoclinaux par des fentes longitudinales. La zone centrale est occupée par un fossé. Le flanc Sud-est est représenté par une série marno-calcaire dévoilant des plis anticlinaux partiellement aigus.

D'après Vila (1980), cette unité dévoile la présence d'une structure en pli couché vers le Sud-est à cœur carbonaté d'âge Jurassique supérieur, ce qui est affirmé par la réapparition à l'Est du Jurassique isolé au centre de la plaine, notamment au niveau des collines d'Ain Arko. Ces dernières sont considérées comme l'axe de l'anticlinal étendu en position chevauchante sur les marnes de l'unité des Sellaoua. Au niveau du djebel Djahfa, le chevauchement est arrangé d'une forme très plate et détermine la belle klippe du Kef Ain Debagh.

Conclusion

La région de Tamlouka occupe une situation structurale lui permettant d'appartenir au domaine tellien, à la plate-forme néritique constantinoise et au sillon de Sellaoua.

Il est à remarquer pour cette région que les structures synclinales du crétacé supérieur avec des formations calcaire et des formations quaternaires reposant sur des argiles miocènes, ce dernier se trouvait comblé ensuite par des formations d'âge mio-plio-quaternaire donnant naissance à un système aquifère superficielle, dont l'épaisseur est variable (indiqué par l'étude géophysique), reposant sur un complexe calcaire fissuré et karstifié d'âge Jurassique et Miocène affecté par de nombreuses failles, mises en évidence par l'étude géophysique, ce complexe présente à son tour une nappe profonde plus importante, caractérisée par une variation latérale des formations aquifères, au Nord.

Introduction

La recherche et l'exploitation des ressources hydrauliques souterraines dans une formation géologique donnée sont étroitement liées à la connaissance de la nature géologique des sédiments et leur extension aussi bien horizontale que verticale. Parmi les différentes méthodes géophysiques utilisées à fin de déterminer les différentes formations souterraines selon leurs propriétés physiques. On a les méthodes électriques qui jouent toujours un rôle plus grand dans le génie civil et dans la recherche minière. Les documents utilisés pour l'élaboration de ce chapitre sont les résultats des études géophysiques de SONATRACH-BEICIP et les différentes compagnes géophysiques réalisées par le groupe ALGEO.

Dans cette étude on va essayer de déterminer l'épaisseur du remplissage mio-plio-quadernaire et la nature du substratum. La prospection électrique permet grâce aux mesures des résistivités des terrains rencontrés de préciser la limite probable entre le remplissage conducteur et le substratum résistant.

2. But de l'étude

Les buts assignés à la prospection électrique sont les suivants :

- Permettre la connaissance de l'épaisseur du remplissage du mio-plio-quadernaire de la plaine.
- Déterminer les différents aquifères.
- Permettre la corrélation entre les résultats géophysiques et les données géologiques.
- Montrer les accidents tectoniques, et les localiser.

Mentionnons enfin que la zone prospectée couvre une superficie de plus de 200 km² dont la plus grande partie se trouve sur la feuille d'Ain Regada au 1/50000, le reste est constitué par la partie Nord de la feuille d'Ain Babouche au 1/50000.

3. Problème posé pour la géophysique

Le problème posé à la prospection géophysique consiste à déterminer l'allure du toit des séries calcaires du Crétacé inférieur sous le Crétacé supérieur et le tertiaire marin et continental à en préciser l'allure structurale et à délimiter, si possible les changements de faciès souterrains existant, les niveaux perméables de la couverture et dans le réservoir calcaire à proximité des zones tectonisées.

4. Interprétation

La corrélation entre les données de la géologie et celles de la géophysique nous a permis d'établir l'échelle de résistivité des principaux types de roches dans la région. Le tableau n° 2, appelle quelques remarques :

Les intercalations grossières, sables, graviers ainsi que les conglomérats paraissent être négligeable, elles ne sont pas caractérisées par leurs propres valeurs de résistivité étant donné qu'elles disparaissent dans le milieu environnant argileux plus conducteur (6 à 10ohm. m) ainsi que les conglomérats entre le milieu argileux plus conducteur et le milieu calcaireux plus résistant (100 à 300 ohm. m).

Tableau n°2 : Corrélation entre la géologie et les résultats géophysiques (mémoire Bougdah H, Djidel .M, Djorfi. S p53-1994).

Echelle des résistivités	Caractéristique lithologique	Étage
6-10- ohm. m	Argile sableuse + marnes + débris calcaires	Mio -Plio Quaternaires
15 – 20 ohm. m	Argile sableuse + graviers et gravillons	
20 -30 ohm. m	Calcaire 'marneux	Crétacé
80 -100 ohm. m	Calcaire	Crétacé Eocène
100 – 300 ohm. m	Calcaire massif type Jurassique d'Ain Arko	

5. Les sondages Etalons

Introduction

Dès la prospection, il n'existe dans la plaine de Tamlouka que trois forages.

Le forage (F1) implanté au NE du village de Tamlouka à proximité de la source du même nom ; ses coordonnées Lambert sont :

$$X_1 = 889,350 \quad Y_1 = 328,600$$

Les sondages électriques SE₁ et SE₂ ont été exécutés en croix à proximité de ce forage afin d'éviter l'influence du tubage.

Les forages "F8" et "F9" Sont implantés dans la région d'Ain Arko respectivement au NE et au SW des collines calcaires ; leurs coordonnées Lambert sont :

$$X_8 = 899.100 \quad Y_8 = 320.000 \quad X_9 = 895,700 \quad Y_9 = 317,600$$

5.1. Interprétation

Les données fournies par les trois sondages électriques étalons appellent les remarques suivantes :

- La différence nette constatée entre les courbes des sondages électrique sur « F8" et "F9 », confirme ce que nous avons par ailleurs en géologie.
- Les diagrammes obtenus sur "F8" et F9" nous indiquent un substratum très résistant (250 ohm. m). Calcaire jurassique d'Ain Arko qui se présente au niveau du "F8" d'une éventuelle épaisseur de 400 m.
- Les diagrammes ne nous ont pas permis de distinguer séparément les conglomérats couvrant ces calcaires. L'existence de ces conglomérats couvrant le substratum calcaire qui a un intérêt aquifère.

6. Lecture des résultats du point de vue lithologique

6.1 Nature du remplissage continentale

Dans la moitié Sud de la plaine de Tamlouka, le remplissage continental est assez homogène et sa résistivité comprise entre (7 et 120 ohm.m) correspond à un argilo sableux.

Dans la moitié Nord de la plaine, le recouvrement passe progressivement de (10-120hm.m) à la périphérie à 20hm.m dans la partie centrale de la cuvette, indiquant alors un faciès franchement argileux, probablement salé.

6.2 Nature du substratum

Les Calcaires du Crétacé inférieur au Djebel Ain Arko représente le Substratum résistant qui plonge sous la couverture mio-plio-quadernaire et occupe près d'un tiers de la plaine de Tamlouka.

Le substratum conducteur existant dans le reste de la plaine est formé par le tertiaire marin, du Crétacé supérieur ou du Crétacé inférieur à faciès marneux, ces différents terrains ne se différencient pas entre eux, car ils présentent de résistivités peu contrastées, par contre, on distingue généralement un horizon résistant très profond qui correspond probablement à des Calcaires du jurassique Sous-jacent.

6.3 Interprétation

Généralement les résultats des coupes géo- électriques confirment les résultats généraux des sondages mécaniques. Prenant par exemple les trois coupes transversales de directions N.W-S.E. (*Fig.5*).Généralement ces coupes montrent des discontinuités électriques indiquant des failles probables qui séparent une formation résistante (100 à 300 ohm.m) représentant

probablement des calcaires jurassiques dans les coupes (D.D') et (E.E') qui se présentent en profondeur par un relèvement de certaines parties et enfoncements d'autres.

La coupe (C.C') représente les formations de (30 à 50 ohm.m) indiquant les marno-calcaires et calcaires marneux du crétacé.

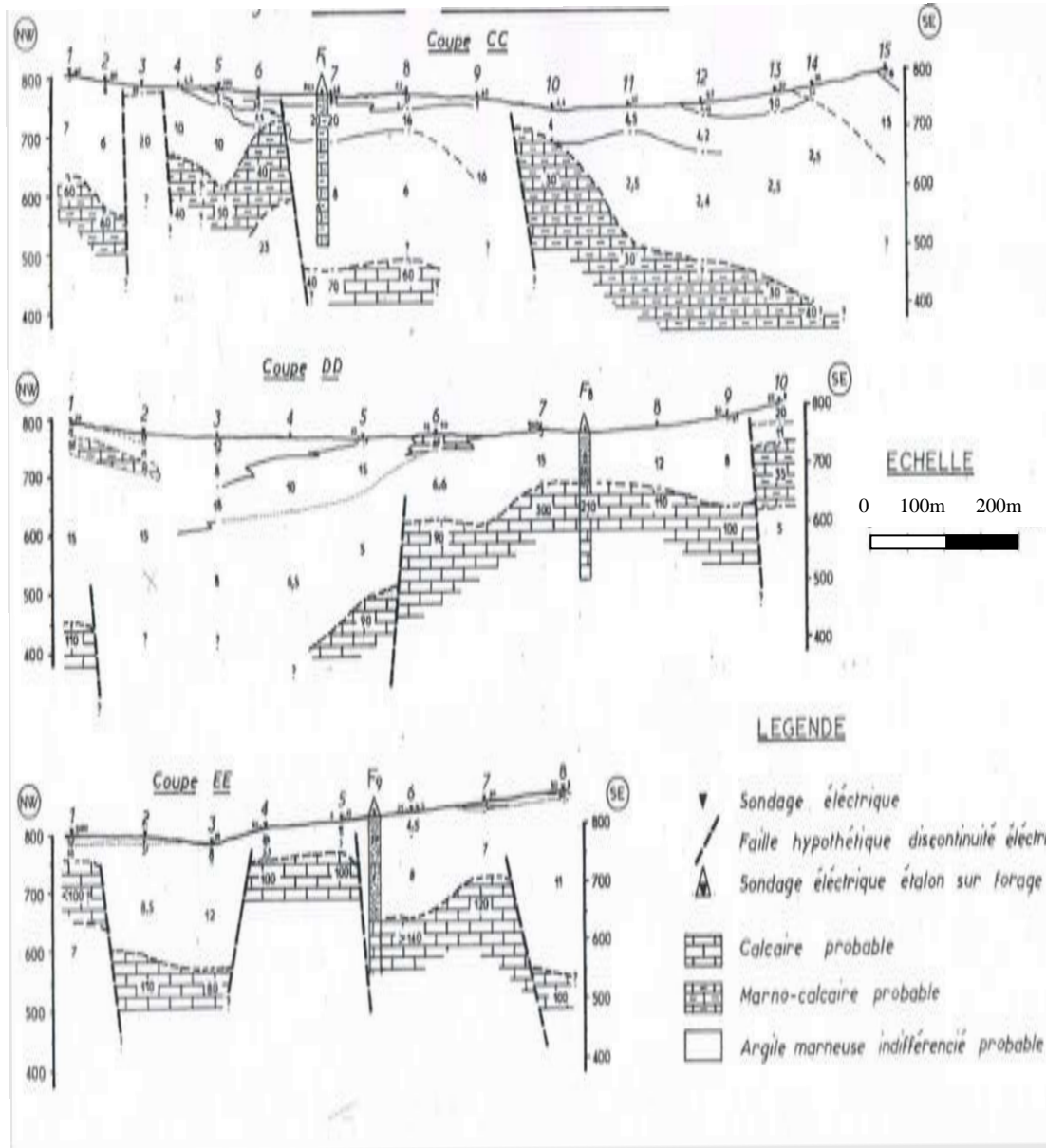


Figure 05 : Coupes géoélectriques Transversales.

Les deux coupes longitudinales (A.A') et (D.D') de direction N.E.S.W (**Fig. 6**) montrent que la majorité des sondages électriques en AB = 5000 m atteint le substratum résistant en profondeur (500 m). Dans le premier cas, la continuité infirmerait la thèse des auteurs du rapport BEICIP-SH. Le résistant (70 à 100 ohm.m) compartimenté appartiendrait aux lambeaux de calcaire éocène de la nappe tellienne.

Dans l'ensemble les coupes nous montrent ainsi deux substratums de résistivité différente. L'un plus résistant (300 ohm.m) aux alentours d'Ain Arko avec prolongement vers le S.E est formé par les calcaires jurassiques affleurant aux collines d'Ain Arko. Ce substratum occupe près d'un tiers de la plaine de Tamlouka. L'autre moins résistant (30 ohm.m) existant dans le reste de la plaine est constitué par des calcaires et marno-calcaires du Crétacé.

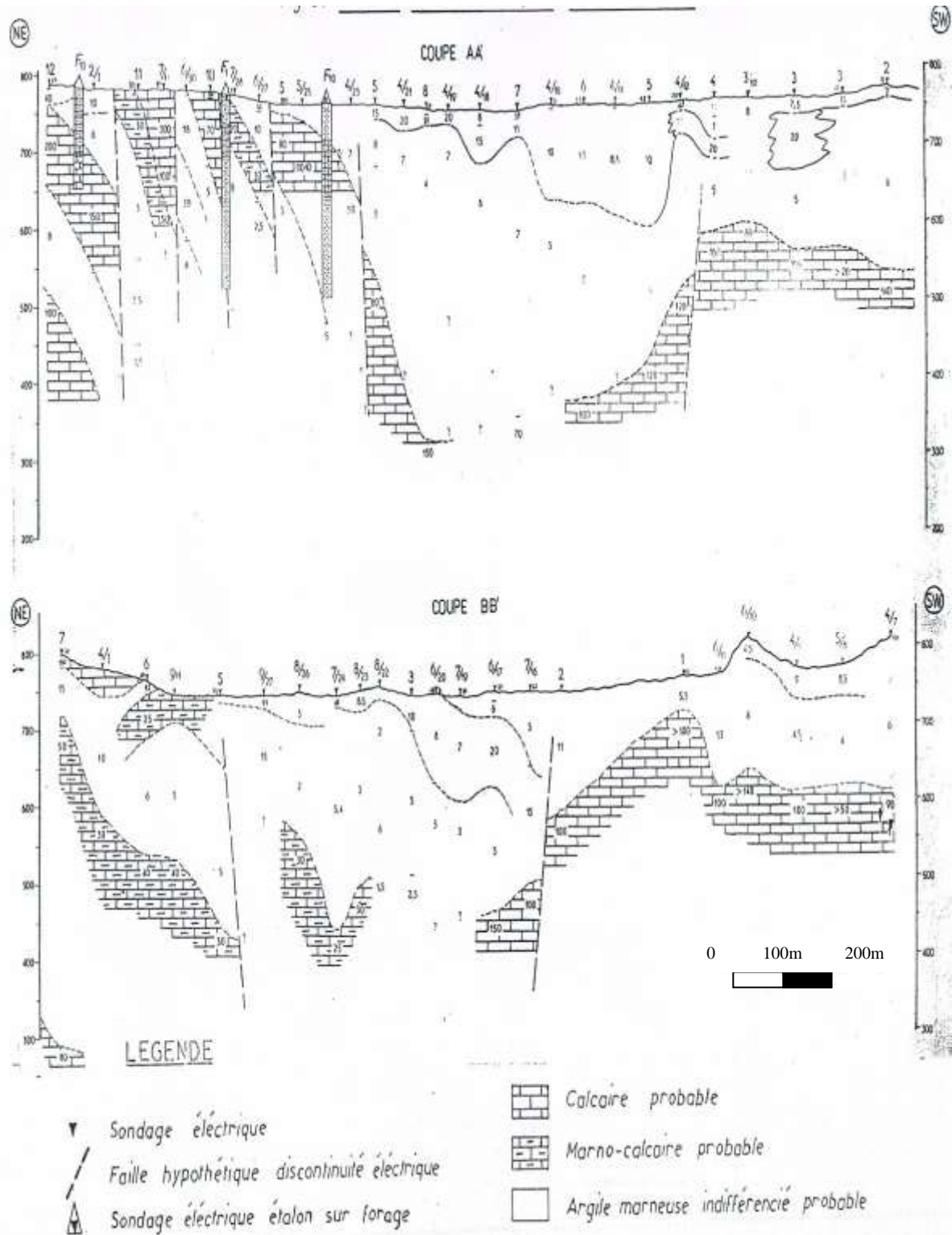


Figure 06 : Coupes géoélectriques longitudinales.

Dans les deux cas, ces substratums sont discontinus à cause du réseau de faille affectant les formations carbonatées (**Fig. 07**) ce qui leur confère un intérêt hydrogéologique certain, donc la circulation des eaux étant facilité par ce système de faille. En plus les calcaires jurassique d'Ain Arko semblent être couvert d'une couche de conglomérats relativement épaisse (30 m) comme l'indique les forages exécutés dans la zone, mais l'étude électrique n'a pas pu les séparés des calcaires sous-jacent. Donc la nappe aquifère des calcaires jurassiques d'Ain Arko constitue l'unique possibilité intéressante dans la région.

Les formations aquifères dans le remplissage ne semblent pas être importantes. Les coupes indiquent de rares passages résistants (17 à 25 ohm.m) constitués probablement de conglomérats et autre éléments grossiers, de sables argileux ou calcaire lacustre, dans l'ensemble argilo-marneux de (4 à 8 ohm. m) généralement ce remplissage mio-plio-quaternaire a une grande épaisseur dépassant parfois les 500 m au S.W de Tamlouka (Fossé d'effondrement) avec une moyenne oscillant autour de 300 m.

Fig. 07: carte des discontinuités électriques – Failles probables.

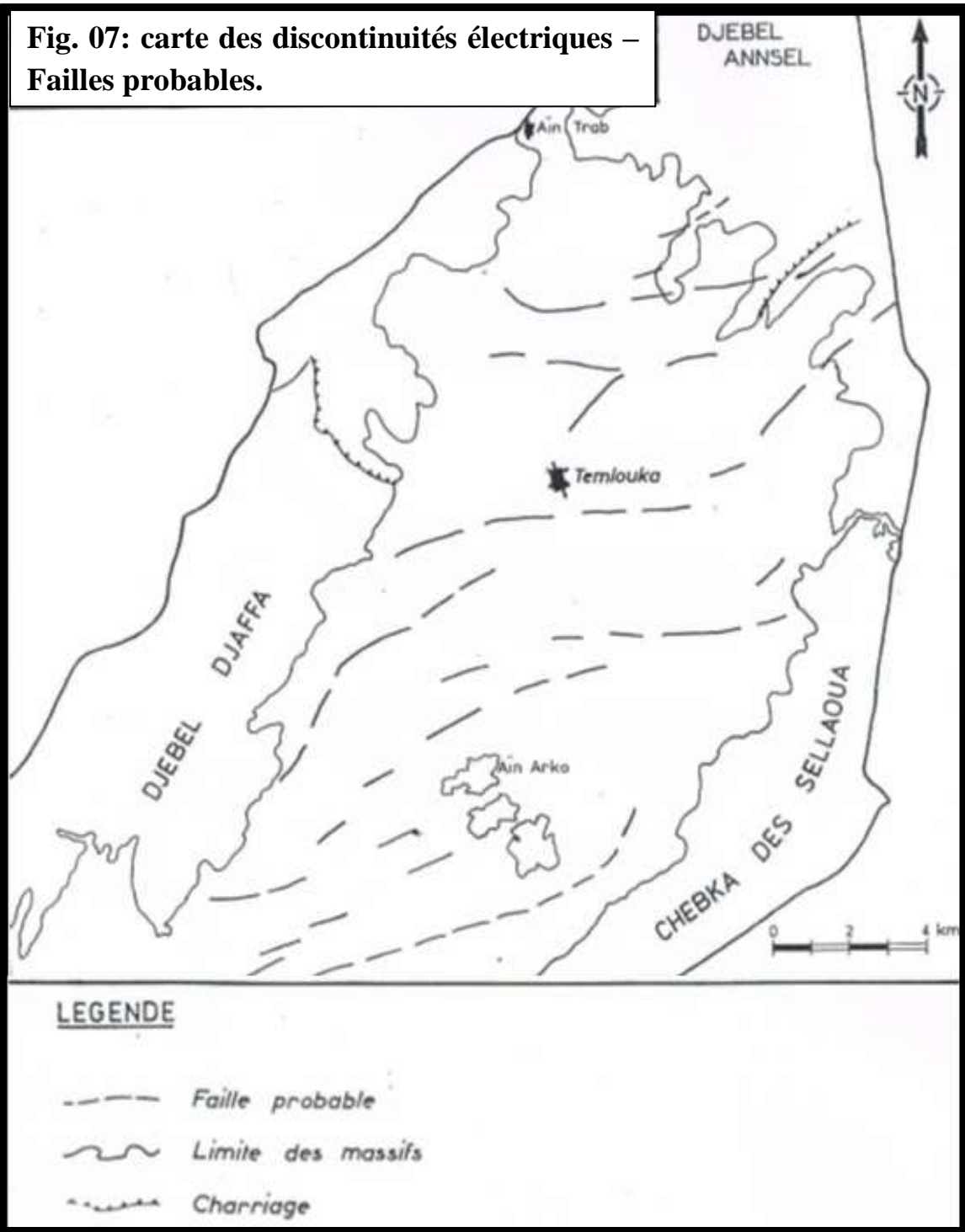
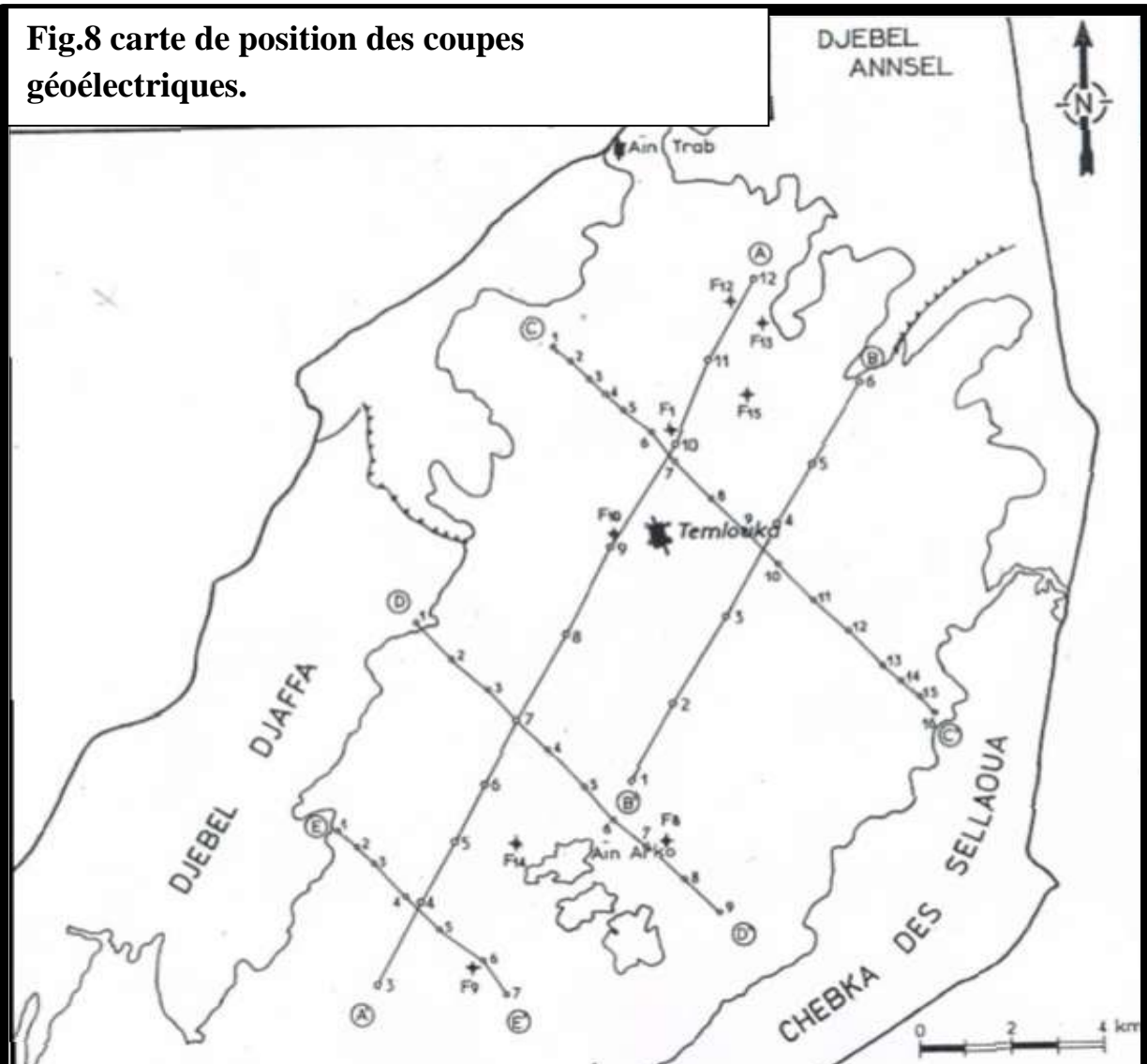


Fig.8 carte de position des coupes géoélectriques.



LEGENDE

- Sondage électrique AB = 1000 m
- Sondage électrique AB = 5000 m
- Limite des massifs
- Charriage
- Forage et son numéro

Conclusion

La synthèse des résultats nous permet de dire qu'il y a une correspondance générale entre la géophysique et la géologie.

Les coupes géoélectriques confirment les résultats précédents :

Les couches conductrices sont caractérisées par de grandes épaisseurs dépassant 400 m, et de faibles résistivités de (4 à 10 ohm. m) et substratum hétérogène.

Ce substratum est résistant de (80 à 100 ohm.m) sur près d'un tiers de la plaine de Tamlouka, de djebel Ain Arko ou il est constitué par le crétacé inférieur à faciès calcaire, dans le reste de la zone d'étude, le substratum est conducteur, il correspond soit au tertiaire marin, soit au crétacé supérieur, soit au crétacé inférieur à faciès marneux les calcaires résistants du jurassique sont alors visibles en profondeur.

Le passage du substratum résistant au conducteur se fait très brutalement au Nord-ouest du djebel Ain Arko ce qui suggère l'existence d'une fosse d'effondrement. la nappe aquifère contenue dans le crétacé inférieur à faciès calcaire du djebel Ain Arko peut présenter un certain intérêt hydrogéologique.

Les possibilités d'exploitation de la nappe phréatique sont faibles car le remplissage est essentiellement argileux.

Introduction

Les facteurs qui déterminent le climat sont la précipitation, L'humidité, La température et le vent .La distribution de ces facteurs dans le temps et dans l'espace. Influence l'évaporation et la transpiration. En effet. Ils permettent d'évaluer quantitativement les variations du régime hydrologique.

Actuellement, La région d'étude est équipée de quelques stations météorologiques parmi lesquelles nous avons empruntés les données utilisées.

1. Données climatiques disponibles

Les données pluviométriques collectées à partir de la station météorologique représentative de la région d'étude (station d'Ain Makhoulf *Tab n°03*) durant la période (1986-2011) sont répertoriées dans le *Tab n°04* suivant :

Tableau n°03 : Coordonnées de la station d'Ain Makhoulf.

Station	X	Y	Z	Code
Ain Makhoulf	289.10	355.10	834.10	14 02 05

2. Analyse des paramètres climatiques

Toute études hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydroclimatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraine. La connaissance des facteurs climatiques (pluviométrie. température...) est indispensable pour quantifier les ressources en eau et déterminer la part de l'eau qui s'infiltré.

L'objectif de notre étude est l'analyse de ces facteurs et la détermination des différents termes du bilan d'eau.

Toute étude climatique est basée sur la collecte des données. Pour mener notre travail nous avons étudié les paramètres climatiques de la station d'**Ain Makhoulf** qui est la plus proche de la zone d'étude.

2.1 Coefficient pluviométrique (Cp)

Ce coefficient permet de distinguer une année excédentaire d'une autre déficitaire :

- Une année excédentaire (AE) si : **Cp > 1.**
- Une année déficitaire (AD) si : **Cp < 1.**
- La moyenne si : **Cp = 1.**

Ce paramètre est en relation proportionnelle avec la pluviométrie. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne annuelle observée à une station donnée :

Avec : $C_p = P/P_{\text{moy}}$

C_p : Coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie annuelle de L'année en (mm).

P_{moy} : Pluviométrie moyenne annuelle d'une série de donnée en (mm).

Tableau n°4 : précipitations annuelles en (mm) et coefficients pluviométriques d'Ain Makhlouf.

Année hydrologique	Pluie annuelle (mm)	CP : station Ain Makhlouf	Observation
1986	719.5	1.38	AE
1987	391.5	0.75	AD
1988	431.5	0.82	AD
1989	447.8	0.86	AD
1990	663.7	1.27	AE
1991	627	1.2	AE
1992	670.7	1.28	AE
1993	389	0.74	AD
1994	500.4	0.97	AD
1995	270.1	0.52	AD
1996	112.3	0.21	AD
1997	534.8	1.02	AE
1998	1163.0	2.22	AE
1999	587.3	1.12	AE
2000	359.9	0.69	AD
2001	222.5	0.43	AD
2002	502	0.96	AD
2003	562	1.07	AE
2004	502.1	0.96	AD
2005	456.8	0.87	AD
2006	488.9	0.93	AD
2007	414.5	0.79	AD
2008	631.1	1.2	AE
2009	490.8	0.94	AD
2010	824.6	1.6	AE
2011	635.4	1.21	AE

Dans la station d'Ain Makhoulf (1986-2011).

D'après les résultats obtenus. Il y a une alternance de périodes. Souvent triennales excédentaires (AE) et déficitaires (AD).

2.2 Les précipitation

Les eaux météoriques qui tombent sur la surface du secteur d'étude. Quel que soit leur nature (pluie, grêle, neige ou autre forme de condensation) constituent les facteurs déterminant de l'hydrogéologie de ce secteur Pour la détermination du régime hydrologique à l'échelle du mois de l'année, et de la saison.

Pour notre étude. Il convient de choisir la station représentative du bassin versant. En l'occurrence. La station d'Ain Makhoulf. Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles (**Tab n°5**). Nous avons établi l'histogramme relatif à cette station

Tableau n°5 : Précipitation moyenne mensuelles dans la station d'Ain Makhoulf (1986-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	28.4	45.4	62.8	70.2	64.7	54.9	59.2	52.7	46.2	20.2	6.8	11.8

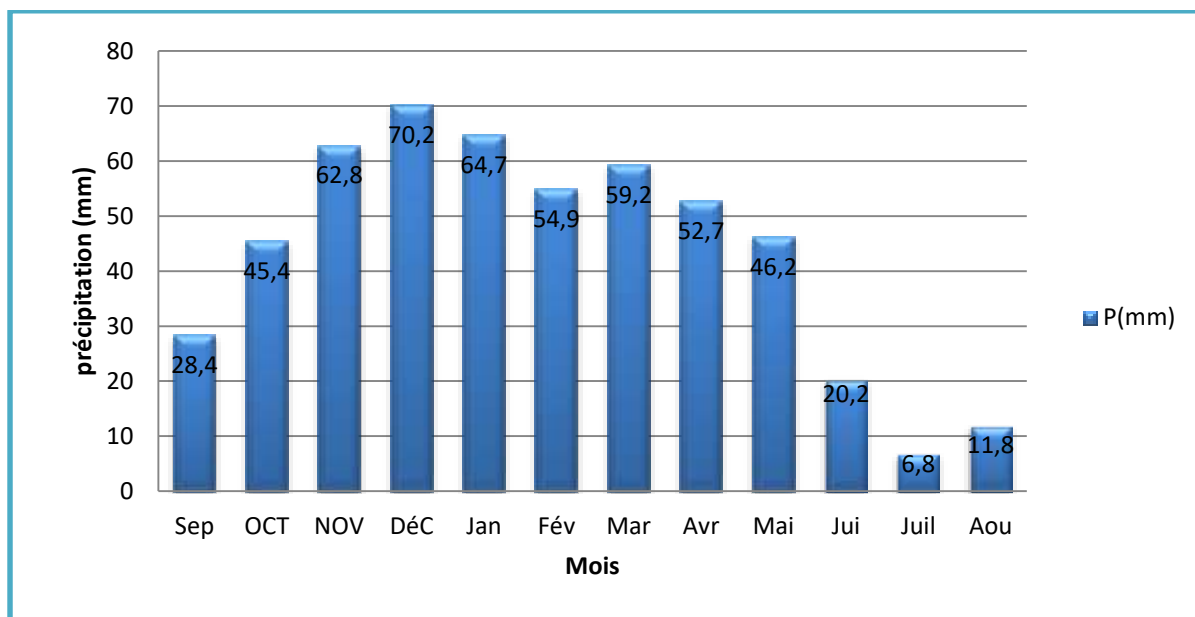


Figure 09 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles dans la station d'Ain Makhoulf (1986-2011).

L'examen de l'évolution mensuelle des précipitations durant la période du 1986 au 2011. Montre que les mois les plus pluvieux de l'année sont les mois de Décembre et janvier et les mois les plus secs sont ceux de Juillet et Aout.

Les valeurs maximal de précipitation est de l'ordre de (70.2mm) pendant le mois de Décembre. Alors que la valeur minimale est de l'ordre de (6.8mm) observé pendant le mois de Juillet (*Fig. 09*).

2.3 Variation des précipitations moyennes annuelles

Tableau n°6 : Précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Makhlouf.

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
P (mm)	719.5	391.5	431.5	447.8	663.7	627	670.7	389	500.4
Années	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
P (mm)	270.1	112.3	534.8	1163	587.3	359.9	222.5	502	562
Années	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
P (mm)	502.1	456.8	488.9	414.5	631.1	490.8	824.6	635.4	

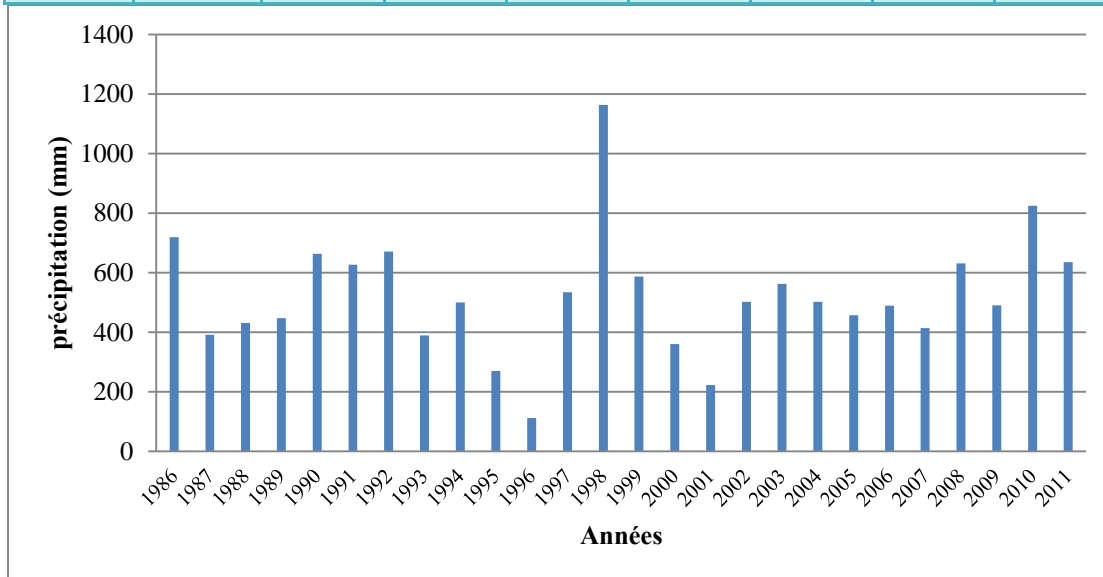


Figure 10 : variation interannuelles totales de la station d'Ain Makhlouf.

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations. Sur une période de 26 ans (1986-2011). Montre que l'année 1998 est l'année la plus arrosée avec (1163mm) par contre l'année 1996 est l'année la plus sèche avec 112.3mm (*Fig. 10*).

Notons que les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 520.6 mm.

2.4 Distribution mensuelle et saisonnière de précipitations

Tableau n°7: Distribution saisonnières des précipitations dans la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Été	
Années	Mm	%	Mm	%	Mm	%	Mm	%
(1986-2011)	136.6	26.1	189.7	36.3	158.1	30.2	38.8	7.4

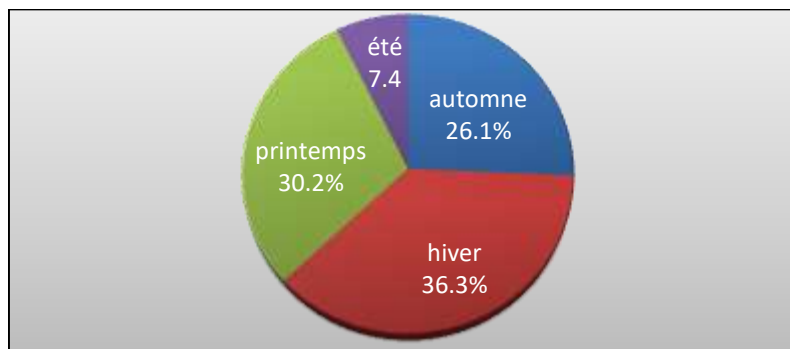


Figure 11 : Distribution saisonnière des précipitations dans la station Ain Makhlouf (1986-2011)

D'après les résultats du tableau (n°07). On constate que :

-La saison hivernale est la plus pluvieuse avec un total de 189.7 mm soit 36.3 % des pluies annuelles, les saisons estivale et automnale sont les plus sèches avec respectivement un total des pluies de 38.8 mm (7.4%) et 136.6 mm (26.1%). Au printemps, le total des précipitations est 158.1 mm soit 30.2% du total annuel. Les résultats obtenus sont représentés dans la (Fig.11).

2.5 Températures

La température est l'état atmosphérique de l'air. C'est le degré du froid ou de chaleur. Elle a un rôle important dans les pertes en eau par les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration.

La température varie en fonction de l'altitude, de la distance à la mer et de la position géographique.

2.6 Températures moyennes mensuelles

L'analyse des données des températures moyennes mensuelles est basée sur les données relevées au niveau de la station d'Ain Makhlouf de l'année 1986 jusqu'à 2011. Elles sont représentées dans le tableau ci-après :

Tableau. n°8 : Température moyenne mensuelle en (°C) dans la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	M
TmoyC°	23.7	19.8	14	10.9	9.6	10.1	12.3	14.7	19.1	23.6	26.9	27.4	17.7

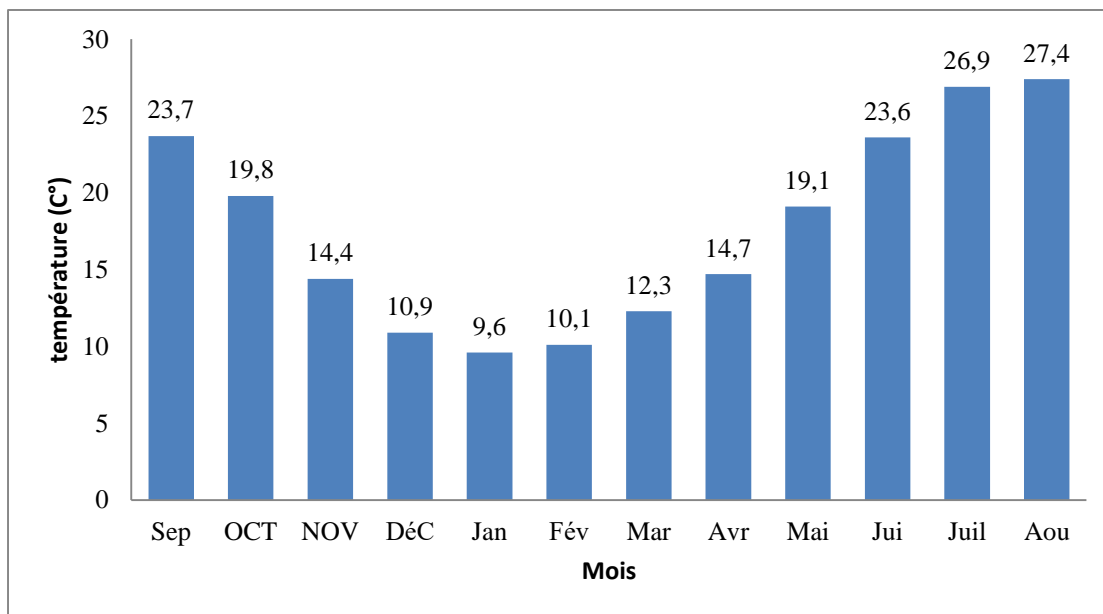


Figure 12: Variation des températures moyennes mensuelles dans la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).

L'examen de la variation mensuelle moyenne de la température. Montre que les températures maximales sont observées durant la saison estivale. Particulièrement au mois d'Août ce mois est le plus chaud avec une température (27.4°C) tandis que les températures moyennes minimales s'observent au mois de Janvier. Durant la saison hivernale et plus précisément durant le mois de janvier (9.6°C) est le plus froid.

A l'échelle annuelle. La moyenne annuelle des températures est de : (17.7°C).

3. Relation Précipitation –température

3.1 Diagramme pluviaux-thermique de Bagnouls et Gausсен

Tableau n°9 : précipitation et température moyenne mensuelles à la station d’Ain Makhloof (1986-2011).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P (mm)	28.4	45.4	62.8	70.2	64.7	54.9	59.2	52.7	46.2	20.2	6.8	11.8
T(C°)	23.7	19.8	14.4	10.9	9.6	10.1	12.3	14.7	19.1	23.6	26.9	27.4

La combinaison des deux facteurs climatique, température et la précipitation est intéressant pour déterminer le type du climat et les mois véritablement secs.

D’après la formule de Gausсен. $P=2T$. Un mois sec est celui ou le total des précipitations est égal ou inférieure au double de la température.

La saison sèche de la station débute du mois de fin d’avril et se termine au début d’octobre. Alors que la saison humide commence du mois de novembre et se termine à la fin du mois de mai.

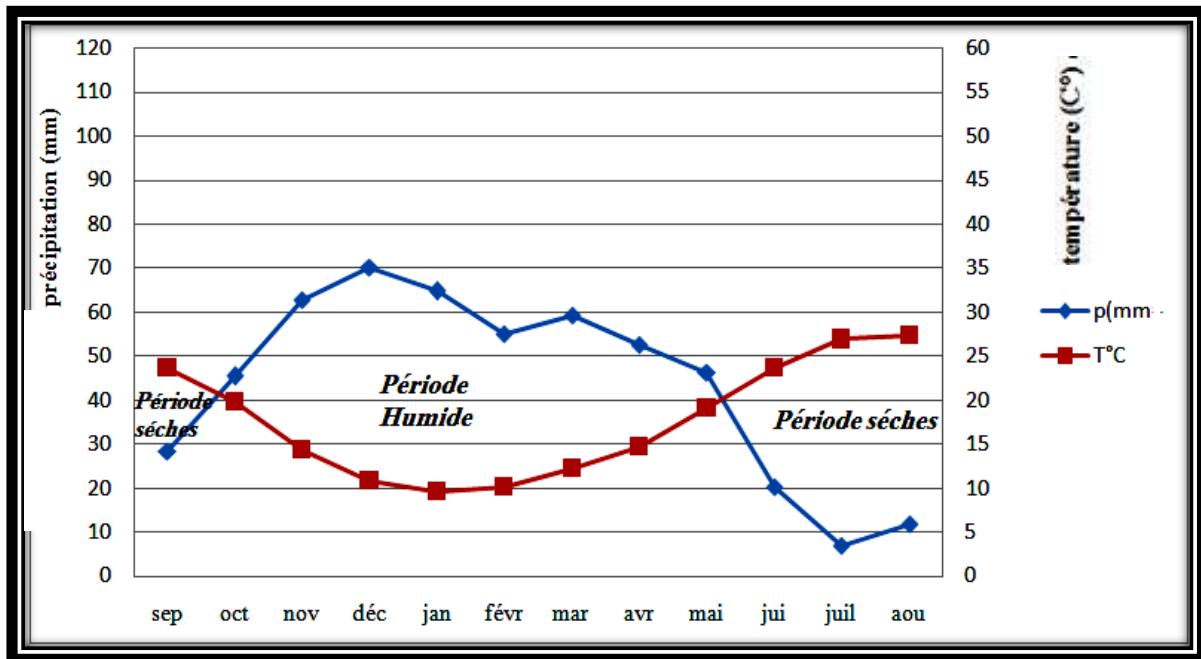


Figure 13 : diagramme ombrothermique de la station d’Ain Makhloof (1986/2011).

D’après le diagramme mentionné en (Fig. 13). On peut déterminer deux périodes bien distinctes :

- Une période Sèche : qui s’étale sur 3 mois. Fin Mai jusqu’à fin de Septembre.
- Une période Humide : qui s’étalant du mois d’octobre jusqu’au mois de Mai.

3.2 Méthode du rapport P/T

Cette méthode consiste à l'établissement du rapport (P/T). À l'échelle mensuelle il permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol et de définir quatre régimes climatiques :

P/T < 1 : régime très sec

1 < P/T < 2 : régime sec

2 < P/T < 3 : régime subhumide

P/T > 3 : régime humide

Tableau n°10 : Indice mensuel d'aridité (I) et P/T de la station d'Ain Makhlouf (1986-2011).

période	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avar	Mai	Jui	Juil.	Aou
P (mm)	28.4	45.4	62.8	70.2	64.7	54.9	59.2	52.7	46.2	20.2	6.8	11.8
T(°C)	23.7	19.8	14.4	10.9	9.6	10.1	12.3	14.7	19.1	23.6	26.9	27.4
P/T	1.19	2.29	4.36	6.44	6.73	5.43	4.81	3.58	2.41	0.85	0.25	0.4
I	10.11	18.28	30.88	40.3	39.61	32.77	31.85	25.6	19.05	7.21	2.21	3.78

D'après le résultat de ce tableau que :

- Le régime très sec durant les mois de : Juin, Juillet, Aout et Septembre (Période sèche).
- Le régime est subhumide durant le mois de Mai et d'Octobre.
- Le régime est humide durant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril.

3.3 L'indice climatique de De Mortonne (1923)

La formule climatique de (*De Mortonne*) est appelée indice d'aridité. il est en fonction de la température et de précipitation :

$$A = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en °C.

A : indice d'aridité

Selon *De Martonne* : si A < 5 le climat hyperaride.

- si $5 < C < 7.5$ le climat est désertique.
- si $7.5 < A < 10$ le climat est steppique.
- si $10 < A < 20$ le climat est semi-aride.
- si $20 < A < 30$ le climat est tempéré.
- si $A > 30$ l'écoulement est abondant (climat humide).

Donc pour notre station d'Ain Makhoulf :

$P = 523.3$ (mm) et $T = 17.7$ donc $A = 523.3 / (17.7 + 10)$; $A = 18.88$

D'après les résultats obtenus on peut dire que le climat est semi-aride.

L'indice d'aridité mensuel de Martonne (1926) :

L'indice mensuel (i). Donnée par la formule :

$$I = \frac{12P}{T + 10}$$

Avec :

P : moyenne mensuelle des précipitations en mm

T : moyenne mensuelle des températures en C°

Tableau n°11 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et le climat correspondant (De Martonne in Meddour. 2010).

Valeur de l'indice	Type de climat	Valeur de l'indice	Type de climat
0-5	Hyper aride	20-30	Subhumide
5-10	Aride	30-55	Humide
10-20	Semi-aride	>55	Hyper humide

Les mois de Juillet et Aout présentent un climat hyperaride. Le mois de Juin indique un climat désertique ; les mois de Septembre. Octobre et Mai ont un climat semi-aride. On note que le mois d'Avril a un climat tempéré. Alors que le climat humide marque le reste des mois de l'année.

4. Bilan hydrique

Le bilan d'eau global correspondant à une équation entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d'étude. il est indispensable d'évaluer ses composants (infiltration. ruissellement et évapotranspiration).

Le calcul du bilan hydrologique relatif à la période 1986-2011 (l'observation homogène et continue de 26 ans) repose sur l'application de l'équation suivante :

$$P = ETR + R + I + W$$

Tels que :

P : précipitations (mm).

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

R : ruissellement de surface (mm).

I : infiltration (mm).

W : variation des réserves qui peuvent être considéré

Comme négligeable (mm).

5. Estimation des paramètres du bilan

5.1 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration est un composant fondamental du cycle hydrologique après les précipitations. La quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'une surface évaporant. Un gazon poussant activement et recouvrant la totalité de sol d'une hauteur uniforme.

L'évapotranspiration englobe l'ensemble de 02 phénomènes :

- **L'évaporation** : c'est un phénomène physique de la transformation d'eau en vapeur d'eau à partir d'une surface d'eau libre (mer, lac, marécage, cours d'eau.....) et du sol.
- **La transpiration** : est un phénomène biologique lié à la couverture végétale et à son stade de développement.

Pour l'estimation de l'évaporation. On a utilisé plusieurs formules empiriques et méthodes de bilan.

5.2 Calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite

Elle a pour but de quantifier les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. On a appliqué la formule de Thornthwaite

Avec :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad I=85.4$$

$$i = (t / 5)^{1.514}$$

$$a = 0.016 I + 0.5 \quad a=1.86$$

$$ETP_c = ETP * K = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a K$$

ETP : évapotranspiration potentielle du mois (en mm).

T : température moyenne mensuelle de la période (en °C).

I : indice thermique annuel.

i : indice thermique mensuel.

a : destine l'exposant climatique et qui est déterminé selon la formule.

K: facteur de correction.

ETPc : évapotranspiration potentielle corrigée (mm).

5.3 Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle ETR qui est la quantité d'eau réellement évaporée et dépend des conditions naturelles (végétation, nature du sol....) et d'autre part de la quantité d'eau disponible dans le sol.

5.3.1 Formule de Turc

$$E T R = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

Avec : $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : précipitation annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en (C°)

L : pouvoir évaporant de l'atmosphère.

L'application de la formule de turc donne les résultats suivants pour des valeurs de précipitation et température moyenne enregistrées à la station d'Ain Makhlouf (période 1986-2011) (*Tab 09*).

Tableau n°12 : L'ETR annuelle selon Turc d'Ain Makhlouf.

Paramètre station	P (mm)	T (C°)	L	ETR (mm/an)
Ain makhlouf	523.2	17.7	1019.8	373.1

5.4 Estimation de la réserve facilement utilisable RFU

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature de sol et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.

- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétal.

Principe de calcule :

- ($P \geq ETP_c \Rightarrow ETP_c = ETR$) Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation (un sol saturé. quand il aura absorbé une lame d'eau équivalent à une précipitation de 100mm). le surplus va représenter l'écoulement superficiel.
- ($P < ETP_c \Rightarrow ETR = P + RFU$) Dans ce cas. on puisera dans les réserve de sol jusqu'à satisfaction de l'ETP (une partie de RFU pour satisfaire la ETR).
- ($P < ETP_c$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$) dans ce cas. on aura un déficit agricole (DA) qui représentera la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

-Déficit agricole (mm)

$$DA = ETP - ETR$$

-Bilan hydrique (mm)

$$BH = P - ETP$$

5.5 Formules de vérification

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad \Longrightarrow \quad P = 432.7 + 90.6 = 523.3 \text{ mm.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \quad \Longrightarrow \quad ETP = 432.7 + 476.0 = 908.7 \text{ mm.}$$

$$DA = \sum ETP - \sum ETR \quad \Longrightarrow \quad DA = 908.7 - 432.7 = 476.0 \text{ mm.}$$

$$EXC = \sum P - \sum ETR \quad \Longrightarrow \quad EXC = 523.3 - 432.7 = 90.6 \text{ mm}$$

Nous constatons que les résultats issus des bilans sont vérifiés.

**Tableau n°13 : Bilan hydrique de Thornthwaite de la station d'Ain Makhlouf
(1986-2011).**

période	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil.	Aou
T (°C)	23.7	19.8	14.4	10.9	9.6	10.1	12.3	14.7	19.1	23.6	26.9	27.4
i	10.5	8.0	5.0	3.3	2.7	2.9	3.9	5.1	7.6	10.5	12.8	13.1
ETP(mm)	107.5	76.8	42.4	25.2	19.9	21.8	31.6	44.0	71.87	106.7	136.1	140.9
k	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc	110.7	74.6	36.5	20.4	17.3	18.6	32.6	48.5	87.0	130.1	168.9	163.5
P (mm)	28.4	45.4	62.8	70.2	64.7	54.9	59.2	52.7	46.2	20.2	6.8	11.8
RFU	0.0	0.0	26.3	76.1	100	100	100	100	59.2	0.0	0.0	0.0
ETR	28,4	45.4	36.5	20.4	17.3	18.6	32.6	48.5	87.0	79.4	6.8	11.8
BH	-82.3	-29.1	26.3	49.8	47.4	36.3	26.6	4.2	-40.8	-109.9	-162.1	-151.7
DA	82.4	29.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.7	162.1	151.7
EXD	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	36.3	26.6	4.2	0.00	0.00	0.00	0.00

5.6 Interprétation du bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique a pour but de connaître les différents paramètres (ETP, RFU, DA, EXC), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologiques.

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement. Dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock. Quand la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA).

D'après le bilan hydrique calculé par la méthode de Thornthwaite, nous constatons que la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre son maximum (100mm) au mois de Janvier à avril. Période dans laquelle il y a un surplus d'eau se manifestant par un écoulement. Elle diminue à partir du mois d'Avril jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Mai. Où on observe l'apparition du déficit agricole (DA) qui se poursuit jusqu'à Octobre.

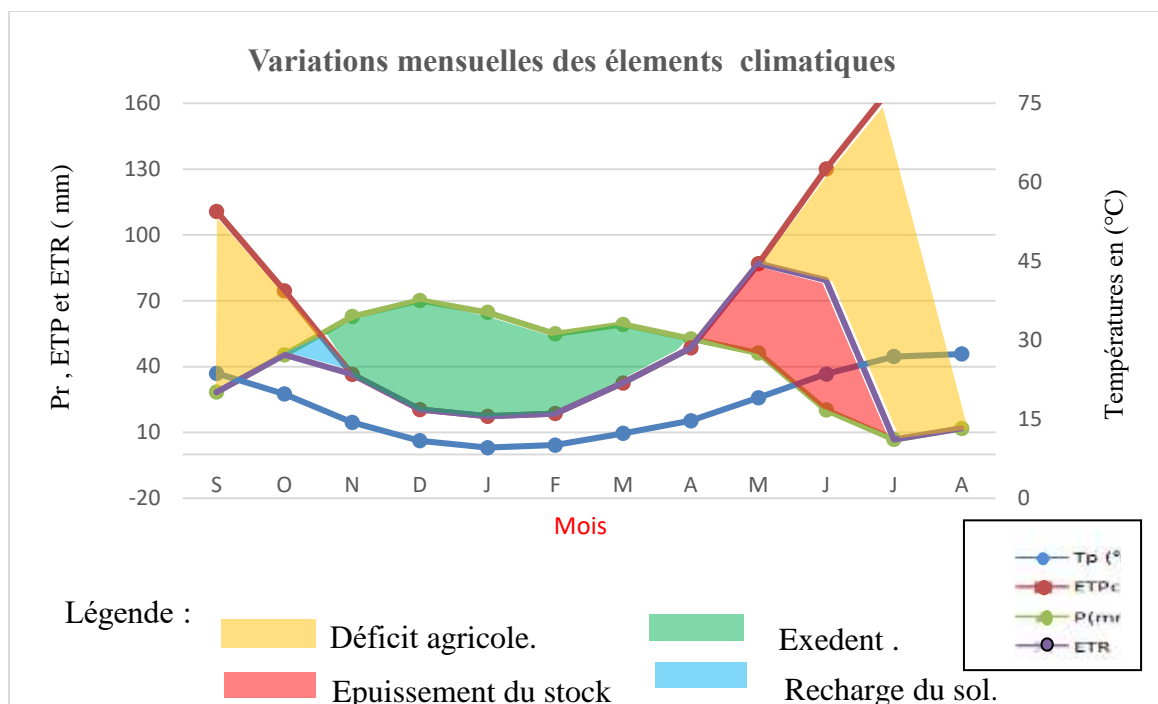


Figure 14 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la station d'Ain Makhoulf.

L'examen de tableau précédent du bilan permet de conclure que la reconstitution de la réserve du sol commence en octobre jusque à novembre puis atteint son maximum (100mm) durant la période allant de décembre jusqu'au mois d'avril. Laquelle il y aura un excédent qui se traduira par un écoulement. À partir du mois de Avril les précipitations ne satisferont plus l'évapotranspiration et c'est le début de l'épuisement de la réserve qui se poursuivra jusqu'à la vide. Un déficit agricole s'observe entre juillet et octobre.

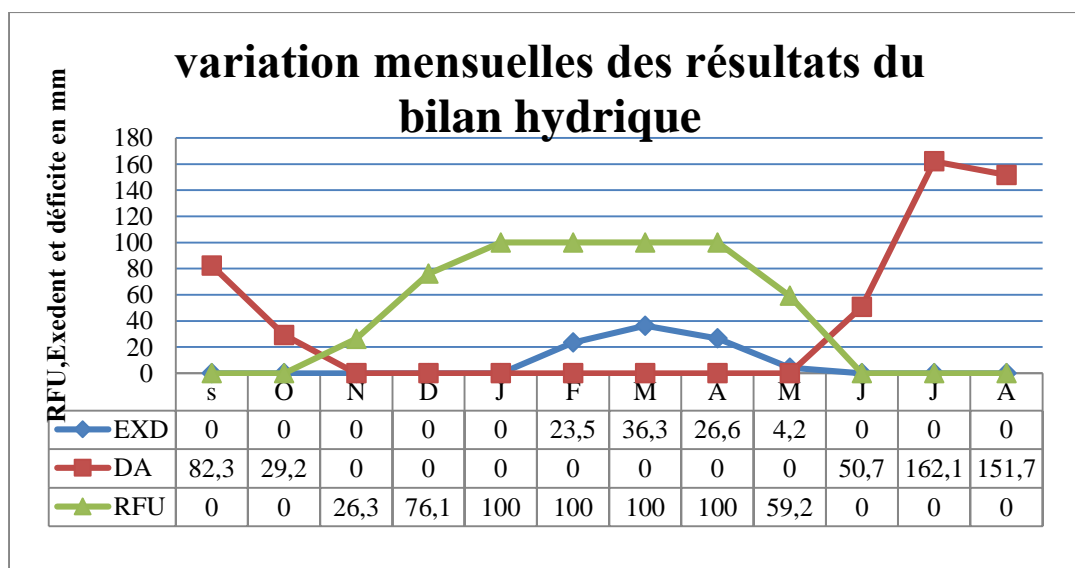


Figure 15 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite de la station d'Ain Makhoulf.

5.7 Interprétation du graphique du bilan hydrique

La représentation graphique du bilan hydrique dans la région montre que :

L'ETP atteint son maximum durant le mois de Juillet (168.9mm) et son minimum est observé durant le mois de Janvier (17.3mm) .L'excédent commence à partir du mois du janvier et s'étale jusqu'au mois de Mars avec un maximum au mois de Février (36.3mm).

6. Estimation de la lame d'eau écoulée

6.1 Le ruissellement superficiel

L'évaluation du ruissellement est impérative pour connaître la quantité d'eau qui s'écoule à la surface du sol (bassin versant topographique) par unité de temps sans s'évaporer avant de garder une masse d'eau.

Ce paramètre joue un rôle très important sur le bilan hydrographique. il est calculé selon deux formules :

- formule de Tixeront-Berkaloff : $R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$ si : $P < 600mm$
- formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouk : $R = \frac{P^3}{3}$.

Si $P > 600mm$

Avec : R : ruissellement (mm).

P : précipitation moyennes annuelles (mm).

ETP : évaporation potentielle d'après Thornthwaite (mm).

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Tableau n°14 : Ruissellement selon la formule Tixeront-Berkaloff d'Ain Makhlouf.

Station	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
Ain Makhlouf	523.3	908.6	57.86

6.2 L'infiltration

Du point de vue hydrogéologique. L'infiltration est le paramètre de première importance car elle représente le taux de renouvellement des réserves souterraines d'une nappe. Et aussi c'est la quantité d'eau qui parvient à la surface de la nappe. En effet au cours de son trajet entre la surface du sol et la surface de la nappe. L'eau d'infiltration subit des pertes par évapotranspiration.

Calculé Par la formule du bilan :

$$P=R+I+ETR$$

Donc :

$$I = P - (R + ETR)$$

$$I=523.3-(57.86+432.7) \quad I=32.74$$

Tableau n°15 : les principaux termes du bilan hydrique de la station d'Ain Makhlouf.

Paramètre	P (mm)	ETR	R (mm)	I (mm)
Valeurs	523.3	432.7	57.86	32.74

Conclusion

Dans notre travail nous avons essayé d'analyser les divers facteurs et paramètres climatologiques afin de définir les valeurs quantitatives (précipitation, températures, évaporation) concernant la période (1986-2011) pour la station de Ain Makhlouf.

Les précipitations moyennes annuelles dans le secteur étudié sont de l'ordre 523.3 mm à la station d'Ain Makhlouf.

Le ruissellement et l'infiltration sont représentés par 90.6mm ce qui représente 17.3% des précipitations.

Le déficit agricole pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation des cultures est estimé à 476 mm à la station d'Ain Makhlouf.

D'après ces résultats on constate que la région d'étude se range dans une zone à climat semi-aride. Caractérisée par des hivers pluvieux et froids et des étés chauds, secs et ensoleillés.

Introduction

L'étude hydrogéologique consiste à définir les horizons aquifères existants à l'échelle de la zone d'étude, pour comprendre le comportement des eaux souterraines (leur sens d'écoulement et les caractéristiques hydrodynamiques) et pour révéler les relations qui peuvent exister entre les différentes nappes, et par conséquent la détermination des zones favorables à l'implantation des captages d'eau .

1. Les différents aquifères dans la plaine de Tamlouka

L'étude géophysique et les données géologiques ont révélé que Les formations aquifères de la plaine de Tamlouka constituées par les dépôts du Quaternaire et du Mio-plio-quaternaire se prolongent, en profondeur, jusqu'aux formations calcaires crétacés et jurassiques.

A cause de la présence d'un substratum argileux étanche qui délimite la nappe superficielle, on considère que tout le système aquifère profond est constitué par des nappes karstiques, dont les horizons aquifères communiquent entre eux soit directement par les couches perméables ou bien par des failles et des fissures qui favorisent la circulation d'eau(*Fig.16*).

Donc deux types de nappes s'individualisent :

- la nappe libre.
- la nappe captive (karstique).

2. Interprétation de la coupe hydrogéologique

La coupe hydrogéologique est établie en se basant sur l'étude géologique, et les logs stratigraphiques de quelques forages réalisés dans la plaine.

Cette coupe longitudinale de direction Nord –Sud qui nous donne de précieuses informations sur la nature, la puissance et la position des couches aquifères.

Il s'agit d'une coupe longitudinale de direction Nord –Sud qui nous donne de précieuses informations sur la structure complexe de la plaine. En effet, cette dernière est le siège d'une succession de horst (môle d'Ain Arko) et de graben (effondrement de la plaine). Dans sa structure, le môle d'Ain Arko s'identifie à un anticlinal percé par les formations calcaires crétacées et jurassiques ; alors que L'effondrement de la plaine représente une zone de subsidence, ayant l'allure d'un synclinal comblé par les formations Mio-plio-quaternaires.

La coupe hydrogéologique nous a permis, également, de déterminer le niveau statique de la nappe libre ainsi que celui de la nappe profonde.

Localement, les faibles épaisseurs des formations imperméables entre les niveaux aquifères expliquent la présence d'une liaison hydraulique entre eux.

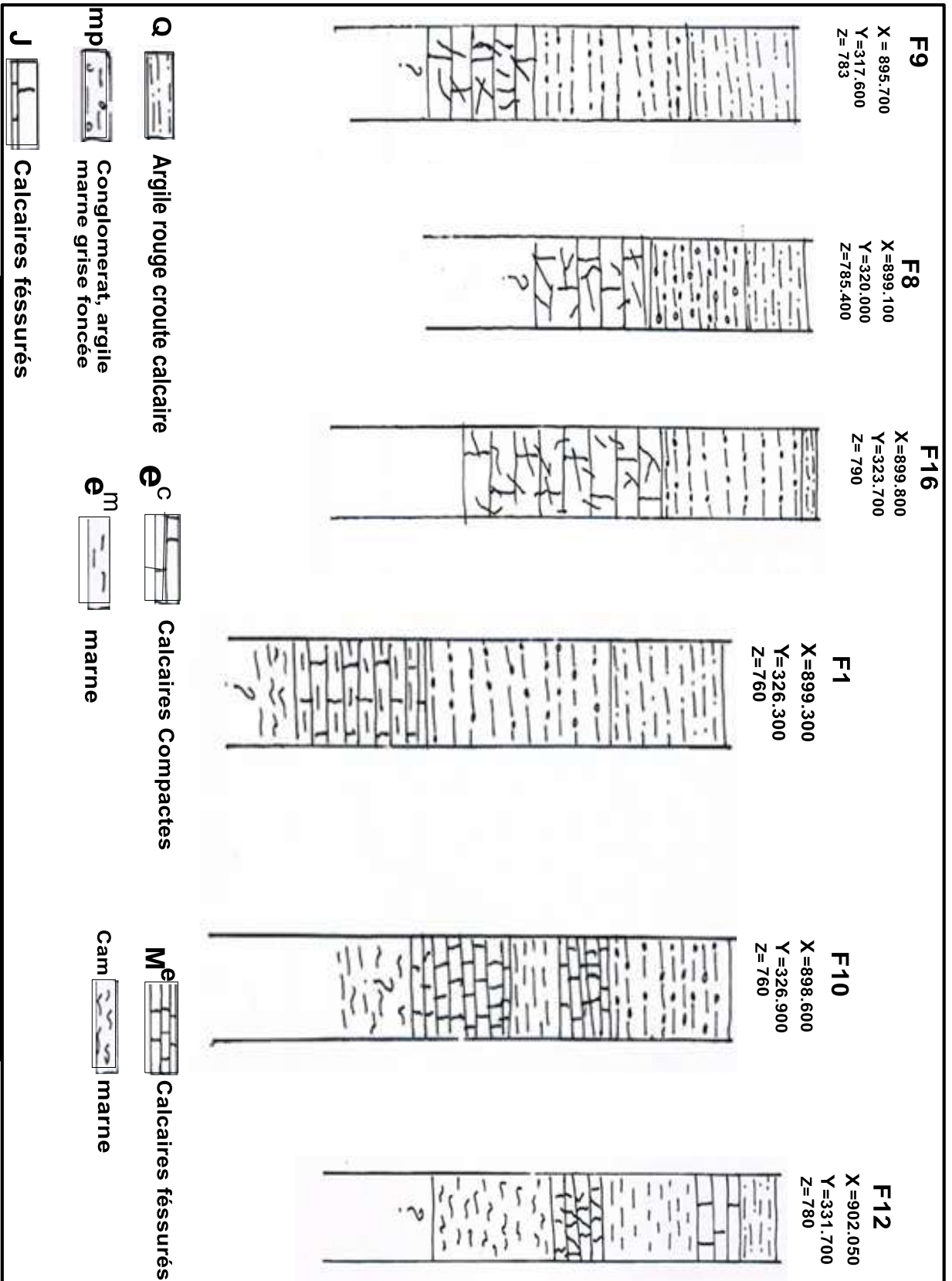


Figure 16 : Les logs de quelques forages réalisés sur la plaine

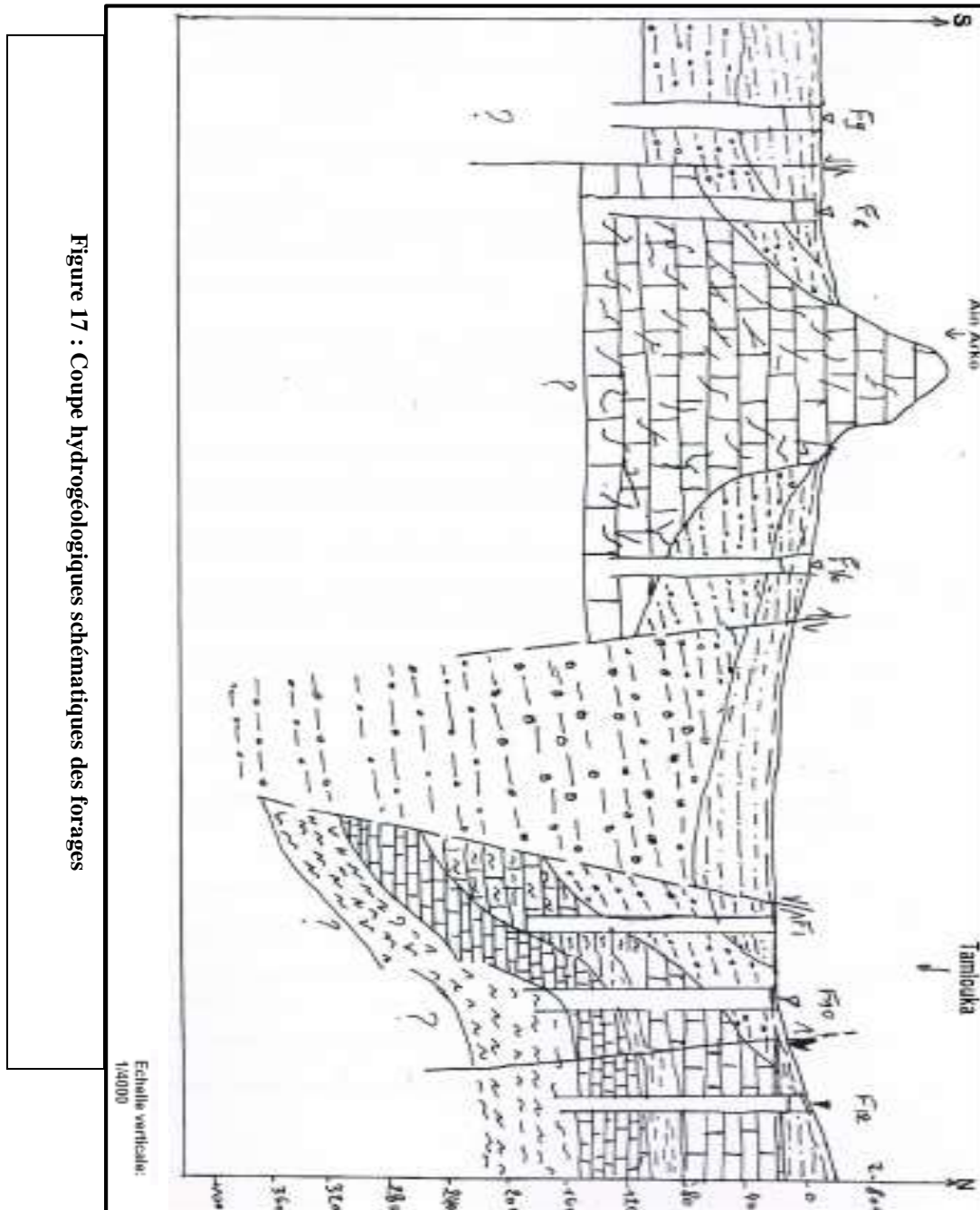


Figure 17 : Coupe hydrogéologiques schématisiques des forages

3. Identification des nappes

3. 1 Aquifère à nappe libre dans les dépôts du quaternaires au Sud

La nappe possède une faible puissance, hétérogène constituée d'argiles sableuses, de sable argileux et débris calcaires ; ce qui lui donne une faible possibilité aquifère, D'après le log du forage F9. Cette nappe est exploitée par les puits domestiques avec un faible débit.

3.2 Aquifère à nappe captive dans les dépôts Mio- plio –quaternaires au Nord

Elle constituée par des couches argilo-sableuses à galets et graviers de faible puissance (4m au Nord de Tamlouka), et aussi de faible possibilité aquifère. Elle est traversée par un forage mécanique profond (f1) au sud du village de Tamlouka.

3.3 Aquifère à nappe captive dans les dépôts de l'Eocène

La structure géologique profonde au niveau et aux alentours du village de Tamlouka forme une nappe karstique dans les calcaires éocènes. Mais le changement latéral du faciès des calcaires éocènes vers le Marno-calcaire réduit l'importance de cette nappe, signalant que lors de l'exécution du forage (F1) la nappe éocène a fourni un débit de l'ordre de : ($Q=8.0 \text{ l/s}$).

3.4 Aquifère à nappe captive dans les formations maestrichtiennes

Elle est Constituée de calcaires fissurés et karstiques. C'est la nappe la plus importante dans la région, sa puissance varie du Nord vers le Sud (d'après le forage F10 et F12) à cause d'un changement d'épaisseur. Les calcaires maestrichtiens possèdent une grande possibilité aquifère tel qu'il est signalé un niveau du F12 ; $Q=40 \text{ l/s}$ et F10 ; $Q=45 \text{ l/s}$.Dans la zone d'effondrement, la nappe est discontinue à cause des failles qui la traversent. Au Nord de Tamlouka, ces failles ont donné naissance à la célèbre source de Tamlouka (source remontante).La température élevée de ces eaux explique leur origine profonde.

3.5 Aquifère à nappe captive dans les calcaires jurassiques

La nappe contenue dans les calcaires jurassiques est affectés par une grande fissuration et karstification. Dans les calcaires du môle d'Ain Arko, la présence de grandes grottes, cavernes et canaux très remarquables.

La capacité de l'aquifère est grande ; au niveau du forage F16, le débit est de ($Q= 36 \text{ l/s}$) par contre il est de l'ordre de ;($Q= 28 \text{ l/s}$) au niveau du forage F8.

4. Alimentation des nappes

4.1 La nappe libre

La nappe libre dans les dépôts du quaternaire s'alimente par l'infiltration directe des eaux de pluies à travers la surface alluviale. (Des eaux météoriques) et des eaux d'oued Mgaisba. Elle est aussi alimentée partiellement par des pluies qui tombent au niveau des calcaires de Djebel Djahfa et Ain Arko, qui sont en contact direct avec les alluvions de la nappe superficielle. Cette alimentation est favorisée par le pendage des couches dirigé vers le centre de la plaine et par les calcaires fissurés. Les zones de perte de cette nappe sont les zones marécageuses et particulièrement les zones

de drainage comme les failles qui affectent les formations aquifères profondes et constituant des zones d'alimentation pour la nappe profonde. Cependant, l'exutoire principal de la nappe est les cours d'eau qui traversent la plaine.

4.2 La nappe profonde des calcaires

Elle est alimentée par les affleurements calcaires entourant la plaine de l'Ouest (Djebel Djahfa) et du Sud (les collines d'Ain Arko). La nappe s'alimente aussi par les formations gréseuses du Djebel EL Oncel au Nord de la plaine.

Les failles peuvent constituer des zones d'alimentation par l'infiltration des eaux à travers lesquelles la nappe est drainée par l'ensemble des forages exploitant cette dernière.

5. Inventaire des points d'eau

Les eaux exploitées dans la région sont des eaux qui proviennent des sous-sols à différentes profondeurs et à différentes formation atteignant les 300 m dans certain endroit ; elles sont exploitées par des forages sources et puits.

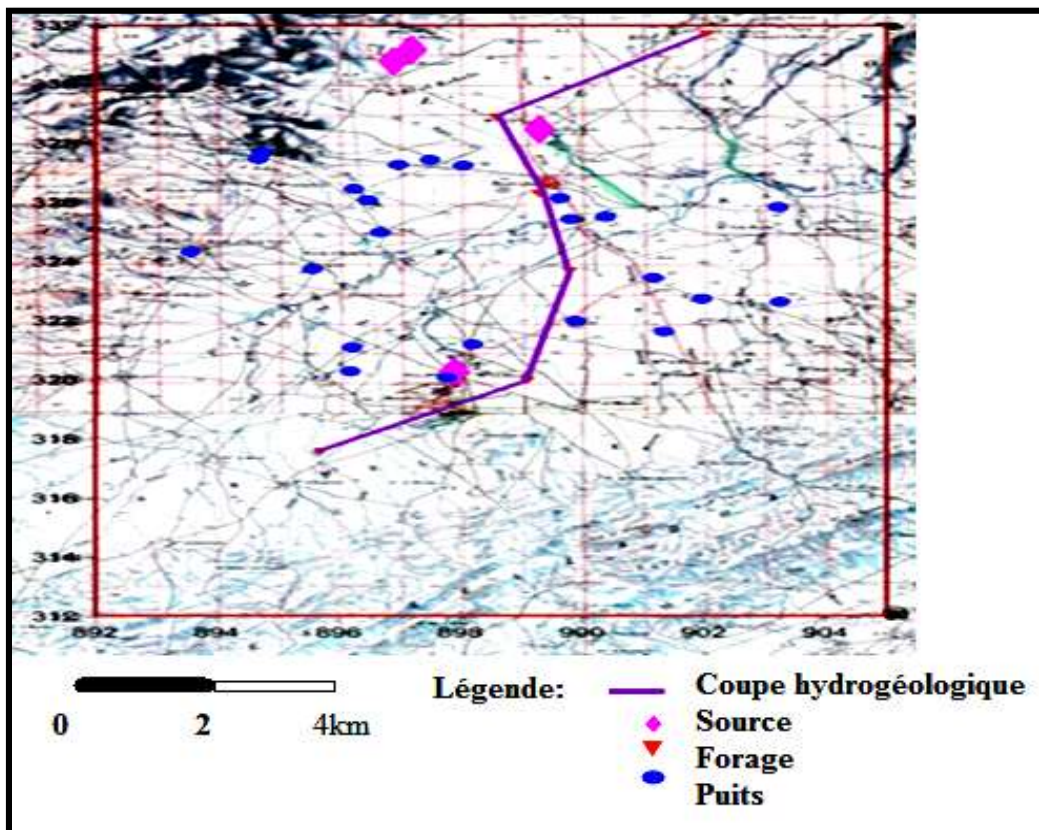


Figure 18 : carte d'inventaire des points d'eau de la plaine Tamlouka 2014.

5.1 Les sources

Les sources importantes et à grand débit sont peu nombreuses dans la région. Elles constituent, pour la plupart, des cas de résurgence aux pieds des formations calcaires.

Tableau n°16 : inventaire des sources `plaine de Tamloukă.

N° des Sources	Nom de la source	X (m)	Y(m)	Z(m)	Observation
1	Ain Tamlouka	899.3	328.5	750	Equipée, avec un débit très important.
2	Ain Arko	897.9	320.3	770	Source thermique avec T° 30° c.
3	Ain Djenane	896.9	330.8	810	Eau potable.
4	Ain Kabrit	897.2	331.2	850	Source sulfureuse.

5.2 Les forages

Dans la plaine de Tamlouka, on a 06 forages qui ont été réalisés par différentes sociétés et exploités avec un débit total dépassant les 100 l/s (**Tab n°17**). Ces forages sont destinés essentiellement à l'AEP des villages de Tamlouka, Oued Zenati, Ain Makhoulf... etc.

Tableau n°17 : Inventaire des forages de la plaine de Tamlouka (DHW de Guelma).

N° des forages	X (m)	Y (m)	Z (m)	NS en (m) (profondeur d'eau par rapport au sol)	NS en (m) (altitude du niveau d'eau)	Débit Q=l/s	Loc. (site)	année
F8	899.100	320.000	785.400	18.40	767	28	Ain Arko	1967
F10	898.600	328.900	760.000	19.14	740.60	14	Tamlouka	1985
F16	899.800	323.700	790.000	24	766	36	Ain Arko	1997
F9	895.700	317.600	783.000	23.10	759.9	8	Ain Arko	1967
F1	899.300	326.300	760.000	28.40	731.6	12	Tamlouka	1992
F12	902.050	331.700	780.000	15.92	764.08	18	Tamlouka	1985

NS : niveau statique **Sit** : situation **Loc** : localisation **année** : année de réalisation

5.3 Inventaire des puits

Les puits existent sur presque toute la plaine captant la nappe libre du quaternaire avec un niveau piézométrique atteignant et dépassant parfois la surface du sol dans la période de hautes eaux ce qui se manifeste sur le terrain par des zones de marécage.

Tableau n°18 : inventaire des puits –plaine de Tamlouka, Mars 2017.

N° Du puits	Date de prélèvement	Coordonnées Lambert			Niveau piézométrique		Observations Equipé par une pompe ou non
	Hautes eaux	X	Y	Z (m)	hautes eaux (m)	Côte d'eau (m)	
P1	10-03-2017	894.600	327.550	812	1.50	810.50	Non équipé
P2	10-03-2017	894.700	327.800	810	2.20	807.80	équipé A.E.P
P3	10-03-2017	896.950	327.300	768	6.40	761.60	Non équipé
P4	10-03-2017	898.100	327.300	765	2.70	762.3	Non équipé
P5	10-03-2017	896.200	326.520	765	10.40	764.60	Non équipé
P6	10-03-2017	896.640	325.060	752	2.40	749.60	Non équipé
P7	10-03-2017	896.450	326.150	765	9.40	755.6	Non équipé
P8	10-03-2017	899.600	326.250	745	1.70	743.30	Non équipé
P9	10-03-2017	899.800	325.500	742	2.20	739.80	Non équipé
P10	10-03-2017	899.850	322.100	761	7.25	753.75	Non équipé
P11	10-03-2017	898.200	321.320	763	6.10	756.9	Non équipé
P12	10-03-2017	896.150	320.440	762	10	752	Non équipé
P13	10-03-2017	896.170	321.220	768	8.50	759.5	Non équipé
P14	10-03-2017	900.350	325.600	790	1.50	788.50	Non équipé
P15	10-03-2017	901.150	323.550	754	2.10	751.90	Non équipé
P16	10-03-2017	902.560	322.730	762	5.70	756.3	Non équipé
P17	10-03-2017	903.200	322.750	764	9.00	755	Non équipé
P18	10-03-2017	901.950	322.855	760	5.00	755	Non équipé
P19	10-03-2017	903.200	325.920	749	5.90	743.10	Non équipé
P20	10-03-2017	901.300	321.750	770	15.5	754.50	Non équipé
P21	10-03-2017	895.650	323.800	768	4.90	763.1	Non équipé
P22	10-03-2017	895.550	323.850	760	3.00	757	Equipé

6. Etablissement et interprétation des cartes piézométriques

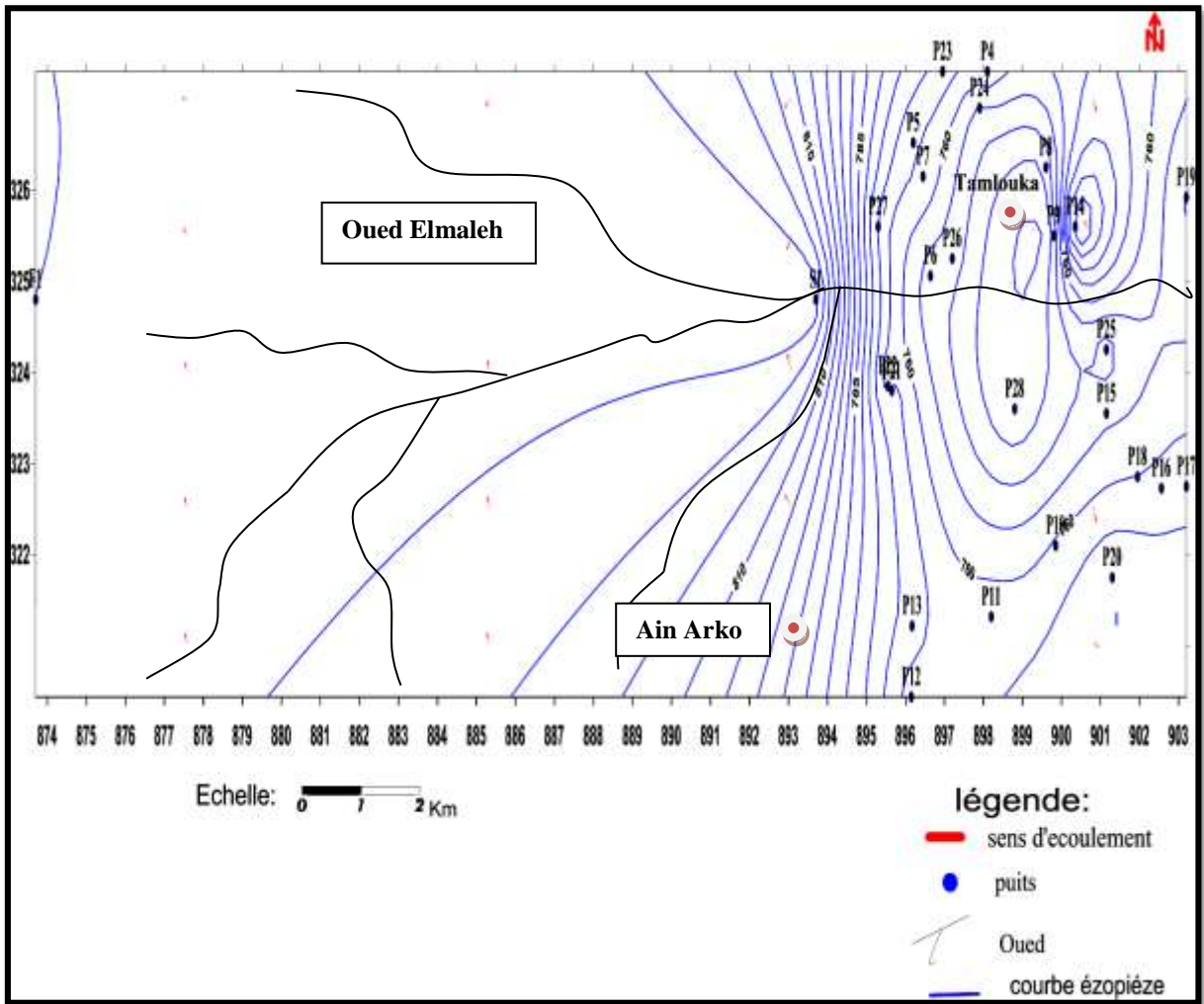


Figure 19 : Carte piézométrique de la plaine de Tamlouka nappe superficielle (Période hautes eaux Mars. 2017).

6.1 Interprétation de la carte piézométrique des hautes eaux

Cette carte piézométrique est établie à partir de 22 puits montre une orientation amont de la concavité vers le nord-ouest des courbes hydro isohypses qui donne une divergence des lignes du courant indiquant une diminution du débit unitaire d'écoulement dans le sens de l'écoulement.

A l'amont au niveau des puits p1, p2 et p8, l'espacement des courbes piézométriques est très petit traduisant un gradient hydraulique élevé indiquant une forte pente de la surface piézométrique et une alimentation de la nappe par les reliefs limitrophes.

Au centre de la plaine les courbes isopièzes deviennent plus espacées révélant un gradient hydraulique faible et probablement une perméabilité élevée ou une très faible pente de la surface piézométrique, avec une orientation aval de la concavité vers l'Est expliquant une

augmentation du débit d'écoulement, à ce niveau la nappe peut présenter dans la réunion des conditions de qualité idéales ; une zone favorable à l'implantation des captages d'eau.

Plus à l'Est les courbes piézométriques sont concentriques convergentes et serrées d'une part témoignant d'une zone de perte à travers une discontinuité structurale probable (faille), et d'autre part sont concentriques divergentes signalant la présence d'une zone de réalimentation probable à partir de la nappe profonde à travers les mêmes structures géologiques.

Les échanges entre la nappe et l'oued sont légèrement apparentes au niveau de l'amont où l'orientation amont de la concavité interprétant un drainage de l'oued par la nappe.

Une orientation avale de concavité vers le sud-est des courbes hydro isohypses donc une convergence des lignes de courant exprimant une alimentation de l'oued par la nappe.

Conclusion

La synthèse des résultats nous permet de conclure que :

- L'étude hydrogéologique a permis de déterminer deux systèmes aquifères distincts par leur lithologie et géométrie.

- Le premier se trouve au niveau du remplissage argilo-sableux du Mio-Plio-Quaternaire et constitue la nappe superficielle où l'épaisseur augmente de la périphérique vers le centre de la plaine, favorable à l'exploitation locale.

- Le deuxième système aquifère est situé dans les formations carbonatées Jurassique Crétacé. Il constitue la nappe profonde où les paramètres hydrodynamiques sont tributaires des conditions litho structurales ; ainsi la prédominance au Nord du faciès marno-calcaire est due à la nappe tellienne. Au Sud, les calcaires fissurés du néritique et de l'unité intermédiaire de Djebel Djahfa constituent le réservoir principal qui possède une grande productivité hydrique permettant l'implantation de plusieurs forages. On note également que les interactions entre les deux nappes s'effectuent à travers les couches semi-perméables situées à la base de la nappe superficielle, et les échanges nappe-oued sont variables et réciproques selon l'espace et la saison de tel sort qu'à l'amont la nappe draine l'oued pendant la période hivernale et à l'aval c'est la nappe qui alimente l'oued.

Introduction

Généralement, il est bien admis que l'eau dans la nature est rarement pure car différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution ou par un simple mélange. La composition de l'eau dépend de l'environnement dans lequel elle se trouve sous forme d'un processus d'écoulement ou d'un stockage. Aussi, une eau est identifiée par ses propres caractéristiques physico-chimiques. L'objectif principal de ce chapitre est la détermination des faciès chimiques des eaux dans notre région d'étude, leurs origines, et de cartographier les paramètres chimiques pour mieux comprendre la répartition spatiale de ses concentrations.

Dans une même nappe, on observe presque toujours des variations de l'amont vers l'aval. L'eau circule en lessivant les terrains encaissant et il peut y avoir, une augmentation de la concentration totale en sels dissous et des variations des valeurs des rapports caractéristiques qui peuvent nous renseigner sur l'origine des eaux (*Detay, 1993*).

1. les eaux souterraines

La circulation des eaux souterraines à travers les différentes formations géologiques, provoque le lessivage de ces dernières et contrôle la minéralisation de ces eaux ; c'est un processus naturel. Un autre processus anthropique peut influencer la qualité des eaux à travers les rejets urbains, industriels, ainsi que les activités agricoles.

Dans ce qui suit, nous présentons les principales caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka afin de définir leurs faciès chimique, de confirmer leurs origines et d'apprécier leur répartition spatiale. Quelques points d'eau représentatifs et bien répartis ; puits, forages et sources ont été choisis pour atteindre cet objectif (*Fig.20*).

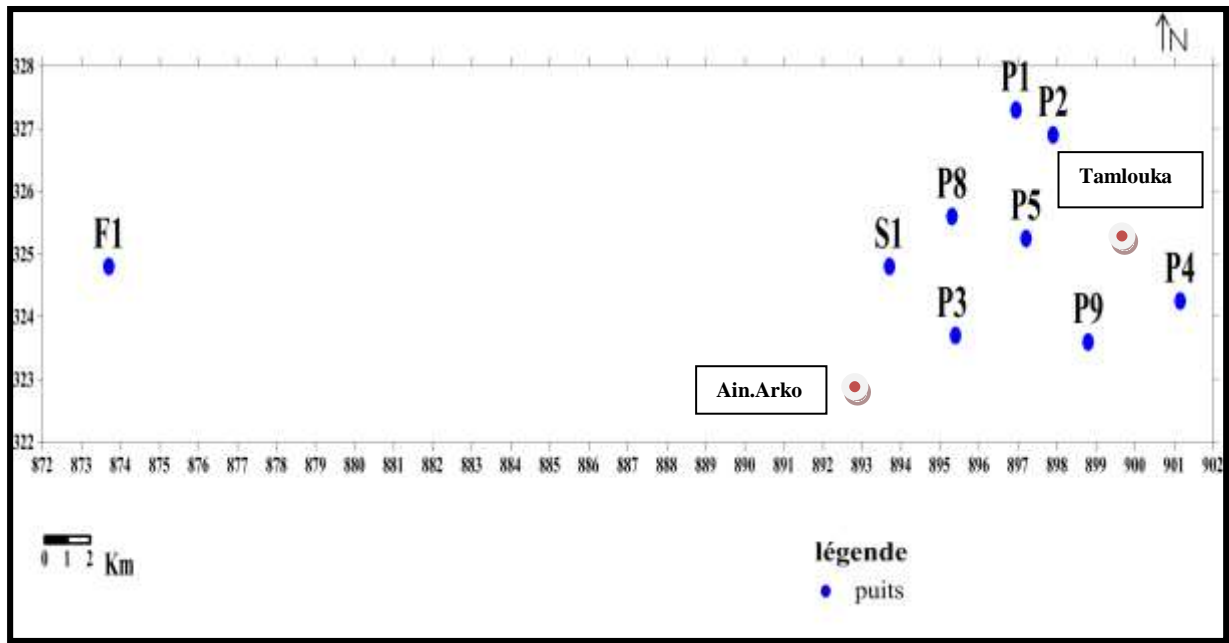


Figure 20 : carte d'inventaire des points d'eaux souterraines échantillonnés (Mars

2. Matériels et Méthodes

2.1 Prélèvements

Une campagne d'échantillonnage de 7 puits, 1 forage et une source conditionnée par une répartition spatiale à travers la plaine (Tamlouka) pour captée la nappe libre.

Dans chaque puits, forage ou source, une bouteille d'eau a été prélevée puis étiquetée pour éviter tout risque de confusion entre les échantillons (code, chiffre, nom de la station, date ...), puis rincées au moins trois fois avec de l'eau à analyser afin d'éviter toute contamination de l'échantillon. Pour les eaux souterraines, le prélèvement de l'eau du puits est réalisé à l'aide d'un préleveur.

2.2 Paramètres mesurés in situ

Ce sont des paramètres mesurés directement sur le terrain à l'aide d'un multi-paramètre de terrain (Consort C561 et un conductivimètre de marque WTW Cond 1971). Il s'agit essentiellement de la température T (°C), du potentiel d'hydrogène, de l'oxygène dissout (O_2) et de la conductivité électrique ($\mu\text{s/cm}$).

2.3 Conservation des échantillons

Les échantillons doivent être conservés à une température de 4°C dans un réfrigérateur ou être congelés dans un congélateur. Faute d'absence d'un frigo et d'un réfrigérateur dans notre laboratoire, l'échantillon sont conservés au laboratoire et à l'abri de la lumière. Vu la

température saisonnière et de laboratoire, nous avons considéré que la conservation de ces échantillon est acceptable et que les résultats obtenus des analyses sont représentatifs.

3. Mode opératoire

3.1 Mode opératoire des éléments chimiques

3.1.1 Détermination du calcium (Ca^{2+}) et de la Dureté

Mode opératoire :

(V1) Ca^{2+} : -prendre 25ml d'eau à analyser.

-Ajouter 1ml de la solution NaOH à 2N.

-Ajouter une pincée de l'indicateur de Murexide.

-Et titrer avec la solution EDTA 0.01mol/l jusqu'au virage (**violet**).

(V2) Ca^{2+} Mg^{2+} (Dureté) : -prendre 25ml d'eau à analyser.

-Ajouter 2ml de la solution tampon PH10.

-Ajouter 2 gouttes de l'indicateur de noir eriochrome

(NET).

- Et titrer avec la solution EDTA 0.01mol/l jusqu'au virage (**bleu**).

3.1.2 Détermination des chlores (Cl^-)

Mode opératoire

- prendre 20ml d'eau à analyser.

- Ajouter 0.2ml de la solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100g/l (coloration jaunâtre).

- titrer avec la solution nitrate d'argent (AgNO_3) à 0.02N jusqu'à (coloration rougeâtre).

3.1.3. Détermination de sulfates (SO_4^{2-})

Mode opératoire

- prendre 20ml d'eau à analyser.

- Ajouter 1ml de la solution stabilisante.

-Agiter énergiquement pendant 1mn.

-Ajouter 0.4ml de la solution de chlorure de baryum à 0.01N.

-Agiter énergiquement pendant 1mn.

-Passer au spectrophotomètre à $\lambda=420\text{nm}$.

Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.

3.1.4 Dosage des nitrates (NO_3^-)

(Méthode au salicylate de sodium)

Mode opératoire

- Prendre 05ml de l'échantillon à analyser.
 - Ajouter 2 gouttes de la solution NaOH à 30%.
 - Ajouter 0.5ml de la solution de salicylate de sodium 0.5% (préparer cette solution chaque jour au moment de l'emploi).
 - Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-80°C.
 - (Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps), laisser refroidir.
 - Reprendre le résidu avec 1ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4)
- Et laisser reposer 10 min.
- Ajouter 7.5ml d'eau distillée.
 - Ajouter 7.5ml de solution tartrate double de sodium et de potassium.
- Effectuer la lecture à une longueur d'onde de **415 nanomètre (nm)**.

Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.

N.B : le dosage de Na et K est obtenue par lecture directe sur un spectrophotomètre a flamme.

4. Faciès chimique des eaux souterraines

La formule ionique est obtenue en classant de gauche à droite par ordre décroissant les quantités en réaction pour cent du groupe des anions puis celui des cations

Tableau n°19 : Formules ioniques et faciès chimique en %, (Mars, 2017).

Puits	Formule ionique	Faciès chimique
P1	$rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rCl^-$, $rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ + K^+$	Sulfaté Calcique
P2	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$, $rNa^+ + K^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté Sodique
P3	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$, $rNa^+ + K^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté Sodique
P4	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$, $rMg^{2+} > rNa^+ + K^+ > rCa^{2+}$	Bicarbonaté magnésien
P5	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$, $rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ + K^+$	Bicarbonaté magnésien
P8	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-}$, $rCa^{2+} > rNa^+ + K^+ > rMg^{2+}$	Bicarbonaté calcique
P9	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$, $rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ + K^+$	Bicarbonaté magnésien
S	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$, $rCa^{2+} > rMg^{2+} > rNa^+ + K^+$	Sulfaté Calcique
F	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^-$, $rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ + K^+$	Bicarbonaté magnésien

La vérification de la fiabilité des analyses chimiques est testée par la méthode de la balance ionique, donnant des résultats satisfaisante pour les 09 analyses, qui varient de 1% à 2% dans les puits (P2, P4, P5, P8, P9, S, F) jusqu'à 9 % dans les puits (P1). Sachant que la marge de tolérance peut atteindre (10%). Les formules ioniques (**Tab. n°19**) nous permettent de déterminer les faciès chimiques pour les eaux analysées et par conséquence Les eaux étudiées ont été classés en 4 faciès chimiques :

- Sulfaté Calcique (P1 et S)
- Bicarbonaté Sodique (P2, P3)
- Bicarbonaté magnésien (P4, P5, P9, et F)
- Bicarbonaté calcique (P 8)

5. Représentation graphique des analyses chimiques

La détermination du faciès chimique est faite par la formule ionique avec un outil informatique (Logiciel Diagramme), le diagramme de Scholler Berkalof et le diagramme de Piper qui nous permettent de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère en relation avec sa lithologie et de classer les eaux de même origine.

5.1 Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet la visualisation d'un grand nombre d'analyse et de suivre l'évolution de chimisme des nappes exploitées (**Fig. 21**).

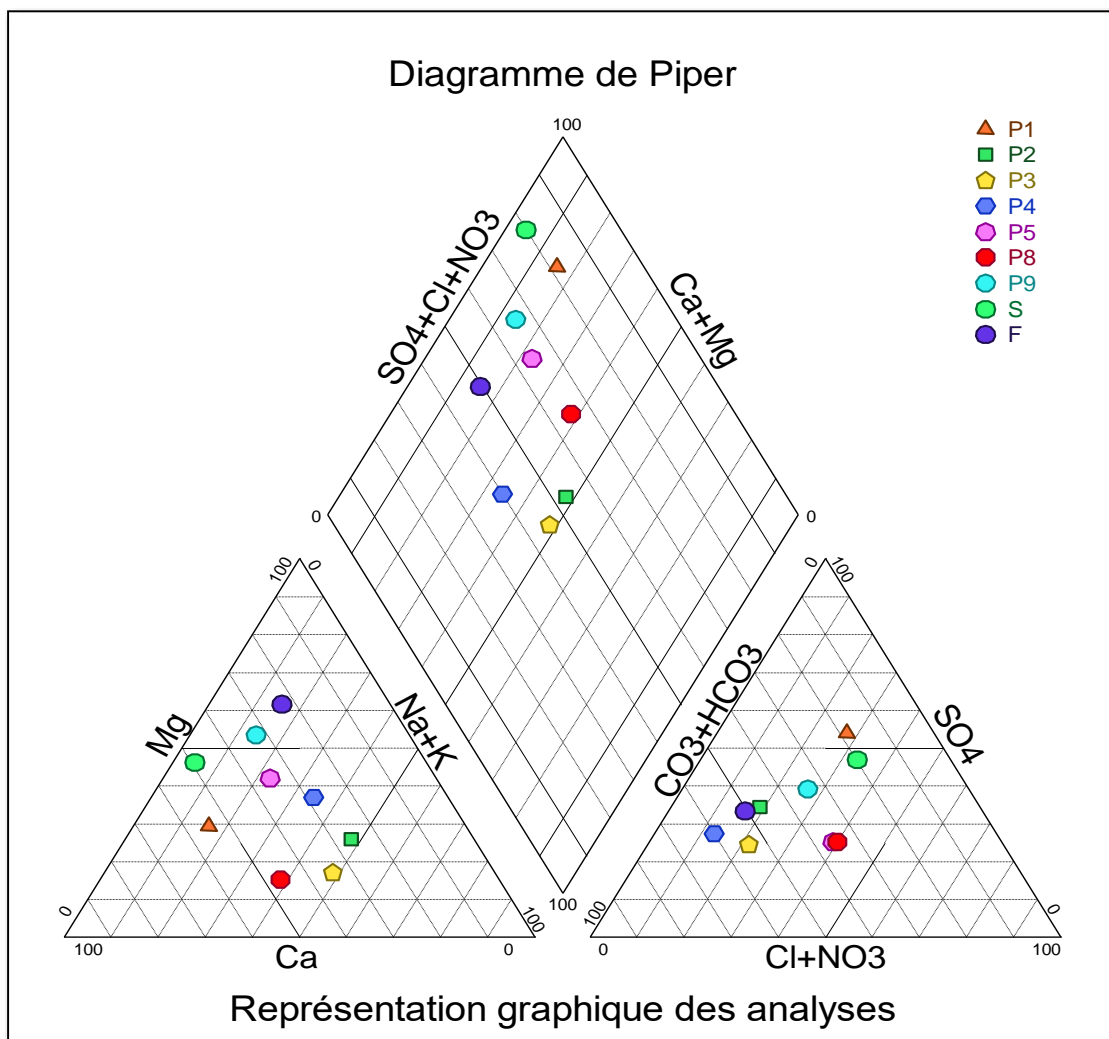


Figure 21 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la région de Tamlouka.

Le diagramme de Piper (*Fig. 21*) permet de visualiser deux familles bien distinctes, mettant en évidence :

Une famille caractérisée par un faciès Bicarbonaté sodique et sulfaté calcique les puits captant la nappe profond (P1, P2, S), et Une famille caractérisée par un faciès Bicarbonaté calcique (puits P4, P5, P8, P9, F).

5.2 Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller Berkaloff permet de distinguer les différentes familles des eaux et les comparer entre elles (*Fig. 22*).

Il se compose de sept échelles logarithmiques verticales équidistantes qui sont appropriées aux principaux ions : Ca^{+2} , Mg^{+2} , $Na^{+}K^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{-2} , NO_3^{-} , $HCO_3^{-}+CO_3^{-}$.

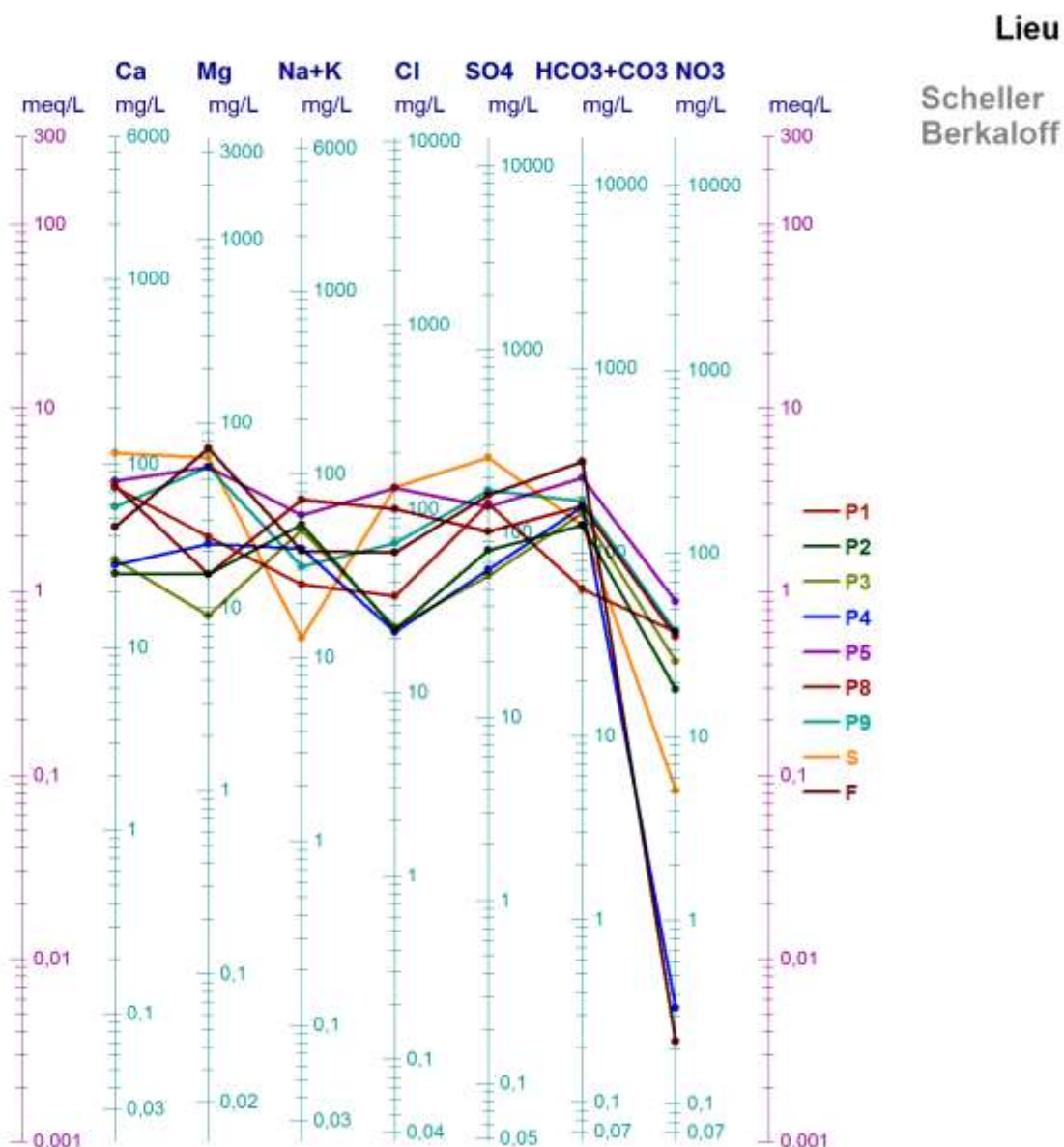


Figure22 : Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka.

6. Paramètres physico-chimiques

6.1 Température

La température est un facteur écologique important du milieu qui a une grande influence sur l'activité biologique d'un cours d'eau (Gaujou, 1995), ou des eaux souterraines notamment peu profondes. Les variations de la température affectent diverses propriétés de l'eau tel que la densité, la viscosité, la tension de vapeur la solubilité des gaz dissous en particulier l'oxygène et les vitesses de réaction chimique et biologique (Rodier, 1978).

La température de l'eau joue un rôle déterminant dans la solubilité des sels et des gaz, elle est étroitement liée à la profondeur de l'aquifère si l'aquifère est très profond.

Tableau n°20 : Températures (°C) des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka (Mars 2017).

Les puits	P1	P2	P3	P4	P5	P8	P9	S1	F1
T (°C)	14.9	15.5	13.5	12.77	16.1	15.3	15.8	16.8	18.1

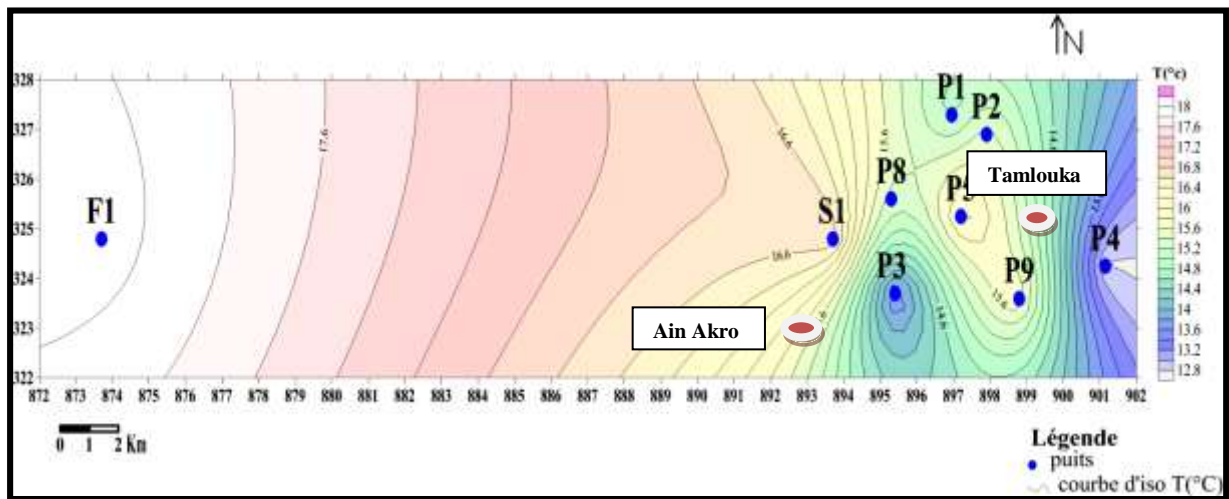


Figure 23 : carte de variation de la Température des eaux souterraines dans la plaine de Tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

On constate que la diminution générale des valeurs de la température de l'amont vers l'aval (*Fig.23*) est tributaire essentiellement au gradient géothermique lié aux formations carbonatées de djebel Djahfa qui présentent dans plusieurs cas une source d'alimentation latérale de la nappe libre.

6.2 Le Potentiel d'hydrogène (PH)

C'est le paramètre déterminant de l'alcalinité et de l'acidité des eaux, le PH est cologarithmes de (H^+) et correspond à la concentration $[H^+]= [OH^-]=10^{-7}$. Cependant, certains autres ont de bonnes raisons de penser que H^+ étant une particule subatomique, un proton ne peut pas exister à l'état libre. Il faudrait remplacer la notion d'ion H^+ par celle des ions H_3O^+ (Schoeller, 1962).

Le Potentiel D'Hydrogène (PH) représente la concentration en ions (H^+) dans l'eau, les valeurs du PH dans les eaux naturelles se situent entre 6 et 8.5 (*Fig. 24*).

Tableau n°21 : Le Potentiel D'Hydrogène de la plaine de Tamlouka (nappe libre) (Mars 2017).

Puits	P1	P2	P3	P4	P5	P8	P9	S1	F1
PH	8.36	7.75	8.13	7.64	7.80	8.3	7.80	7.69	7.8

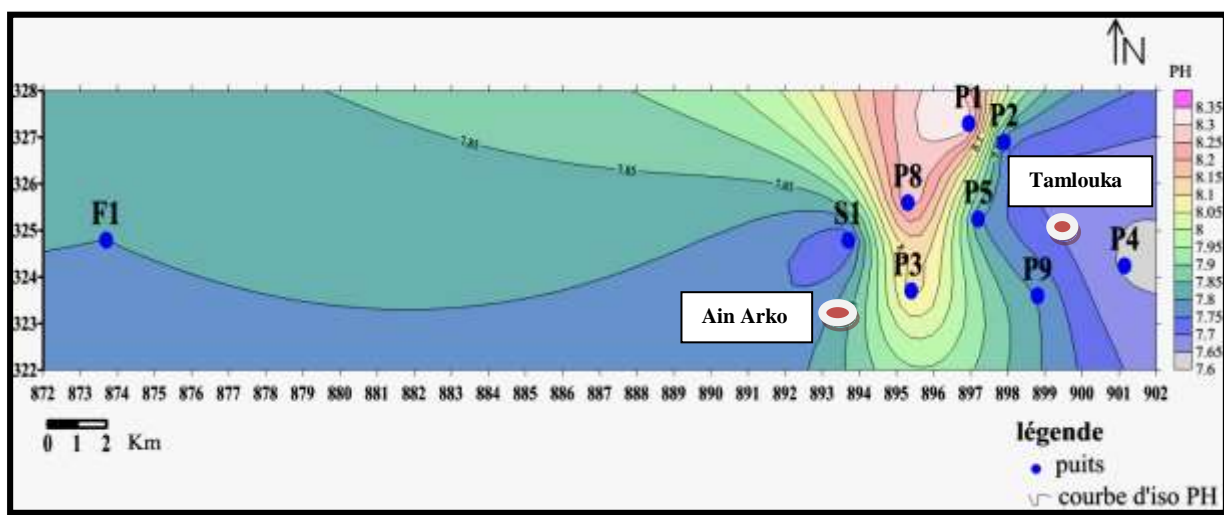


Figure 24 : carte de la répartition du Potentiel d'hydrogène de la plaine de Tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

La plupart des valeurs du PH varient entre 7.64 et 8.36 présentant des eaux équilibrées qui restent dans les normes Algériennes (6,5- 8,5).

La conservation de l'eau de son équilibre est due probablement au phénomène d'échange de base entre l'eau et la roche.

Tableau n°22 : Classification des eaux selon le pH.

pH	Type d'eau	Points correspondants
6.5-9.5	Bonne	Tous les points
>9.5 et <6.5	Mauvaise	/

6.3 La conductivité électrique

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité

d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau (Nouati et al.2015)

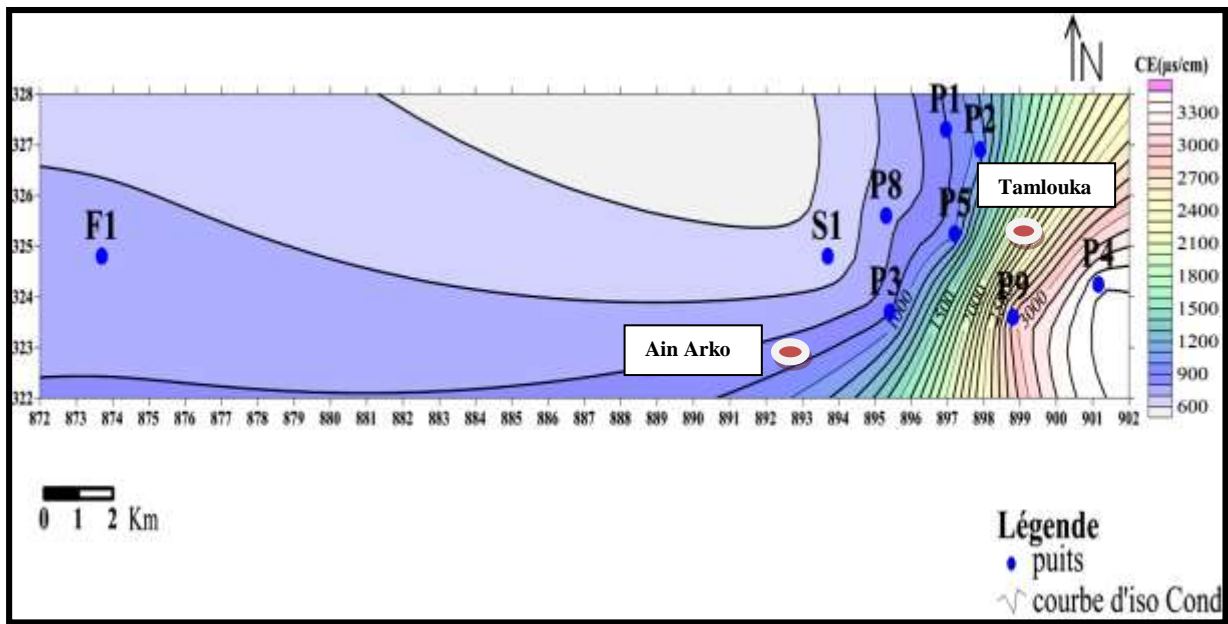


Figure 25 : carte de variation du Conductivité électrique de la plaine de Tamoulouka (nappe libre) Mars 2017.

Tableau n°23 : Classification des eaux des points de mesure selon la conductivité électrique.

Puits	P1	P2	P3	P4	P5	P8	P9	S	F
CE µs/cm	900	1027	865	3399	969	793	2970	639	742

Pour la nappe de Tamoulouka, les valeurs de la conductivité varient entre 639 µs/cm au niveau de la source (S) et 3399 µs/cm au niveau de P4. L'observation de la carte de variation de la conductivité (Fig. 25) indique qu'en amont les valeurs restent dans les normes exprimant une bonne qualité d'eau, alors qu'en aval au niveau des puits (P4 et P9) on remarque que la conductivité est très élevée dépassant même la norme Algérienne, ce qui peut se traduire par une augmentation des différentes concentrations dans le sens de l'écoulement, liée d'une part à un lessivage des formations géologiques (influence directe de la géologie sur la qualité de l'eau) par les eaux de surface et souterraines, et d'autre part à une évaporation intense au niveau de cette zone marécageuse (liaison étroite entre la qualité de l'eau et le climat).

Et par conséquent et selon les valeurs de la conductivité ; La qualité de l'eau à ce niveau est nocive pour la consommation humaine mais peut être destinée à d'autres usages.

6.4. Les cations

6.4.1. Le calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées ($CaCO_3$) par attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO_2) (LateretTerki, 1998), soit à la dissolution des formations gypsifères ($CaSO_4; 2H_2O$).

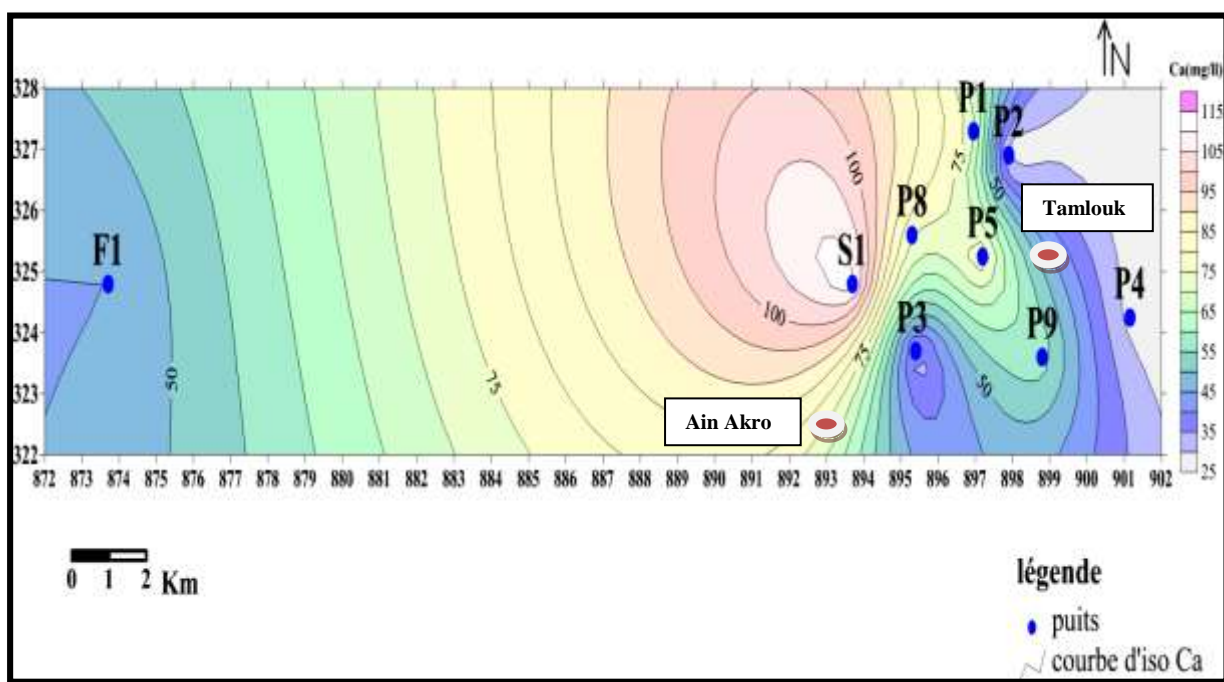
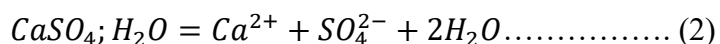
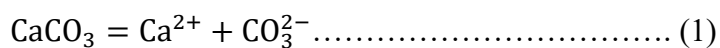


Figure 26 : carte de la répartition du Calcium de la plaine de Tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

Pour notre zone d'étude, les valeurs de calcium varient entre 25mg/l et 114mg/l.

La plupart des points d'eau présentent une concentration élevée en amont conformes à la norme algérienne de potabilité (200 mg/l) et la valeur minimale est enregistrée en aval au puits (P2) alors que la valeur maximale est observée au niveau de la source (S).

Les fortes concentrations se localisent à la rive gauche de l'oued Maleh (S, P1, P5) (Fig.26). La répartition des teneurs de calcium est tributaire de la lithologie, les teneurs les plus élevées sont observées dans le centre et le Nord-Ouest de la plaine, là où la zone d'alimentation est constituée par le calcaire de Djebel Djahfa et du Horst de Ain Arko.

6.4.2. Magnésium (Mg²⁺)

Le magnésium est moins abondant que le calcium et provient de la dissolution de la formation carbonatée à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) selon les formules suivantes (later et terki, 1998) :

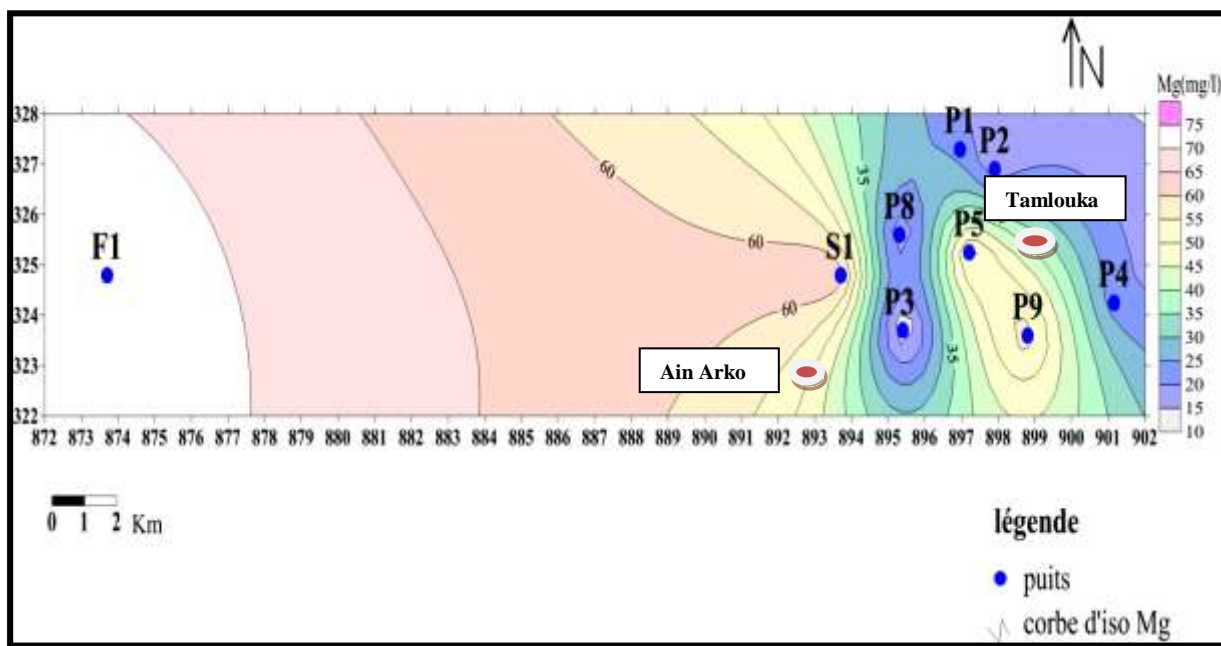
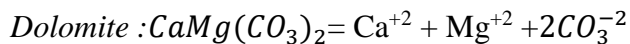


Figure 27: carte de la répartition du Magnésium de la plaine de Tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

La répartition du Magnésium suit la même évolution que le Calcium. Les teneurs inférieures à la norme Algérienne admissible (150mg/l) élevée en amont et faible en aval, varient entre 10mg/l au puits (P3) à 72.96mg/l au forage (F). Ces teneurs relativement fortes sont dues au lessivage des formations néritiques du Djebel Djahfa et du môle d'Ain Arko composé, en partie, de passages dolomitiques.

6.4.3. Potassium et sodium (NA⁺, K⁺)

Le sodium est un élément généralement constant dans l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium NaCl (argiles marnes). Généralement, cet

élément est lié à la dissolution de couches salifères, des eaux usées d'origine industrielle et domestique et aussi de l'invasion d'eau marine (Ben Aakam, 2015)

Le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, les teneurs normalement peuvent provenir du lessivage des sels (KCl).

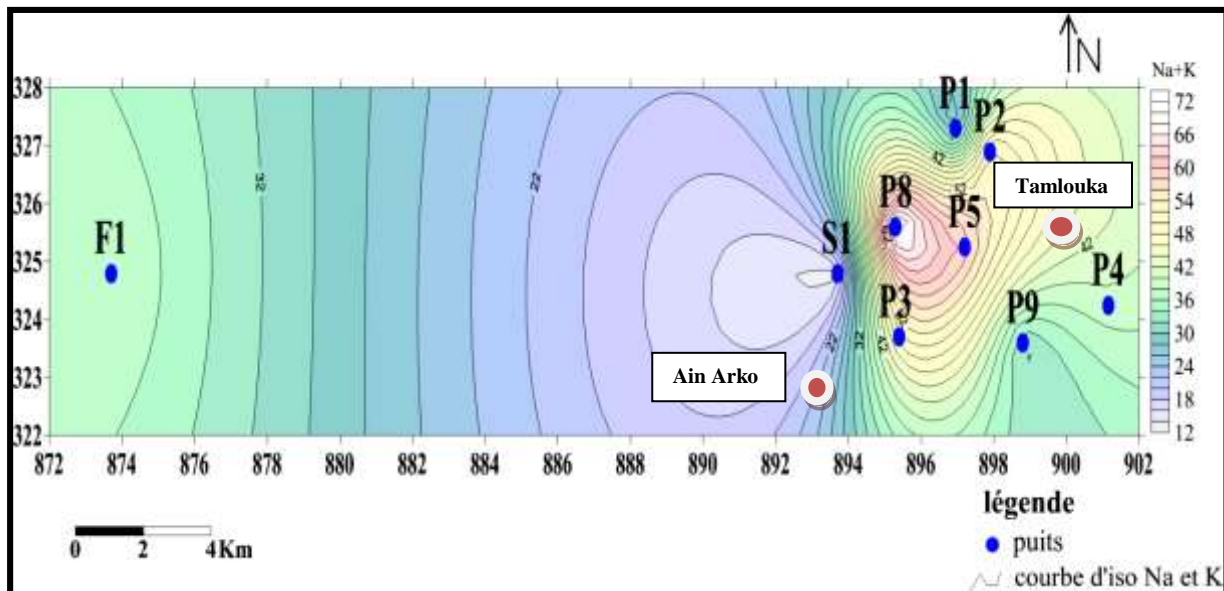


Figure 28: carte de la répartition du sodium + potassium de la plaine de Tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

Les teneurs du sodium sont dues essentiellement aux formations argilo-marneuses sableuses du Mio-plio quaternaire constituant la nappe phréatique. Les concentrations sont élevées en P8 et P5 en l'aval, La morphologie de la plaine sous forme d'une cuvette peut être à l'origine de l'augmentation des teneurs du sodium au centre de celle-ci ; l'évaporation à ce niveau, est très intense.

6.5. Les anions

6.5.1 Les chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl) qui provient de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains gypseux, marneux ou argileux, aussi des eaux usées (à cause de l'action anthropique par l'utilisation des engrais et des pesticides dans l'agriculture). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (Nouati. Et al.2015).

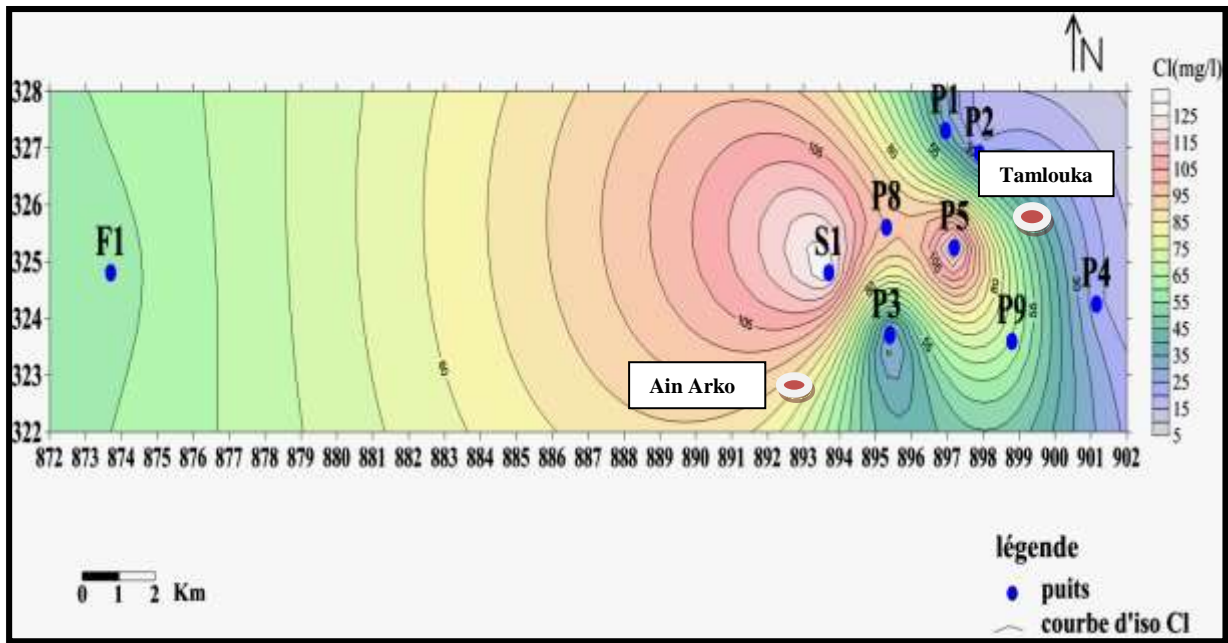


Figure 29: carte de la répartition du Chlorure de la plaine de Tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

Les concentrations en ions des chlorures relevées dans les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka varient entre 21.3mg/l (P4) et 130.99mg/l (S)

La concentration est plus élevée en amont et au centre et faible vers l'aval, d'où une vitesse d'écoulement un peu plus élevée favorisée par la variation de la pente de la surface piézométrique et minimisant par conséquent la durée de contact ; eau-roche.

6.5.2 Les Sulfates (SO_4^{2-})

Dans les conditions naturelles, les sulfates, forment de soufre dissous la plus répandue dans les eaux naturelles, ils ont essentiellement deux origines ; géochimique et atmosphérique. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre, rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4), aussi La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses ...etc (Nouati. Et al.2015).

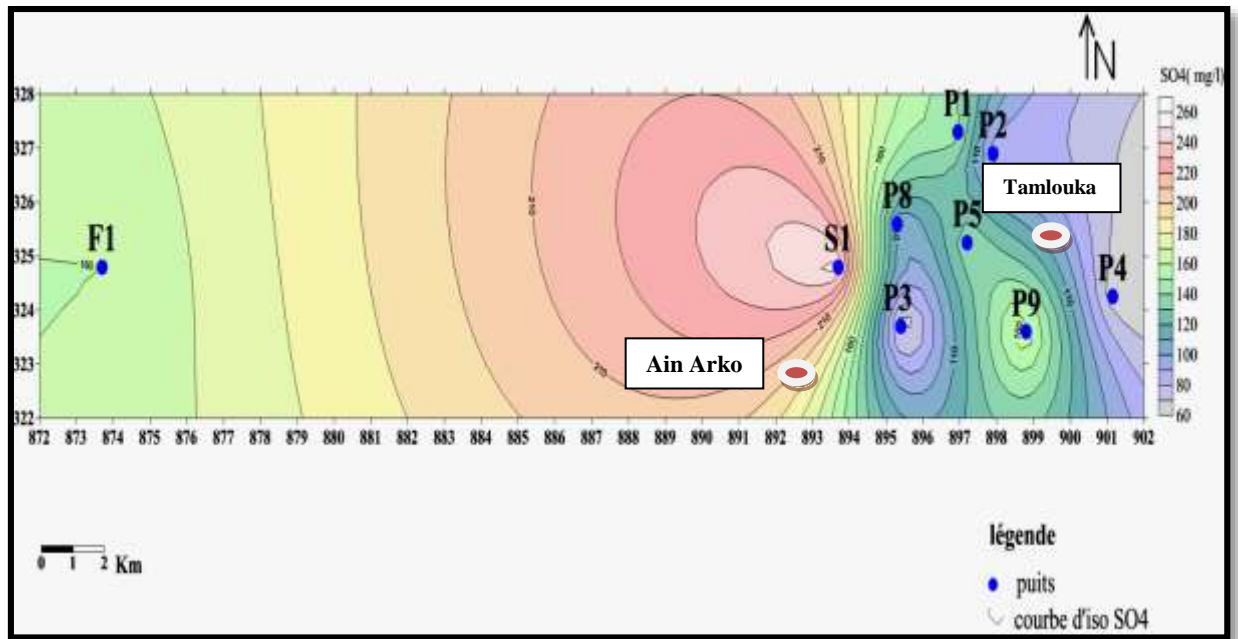
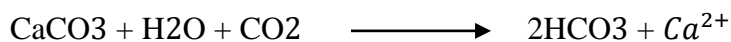


Figure 30: carte de la repartitios du sulfates dans la plaine de tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

Les valeurs des sulfates dans les eaux de notre zone d'étude sont très variable (**Fig.30**) elles oscillent entre 58.12 mg/l au (P3) à 256.00 mg/l au (S), la plus part des teneurs ne dépasse pas les normes Algériennes (200 mg/l). Les plus fortes teneurs des sulfates sont observées dans la partie Ouest et Sud- ouest de la zone. Elles sont dues à l'existence de passage gypseux et évaporitiques au sein de l'unité de Sellaoua (Trias).

6.5.3 Les bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit (Rodier, 2009) :



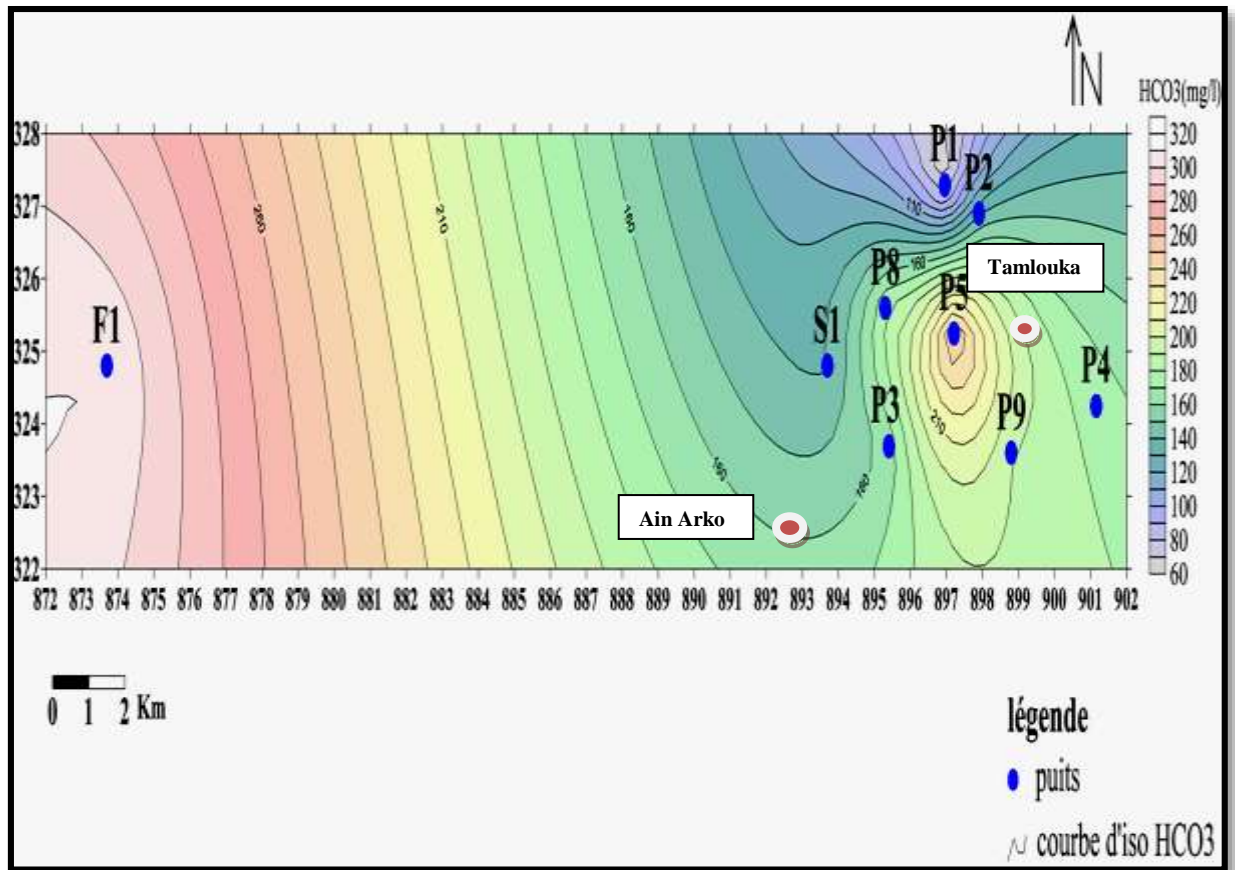


Figure 31: carte de la répartition du Bicarbonates dans la plaine de Tamlouka(nappe libre)Mars 2017.

Pour les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka, les résultats montrent que les teneurs en bicarbonates varient de 63,44 mg/l au (P1) et 309.88 mg/l au (F). La teneur moyennement élevée est enregistrées à l'Ouest de l'ordre de 309.88 mg/l.

Les puits qui représentent des teneurs élevées en bicarbonates atteignent, en profondeur, les formations calcaires du crétacé et du Jurassique ; c'est le cas des environs du village de Tamlouka.

6.5.4 Nitrate NO_3^-

Les nitrates constituent les stades finals de l'oxydation de l'azote organique, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément sur les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par d'engrais azoté (Bremond et Guichard, 1973).

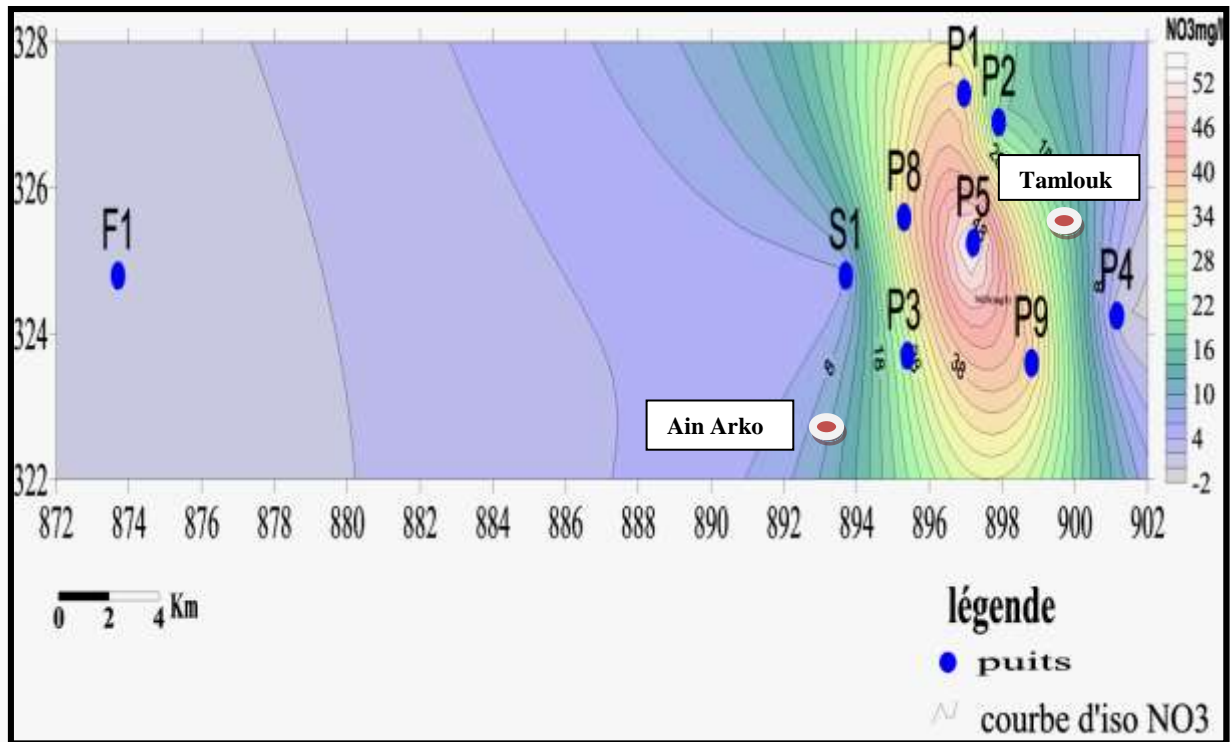


Figure 32 : carte de la repartition du Nitrates ans la plaine de Tamlouka (nappe libre) Mars 2017.

Les teneurs en nitrates varient de 0.22mg/l au (F) à 54.46 mg/l au (P5) c'est le seul échantillon qui dépasse les normes Algériennes de potabilité (50 mg/l) elle est dû à l'activité agricole à la partie Nord-est.

7. Etudes des valeurs relatives

7.1 Origine des éléments chimiques

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale de Tamlouka proviennent Des formations carbonatées de l'Eocène et du Maestrichtien qui bordent la plaine. Ensuite, elles s'écoulent dans un matériel très hétérogène (des alluvions, des sables, des graviers, des dépôts évaporitiques....etc.). Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. En se basant sur les mesures et les analyses chimiques, on va essayer de déterminer l'origine probable de tous les ions.

7.1. A- Les éléments $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$

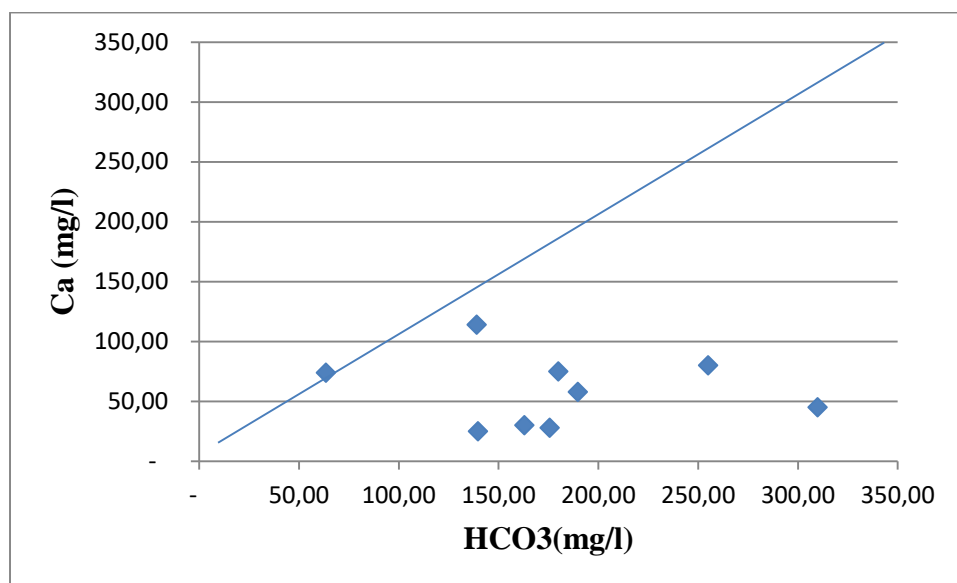


Figure 33 : Représentation graphique du Ca^{2+} en fonction HCO_3^- .

Les valeurs ce qui existe au-dessus de la droite présentent un excès de Ca par rapport à HCO_3 et les échantillons qui se trouvent en bas de la droite présentent un excès de HCO_3 par rapport au Ca.

Deux échantillons possèdent probablement une même origine et les points éloignés présentent des origines déférentes. Le calcium tire son origine des bicarbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

7.1. B. Les éléments Ca^{2+} - SO_4^{2-}

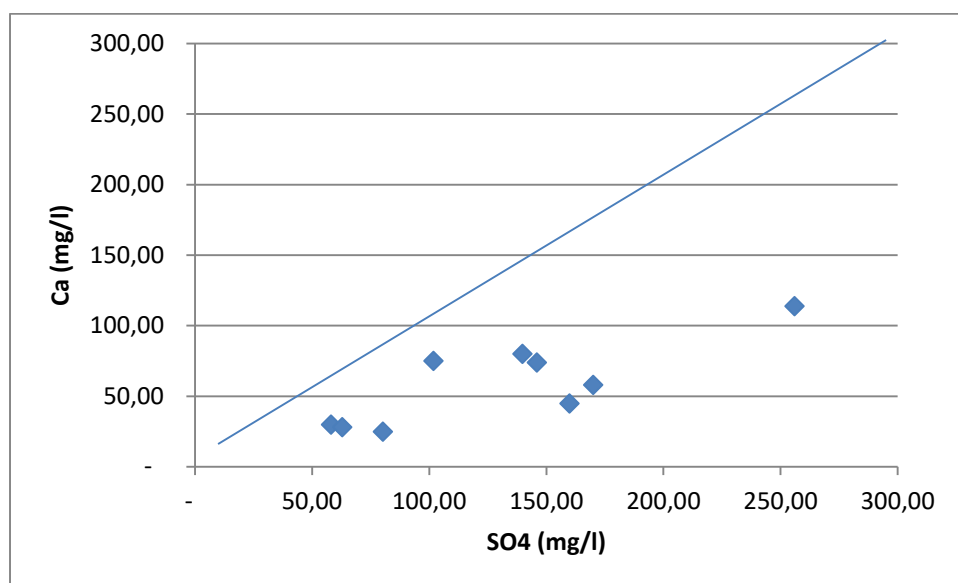


Figure 34: représentation graphique du Ca^{2+} en fonction de SO_4^{2-} .

La représentation graphique du Ca^{2+} en fonction de SO_4^{2-} montre que tous les échantillons présentent un excès de SO_4^{2-} par rapport au Ca.

Dans quelques échantillons, les ions Ca et SO_4 possèdent probablement une origine identique et les points éloignés présentent des origines différentes.

7.1. C. Les éléments Na^+ - Cl^-

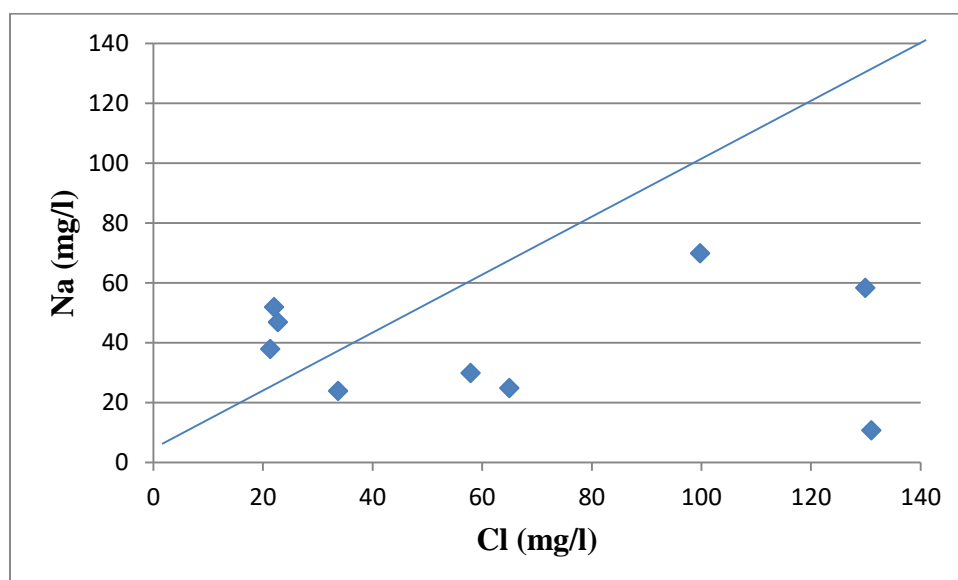


Figure 35 : Représentation graphique du Na^+ en fonction de Cl^- .

La représentation graphique de l'évolution du Na^+ en fonction de Cl^- (Fig. 35), montre que Les valeurs ce qui existent au-dessus de la droite présentent un excès de Cl^- par rapport à Na^+ et les échantillons qui se trouvent en bas de la droite présentent un excès de Cl^- par rapport au Na^+ .

Deux échantillons possèdent probablement une même origine et les points éloignés présentent des origines déférentes.

7.1. D. Les éléments Cl^- - SO_4^{2-}

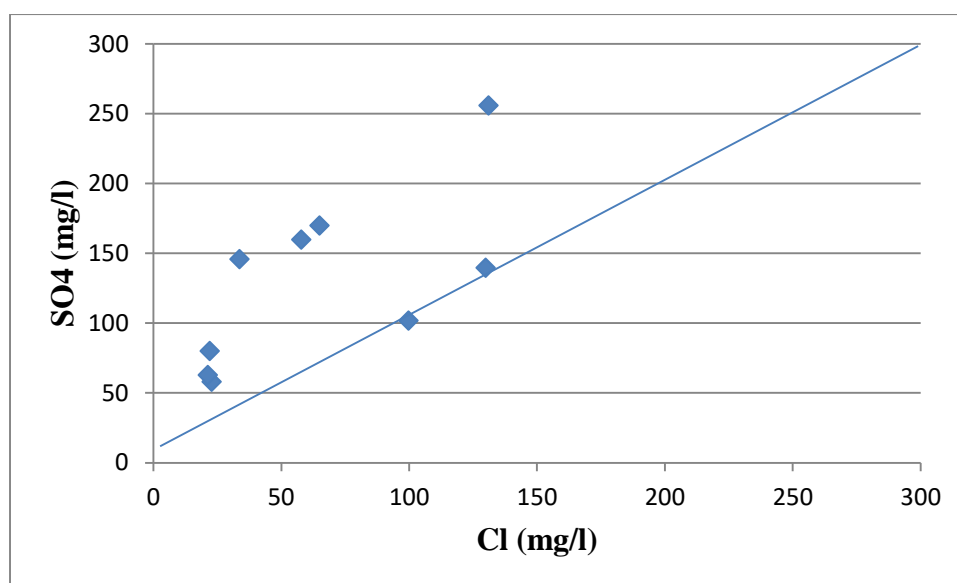


Figure 36 : Représentation graphique de Cl^- en fonction de SO_4^{2-} .

L'interprétation du graphe (fig. 36). La représentation graphique de Cl^- en fonction de SO_4^{2-} Montre que tous les échantillons présentent un excès de SO_4^{2-} par rapport au Cl^- .

Dans quelques échantillons, les ions Cl^- et SO_4^{2-} possèdent probablement une origine identique et les points éloignés présentent des origines déférentes. Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le SO_4^{2-} provient du gypse et le Cl^- provient de la dissolution de l'halite et probablement d'une pollution anthropique.

7.1. E. Les éléments (Ca^{+2} - Mg^{+2})

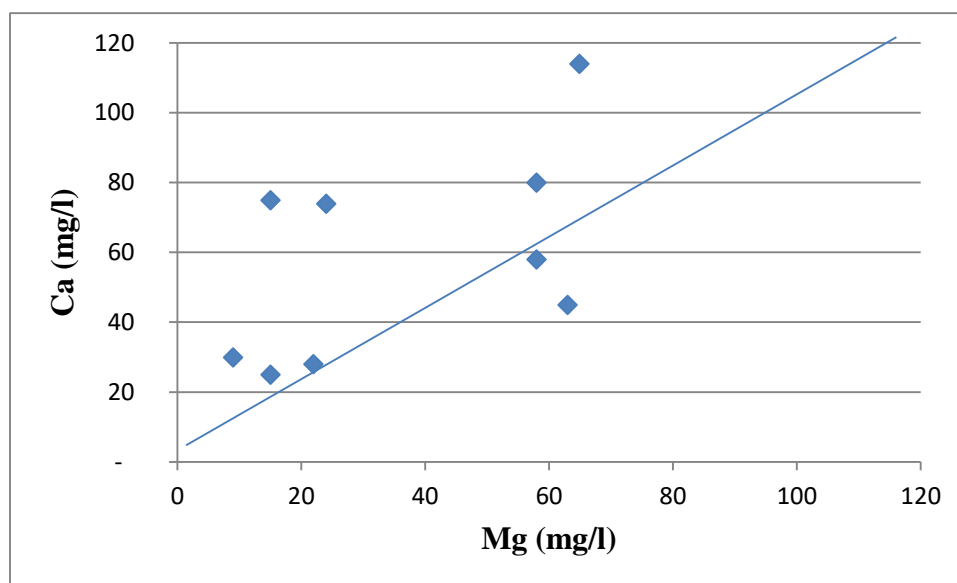


Figure 37: représentation graphique du Ca^{2+} en fonction du Mg^{2+} .

L'interprétation du graphe (*fig. 37*), la représentation graphique du Ca^{2+} en fonction du Mg^{2+} montre que les valeurs ce qui existent au-dessus de la droite présentent un excès de Mg^{2+} par rapport à Ca^{2+} et les échantillons qui se trouvent en bas de la droite présentent un excès Mg^{2+} de par rapport au Ca^{2+} .

Deux échantillons possèdent probablement une même origine et les points éloignés présentent des origines différentes.

7.2 Etude de l'acquisition de la minéralisation

Les eaux météoriques commencent à acquérir leur minéralisation dès les premières pluies, où elles se chargent en une faible concentration d'éléments chimiques. Une fois interceptées par le sol, une partie des eaux de précipitation ruisselle à la surface et l'autre s'infiltré dans le sous-sol pour atteindre la nappe. Les eaux de ruissellement vont s'écouler vers les oueds où elles subiront une évaporation sous l'effet de la température, ce qui produit une précipitation des éléments chimiques sous forme de minéraux.

Les eaux qui s'infiltré dans les formations géologiques :

- calcaires de bordures, seront chargées en ions $\text{Ca}^{2+}, \text{HCO}_3^-$ par la dissolution. Les puits qui se trouvent à proximité des bordures attestent de cette minéralisation et se caractérisent par un faciès bicarbonaté calcique.
- riches en gypses et en sels, ce qui leur permet d'acquérir des concentrations importantes en $\text{Na}^+, \text{Cl}^-, \text{Ca}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}$.

Les activités anthropiques peuvent provoquer la concentration des ions par :

-L'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, comme fertilisants, fait augmenter les concentrations des éléments de NO_3^- , K^+ et PO_4^{3-} .

-L'irrigation par des eaux salées provoque la salinisation des sols et augmente ainsi la Minéralisation.

7.3 Mise en évidence de l'indice d'échange de base entre les eaux souterraines et le milieu aquifère

La capacité d'échange est particulièrement élevée pour les argiles parce que leurs particules ont une grande superficie par unité de volume ainsi qu'une forte charge électrique négative. L'i.e.b correspond au rapport entre les ions de même nature primitivement existant qui exprimés par la formule suivante :

$$i.e.b = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$$

Cet indice permet de donner une estimation approximative de la durée du contact eau-roche, ceci est directement lié à la vitesse d'écoulement.

Si l'i.e.b est positif, on a un échange des alcalins de l'eau contre les alcalino-terreux de la roche magasine.

Tableau n°24 : Indices d'échange de base

N° des puits	i.e.b
P1	-0.13
P2	-2.71
P3	-2.30
P4	-1.81
P5	0.30
P8	-0.11
P9	0.32
S	0.86
F	0.08

Les eaux de la région de la plaine de Tamlouka présentent un indice d'échange de base positif ≥ 0 variant entre 0,08 et à 0,86. Cela signifie que la durée de contacte eau-roche est très importante, mais le degré d'échange est fonction de la lithologie, de la morphologie du terrain, ainsi que l'action anthropique.

Seulement cinq puits représentent un indice négatif ≤ 0 donc la période de contacte eau-roche est très courte il ya remplacement de Na^+ et K^+ par Ca^{2+} et Mg^{2+} .

8. Aptitude des eaux à l'irrigation

La plaine de Tamlouka s'étale sur une superficie de plus de 471,53 km², dont la plus grande partie est à vocation agricole. Cette activité agricole demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures.

Une étude chimique détaillée des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques pour les plantes, on doit tenir compte non seulement des caractères chimiques de l'eau, mais également de la nature des cultures, du type de sols, du climat, des méthodes d'irrigation et des propriétés de drainage du sol. On a représenté les eaux des périodes Mars 2017 sur le diagramme de Wilcox.

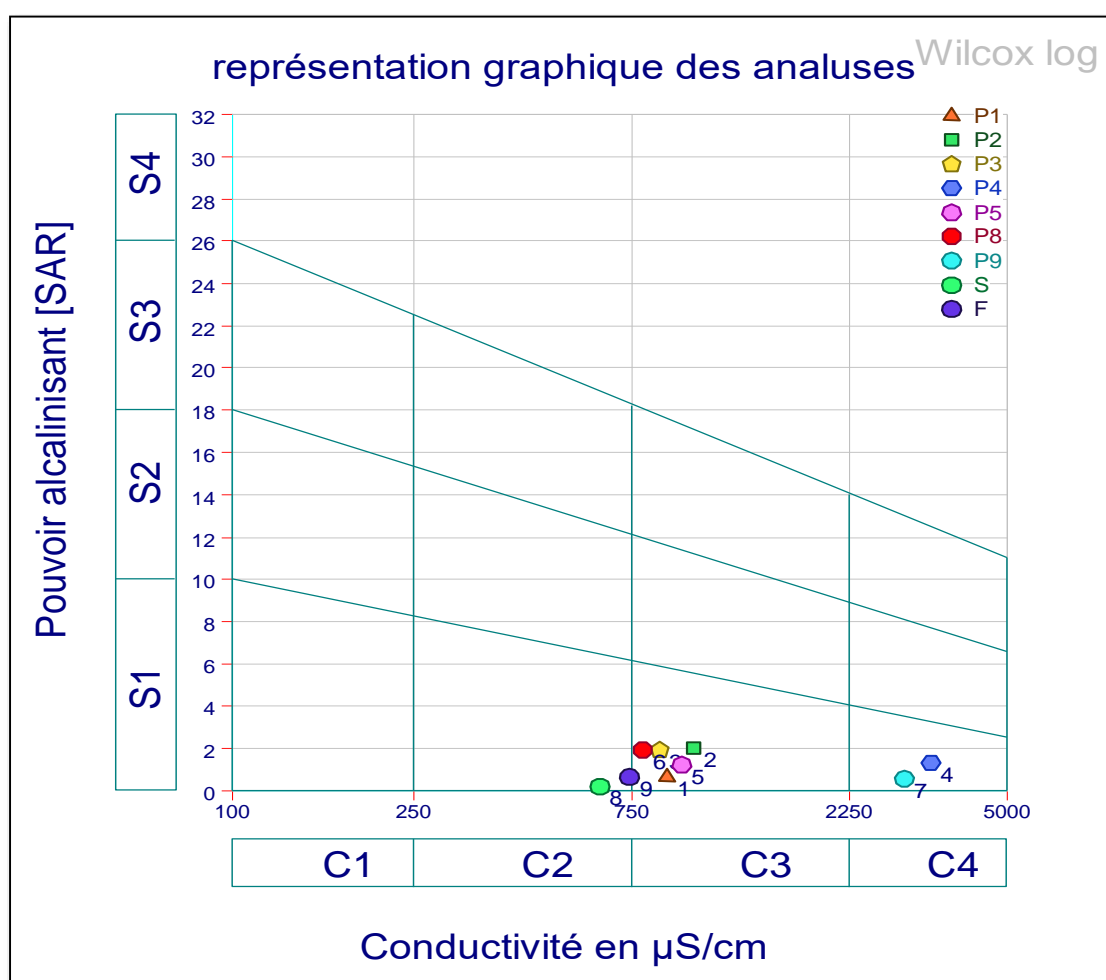


Figure39 : représentation graphique de l'aptitude des eaux à l'irrigation.

Principe du diagramme.

Le S.A.R (Sodium Adsorption ration) est donné par la formule :

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

Où : Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ sont exprimés en (méq/l).

Les valeurs de SAR sont représentées en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau, cette dernière permet une estimation de la minéralisation des eaux, elle est exprimée en (µs/cm).

Tableau n°25 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode(SAR)

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau à utilisation sans danger pour l'irrigation pour la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En générale, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels
3	Admissible	C3-S1 C4-S2 C3-S3	En générale, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-s2 C4-S3	En générale, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés
5	Mauvaise	C4-S1 C4-S2 C4-S3	Eau ne convenant pas a l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certains conditions.

Les eaux sont d'une bonne qualité pour quelques points (S (P6) et F (P7)) et admissible pour d'autres points (P1, P2, P3, P5, P8) et mauvaise ou médiocre pour les puits ((P9) et P4). Cette classification des eaux de la plaine de Tamlouka montre qu'elles sont donc de qualité admissible à médiocre mais pouvant être utilisées sous certaines conditions : sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérantes des sels...

Les puits des bordures des reliefs représentent les classes : bonne et admissible pour l'irrigation, par contre les puits du centre de la plaine et au long de l'Oued El Maleh Représentent les classes médiocres pour l'irrigation.

Conclusion

L'étude hydrochimique de la plaine de Tamlouka nous a permis de mettre en évidence plusieurs constatations :

Pour les eaux souterraines les formules ioniques ont montrées 4 faciès chimiques distinctes ; bicarbonaté magnésien, bicarbonaté calcique, bicarbonaté sodique, sulfaté calcique et sulfaté magnésien. Ces faciès obéissent à une répartition spatiale bien déterminée.

Quant à l'aptitude des eaux à l'irrigation, les eaux des puits analysés peuvent être subdivisés en trois (3) classes : la classe bonne caractérise deux puits, la classe admissible regroupe cinq (5) puits et enfin la classe médiocre correspond à deux (2) puits, ce qui met leur usage en question.

L'étude de la qualité des eaux montre que la majorité des eaux a faciès calcique et magnésien, sont de bonne qualité, tandis que les eaux a faciès bicarbonaté sont variables selon les points d'eau de tel sorte que les puits 4 et 9 présentent une mauvaise qualité.

Le faciès Bicarbonaté Calcique et Magnésienne est dû probablement aux formations géologiques constituant la nappe profonde formées principalement de Calcaires fissurés et parfois par quelques passages dolomitiques.

Conclusions générale et recommandations

Les eaux souterraines jouent un rôle fondamental dans la stabilité des populations rurales dans la région de Tamlouka. Elles sont exploitées par des puits, des sources et des forages drainées par différentes techniques traditionnelles et modernes utilisées pour extraire les eaux des nappes pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Elles font donc l'objet de notre étude qui porte essentiellement sur la qualité physicochimique de ces eaux.

Avec un climat continental semi-aride, la région de Tamlouka est caractérisée par une pluviométrie de l'ordre de 523.3 mm, avec une saison estivale chaude et sèche et un hiver froid et humide. Ce climat influe sur le bilan hydrique qui montre des valeurs très élevées de l'évapotranspiration favorisant l'accumulation des sels.

L'étude géologique permet d'identifier les diverses formations qui constituent le terrain notamment, celles des calcaires fissurés du Jurassique et des calcaires Crétacé-Eocènes au Nord de la plaine et les bordures de la cuvette. La plaine de Tamlouka occupe une situation structurale permettant de ressortir trois domaines ; le domaine Tellien, la plateforme Néritique Constantinoise et le Sillon des Sellaouas. Elle comprend le Plio-quadernaire composé principalement par une croûte de calcaire, d'argile et parfois de sables et graviers.

La corrélation entre la géologie et la géophysique montre que les formations hydrogéologiques considérées comme intéressantes se trouvent au niveau d'Ain Arko, le Nord de Tamlouka et les bordures de la cuvette. En effet, deux systèmes aquifères distincts ont été déterminés. Le premier se trouve au niveau du remplissage Mio-Plio-Quadernaire constitue la nappe superficielle, l'autre constitue la nappe profonde situé au niveau des formations carbonatées Jurassique-Crétacé.

Le traitement des données piézométriques fait ressortir un écoulement d'eau souterrain de Nord -Ouest vers Sud-Est, avec une productivité importante de la nappe superficielle au centre et notamment à l'aval. La nappe profonde (karstique) exploitée par quelques forages, obéit à la nature géologique calcaire.

Du point de vue hydrochimique, le faciès dominant est Sulfaté Calcique et Magnésien pour les puits captant la nappe superficielle et le forage (F) et le faciès Bicarbonaté calcique et magnésien pour les forages exploitant la nappe profonde.

Les bonnes corrélations entre le calcium et les chlorures, le calcium et les sulfates, les chlorures et les sulfates et le sodium avec les sulfates confirment l'influence des formations évaporitiques sur le chimisme des eaux de la région.

Conclusion Général et Recommandations

Les analyses réalisées, nous ont permis de constater une minéralisation élevée au Sud et au centre de la plaine. La variation spatiale des éléments chimiques diffère d'un élément à un autre, tandis que la variation spatiale des nitrates montre des valeurs assez élevées indiquant une pollution organique diffusante de la surface donc action polluant indéniable des activités anthropiques d'élevage et d'agriculture.

L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation nous a montré que les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka sont généralement de qualité médiocre pour l'utilisation à des fins agricoles. A l'exception de quelques points, l'étude de la potabilité indique qu'un nombre important des points d'eau souterraine de la nappe superficielle de la plaine de Tamlouka notamment en aval ne sont pas aptes à la consommation humaine. La contamination par les nitrates des puits captant la nappe superficielle est liée à différentes origines (lithologique et anthropique).

La contamination de la nappe est très accentuée à de faibles profondeurs (nappe superficielle) et l'éventualité de la contamination des eaux profondes est envisageable sérieusement, surtout avec l'exploitation systématique actuelle de ces dernières (nappe profonde).

Recommandations

Les recommandations ci-dessous visent à élucider certains problèmes qui ont été observés, à Préciser les incertitudes résultant de l'étude actuelle et à proposer des interventions en conséquence :

- Restaurer le système de Drainage des marécages afin d'éviter les problèmes d'inondation et de contamination des puits.
- Installer un réseau de piézomètres à travers la nappe, pour contrôler la fluctuation de la surface piézométrique, pour prendre les mesures de gestion conservatoires et appropriées de la nappe.
- Comme le système aquifère de la plaine de Tamlouka constitue la seule réserve hydrique Actuelle pour la région, il est recommandé de la recharger artificiellement avec les eaux de surface. Ceci ne pourrait avoir lieu qu'après la programmation d'études approfondies de géologie, de géophysique et d'hydrogéologie.
- Encourager les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles, puisqu'un lien significatif a été établi entre la présence de nitrates dans l'eau des puits et la zone d'agriculture intensive. Ce résultat est en soi un avertissement, puisque le seuil qui a été révélé atteste de l'influence indéniable des activités anthropiques.
- Maîtriser le stockage et l'utilisation des matières organiques résultant de l'élevage animal.

Conclusion Général et Recommandations

-Arrêter le déversement direct des rejets urbains et industriels au niveau de l'Oued El Maleh en réalisant un traitement préalable de ces effluents avant qu'ils atteignent les oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued.

-Rétudier l'emplacement des décharges ménagères des agglomérations en les installant loin Des zones vulnérables à la pollution, et ce pour éviter leurs effets sur les ressources hydriques.

-Réaliser une étude de modélisation des écoulements souterrains pour connaître les mécanismes de transfert des polluants, ce qui peut beaucoup aider à la protection de la nappe Contre la pollution.

Références Bibliographique

- ***ALGEO. 1979-** Etude géophysique dans la plaine de Tamlouka.
- ***BAALI F. (2007)-** Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi-aride. Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba.121p.
- ***BEN AAKAME R. 2015-** Caractérisation hydro-chimique, toxicologique et évaluation des risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem(Maroc), thèse de Doctorat, Université de Rabat, Maroc,202p.
- ***BOJOMLOV J. 1975-** Hydrogéologie et principes de la géologie appliquée.
- ***BOUGHOULA A. 1987-** Etude de la plaine de Tamlouka en vue de préciser sa structure hydrogéologique, Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie, université Annaba.
- ***BREMOND R. et PERRODON C. (1979)-** Paramètres de la qualité des eaux, 2ème édition. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie. 259p.
- ***CASTANY G. 1982-** Principes et méthodes de l'hydrogéologie ED DUNOD PARIS
- ***CHIBANI S. 2009-** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraines de la région de Ain Makhoul, Nord-est algérien, mémoire de magister, Université GUELMA.
- ***DJIDEL M. BOUGDAH H. DJORFI S. 2003-** Etude hydrogéologique de la plaine de Tamlouka, mémoire d'ingénieur, université ANNABA
- ***ELMEDDAHI Y. (2009)-** Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du Moyen Cheliff. Mémoire de Magister, Université Hassiba Ben Bouali- Cheliff.138p.
- * **CASTANY G.et MARGATA J. 1978-** Dictionnaire français d'hydrogéologie, B.R.C.
- ***GOUAIDIA L. (2008)-** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba. 131p.

- ***GRAMONT M. et LOMBARD J.P. (1966)**- Observations stratigraphiques et tectoniques dans la région du Djebel Djahfa, Publication du service de cartes géologiques, N.S., Alger, Algérie. Bull. No 35:27–49.
- ***GUEROUI Y. (2015)**- Caractérisation Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de L'aquifère Superficiel de la Plaine de Tamlouka (Nord-est Algérien), Thèse de Doctorat, eau santé et environnement, Université 8 Mai 45 Guelma. 179p.
- ***LACHAVANE. 1909**- Les fossiles tertiaires dans la région de GUELMA.
- ***LAHONDERE J.C. 1987**- Les séries ultra-telliennes, Algérie Nord orientale et les formations environnantes dans le cadre structural.
- ***LATER L. ET TERKI T. 1998**- Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de l'oued Djendjen (Wilaya de Jijel), Mémoire d'ingénieur, Université. Constantine, 176p.
- ***NOUAYTI N. KHATTACH D. HILALI M. 2015**- Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), J. Master. Environ. SCI. 6 (4) pp 1068-1081.
- ***REMINERAS-1986**- L'hydrogéologie de l'ingénieur.
- ***SCHOELLER H. 1962**- Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources, Masson, Paris, 642 p.
- ***SEBBAG I. et SAF S. 2014**- Qualité des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka, influence de la lithologie et de la géomorphologie, Mémoire d'ingénieur, université ANNABA.
- ***THORNTHWAITE C.W. MATHER JR, 1955**-The water balance. laboratory of climatology, publication in climatology. N°, 104 p.
- ***VILLA J.M. 1980**- La chaine alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat des sciences naturelles, PARIS.

Directions et bureaux :

*Direction d'hydraulique de la wilaya de Guelma (DHW).

*Station météorologique de Guelma

*Agence nationale des ressources hydrauliques de Constantine.

-Planches de références :

*Carte topographique au 1/50000 d'Ain Reggada.

*Carte topographique au 1/50000 d'Ain babouche.

*Carte géologique au 1/200000 de Constantine.

Résumé :

La plaine de Tamlouka est une zone à vocation agricole située à l'Est algérien ; elle appartient à la région des hautes plaines constantinoises. Dans cette région, les eaux souterraines représentent la principale source d'eau pour cela, une campagne de mesures piézométriques et des prélèvements des 'échantillons d'eau s'est effectué durant le mois de Mars 2017. L'examen de la carte piézométrique nous a permis de comprendre les fonctionnements du système aquifère et ses relations avec son environnement. Elle montre que l'écoulement suit parfaitement la topographie de la plaine ou le sens d'écoulement principal est de direction Sud- est, Nord- ouest. Notre but est la détermination des caractéristiques hydrogéologiques et physico-chimiques des eaux souterraines, et leurs usages. Pour atteindre cet objectif il est indispensable de connaître les conditions hydroclimatiques, lithologiques, géomorphologiques et hydrochimique de la région, à l'aide de l'utilisation et les traitements des différentes cartes. Notre étude montre que la zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride. Cependant, le caractère morphologique (cuvette) est le principal paramètre, ce qui traduit des conditions de drainage du bassin. Généralement les eaux souterraines de la plaine de Tamlouka présentent un faciès chimiques : bicarbonaté calcique et magnésien, potable et admissibles à l'irrigation.

Mots clés : les eaux souterraines, géomorphologique, hydrochimique, carte piézométrique, plaine de Tamlouka.

ملخص

يقع سهل تاملوكة في الشرق الجزائري وهو ذو طابع زراعي ينتمي إلى منطقة المرتفعات القسنطينية. وفي هذه المنطقة تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي للمياه بحيث النمو الصناعي وخاصة الزراعي المرتبط بالنمو الديموغرافي يساهم شيئا فشيئا في خفض جودة واحتياطات هذه المصادر. وان الهدف من هذه الدراسة هو التحقق من الوضعية الحالية لنوعية المياه الجوفية، ولهذا الغرض قمنا بخرجة ميدانية خلال شهر مارس 2017 لقياس مستوى المياه الجوفية وكذلك اخذ عينات من المياه. إن دراسة الخريطة البيزومترية يسمح لنا أن نفهم طريقة تحرك المياه الجوفية وعلاقته مع العوامل الخارجية هذه الأخيرة تظهر لنا بان تدفق المياه الجوفية يتبع تضاريس السهل حيث اتجاه التدفق الرئيسي من الجنوب الشرقي نحو الشمال الغربي ، ونهدف في هذه الدراسة إلى تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية، وميادين استعمالها ولتحقيق ذلك لا بد من معرفة الخصائص الهيدرولوجية، الصخرية الجيومورفولوجية و الهيدروكيميائية للمنطقة بالاستعانة بعدة وسائل و تقنيات منها استعمال مختلف الصور الفضائية و النموذج الرقمي للأراض. هذه الدراسة توضح أن سهل تاملوكة يمتاز بمناخ شبه جاف، و تعتبر الخصائص المورفولوجية لحوض المياه هي العامل الرئيسي الذي يعكس ظروف التغذية و التمثين بالمياه لهذا الحوض، عموما سهل تاملوكة ذو صيغة كيميائية (بيكربونات المغنيزيوم-بيكربونات الكالسيوم) صالحة للشرب ومقبولة للري.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الجيومورفولوجية، الهيدروكيميائية، الخريطة البيزومترية، سهل تاملوكة.

Abstract:

Plain Tamlouka is an agricultural area located in eastern Algeria; it belongs to the region of the high plains of Constantine. In this region, groundwater is the main source of water. The industrial and especially agricultural development, reduced population growth associated with increasing the quantity and quality and potential of these reserves. The objective of this works is to check the current status of the groundwater chemistry of the plain. for this , a campaign piezometric measurements and water sampling was carried out during the month of March 2017. The review of the piezometric map allowed us to understand the hydrodynamics of the aquifer system and its relationship with its environment. Its shows that flow perfectly follows the topography of the plain where the main flow direction is North-west, south-east, To achieve this goal it is essential to know the Hydroclimatic, lithological, geomorphological and water chemistry in the region, with the use and processing of satellite images (Landsat8). Our study shows that the study area is characterized by a semi- arid climate. However, themorphological character (bowl) is the main parameter, reflecting the basin drainage conditions. Generally groundwater in the plain of Tamlouka have a bicarbonate chemical facies and sulfated, drinking and qualify forirrigation.

Key words: groundwater, geomorphological, water chemistry, piezometric map, plain Tamlouka.