

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : "Sciences de la Terre et de l'Univers"

Filière : "Géologie"

Spécialité : "Hydrogéologie "

Thème :

**Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique
de la région de Lardjem (Wilaya de Tissemesilt)**

Présentés et soutenus publiquement par :

1-M^{lle}.KANIT HAFIDHA

2-M^{ell}.KASRI DALILA

JURY:

Président : M. MEBARKI K . MAA université de TIARET

Promoteur : M. MOUCHARA N. MAA université de TIARET

Examineur : M. BOTOUGA .F MAA université de TIARET

Année universitaire : 2019/2020

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant, le Très Miséricordieux, qui nous a aidés et nous a donné le courage et la volonté d'accomplir ce modeste travail.

Tout d'abord, nous exprimons nos sincères remerciements et notre sincère gratitude et appréciation au monsieur MOUCHARA Nabil notre promoteur, qui nous a honorés en acceptant la supervision de ce mémoire et pour son soutien et ses précieux conseils, et c'était l'exemple du l'enseignant dans lequel l'attribut de la connaissance et de l'éthique est combiné, que Dieu le bénisse et vous garde serviteur de la connaissance et de la bonté.

Nous tenons à remercier pleinement les membres de jury, monsieur MEBARKI.K, d'avoir fait l'honneur de présider ce jury, et monsieur BOUTOUGA, pour avoir bien voulu examiner ce mémoire.

Nous remercions l'ensemble des travailleurs de la Direction des Ressources en Eau de Tissemsilt (MECIF F, METENE A, Mr.BOUALAM MENJAS et NASSAH.M), et le directeur de l'ANRH de Tiaret, qui ont été très généreux en donnant beaucoup d'informations, qui ont aidé à réaliser cette mémoire.

Nous tenons à remercier encore nos enseignants du département des sciences de la terre.

Nous n'oublions pas de remercier nos familles pour leurs prières, leur soutien et leur amour tout au long de ces années.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou loin à la réalisation de ce travail de fin d'étude.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à:

À la personne la plus gentille et la plus affectueuse que j'ai connue, et je ne connaîtrai jamais personne d'autre dans ma vie, ma chère mère, que Dieu tout-puissant la protège.

À mon cher père, que Dieu le protège.

À ma chère, seule sœur SAMIA.

À mes chers frères SAID, FATHI et FAWZI.

À mon promoteur Nabil MOUCHARA, la personne la plus compréhensive et serviable que j'ai connue de ma vie.

À ma copine Dalila KASRI, à cause de toi je ris un peu plus fort, pleure un peu moins et souris beaucoup plus.

À mes meilleurs amis: Fatima, Farida, Zoulikha, Amel et Farida.

Et enfin à tous ceux que j'aime et m'aime.

HAFIDHA

DIDICACE

Je ne offrir le résultat de mon travail qu'à la possession la plus précieuse de mes parents Dieu prolonge ta vie .

*Chers frères YOUCEF . MOHAMMED . AHMED et
YOUNES*

*A ma sœur Nawal et le bouclier est présent à chaque pas de
ma sœur WAFAA.*

*Au mon encadreur Mr. MOUCHARA.N mille mercis pour
votre confiance en nous pour faire ce travail.*

*A mon chère et ami HAFIDHA KANTI ... merci d'être
dans ma vie.*

A mes proches amis ZOULIKHA . AMEL et FARIDA .

*Enfin merci à tous qui m'ont encouragé et qui se tenaient à
mes cotés .*

DALILAK

Résumé :

La région de Lardjem est située à l'ouest de la wilaya de Tissemsilt, caractérisée par une potentialité hydrique limitée et dynamique agricole assez importante avec un climat semi-aride qui l'entrave, et qui accroît la demande en besoins en eaux. Or dans cette zone, les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau potable et en eau d'irrigation pour la population rurale et urbaine.

L'objectif de ce travail est, d'une part, d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la zone d'étude et de les comparer aux normes algériennes de potabilité. D'autre part de connaître le potentiel hydrique sur le plan hydrogéologique de cette région. Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des 09 sources, montrent que les eaux des sources d'Ain Laabais 1, Ain Laabais 2, Ain Elssoulete, Ain Massouse et Ain Elbouagra présentent une mauvaise qualité physico-chimique et bactériologique à cause des concentrations élevées en Nitrates et de Manganèse et le taux de germes et qui contiennent d'indicateur de pollution fécale et qui nécessitent un traitement spécifique et une désinfection.

Les autres sources analysées présentent une bonne qualité physico-chimique et bactériologique vis à vis les paramètres analysés, et les valeurs des concentrations des éléments sont inférieures en comparaison avec les normes algériennes pour l'eau potable.

Mots-clés : Région de Lardjem, eaux souterraines, qualité physico-chimique, sources, pollution, qualité bactériologique.

ABSTRACT

The Lardjem region is located to the west of the wilaya of Tissemsilt, characterized by limited water potential and fairly significant agricultural dynamics with a semi-arid climate which hinders it, and which increases the demand for water needs. In this area, groundwater is the main source of drinking water and irrigation water for the rural and urban population.

The objective of this work is, on the one hand, to assess the physicochemical quality of the groundwater in the study area and to compare it with Algerian standards for potability. On the other hand to know the water potential on the hydrogeological plan of this region.

The results of the physico-chemical and bacteriological analyzes of the O9 sources show that the waters of the sources of Ain Laabais 1, Ain Laabais 2, Ain Elssoulete, Ain Massouse and Ain Elbouagra present a bad physicochemical and bacteriological quality because of the concentrations high in Nitrates and Manganese and the rate of germs and which contain an indicator of faecal pollution and which require specific treatment and disinfection.

The other sources analyzed present a good physicochemical and bacteriological quality with respect to the analyzed parameters, and the values of the concentrations of the elements are lower in comparison with the Algerian standards for drinking water.

Key-words: Lardjem region, groundwater, physico-chemical quality, sources, pollution, bacteriological quality.

ملخص

تقع منطقة لرجام في غرب ولاية تيسمسيلت ، وتتميز بإمكانيات مائية محدودة وديناميكيات زراعية مهمة إلى حد ما مع مناخ شبه جاف يعيقها ويزيد من الطلب على الاحتياجات المائية. في هذه المنطقة ، تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي لمياه الشرب ومياه الري لسكان الريف والحضر.

الهدف من هذا العمل ، من ناحية ، هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة ومقارنتها بالمعايير الجزائرية لصلاحية الشرب. من ناحية أخرى ، معرفة إمكانات المياه على المخطط الهيدروجيولوجي لهذه المنطقة.

تظهر نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لـ 09 منابع أن مياه منابع عين لعبيس 1 وعين لعبيس 2 وعين السوايت وعين ماسوس وعين البواجرة تظهر جودة فيزيائية كيميائية وبكتريولوجية رديئة بسبب التركيزات العالية في النترات والمنجنيز ومعدل الجراثيم والتي تحتوي على مؤشر لتلوث البراز والتي تتطلب معالجة وتطهير خاص.

تقدم المصادر الأخرى التي تم تحليلها جودة فيزيائية وكيميائية وبكتريولوجية جيدة فيما يتعلق بالمعايير التي تم تحليلها ، وقيم تراكيز العناصر أقل مقارنة بالمعايير الجزائرية لمياه الشرب.

الكلمات المفتاحية: منطقة لرجام ، المياه الجوفية ، الجودة الفيزيائية والكيميائية ، منابع المياه ، التلوث ، الجودة البكتريولوجية.

Listes des abréviations :

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

ADE : Algérienne Des Eaux

AEP : Alimentation en eau potable

ANRH : Agence Nationale des ressources hydriques

C° : Degré Celsius

CE : Conductivité électrique

DPSB : Direction de la préparation et du suivi du budget

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

MES : Matières en suspension

MO : Matière organique

NO₂ : Nitrites

NO₃ : Nitrate

NTU : Néphélométrie turbidité unit

OMS : Organisation mondial de la sante

SEV : Sondage électrique vertical

T : Température

P : Précipitation

Us/cm : Micro siemens par centimètre

UTM : Universal Transverse Mercator (Transverse Universelle de Mercator)

Liste du figures :

Chapitre I : Cadre physique et géologique de la zone d'étude :

N° figure	Titre de la figure	Page
Figure1	Carte de la situation géographique de la wilaya de Tissemsilt	1
Figure2	Carte de la situation géographique de la daïra de Lardjem	2
Figure3	Evolution de la population des communes de la daïra de Lardjem.	4
Figure4	Carte de répartition de la population de la wilaya de Tissemsilt	4
Figure5	Carte altimétrique (m) de la zone d'étude (Daïra de Lardjem).	5
Figure6	Carte des pentes (°) de la zone d'étude (Daïra de Lardjem).	6
Figure7	Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude (Daïra de Lardjem)	7
Figure8	Extrait de la carte géologique de la zone étudiée (ANRH, 2008)	9
Figure9	Tableau montrant la série synthétique de la zone d'étude	13

Chapitre II : Etude hydro-climatologique :

Figure10	Le sous bassin versant « bassin de Oued Sly »	16
Figure11	Les cours d'eau qui formée le sous bassin versant de Oued Lardjem	29
Figure12	Variations moyenne mensuelles des précipitation (1986-2018)	21
Figure13	Répartitions saisonnières des précipitations (mm)	22
Figure14	Précipitations moyennes annuelles (mm) t le CP (mm) 1986-2018	24
Figure15	Variations moyennes mensuelles des températures (1986-2018) .	26
Figure16	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de les stations de TISSEMSILET et AIN BOUCHAKIF .	27
Figure17	Abaque de l'indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE 1923 de la station d'étude (1986-2018) .	28

Chapitre III : Aperçu hydrogéologique :

Figure18	Extrait de la carte hydrogéologique de la zone d'étude (Daïra de Lardjem) (ANRH, 2008)	35
----------	--	----

Figure19	Coupe schématique de corrélation des logs stratigraphiques des forages de la zone d'étude	38
Figure20	a: Les sondages électriques et les logs stratigraphiques correspondants de la région d'étude.	39
	b: Les sondages électriques et les logs stratigraphiques correspondants de la région d'étude.	40
Figure21	Répartition spatiale des points d'eau de la région de Lardjem	44
Figure22	Caractéristiques et données du forage F1 à la région d'El Melaab	46
Figure23	Courbes de remontée du forage F1 El Melaab	47
Figure24	Carte d'inventaire des puits dans la zone de Lardjem (Dahri A. et Hammoul M.A.,2015)	49
Figure25	Carte piézométrique de Lardjem (Période des hautes eaux, Mars 2015) (Dahri A. et Hammoul M.A.,2015)	50

Chapitre VI : Etude hydro-chimique :

Figure26	Histogramme des résultats de la température (°C) des sources.	55
Figure27	Histogramme des résultats de potentiel d'Hydrogène (PH) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	56
Figure28	Histogramme des résultats de la conductivité électrique des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	57
Figure29	Histogramme des résultats de la turbidité des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	58
Figure30	Histogramme des résultats de l'ammonium (NH₄⁺) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	59
Figure31	Histogramme des résultats des nitrates (NO₃⁻) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	60
Figure32	Histogramme des résultats des Nitrites (NO₂⁻) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	61
Figure33	Histogramme des résultats de Fer (mg/l) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	62
Figure34	Histogramme des résultats de Manganèse (Mn⁺²) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	63
Figure35	Histogramme des résultats de matière organique (MO) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	64
Figure36	Histogramme des résultats de coliformes totaux des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	65
Figure37	Histogramme des résultats des <i>E. Coli</i> des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	66
Figure38	Histogramme des résultats des Streptocoques fécaux des eaux des points	67

	de prélèvement de la région de Lardjem	
Figure39	Histogramme des résultats des Sulfito-réducteurs des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem	72

liste du tableaux :

Chapitre I :Cadre physique et géologique de la zone d'étude :

N° tableau	Titre de tableau	Page
Tableau1	Présentation de la wilaya de Tissemsilt	1
Tableau2	Evolution de la population de la daïra de Lardjem.(DPSB, 2019)	3

Chapitre II : Etude hydro-climatologique :

Tableau3	Calculs du caractéristiques hydrologique des sous bassins versants	20
Tableau4	Caractéristiques géographiques de la station météorologique Tissemsilt.	20
Tableau5	Variations moyennes mensuelles des précipitations	21
Tableau6	Variations moyennes saisonnières des précipitations .	22
Tableau7	Précipitations moyennes annuelles (mm) et coefficients pluviométriques CP (1986-2018) .	23
Tableau8	Variations moyennes mensuelles des températures	25
Tableau9	Le bilan hydrique d'après la méthode de C. W. THORNTHWITE	31

Chapitre III : Aperçu hydrogéologique :

Tableau10	Echelle de résistivité adoptée de formation d'après les sondages Paramétriques	41
Tableau11	Choix d'implantation d'éventuel forage dans la région d'El Melaab	41
Tableau12	Liste des puits publics destinés à l'AEP des agglomérations	42
Tableau13	Liste des forages en exploitation dans la zone d'étude	43
Tableau14	Liste des sources de la zones d'étude	43

Chapitre V : Etude hydro-chimique :

Tableau15	: Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine avec valeurs limites (Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.)	53
Tableau16	Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine avec valeurs indicatives (Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.)	54

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste d'abréviation	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	

CHAPITRE I

Cadre physique et géologique de la zone d'étude

I.1.Situation géographique	1
I.1.1.Situation géographique de la wilaya de Tissemsilt.....	1
I.1.2.Situation géographique de la daïra de Lardjem	2
I.2.ETUDE DEMOGRAPHIQUE	3
I.2.1.Evolution de la population	3
I.2.1.1.Population de la daïra de Lardjem	3
I.3.Relief.....	5
I.4.Couverture végétale	6
I.5.Secteur agricole.....	6
I.6.Réseau hydrographique.....	7
I.7.CADRE GEOLOGIQUE	8
I.7.1.Introduction.....	8
I.7.2.Cadre géologique régionale	8
I.7.3.Etude litho stratigraphique	8
I.7.3.1.Le Paléozoïque.....	10
I.7.3.2.Le Mésozoïque.....	10
I.7.3.2.1. Le Trias :	10
I.7.3.2.2. Le Jurassique :	10
I.7.3.3.Le Cénozoïque	10

I.7.3.3.1. L'Eocène:	10
I.7.3.3.2.le crétacé	11
I.7.3.3.3. Le Miocène	11
I.7.3.2.3. Le Crétacé :	11
I.7.3.3.4. Le Pliocène :	12
I.7.3.4.Le Quaternaire :	12
I.8.La phase tectonique.....	14
I.9.CONCLUSION.....	14

CHAPITRE II

Etude hydro-climatique

II.1.Introduction	15
II.2.Hydrologie	15
II.2.1.les caractéristiques morphologiques du bassin versant	15
II.2.1.1.Indice de compacit ou coefficient de Gravélius KG :	16
II.2.1.2.La rectangle équivalent :	17
II.2.1.3. Indice de pente globale Ig :	17
II.2.1.4.Dénevelée spécifique Ds	18
II.2.1.5. Réseau hydrographique :	18
II.2.1.6. Densité de drainage Dd :	18
II.3.Climatologie	20
II.3.2. Les factures climatique.....	20
II.3.2.1.Analyse des précipitations	21
II.3.2.1.1. Variations moyennes mensuelles des précipitations :	21
II.3.2.1.2. Variations moyennes saisonnières des précipitations :	22
II.3.2.1.3. Coefficient pluviométrique (CP) :	23
II.3.2.2. L'analyse des températures :	25
II.3.2.2.1. Variations moyennes mensuelles des températures :	25
II.3.2.2.2. Diagramme pluvio-thermique de Gaussen	26
II.3.2.2.3.Indice d'aridité de De Martonne	26
II.3.3. Le Bilan hydrique	27
II.3.3.1. Estimation des paramètres du bilan :	28
II.3.3.1.1. L'évaporation –évapotranspiration.....	28

II.3.3.1.2. Evapotranspiration potentielle (ETP) :	28
II.3.3.1.3. Evapotranspiration réelle (ETR) :	28
II.3.3.1.4. Le ruissellement	30
II.3.3.1.5. L'infiltration	30
II.3.3.2. Interprétation du bilan hydrique :	32
II.4. Conclusion	32

CHAPITRE III

Aperçu hydrogéologique

III.1. Introduction	33
III.2. Identification des aquifères	33
III.2.1. La nappes phréatique (superficielle)	33
III.2.1.1. Les alluvions d'Oued Lardjem	33
III.2.2. Les nappes profondes	34
III.2.2.1. L'aquifère des calcaires Jurassiques et Crétacé	34
III.2.2.2. L'aquifère des grès	34
III.3. Etude géophysique :	36
III.3.1. Introduction	36
III.3.2. Principe de mesure	36
III.3.3. Mise en œuvre	36
III.3.4. Localité des sondages électriques réalisés	37
III.3.5. L'interprétation des mesures géo-électriques	38
III.4. Les ressources souterraines mobilisées	41
III.4.1. Les puits	41
III.4.2. Les forages	42
III.4.3. Les sources	43
III.5. Les caractéristiques hydrodynamiques	45
III.5.1. Introduction	45
III.5.1. Transmissivité	45
III.5.2. Coefficient d'emmagasinement	45
III.5.3. L'interprétation des paramètres hydrodynamiques	45
III.5.3.1. Forage F1 à El Melaab	45
III.6. LA PIEZOMETRIE	48
III.6.1. Définition	48

III.6.2. Inventaire des points d'eau	48
III.6.3. La carte piézométrique	49
III.6.4. Interprétation de carte piézométrique.....	50
III.6.4.1. Gradient hydraulique.....	50
III.7. Conclusion.....	51

CHAPITRE IV

Etude hydro-chimique

IV.1. Introduction	52
IV.2. L'objectif du travail	52
IV.3. Les données des points d'eau	52
IV.4. Les analyses de l'eau	52
IV.4.1. Les paramètres physiques	55
IV.4.2. Les paramètres de pollution	58
IV.4.2.1. Les éléments nutritifs	58
IV.4.2.2. Les éléments traces métalliques	61
IV.4.2.3. Les éléments organiques	63
IV.4.3. Les paramètres bactériologiques	64
IV.4.3.1. Coliformes Totaux	64
IV.4.3.2. <i>Escherichia coli</i> (<i>E. Coli</i>).....	65
IV.4.3.3. Streptocoques fécaux	66
IV.4.3.4. Sulfito-réductrices	67
IV.5. Conclusion	69

Conclusion générale

Références bibliographique

Annexe

Introduction générale

Introduction générale

La région de Lardjem occupe une position de Nord-Ouest de la wilaya de Tissemsilt.

Elle fait partie de la chaîne de montagne de l'Ouarsenis dans l'Atlas Tellien, qui, à son tour, caractérise par la diversité de ces formations lithologiques et stratigraphiques; et elle célèbre par la présence de la plus longue vallée d'Oued Lardjem du grand bassin versant de Oued Sly. La détermination des ressources en eau et leurs disponibilités potentielles est étroitement liée au comportement hydrologique du bassin versant.

Le secteur étudié est une zone montagneuse d'une structure géologique très complexe et un relief très accidenté, ce qui rend l'exploitation des eaux souterraines très faible. Néanmoins la présence de petites structures composées de roches perméables, ainsi d'un réseau de sources très dense, donne une quantité d'eau appréciable qui sert à l'alimentation en eau potable la population de la zone éparse.

Dans ce contexte, et sur la base des données collectées dans la région, l'objectif de ce travail est de définir les domaines hydrogéologiques, et l'étude hydro-chimique des sources pour déterminer leur qualité et leur aptitude à la consommation humaine.

Ce travail a été réalisé en quatre (04) chapitres, à savoir:

- ✓ 1^{ère} chapitre: s'articule autour des caractéristiques physiques et géologiques et la description de la litho-stratigraphie et les mouvements tectoniques de la région d'étude.
- ✓ 2^{ème} chapitre: pour l'étude des caractéristiques hydrologiques du bassin versant, et les propriétés climatologiques de la région d'étude.
- ✓ 3^{ème} chapitre: déterminer tous les données hydrogéologiques, qui sont représentées dans: les caractéristiques des nappes aquifères et le sens d'écoulement des eaux souterraines, ainsi que l'étude géophysique et hydrodynamique.

- ✓ 4^{ème} chapitre: l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de sources, et l'évaluation de la qualité des eaux de la région d'étude.

Chapitre I :

Cadre physique et géologique de la zone d'étude

**Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la région
de Lardjem (Wilaya de Tissemsilt)**

I.1.SITUATION GEOGRAPHIQUE

I.1.1.Situation géographique de la wilaya de Tissemsilt

Tissemsilt est une wilaya à vocation exclusivement agropastorale nichée en pleins Hauts-plateaux dans leur partie occidentale. Elle se situe au centre du pays à 220 km d'Alger et à 300 km de la capitale de l'Ouest algérien, Oran.

Elle est limitée (**Figure n°01**):

- Au Nord, par les wilayas d'Ain Deflaet Chélif.
- A l'Est, par la wilaya de Médéa.
- A l'Ouest, par la wilaya de Relizane.
- Au Sud, par les wilayas de Tiaret et Djelfa.

Tableau .1 : Présentation de la wilaya de Tissemsilt

Superficie (km ²)	Population 2019 (hab.)	Nombre de daïras	Nombre de communes
3151.37	362229	8	22

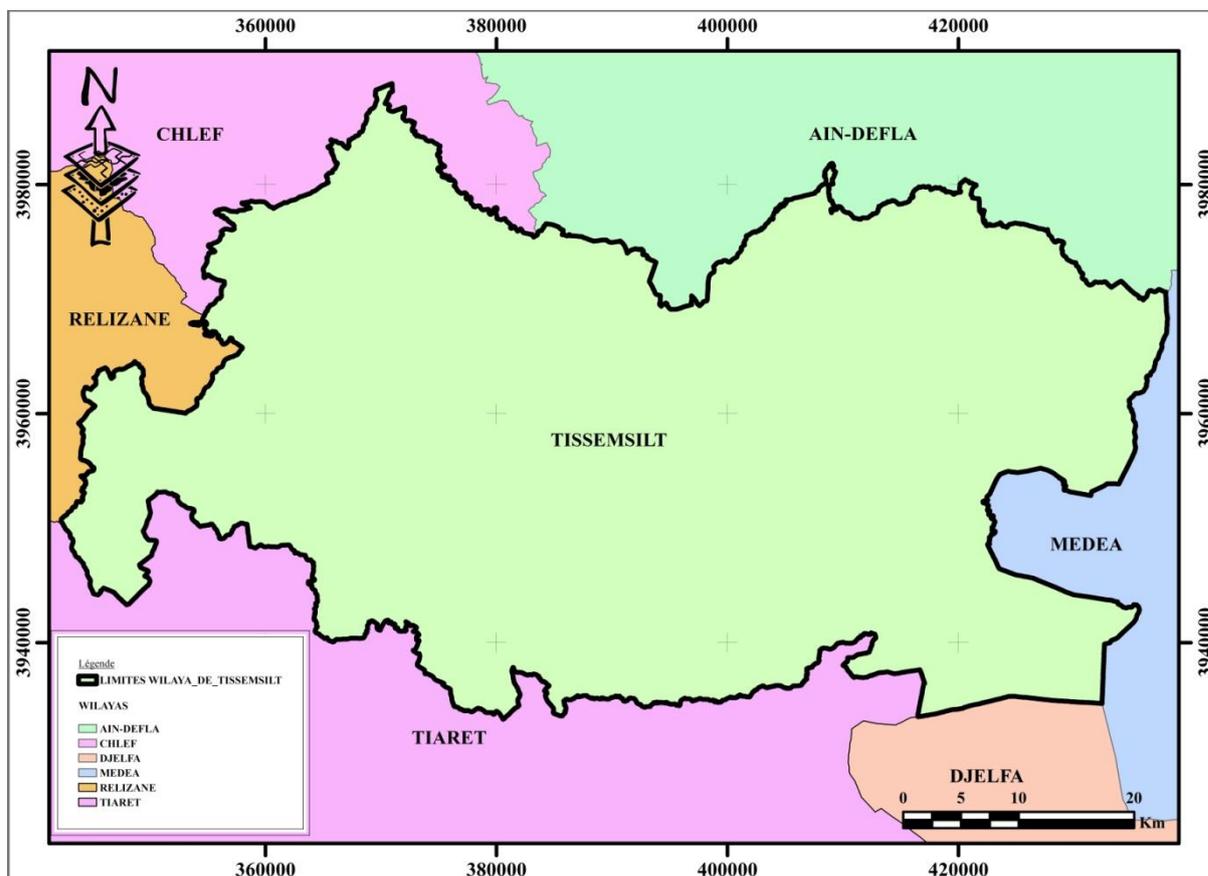


Figure 1 : Carte de situation géographique de la wilaya de Tissemsilt.

I.1.2. Situation géographique de la daïra de Lardjem

La région de Lardjem a été érigée en daïra, ses communes correspondantes sont : Lardjem, Melaab, Sidi Lantri et Tamellahet.

La localité de cette daïra est située au Nord-Ouest de la wilaya de Tissemsilt. Elle s'étend sur une superficie de 589.72 km², et limitée par les coordonnées UTM suivantes :

$$X_{\min} = 341922 \text{ m} \quad \text{et} \quad X_{\max} = 379575 \text{ m}$$

$$Y_{\min} = 3942848 \text{ m} \quad \text{et} \quad Y_{\max} = 3974391 \text{ m} \text{ (zone 31N).}$$

Elle est limitée (**Figure n°02**):

-Au Nord, par les communes de Larbaa, Lazharia et Bordj Bounaama, et par la wilaya de Chélif.

-A l'Est, par les communes de BéniLahsen et Sidi Abed.

-A l'Ouest, par la wilaya de Relizane.

-Au Sud, par la commune de Maacem, et la wilaya de Tiaret.

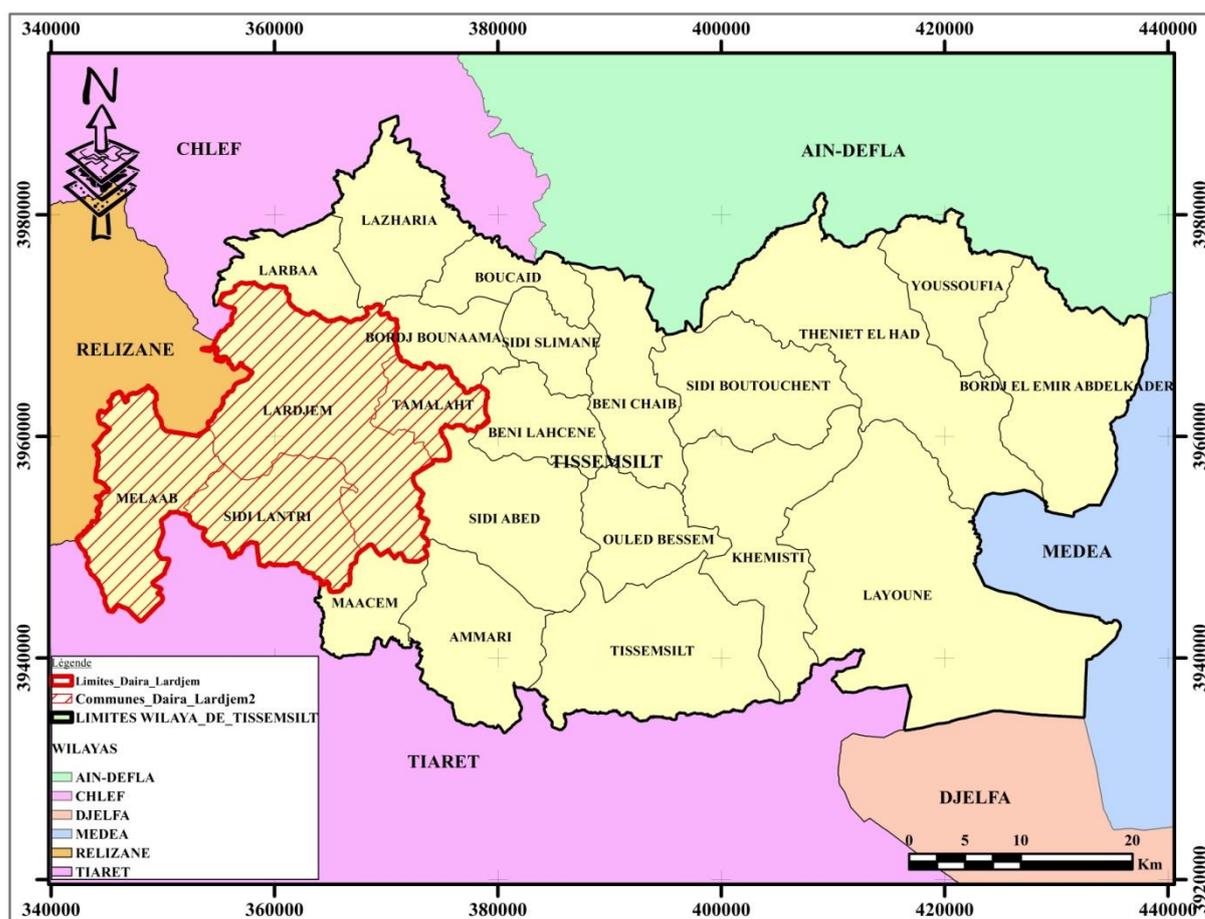


Figure2 : Carte de situation géographique de la daïra de Lardjem.

I.2.ETUDE DEMOGRAPHIQUE

I.2.1.Evolution de la population

Pour traiter les données de la démographie de la daïra de Lardjem, nous utiliserons les données de la Direction de la Programmation et Suivi Budgétaire de la wilaya de Tissemsilt (DPSB) à la fin de l'année 2019.

Dans notre étude, nous étudions l'évolution de la population des différentes communes incluses dans cette daïra (Lardjem, Melaab, Sidi Lantri et Tamellahet).

I.2.1.1.Population de la daïra de Lardjem

La population totale de la daïra de Lardjem est estimée à la fin de l'année de 2019 à 49236 habitants, et un taux d'accroissement annuel de l'ordre de 1,36%.

La densité de la population est estimée à 83 hab/km².

Le tableau ci-dessous (tableau n°02) représente l'évolution de la population de la daïra de Lardjem.

La distribution de la population par dispersion fait ressortir que 47,73% des habitants vivent dans les Chefs-lieux, 13,21% des habitants dans les agglomérations secondaires, et 39,06% dans la zone éparse.

Tableau 2 : Evolution de la population de la daïra de Lardjem. (DPSB, 2019)

Commune \ Année	Population en 1987	Population en 1998	Population en 2008	Population en 2019
Lardjem	20 918	23 151	25 217	30 937
Melaab	7801	3301	3447	3520
Sidi Lantri	10 554	4945	6053	5925
Tamellahet	6308	7493	7645	8854
Total daïra	45 581	38 890	42 362	49 236

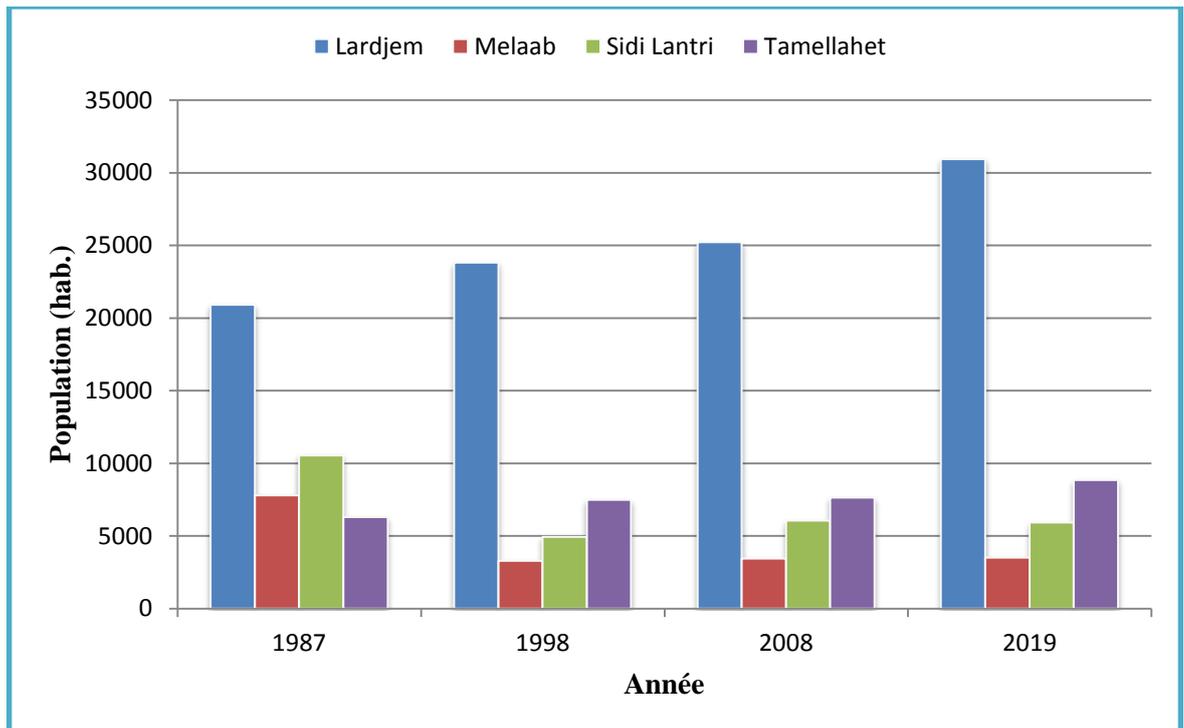


Figure3 : Evolution de la population des communes de la daïra de Lardjem.

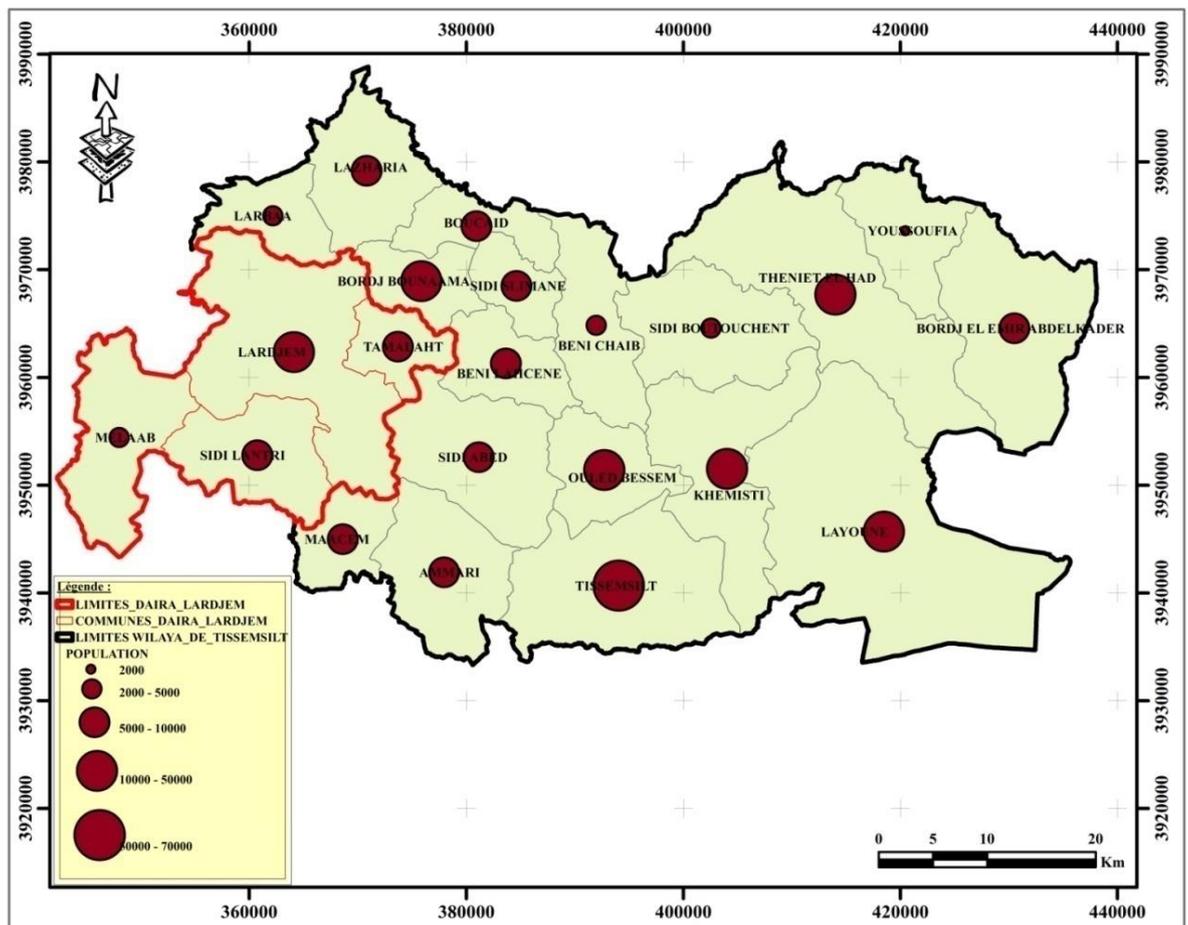


Figure 4 : Carte de répartition de la population de la wilaya de Tissemsilt.

I.3. Relief

De point de vue géomorphologique, le site étudié fait partie de la chaîne de montagne de l'Ouarsenis dans l'Atlas Tellien.

Le relief montagneux est très accidenté, où caractérisé par les formations de montagnes et de collines, l'altitude moyenne de ce relief est de 800m, le point culminant est à 1262 m (limitée entre la région de Melaab et Sidi Lantri), et le point le plus bas est à 377m (présentée dans la région de Lardjem et Melaab) (**Figure n°05**). Les pentes sont généralement supérieures à 18° (**Figure n°06**), c'est-à-dire les pentes sont fortes, donc, elles accélèrent le ruissellement (vitesse d'écoulement) et défavorise l'infiltration vers les nappes d'eau souterraine.

Le reste de territoire de la région (la partie Ouest) est constitué par des zones de piémonts.

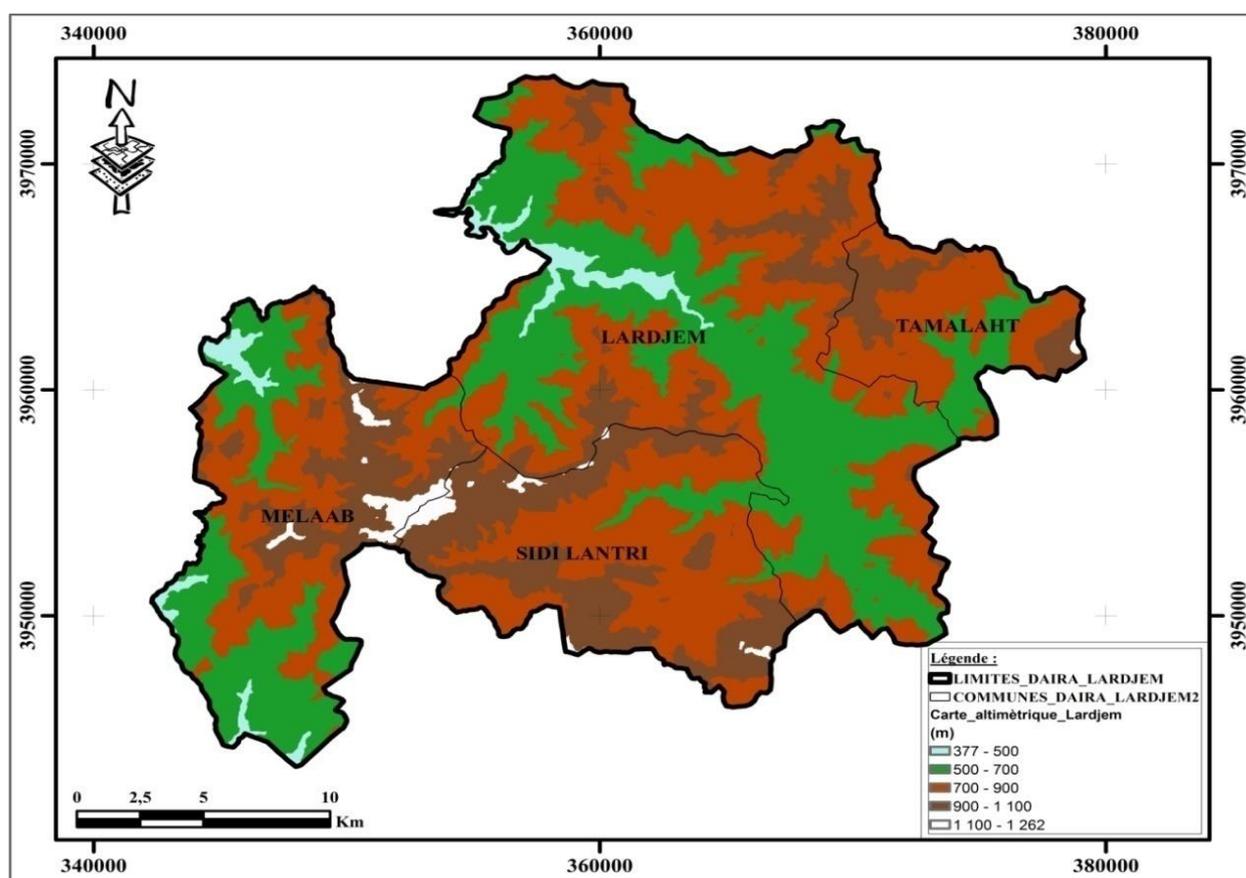


Figure 5: Carte altimétrique (en m) de la zone d'étude (Daïra de Lardjem).

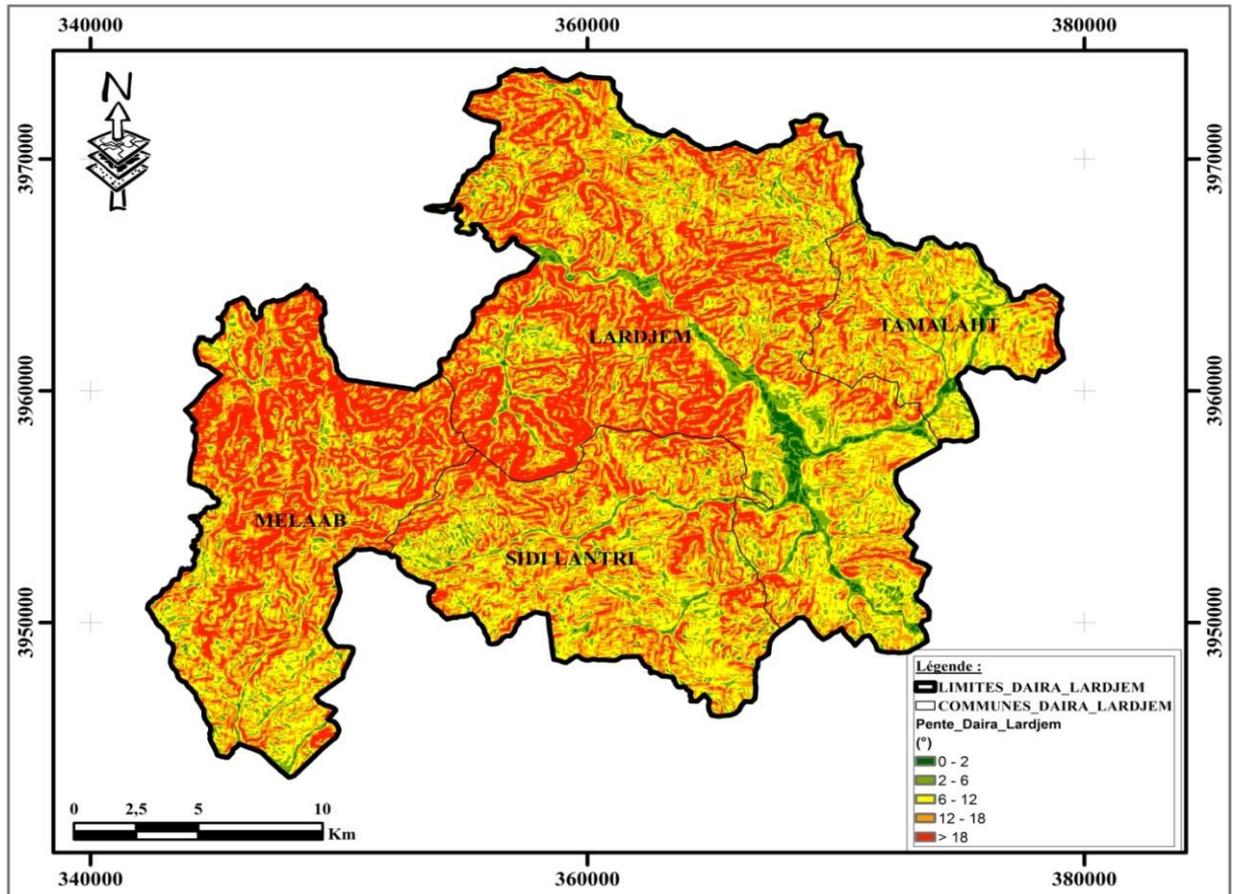


Figure 6: Carte des pentes (°) de la zone d'étude (Daïra de Lardjem).

I.4. Couverture végétale

Le manteau forestier demeure sans doute l'élément le plus remarquable du secteur d'étude, il s'étend sur une superficie totale de 29 419,69 ha.

Il est constitué par des formations très variées, on trouve le Pin d'Alep qui est l'espèce dominante dans la superficie forestière. Il y a aussi les formations de Chêne vert et Thuya qui dominent sur les forêts de la région de Lardjem, et la formations d'Oléastre qui caractérise les forêts de la région de Sidi Lantri.

I.5. Secteur agricole

L'agriculture est le secteur le plus important dans la région étudiée, les terres agricoles sont estimées à 17 581 ha, dont 15 607 ha comme une superficie agricole utile, et 926,21 ha comme surface irriguée.

Le côté agricole est basé sur la production de céréales, de fourrage, des légumes secs et l'arboriculture. Cette spécificité est déterminée grâce à la diversité de ses terres (plaines et monts).

Les terres de parcours et de pacages occupent environ 1611 ha, et les terres improductives des exploitations agricoles occupent une superficie de 363 ha.

I.6. Réseau hydrographique

Conséquence d'un relief montagneux, la région d'étude constitue une dépression entourée par un important réseau hydrographique. Elle est entourée de deux Oueds importants, l'Oued Tamellahet au Nord venant du Nord Est, et l'Oued El Mellah à l'Ouest venant du Sud, au niveau duquel se divise dans l'Oued Lardjem (**Figure n°07**).

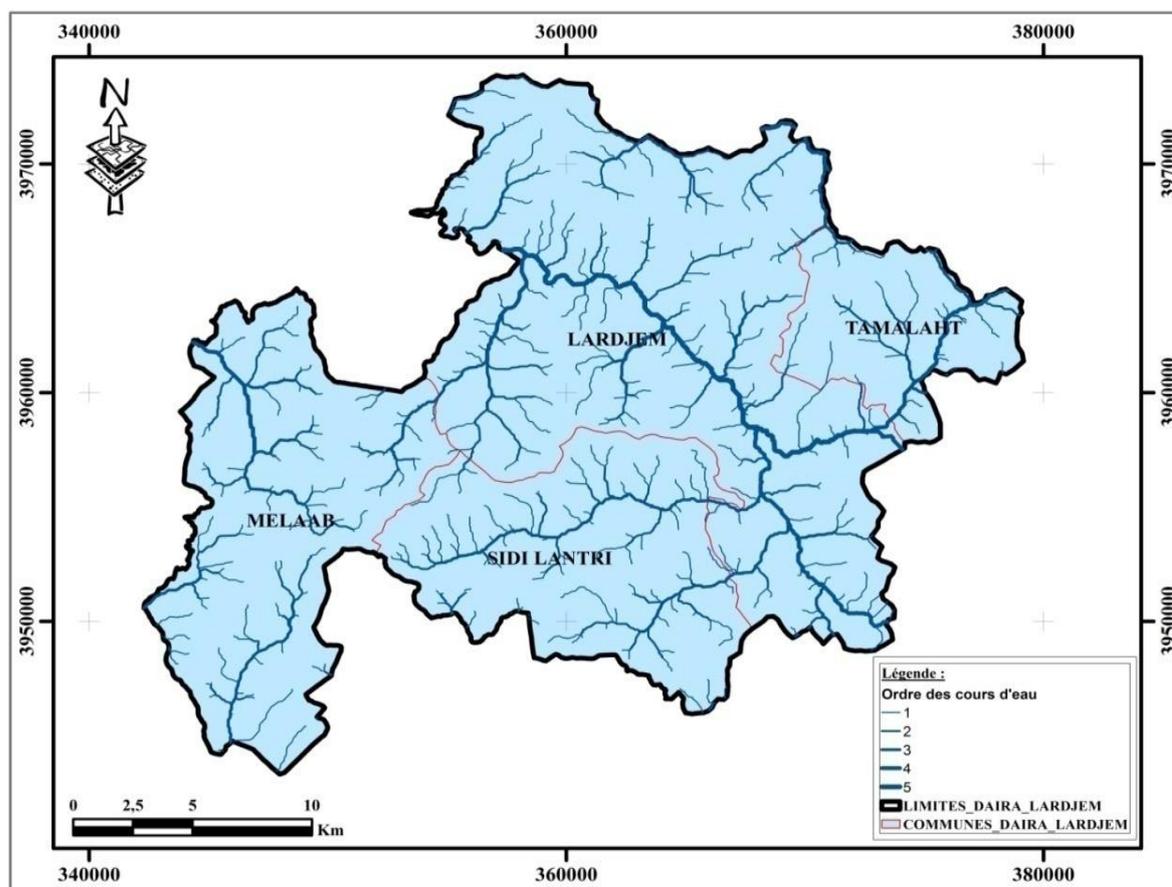


Figure 7: Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude (Daïra de Lardjem).

I.7.CADRE GEOLOGIQUE

I.7.1.Introduction

L'étude géologique a pour objectif de connaître l'histoire, la structure et l'évolution des couches internes et externes de la terre.

La zone d'étude fait partie de la chaîne de montagne de l'Ouarsenis dans l'Atlas Tellien.

La série stratigraphique de ce massif est constituée par des formations géologiques caractérisées par la diversité et la complexité.

Dans cette étude, nous détaillerons ces différentes formations et les mouvements tectoniques qui caractérisent la géologie de la région.

I.7.2.Cadre géologique régionale

De point de vue géologique, la région d'étude qui représente les communes de la daïra de Lardjem, elle s'insère dans l'évolution de la chaîne de montagne de l'Ouarsenis laquelle constitue un vaste massif Tellien.

-Limité au Nord, par la vallée de l'Oued Chélif.

-Vers l'Ouest, le massif limité par les monts de Béni Chougrane et les monts de la Mina.

-Vers l'Est, limité par les monts de Bibans (Médéa).

-Au Sud, le massif délimité par les hautes plaines et le plateau Sersou.

Le massif de l'Ouarsenis au Grand Pic "Kef Sidi Amar" culmine à une altitude de 1985m. Il apparaît au milieu du massif, il peut être pris comme limite entre un Ouarsenis occidental et un Ouarsenis oriental.

La structure géologique de l'Ouarsenis est extrêmement complexe. Elle se caractérise par des formations géologiques plus anciennes d'âge Paléozoïque au Nord, et une série de formations géologiques récente d'âge Pliocène et du Quaternaire au Sud.

I.7.3.Etude litho stratigraphique

La région d'étude caractérise par des formations géologiques très variées correspondant à des faciès géologiques différents appartenant aux différents âges.

La série de ses formations allant d'âge plus ancien au plus récent qui sont :

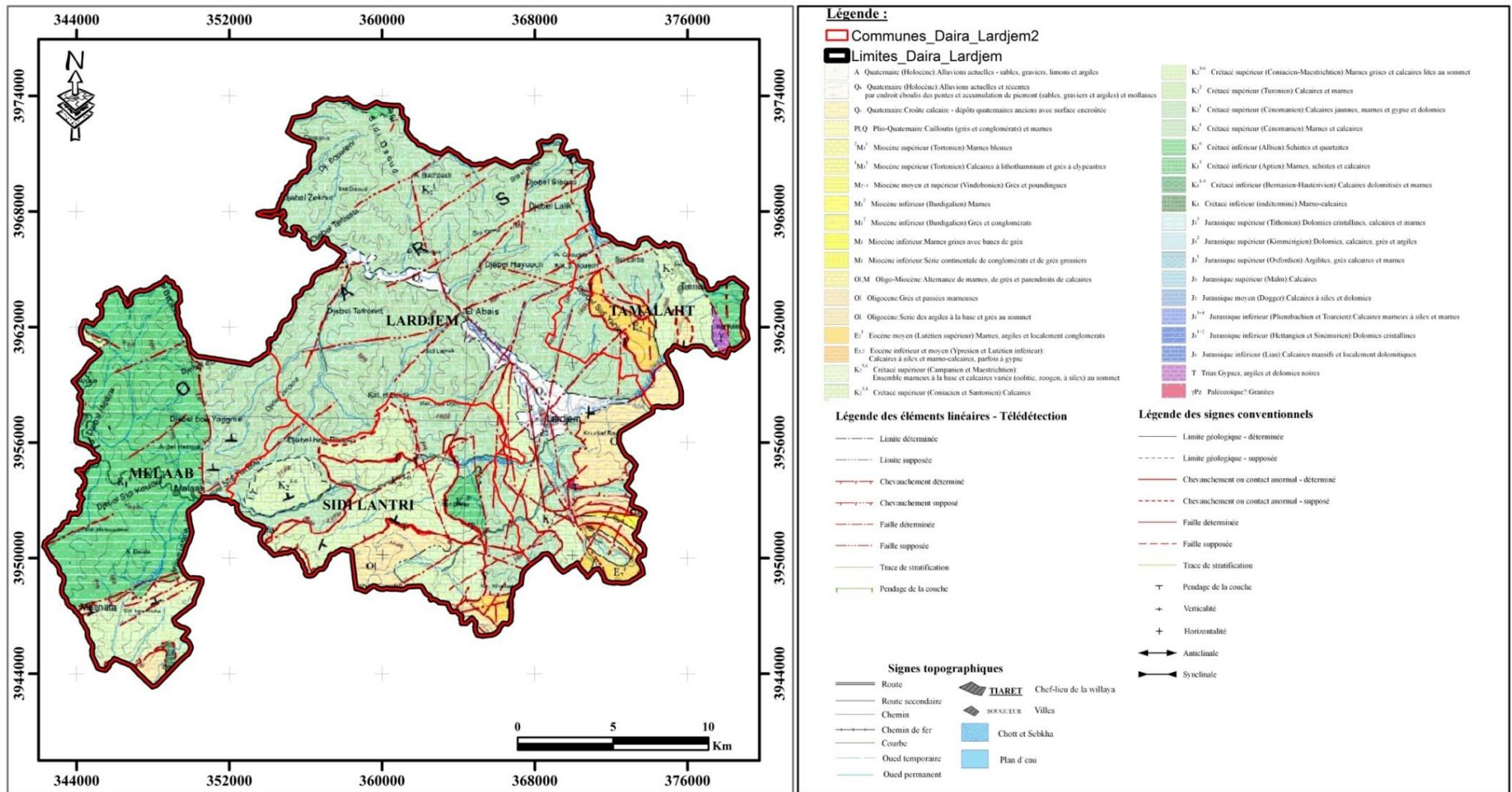


Figure 8: Extrait de la carte géologique de la zone étudiée (ANRH, 2008)

I.7.3.1. Le Paléozoïque

La stratigraphie du paléozoïque demeure peu connue aussi bien dans l'Ouarsenis que dans tout le Tell algérien. Les terrains primaires sont assez rares et se présentent sous trois formes (**Mattauer, 1958**).

-Un Primaire (cristallin, sédimentaire et métamorphique) autochtone dans les massifs de Chélif que l'on qualifie les "Massif de Chélif " (**Kirèche, 1977,1993**).

-Un Primaire emballé dans le complexe triasique.

-Un Primaire en galets dans le Miocène inférieur.

I.7.3.2. Le Mésozoïque

I.7.3.2.1. Le Trias : le substratum correspond à des affluents triasiques constitués de Gypse sels, fragments de dolomie, calcaires et cargneules jalonnant les contacts anormaux. Les roches éruptives ou cristallophylliennes ont été trouvées, en plus grande quantité dans la vallée de l'Oued Mellah-Lardjem et l'Oued Tamellahet (**Mattauer, 1958**).

Les affleurements triasiques sont en place et offrent parfois des Gypses, des argiles, des dolomies, en prenant une position entre le socle paléozoïque et les calcaires liasiques (**Mattauer, 1958, et Kirèche, 1977**).

I.7.3.2.2. Le Jurassique : les affleurements jurassiques sont moins fréquents et timides par rapport à celles du crétacé. Les travaux de **M. Benhamou (1996)** demeurent comme référence régionale et méritent une continuité au futur notamment dans le domaine septentrional.

La série jurassique comporte en grande majorité une sédimentation carbonatée (dolomies et calcaires). (**Zeghari, 2013**) Il est représenté par :

a-Jurassique inférieur (Lias) : le Lias est le terrain le plus important dans le massif culminant de l'Ouarsenis. Il comprend la majeure partie des niveaux stratigraphiques de l'étage. (**Mecif. F et Metene. A, 2008**)

b-Jurassique moyen (Dogger) : sur le flanc Nord du Djebel Ouarsenis, c'est-à-dire dans la zone du massif culminant de l'Ouarsenis, affleurent deux barres rocheuses importantes, épaisses chacune d'une cinquantaine de mètres. La supérieure est formée de grès noirâtres parfois rougeâtres, localement poudingue formés à petits caillons de quartz bien roulés. Tandis que l'inférieure se compose principalement de calcite à rognons de silex subcontinus. (**Dahri. A et Hammoul. M, 2015**)

c-Jurassique supérieur (Malm) : une succession de strates régulières de marnes et de calcaires bariolés, rognonneux ou compact. L'ensemble affleure sur le versant Ouest de Djebel Ouarsenis. (Mecif. F et Metene. A, 2008)

I.7.3.2.3. Le Crétacé : les terrains crétacés affleurent dans l'Ouarsenis. La série débute par des dépôts carbonatés peu profonds à profonds (Chérif, 2009) interrompus par des puissantes séries grésopélitiques à faciès flyschoides pendant l'Aptien inférieur-Albien (Mattauer, 1958; Benyoucef, 2006). La sédimentation carbonatée à prédominance de marnes marque le Crétacé supérieur. (Zeghari, 2013)

-Crétacé supérieur : le sommet du Cénomaniens est souligné par 20 ou 30 mètres de calcaires bleu noir en plaquettes, alternant avec des marno-calcaires schisteux. Des calcaires sont rarement silicifiés. (Dahri. A et Hammoul. M, 2015)

I.7.3.3. Le Cénozoïque

I.7.3.3.1. L'Eocène: la base de l'Eocène inférieur est marneuse, elle est très réduite, l'Eocène inférieur englobe trois faciès : les marno-calcaires blanc à Globigérines, le grésoglaucomeux et les faciès phosphatés.

L'Eocène moyen et supérieur affleure soit sous un faciès marneux (marnes brunes et/ou noires), soit sous des grés glauconieux. L'Eocène existe dans le Miocène sous forme de galets remaniés. (Zeghari, 2013)

I.7.3.3.2. L'Oligocène: il s'agit d'une épaisse série essentiellement marneuse, chargée d'intercalation gréseuse et sporadiquement calcaire, rarement détritique à la base.

Les grés sont fins, les calcaires souvent friables, jaunâtres leur puissance varie du décimètre aux dizaines de mètres. (Dahri. A et Hammoul. M, 2015)

I.7.3.3.3. Le Miocène inférieur et le Miocène supérieur sont indifférenciés. Il s'agit de dépôts de marnes analogues à celles de l'Eocène. Vers l'Est, l'épaisse série marneuse évolue vers le sommet à une autre série gréseuse. Vers le Sud et l'Ouest, elle passe latéralement à des formations conglomératiques rougeâtres reposant directement sur les flyschs ou le socle. (Zeghari, 2013)

I.7.3.3.4. Le Pliocène : constitue des placages réduits de cailloutis et des replats tufacés. (Zeghari, 2013)

I.7.3.4. Le Quaternaire :

Les dépôts du Quaternaire forment de notables terrasses caillouteuses et des alluvions récentes très limoneuses dans des vallées au-dessous de 50 m. (Zeghari, 2013).

Stratigraphie		Dépôts et faciès	Auteurs	
Quaternaire		Alluvions et cailloutis		
Cénozoïque	Pliocène	Cailloutis et replats tufacés	Mattauer (1958), Polvêche (1960)	
	Miocène	Sup	Gypse, grès-marnes, conglomérat (continental)	Belkébir et Bessedik (1992), Guardia (1975), Delteil (1974), Dalloni (1952)
		Inf.	Marnes, marno-calcaires, grès-calcaires, conglomérats	Bessedik et al. (2002), Polvêche (1960), Mattauer(1958), Cheylan et al. (1955)
	Oligocène	Boghari (Oranais), Numidien	Polvêche (1960), Mattauer (1958)	
	Éocène	Mannes, marno-calcaires grès glauconieux, faciès phosphatés	Polvêche (1960) Mattauer(1958), Flandrin (1948)	
	Paléocène	Marnes	Dalloni (1936)	
Mésozoïque	Crétacé	Sup	Marnes à boules calcaires, microbrèches, argiles (flysch), marno-calcaires, marnes, calcaires à niveaux siliceux	Mattauer (1958), Polvêche (1960)
		Inf.	Marno-calcaires Flysch schistes à lit calcaires-grès, marno-calcaires, marno-calcaires ammonitico-rosso	Tchoumatchenco et al. (1995) Benyoucef (2006) Chérif (2009), Tchoumatchenco et Krischev (1992a), Polvêche (1960), Mattauer (1958), Calembert (1952), Dalloni (1936).
	Jurassique	Malm	Ammonitico-rosso, calcaires-marno-calcaires,	Atrops et al. (1991a et b), Benhamou (1996), Tchoumatchenco (1984-1986a- 1987) Kirèche (1977-1993), Farès- Khoudja (1968); Calembert (1937-1952), Caire, Glangeaud, Mattauer (1950 , 1952), Geoffroy (1936), Gentil (1902-1904), Pomel (1875)
		Dogger	grès-grès calcaires, marno-calcaires	
		Lias	carbonates ,dolomies	
	Trias	Gypse, grès, argiles versicolores, dolomies cargneules, et bréchiqes, blocs primaires	Trümpy (1983), Mattauer (1958) Dalloni (1952), Fallot (1942 a, b) Gentil (1902), Nicaise (1870)	
Paléozoïque		Conglomérats (<i>Verrucano</i>) Série volcano-sédimentaire Série schisto-gréseuse Socle cristallophyllien	Mattauer (1958), Caire, Glangeaud, Mattauer (1950, 1952), Glangeaud et Bétier (1935, 1937), Geoffroy (1933), Glangeaud (1932), Gentil (1904), Pomel (1856-1859)	

**Figure 9 : La série synthétique du bassin de l'Ouarsenis.
(D'après Zeghari, 2013)**

I.8.La phase tectonique

-L'Ouarsenis correspond à un édifice, dont les terrains offrent des structures tectoniques très complexes. Cette complexité comporte des contacts anomaux et des failles. Ce massif est marqué comme la grande majorité du tell par les nappes qui ont pris naissance grâce aux mouvements intra-Miocènes "phase paroxysmale" (**Caire et Mattauer, 1953 a et b, Polvéche, 1960**).

-Des mouvements paléozoïques ont eu probablement lieu dans l'Ouarsenis oriental (**Polvéche, 1960**). Ces mouvements ont été mis en évidence dans les Hautes-Plaines, il s'agit de la phase calédonienne (Lucas, 1952); la phase rhyolitique à Bechtout(**Lucas, 1942**), et des mouvements antépermians à Tafna (**Gentil, 1902**). A l'Ouarsenis une discordance a été signalée entre le Trias et le Permo-Carbonifère (**Mattauer, 1958**).

-Les mouvements secondaires correspondant probablement à des plissements comme dans les secteurs de Chélif-Nador entre le Jurassique et le Crétacé moyen. Par ailleurs, la phase anté-néocomienne qui a effectué les massifs côtiers (**Durand-Delga, 1954**) n'est pas marquée d'une façon évidente, par contre il y a un passage progressif Jurassique-Crétacé (**Gourinard, 1952a, Calembert, 1955**). **Polvéche (1960)** met en évidence la phase Cénomanienne qui affecte surtout la zone de Chouala et la phase anté-Cénomanienne avec des mouvements importants au Nord de l'Ouarsenis. (**Chérif, 2008**).

I.9.CONCLUSION

Cette étude permet de la datation chronologique des formations géologiques qui constituent la structure géologique de la zone d'étude qui fait partie du massif de l'Ouarsenis. Sa série stratigraphique est caractérisée par la diversité, car elle comprend des terrains appartenant au Trias, au Jurassique, au Crétacé, au l'Eocène, à l'Oligocène, au Miocène et au Plio-Quaternaire.

Ces différents terrains sont représentés par des formations lithologiques telles que les gypses, les marnes, les argiles, les alluvions diverses, les grès et les calcaires. Ces derniers peuvent constituées des réservoirs d'eaux souterraines.

La géologie structurale de massif de l'Ouarsenis qui représente la structure tectonique est complexe. Ce massif est marqué par les mouvements qui sont survenus entre le Jurassique et le Crétacé moyen.

Chapitre II :

Etude hydro-climatique

**Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la région
de Lardjem (Wilaya de Tissemsilt)**

II.1.Introduction

Avant l'étude climatique de le secteur étudié, en va étudier les caractéristiques hydrologiques de sous bassin versant de la région de Lardjem.

L'étude climatique permet d'identifier les termes principales du bilan hydrique notamment les précipitations, les températures, l'évapotranspiration et l'infiltration.

Dans ce chapitre nous détaillerons les caractéristiques hydro-climatologique et déterminer les quantités d'eau qui entrent et sortent de bassin versant pour établir le bilan en eau de notre région d'étude.

II.2.Hydrologie

II.2.1.les caractéristiques morphologiques du bassin versant

Notre zone d'étude appartient dans la majorité de sa superficie du grand bassin versant de Chellif- Zahrez et plus précisément le sous bassin d'Oued Sly qui est situé dans la partie Sud Ouest du massif de l'Ouarsenis.

Le sous bassin versant s'étend sur un surface de 1400 Km² a travers ce sous bassin coule plusieurs Oueds dont les plus importants sont (**ABH , 2002**) :

- Oued Lardjem
- Oued Tamellahet
- OuedEl Maleh .

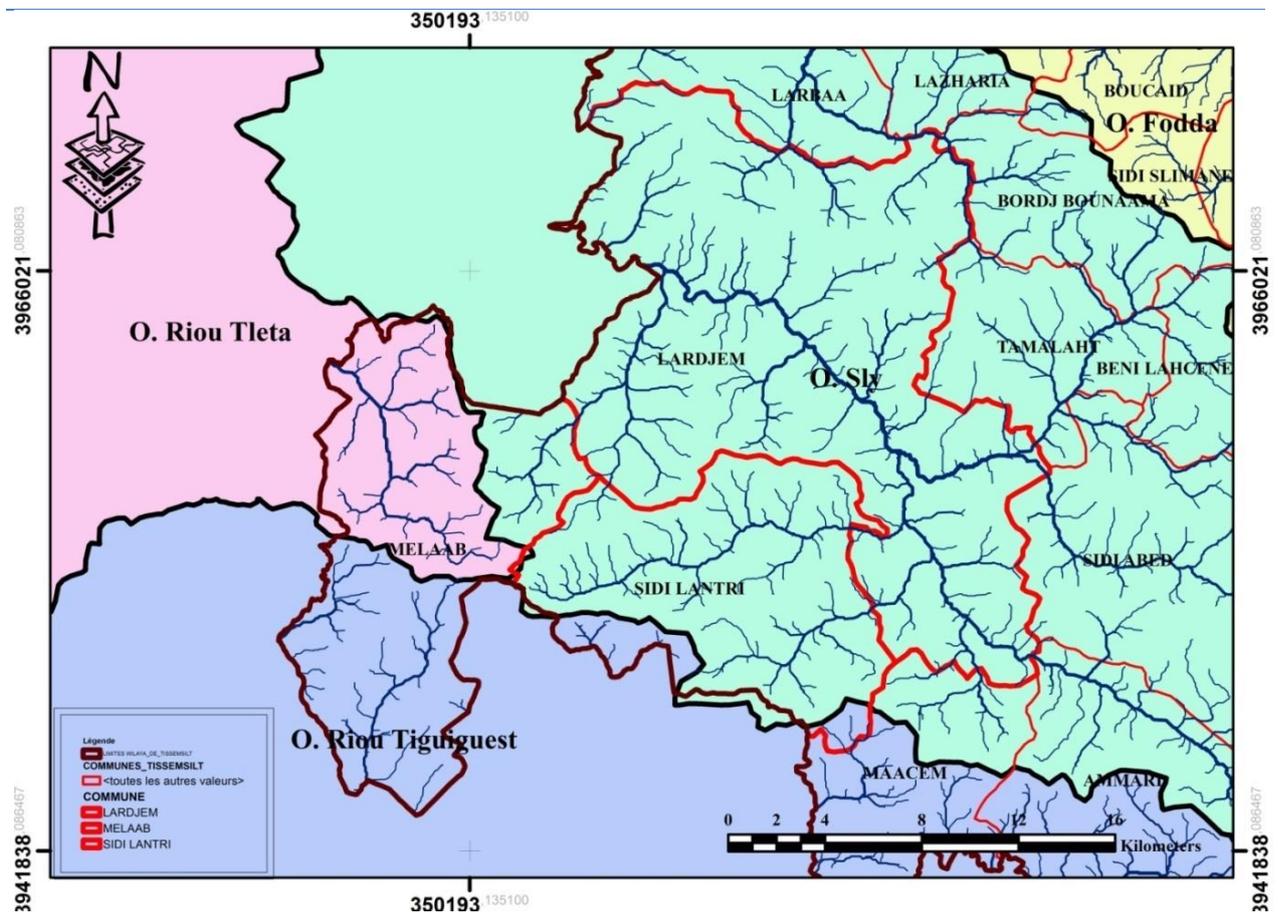


Figure 10 : Carte des sous bassins versants de la zone d'étude (Sous bassin d'Oued Sly)

- La surface de bassin versant d'Oued Sly : $S = 1400 \text{ Km}^2$
- Le périmètre du bassin versant d'Oued Sly : $P = 225 \text{ Km}$

II.2.1.1. Indice de compacité ou coefficient de Gravélius KG :

Ce coefficient (KG) caractérise la compacité et comporte la forme du bassin versant.

Si : $KG \leq 1$ bassin versant de forme circulaire.

$KG = 1.12$ bassin versant de forme carrée.

$KG \geq 112$ bassin versant de forme allongé.

$$KG = 0.28 * P / \sqrt{S}$$

KG : coefficient de compacité Gravélius.

S : la surface de bassin versant Km^2 .

P : la périmètre de bassin versant Km.

Application numérique :

$$KG = 0.28(225) / \sqrt{1400} \rightarrow \boxed{KG = 1.68}$$

Donc $KG \geq 1.12$ alors le sous bassin versant d'Oued Sly a une forme allongée.

II.2.1.2. La rectangle équivalent :

C'est une modèle établi par **Roche**, il est défini comme un rectangle de longueur « L » et de largeur « l » qui au même périmètre que le bassin.

$$L = KG \sqrt{S} / 1.12 [1 + \sqrt{1 - (1.12 / KG)^2}]$$

$$l = P/2 - L$$

Application numérique :

$$L = 98.36 \text{ Km}$$

$$l = 14.21 \text{ Km}$$

La surface équivalente : $S = L * l$

$$\boxed{S = 1397.96 \text{ Km}^2 \approx 1400 \text{ Km}^2}$$

II.2.1.3. Indice de pente globale I_g :

Pour comprendre et mettre en évidence l'influence du relief sur le ruissellement à l'intérieur d'un bassin versant, un Indice de pente globale I_g a été introduit :

$$\boxed{I_g = D/L}$$

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

$H_{5\%}$: 5% de la surface totale de bassin versant (m)

$H_{95\%}$: 95% de la surface totale de bassin versant (m)

Application numérique :

$$I_g = 1334.75 - 70.25/98.36$$

$$\boxed{I_g = 12.85}$$

II.2.1.4. Dénivelée spécifique D_s :

La dénivelée spécifique permet de prononcer le relief suivant la classification de **ORSTOM**

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

$$D_s = 481.61 \text{ m}$$

D'après la valeur de la dénivelée spécifique :

$D_s < 10 \text{ m}$ classe R1 : Relief très faible

$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$ classe R2 : Relief faible

$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$ classe R3 : Relief assez faible

$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$ classe R4 : Relief modéré

$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$ classe R5 : Relief assez fort

$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$ classe R6 : Relief fort

$D_s > 500 \text{ m}$ classe R7 : Relief très fort

Dans notre cas $250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$ donc il appartient de classe R6 Relief fort.

II.2.1.5. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est désigné par un ensemble structures et chenaux qui assurent le drainage superficiel, permanent ou temporaire d'un bassin versant.

La zone d'étude est localisée dans la plupart de sa surface dans le sous bassin versant d'Oued Sly, qui est à son tour drainé par affluents d'Oued Sly.

La longueur des cours d'eau permanents dans le sous bassin versant d'Oued Sly est 564 Km alors que les cours d'eau temporaires est de l'ordre de 670 Km.

Oued Lardjem est le plus long (qui atteint une longueur de 384 Km). Il est composé des quatre principaux affluents qui sont : Oued Kouasseme, Tamelahet, Lardjem et Bouarb.

II.2.1.6. Densité de drainage D_d :

C'est le paramètre le plus important qui caractérise le chevelu hydrographique, il correspond au rapport entre la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin.

$$D_d = \sum L_i / A$$

Dd : densité de drainage (Km/Km²)

Li : longueur de cours d'eau (Km) Li = 564+670

Li = 1234 Km

A : surface de bassin versant

Application numérique :

Dd = 0.880Km/Km²

Donc la région d'étude est caractérisée par réseau hydrographique dense et ramifié.

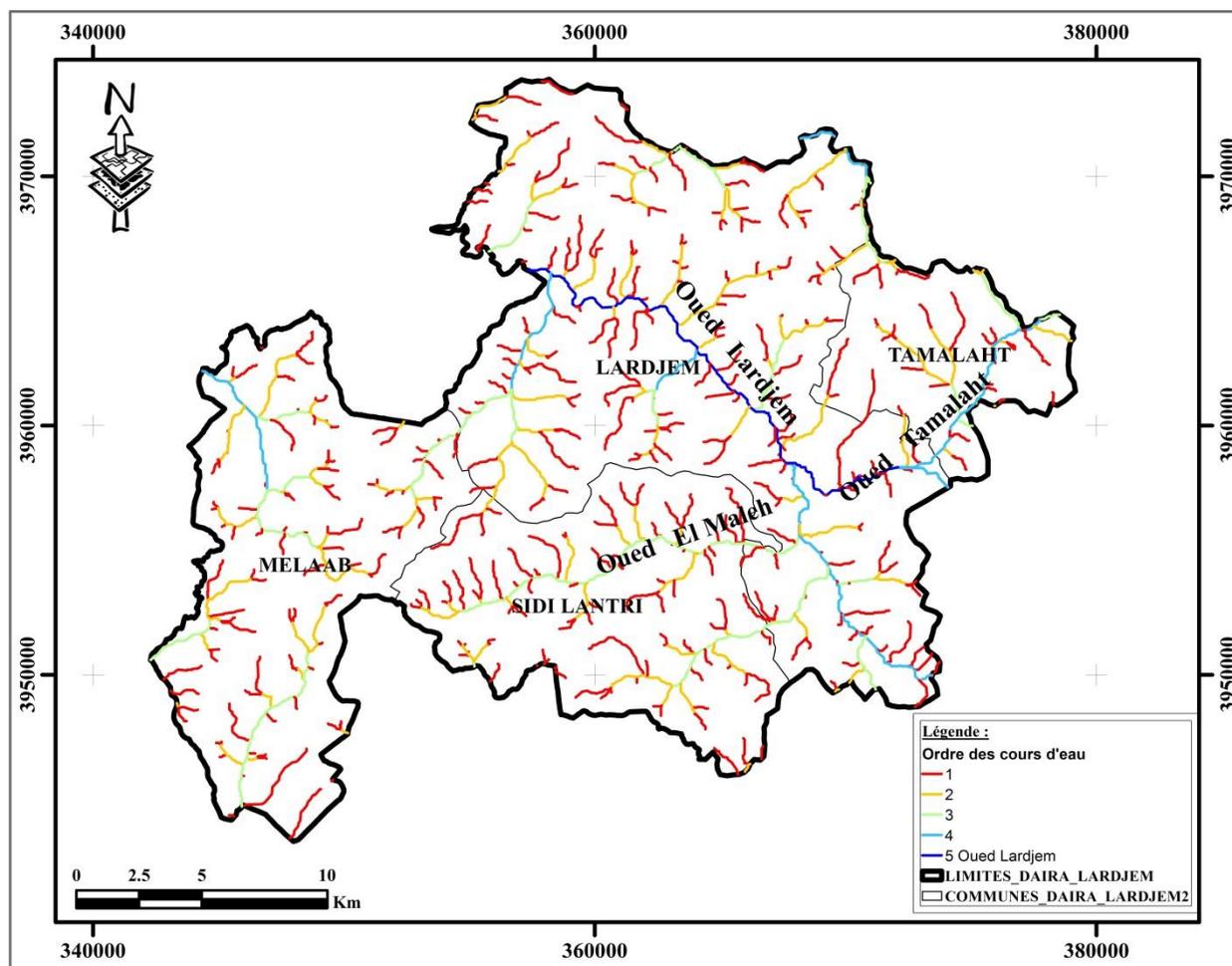


Figure 11 : Les principaux cours d'eau drainants le La région d'étude.

Tableau 3 : Les caractéristiques hydrologiques des principaux cours d'eau de la région d'étude

Caractéristiques	Unité	Oued Tamelahet	Oued El Malleh	Oued Lardjem
surface	Km ²	204,17	199,37	74,37
périmètre	km	76,72	89,99	46,76
KG	-	1,5	1,78	1,58
L	km	31,97	39,99	19,39
l	km	6,39	5,00	3,84
H 5%	m	1100	1040	1070
H 95%	m	860	840	830
Ig	m/m	5,69	1,31	2,26
Ds	m	216	143,5	213,4
Dd	Km/km ²	4,43	4,95	5,81

II.3.Climatologie

II.3.1.Les facteurs climatiques :

La connaissance des facteurs climatique (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 hydrique.

II.3.2.Analyse des données climatiques

L'étude de ces facteurs est basée sur la collecte des données, et pour étudier ces données nous avons obtenu les données des précipitations de l'ANRH de Tiaret (station de Tissemsilt) et les températures de la station d'Ain Bouchékif (**tableau 4**).

Tableau 04: Caractéristiques géographiques de la station météorologique Tissemsilt.

Station	Les coordonnées Lambert		Z (m)	Code	Période d'observation
Tissemsilt	X(m)	Y(m)	858	011006	1986-2018
	420,200	257,100			

(Source ANRH)

II.3.2.1. Analyse des précipitations

La précipitation est le facteur le plus important pour aborder l'étude du bilan moyen de l'écoulement, elle joue un rôle primordial dans l'alimentation des nappes souterraines et aussi dans le comportement hydrologique des cours d'eau.

II.3.2.1.1. Variations moyennes mensuelles des précipitations :

Les données des précipitations moyennes mensuelles sont consignées dans le tableau suivant (**tableau5**) :

Tableau5 : Variations moyennes mensuelles des précipitations de la station de Tissemsilt. (1986-2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
P (mm)	29.97	46.01	62	64.26	80.44	69.68	66.77	64.74	39.23	13.82	6.28	13.57	556.77

Les données des Précipitations moyennes mensuelles sont reportées sur l'histogramme de la figure n° 10 ci-dessous :

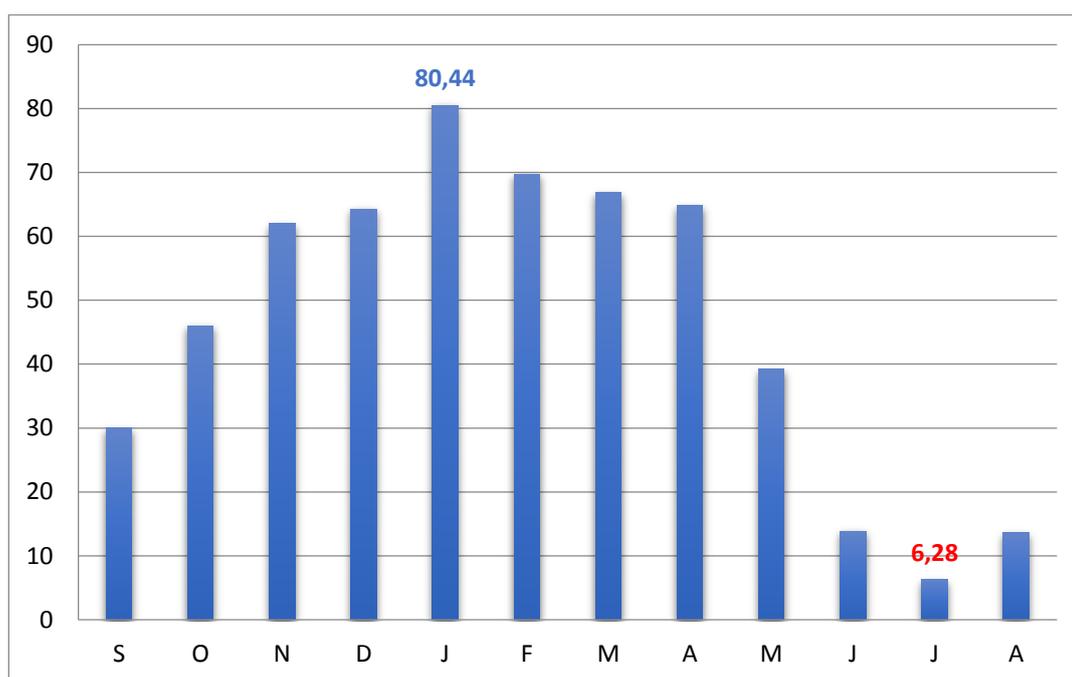


Figure 12: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles en mm de la station de Tissemsilt (1986-2018).

L'histogramme, donnent un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations dans la région d'étude. Une période pluvieuse constitue par les mois les plus arrosés, se situe entre Octobre et Avril ou en trouve le mois de Janvier est le mois le plus pluvieux ou on a enregistré

un maximum de l'ordre de 80.44mm. Tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux auquel on marque un minimum de l'ordre de 6.28mm.

II.3.2.1.2. Variations moyennes saisonnières des précipitations :

La répartition des précipitations selon les saisons se fait comme dans le tableau suivant (**tableau6**)

Tableau 6: régimes saisonniers des précipitations de la station de Tissemsilt (1986-2018).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total
	Sep – Oct. - Nov.	Déc. – Jan - Fév.	Mar –Avr – Mai	Jui-Juill-Aout	
P moyennes saisonnières (mm)	137,98	214,38	170,74	33,67	556,77
% de P moyennes saisonnières	24,78 %	38,50%	30,66%	6,04%	100%

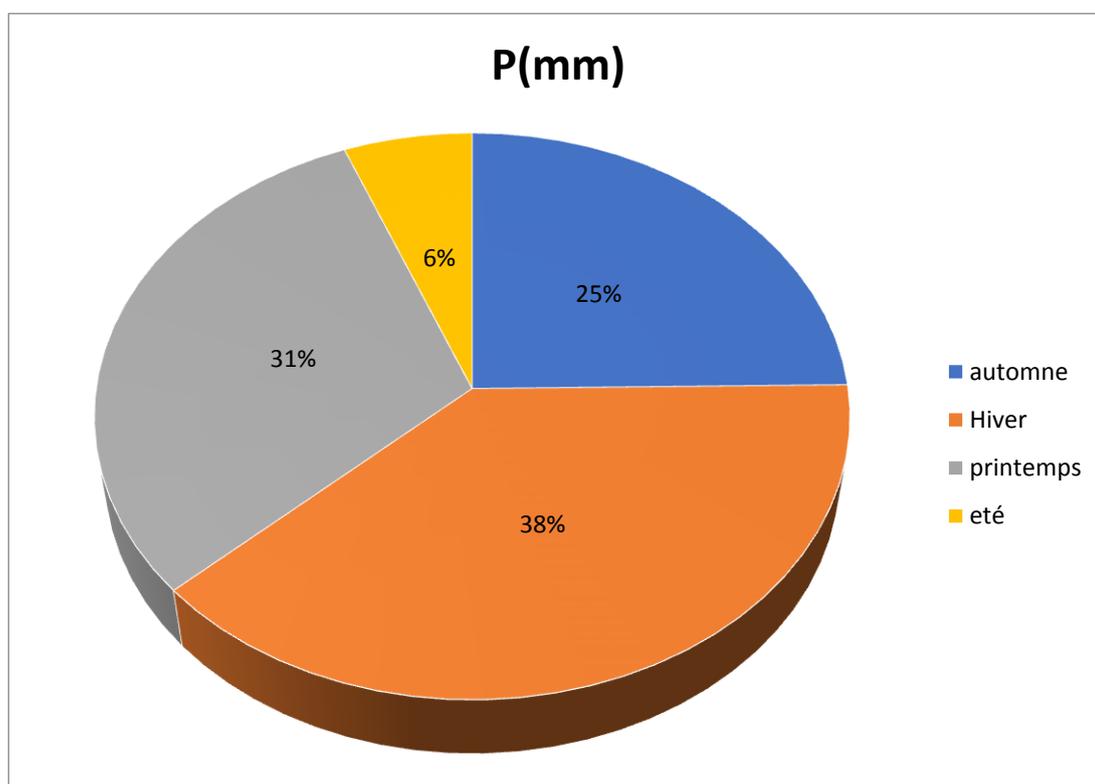


Figure 13 : Distribution des précipitations moyennes saisonnières % de la station de Tissemsilt (1986-2018)

D'après la figure n°9 on peut distinguer que :

- Une période humide s'étendant du mois de septembre au mois de mai ; c'est-à-dire pendant les trois saisons automne, hiver et printemps avec une moyenne maximale de 137.98 mm en hiver.

- Une période sèche qui correspondant aux mois de mai, juin, juillet et août avec une précipitation moyenne de 33.67 mm.
- Il en découle que près de $\frac{3}{4}$ des précipitations tombent en une période humide avec un maximum de pluviométrie de 38.50% en hiver et un minimum en été soit 6.04% de précipitation annuelles.

II.3.2.1.3. Coefficient pluviométrique (CP) :

Correspond à la variable des précipitations. Il permet différencier l'année excédentaire de celle qui déficitaire. Pour une station donné, il est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année sur la pluviométrie moyenne P' (voir tableau 7)

$$\text{CP} = \text{P/P}'$$

CP : coefficient pluviométrique.

P : hauteur de la précipitation annuelle (mm)

P' : précipitation moyenne annuelles (mm)

$$\text{P}' = 556,77 \text{ mm}$$

Tableau 7 : Les précipitations moyennes inter-annuelles (mm) et coefficients pluviométriques CP de la station de Tissemsilt (1986-2018).

Année hydrologique	P (mm)	CP	Remarque
1986-1987	596,2	1,07	AE
1987-1988	517,55	0,93	AD
1988-1989	452	0,81	AD
1989-1990	413,95	0,74	AD
1990-1991	375,45	0,67	AD
1991-1992	372,6	0,67	AD
1992-1993	376,05	0,68	AD
1993-1994	344	0,62	AD
1994-1995	405,2	0,73	AD
1995-1996	548,55	0,99	AE
1996-1997	684,4	1,23	AE
1997-1998	551,6	0,99	AE
1998-1999	515,8	0,93	AD
1999-2000	506,05	0,91	AD
2000-2001	419,35	0,75	AD
2001-2002	432,15	0,78	AD
2002-2003	515,7	0,93	AD
2003-2004	566,9	1,02	AE
2004-2005	413,45	0,74	AD
2005-2006	435,65	0,78	AD
2006-2007	549,4	0,99	AE
2007-2008	581,3	1,04	AE
2008-2009	707,55	1,27	AE

2009-2010	734,05	1,32	AE
2010-2011	587,55	1,06	AE
2011-2012	529,15	0,95	AD
2012-2013	678,65	1,22	AE
2013-2014	758,8	1,36	AE
2014-2015	585,8	1,05	AE
2015-2016	532	0,96	AE
2016-2017	553,95	0,99	AE
2017-2018	708,5	1,27	AE

CP > 1 → année excédentaire

CP < 1 → année déficitaire

D’après le tableau 7 a une moyenne de précipitation de 556.77mm sur un période de 32 ans (1986-2018). On distingue 16 années excédentaires et 16 années déficitaires sont le suivant :

Les 16 années excédentaires sont : 1986-1987 ; 1995-1996 ; 1996-1997 ; 2003-2004 ; 2006-2007 ; 2007-2008 ; 2008-2009 ; 2009-2010 ; 2010-2011 ; 2012-2013 ; 2013-2014 ; 2014-2015 ; 2015-2016 ; 2016-2017 ; 2017-2018 .

Les 16 années déficitaires sont : 1987-1988 ; 1988-1989 ; 1989-1990 ; 1990-1991 ; 1991-1992 ; 1992-1993 ; 1993-1994 ; 1994-1995 ; 1998-1999 ; 1999-2000 ; 2000-2001 ; 2001-2002 ; 2002-2003 ; 2004-2005 ; 2005-2006 ; 2011-2012.

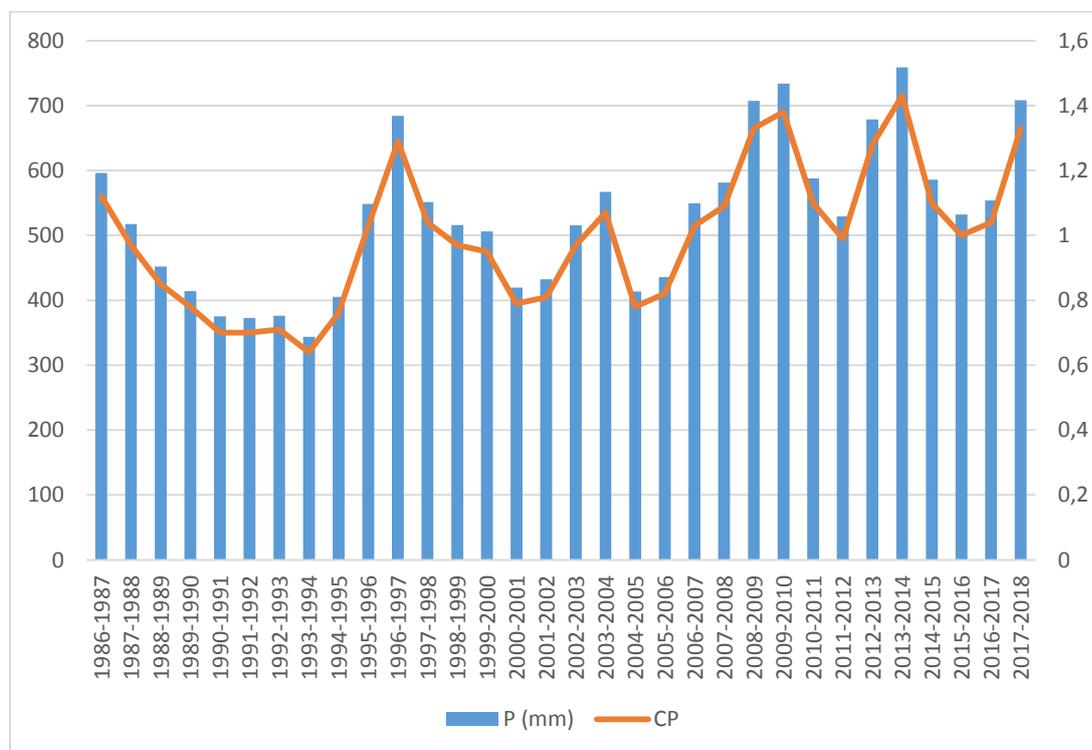


Figure14 : Précipitations moyennes inter-annuelles (mm) et le CP de la station de Tissemsilt(1986-2018) .

II.3.2.2. L'analyse des températures :

La température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Elle permet l'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier intervient dans le développement du rythme biologique des végétaux. Aussi elle facilité l'établissement du bilan hydrique.

II.3.2.2.1. Variations moyennes mensuelles des températures :

Les valeurs des températures sont consignées dans le tableau suivant (**tableau8**) :

Tableau8 : Variations des températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Tmoy(°C)	22,67	18,03	11,28	7,41	7,39	8,5	10,95	15,02	20,3	24,18	28,65	27,97	16.86

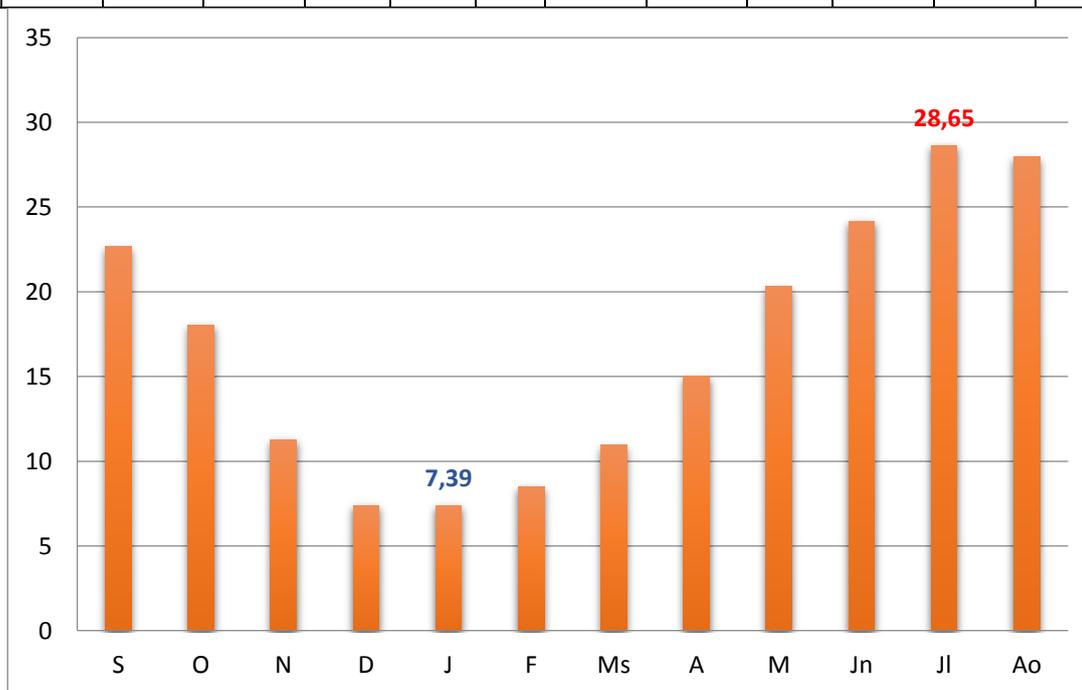


Figure15 : Variations des températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Les variations remarquables des moyennes de températures mensuelles d'un mois à l'autre, et nous remarquons que le mois très chaud est le mois de juillet avec une température de 28.65°C, et le mois le très froid est le mois de janvier avec une température de 7.39°C.

II.3.2.2.2. Diagramme pluvio-thermique de Gausсен

Le diagramme pluvio-thermique désigne une représentation graphique indiquant les variations conjointes de la température moyenne et des pluies mensuelles, (Goelou Enora 2013)

Le diagramme montre la succession de deux périodes l'une est sèche et l'autre est humide.

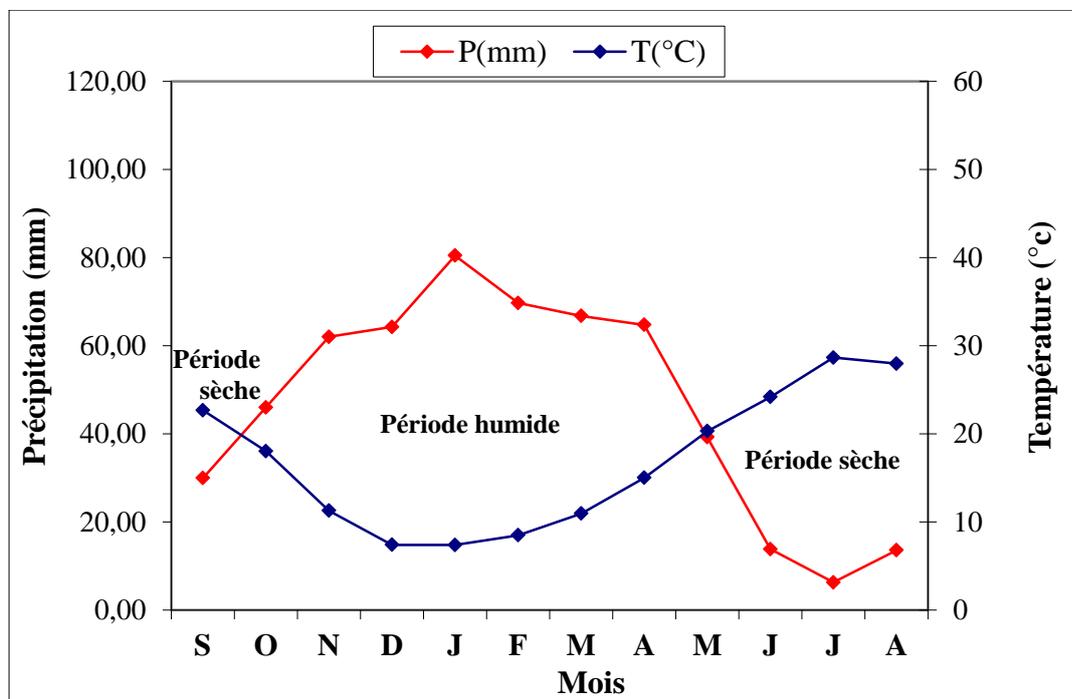


Figure 16 : Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN de la zone d'étude

D'après le diagramme nous remarquons que :

- ✓ Le période humide s'étale du mois d'Octobre jusqu'au début du mois de Mai.
- ✓ Le période sèche est le reste des mois de Juin à septembre.

II.3.2.2.3. Indice d'aridité de De Martonne

On détermine le type de climat par l'utilisation d'indice d'aridité de De Martonne qui donne les caractéristiques du climat régional et ce calculée par la relation suivant :

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

P : précipitation moyenne mensuelle (mm)

T : température moyenne mensuelle (°C)

$$I = 529,66 / (16,86 + 10)$$

$$I = 19,71$$

La classification proposée par De Martonne :

$1 \leq I$: climat hyper-aride

$5 \leq I \leq 7.5$: climat désertique

$7.5 \leq I \leq 10$: climat steppique

$10 \leq I \leq 20$: climat semi-aride

$20 \leq I \leq 30$: climat tempéré

Dans ce cas le climat de notre zone d'étude est semi-aride ($I=19.71$).

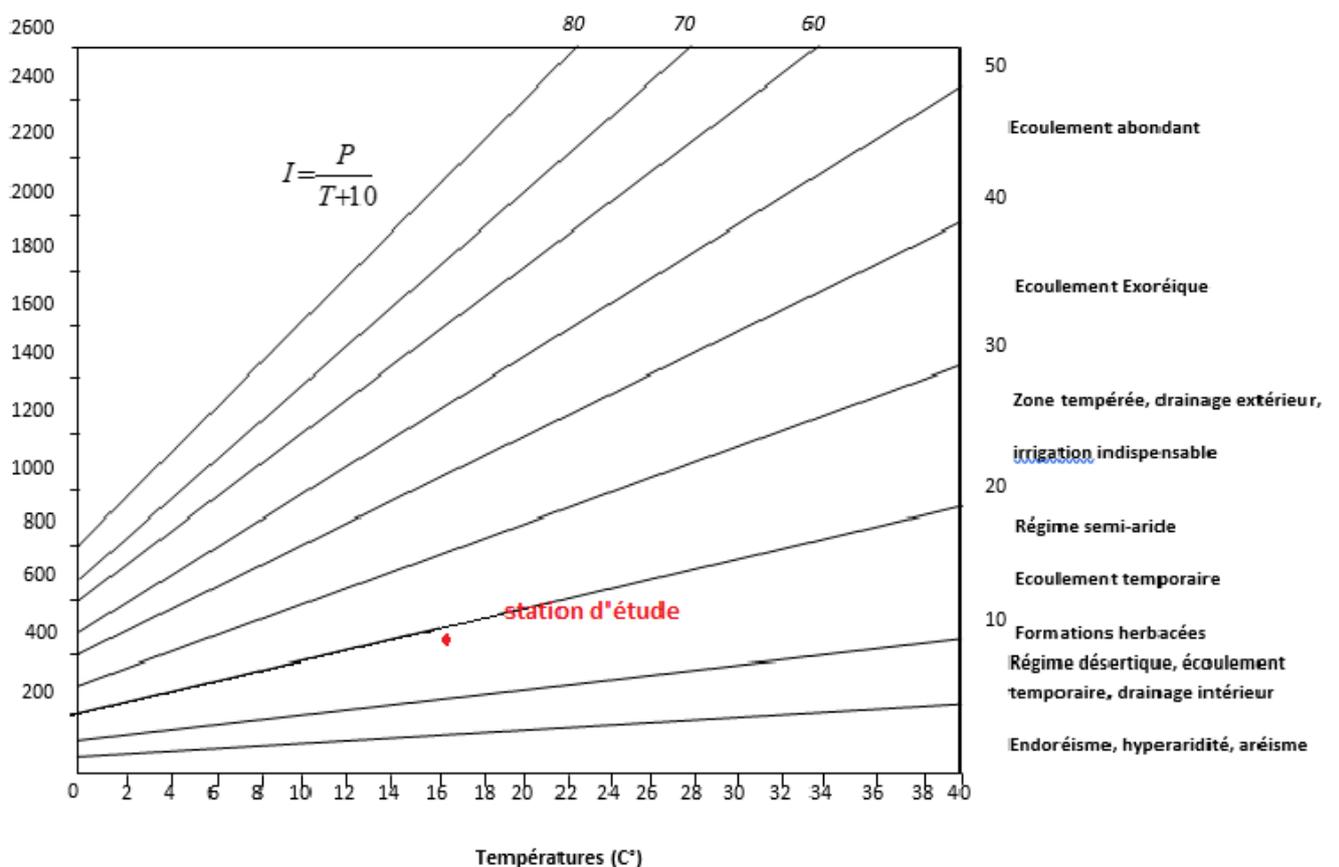


Figure 17 : Abaque de l'indice d'aridité annuelle de De Martonne de la station d'étude (1986-2018).

II.3.3. Le Bilan hydrique

Le bilan hydrique est calculé par la méthode de Thornthwite qui tient compte de la température, la précipitation, l'ETP, ETR et RFU (**tableau 9**).

Il est calculé par la formule suivante :

$$P = R + E + I$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

R : ruissellement de surface moyenne annuelle (mm)

E : Evapotranspiration moyenne annuelle (mm)

I : Infiltration moyenne annuelle (mm)

II.3.3.1. Estimation des paramètres du bilan :

II.3.3.1.1. L'évaporation -évapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (processus biologique)

II.3.3.1.2. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est une mesure de la capacité de l'atmosphère à éliminer l'eau de la surface d'un sol avec couvert végétal disposant de l'eau en abondance et ce calculé avec la formule suivant :

$$\boxed{ETP = 16(10T/I)^a K}$$

ETP : évapotranspiration potentielle du mois (mm)

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

I : indice thermique annuelle qui représente la somme des indices mensuelles (i)

K : coefficient d'ajustement lié à la latitude

$$\boxed{I = \sum i} \quad \text{avec} \quad \boxed{i = (t/5)^{1.5}}$$

$$\boxed{a = (1.6/100)I + 0.5}$$

II.3.3.1.3. Evapotranspiration réelle (ETR) :

C'est la quantité d'eau retirée d'une surface en raison du processus d'évaporation et de transpiration quand l'eau vient à manquer :

$$\boxed{ETR = P / \sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

P : Hauteur annuelle de pluie (mm)

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand

$$\boxed{L = 300 + 25t + 0.05t^3}$$

T : température annuelle (°C)

P= 529.66mm

t= 16.86 °C

ETR = 445.09 mm

II.3.3.1.4. Le ruissellement

Le ruissellement est la circulation de l'eau qui se produit sur les versants en dehors du réseau hydrographique.

Le ruissellement calculé par :

-La formule de Tixeront -Berkaloff

$$R = P^3/3(ETP)^2 \quad \text{si} \quad P < 600 \text{ mm}$$

-La formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouk

$$R = P^3/3 \quad \text{si} \quad P > 600 \text{ mm}$$

R : ruissellement (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

ETP : évapotranspiration potentielle (mm)

Application numérique :

$$R = (556.77)^3/3(920.41)^2$$

$$\boxed{R = 67,91 \text{ mm}}$$

II.3.3.1.5. L'infiltration

L'infiltration est le processus physique par lequel l'eau pénètre dans les sols et alimente les nappes .

L'infiltration calculée par la formule suivante :

$$P = R + ETR + I$$

$$I = P - ETR - R$$

Application numérique :

$$I = 556.77 - 67.91 - 392.25$$

$$\boxed{I = 96.61 \text{ mm}}$$

Tableau 9 : Le bilan hydrique d'après la méthode de C. W. Thornthwite.de la station de Tissemsilt (1986-2018)

Mois	T (°C)	IT	CL	ETP	P(mm)	BH	RFU	ETR	Def	Exc
S	22,67	9,86	1,03	104,98	29,97	-75,01	0,00	29,97	75,01	0,00
O	18,03	6,97	0,97	65,32	46,01	-19,31	0,00	46,01	19,31	0,00
N	11,28	3,43	0,86	24,78	62,00	37,22	37,22	24,78	0,00	0,00
D	7,41	1,81	0,81	10,91	64,26	53,35	90,57	10,91	0,00	0,00
J	7,39	1,81	0,87	11,66	80,44	68,78	100,00	11,66	0,00	59,35
F	8,5	2,23	0,85	14,67	69,68	55,01	100,00	14,67	0,00	55,01
M	10,95	3,28	1,03	28,12	66,77	38,65	100,00	28,12	0,00	38,65
A	15,02	5,29	1,10	53,22	64,74	11,52	100,00	53,22	0,00	11,52
M	20,3	8,34	1,21	100,99	39,23	-61,76	38,24	100,99	0,00	0,00
J	24,18	10,87	1,22	139,74	13,82	-125,92	0,00	52,06	87,68	0,00
J	28,65	14,06	1,24	193,08	6,28	-186,80	0,00	6,28	186,80	0,00
A	27,97	13,55	1,16	172,93	13,57	-159,36	0,00	13,57	159,36	0,00
Annuel	16,9	81,50	-	920,41	556,77	-363,64	566,04	392,25	528,16	164,52

Les formules de vérification:

$$P = \sum ETR + \sum EXD$$

$$P = 392.25 + 164.52 \quad P = 556.77 \text{ mm}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA$$

$$ETP = 392.25 + 528.16 \quad ETP = 920.41 \text{ mm}$$

Avec :

T : température mensuelle en °C

P : précipitation moyenne mensuelle en mm

i : indice thermique

RFU : réserve facilement utilisation en mm

K : coefficient d'ajustement de la latitude

ETR : évapotranspiration réelle en mm

ETP : évapotranspiration potentielle en mm

DA : déficit agricole en mm

BH : bilan hydrique

EXD : excédent en mm

II.3.3.2. Interprétation du bilan hydrique :

Nous constatons qu'à partir du mois de Novembre jusqu'au mois de Mars les précipitations deviennent supérieures à l'ETP ce qui permet la reconstitution de la RFU qui est à son maximum (100mm) au mois de Janvier, Février, Mars et Avril ce qui donne un excédent de; 59.35mm en Janvier ; 55,01mm en Février ; 38,65mm en Mars et 11,52mm au mois d'Avril.

Le déficit agricole début à partir du mois de juin jusqu'au mois d'Octobre et il atteint son maximum au mois de Juillet avec une valeur de 186,80 mm.

II.4. Conclusion :

D'après l'étude des caractéristiques hydrologiques du bassin versant nous sommes arrivés aux conclusions suivantes:

- Il existe trois principales Oueds formant le sous bassin versant d'Oued Sly qui sont : Oued Tammelahet ; Oued El Malleh et Oued Lardjem.
- La forme du bassin versant est allongée.
- La classe de relief est classée dans le relief fort.
- Il y a un réseau hydrographique dense et ramifié.

Et d'après l'étude climatique de la zone d'étude :

- Le climat de la région est semi-aride avec un hiver froid et humide et un été chaud et sec.
- Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 556.77mm à la station de Tissemsilet.
- La température moyenne annuelle est de 16.86 °C.

Après les calculs avec la méthode du bilan hydrique de Thornthwaite:

- L'ETP moyenne est 920.41 mm.
- L'ETR moyenne est 392.25 mm.
- Le ruissellement et l'infiltration sont respectivement $R=67,91$ mm et $I= 96,61$ mm.

Chapitre III:

Aperçu hydrogéologique

**Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la
région de Lardjem (Wilaya de Tissemsilt)**

III.1.Introduction

L'hydrogéologie s'occupe de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

L'étude hydrogéologique a pour but d'une part d'identifier les différents systèmes aquifères existants dans la région d'étude et de fournir tous les éléments nécessaires de connaissances sur les nappes et les écoulements, et d'autre part d'interpréter les données piézométriques pour déterminer le sens de l'écoulement des eaux à partir de la définition des relations qui existent entre ces différents systèmes.

Cette étude permet aussi de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques qui sont représentées dans la transmissivité (**T**) et le coefficient d'emménagement (**S**) pour connaître les potentialités en eau souterraine de notre région.

III.2.Identification des aquifères

La lithologie de la région de Lardjem est caractérisée par la diversité et la complexité. Elle est composée des calcaires, des grès et des roches détritiques consolidées. Pour ce qui suit nous citons les formations potentiellement susceptibles d'être aquifères (Figure n°16).

D'après les données existantes on distingue deux types de nappes (superficielles et profondes).

III.2.1.La nappes phréatique (superficielle)

Le remplissage Plio-Quaternaire des vallées alluviales d'Oued Lardjem qui est exploitée; forme de bons aquifères superficiels.

III.2.1.1.Les alluvions d'Oued Lardjem

Ces alluvions Quaternaires s'étalent tout le long des principaux Oueds, elles localisent essentiellement au fond de l'Oued Lardjem, et sont le siège de nappes phréatiques très utiles pour le développement de l'agriculture et l'A E P.

Ces alluvions superficielles constituent des bons aquifères exploitables notamment pour la petite et moyenne hydraulique et subsidiairement pour l'alimentation en eau potable.

Ces aquifères sont relativement bien alimentées par les précipitations (conditions climatiques)et par l'Oued que les traverse.

III.2.2.Les nappes profondes

Les nappes profondes sont représentées principalement par les réservoirs calcaires et gréseux, qui sont structurellement complexes et très mal connues.

III.2.2.1.L'aquifère des calcaires Jurassiques et Crétacé

Le Jurassique affleure à la montagne de l'Ouarsenis qui est composé d'une roche dure et compacte, ces calcaires subissent des actions météorologiques qui ont entraînés leur dissolution et la formation d'écoulement souterrains, alors la constitution d'un système hydraulique localisé.

De nombreuses sources au pied de ce massif témoignent de l'existence de formation karstique.

L'alimentation en eau est favorisée d'une part par les précipitations et d'autre part par la fonte des neiges.

III.2.2.2.L'aquifère des grès

Issue d'une sédimentation plus au moins tectonisée datant de la fin du tertiaire. Ils apparaissent souvent dans la partie méridionale de la zone d'étude.

Ces roches sont siliceuses, d'origine détritique, très fissurées par la tectonique et favorables à l'infiltration.

Elles peuvent constituer des réservoirs souterrains importants.

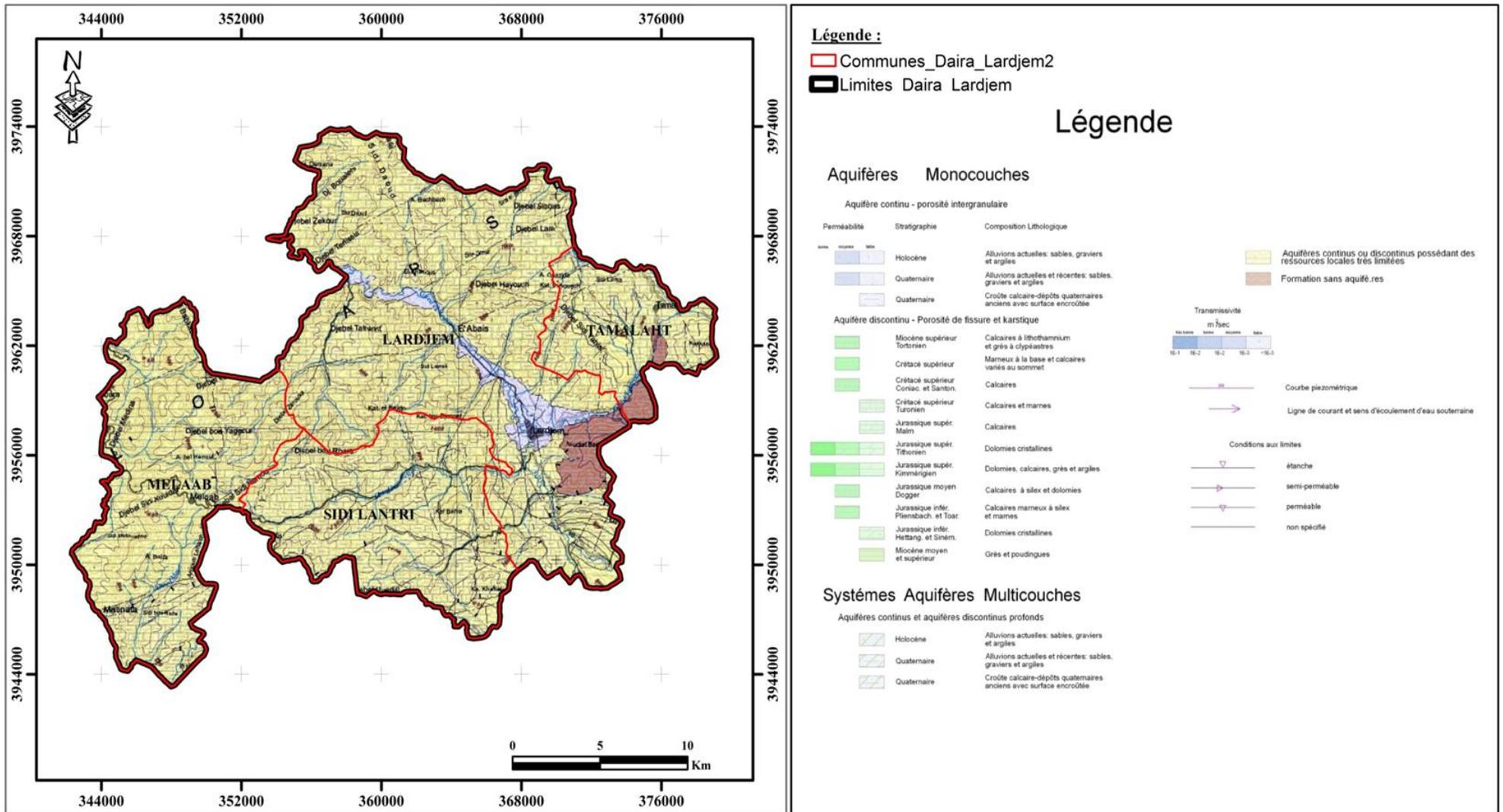


Figure 18 : Extrait de la carte hydrogéologique de la zone d'étude (Daïra de Lardjem) (ANRH, 2008)

III.3. Etude géophysique :

III.3.1.Introduction

L'étude hydrogéologique repose sur les sciences de la terre: la géologie et l'hydrogéologie, mais aussi comme toutes les sciences modernes, elle fait appel à la géophysique.

Les nombreuses méthodes géophysiques actuellement opérationnelles occupent une place importante dans la prospection et la reconnaissance des eaux souterraines.

La méthode géophysique utilisée sur le terrain de notre secteur d'étude est la méthode par prospection électrique qui est basée sur la mesure de la résistivité électrique des formations géologiques.

III.3.2.Principe de mesure

La prospection électrique est une méthode géophysique basée sur l'étude de la propagation du courant électrique dans le sous-sol par un sondage électrique vertical (SEV).

Cette étude devrait permettre une profondeur d'investigation théoriquement comprise entre 200 m et 250 m à l'aide de sondage électrique en ligne AB=1000 m. **(DRE, 2014).**

III.3.3.Mise en œuvre

La technique utilisée sur le terrain était celle des sondages électriques verticaux. Elle consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu par l'intermédiaire de deux électrodes d'acier et de mesurer la différence de potentiel créés aux bornes de deux autres électrodes en cuivre. L'ensemble des électrodes constitue ce que l'on appelle un quadripôle. **(DRE, 2014).**

Les mesures du courant électrique et de la différence de potentiel au moyen d'un résistivimètre, permettent de déterminer la résistivité apparente du milieu à l'aide de la formule suivante :

$$Ra = K \frac{dV}{I_{AB}}$$

Ou :

Ra : résistivité apparente du milieu.

K : facteur géométrique qui ne dépend que de la position relative des électrodes et s'exprime par :

$$K = \frac{3,1415.AM.AN}{MN}$$

dV : différence de potentiel aux bornes des électrodes MN.

I_{AB} : intensité du courant électrique circulant dans le circuit AB.

III.3.4. Localité des sondages électriques réalisés

Les sondages électriques verticaux utilisés dans cette étude sont 08 sondages, et sont réalisés dans la région d'ElMelaab. (DRE, 2014).

De point de vue hydrogéologique, la région d'ElMelaab est exploitée par trois forages captant les calcaires fissurés Cénomaniens (**Figure n°19**).

Le niveau statique s'échelonne entre 37 m et 70 m avec un résidu sec qui varie de 400 l/s à 600l/s.

Les débits varient de 3 l/s à 20 l/s, selon le degré de fissuration des calcaires. Mais ces calcaires restent inexploitablement lorsque ces fissures sont colmatées par des calcites.

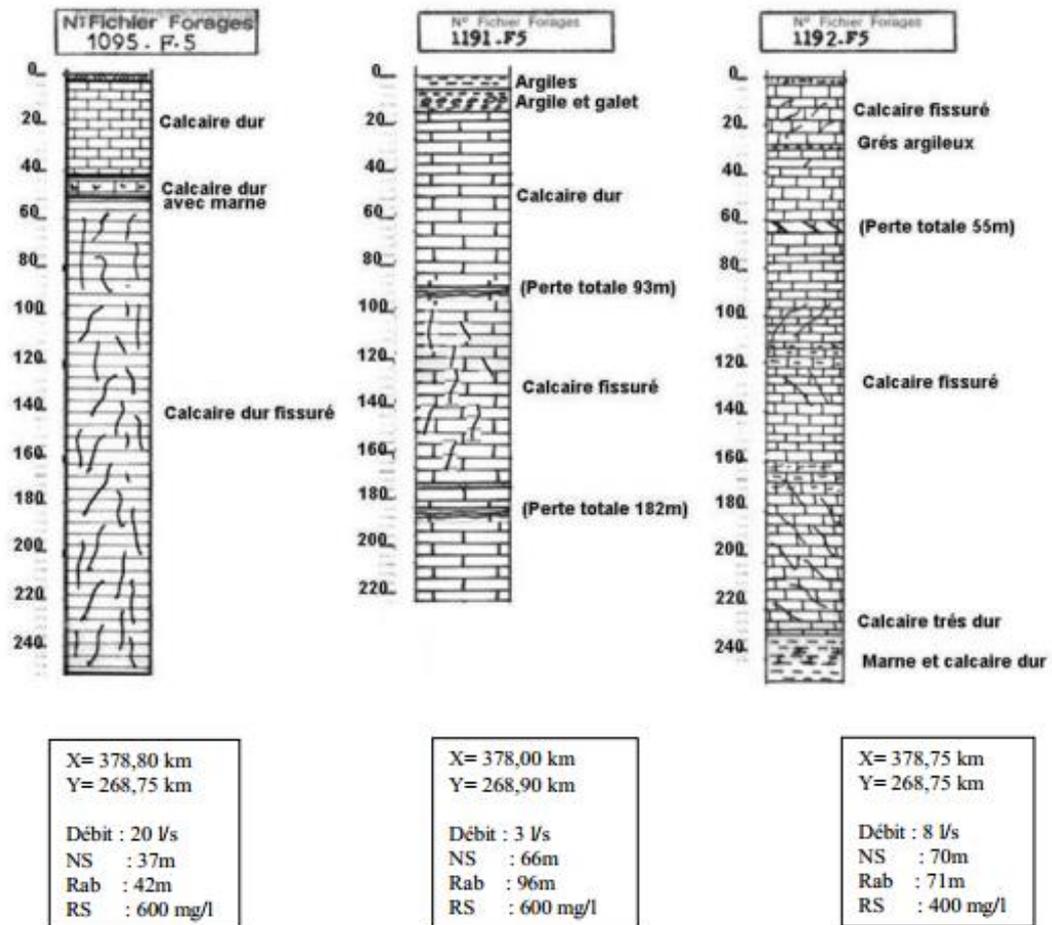


Figure19 : Coupe schématique de corrélation des logs stratigraphiques des forages de la zone d'étude

III.3.5.L'interprétation des mesures géo-électriques

L'interprétation des mesures est basée sur les niveaux des résistivités des formations rencontrées. Ainsi nous avons attribué à chaque sondage électrique une coupe lithologique interprétative selon l'échelle des résistivités adoptées (Figure n°20).

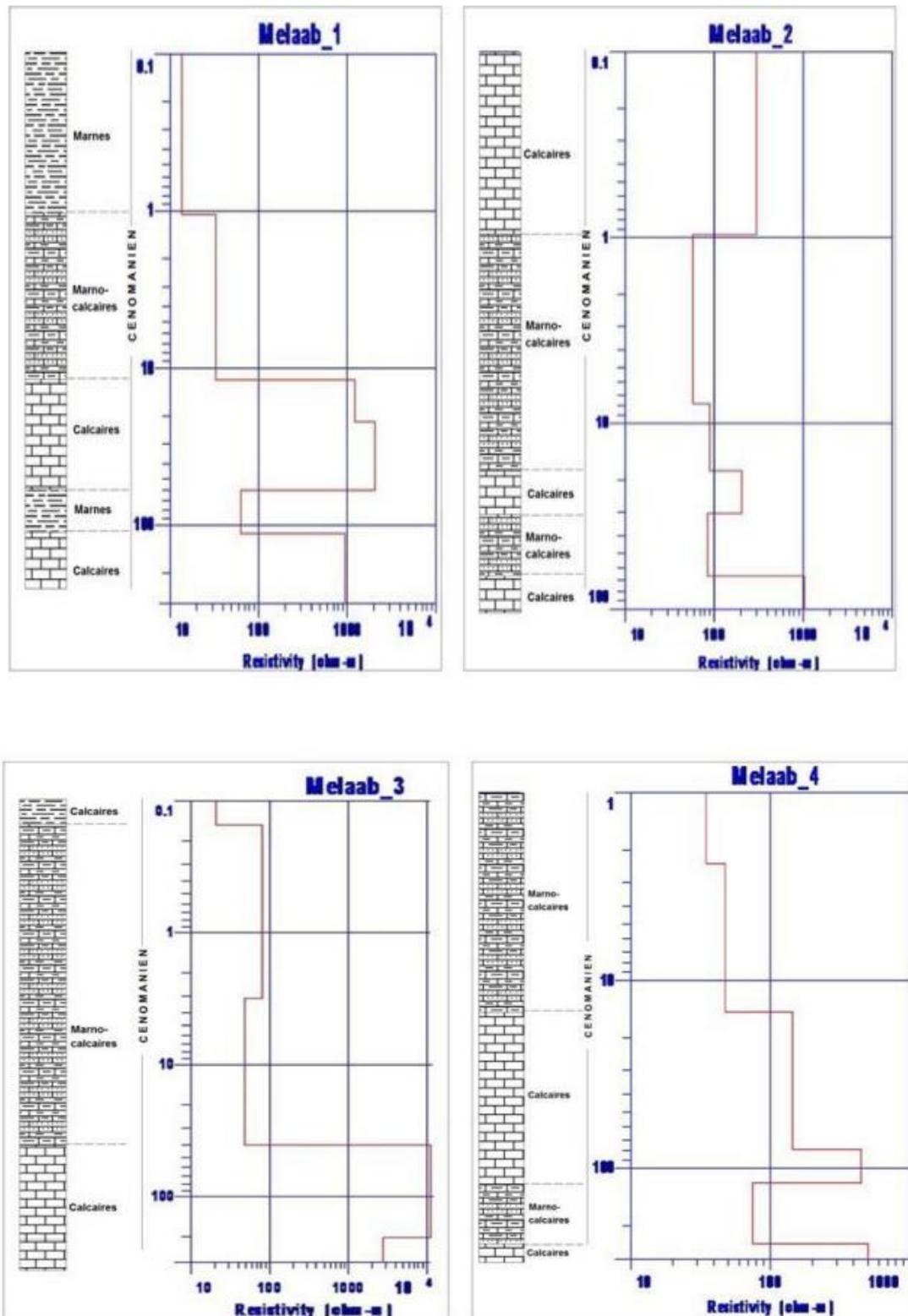


Figure 20a: Les sondages électriques et les logs stratigraphiques correspondants de la région d'étude.

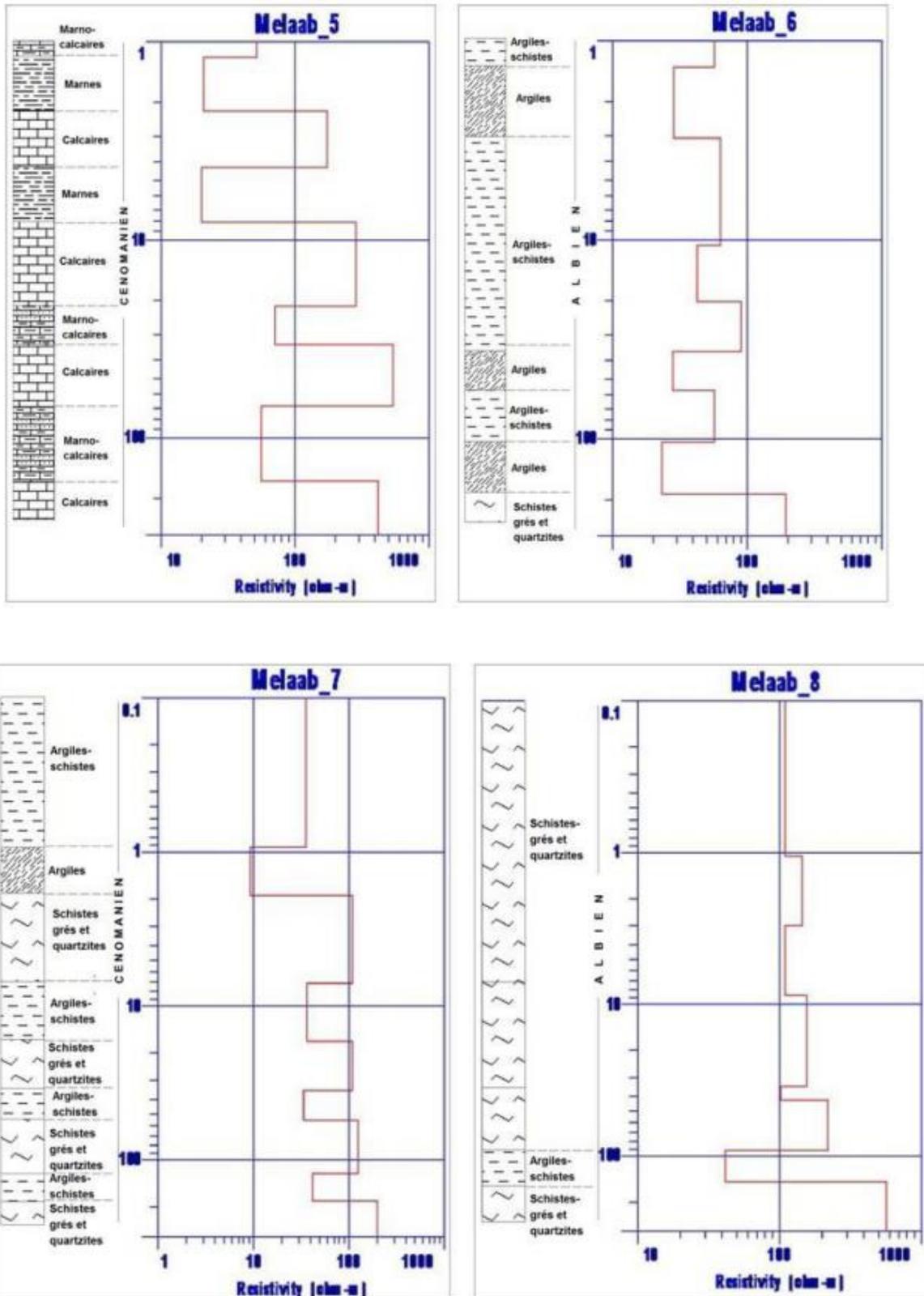


Figure 20b : Les sondages électriques et les logs stratigraphiques correspondants de la région d'étude.

L'analyse de l'ensemble des modèles électrique nous à permis d'adopter l'échelle de résistivités suivantes :

Tableau 10 : Echelle de résistivité adoptée de formation d'après les sondages Paramétriques.

Formation	Age	Résistivité Adoptée (OHM.M)
Calcaires	Cénomaniens	94 à 2373

Les différentes coupes lithologiques interprétatives montrent que seuls les calcaires cénomaniens peuvent selon leurs degrés de fissurations, constituer un aquifère exploitable.

De point de vue géo électrique, les points les plus favorables pour la réalisation des ouvrages hydrauliques sont portés sur le tableau ci – dissous.

Tableau 11: Choix d'implantation d'éventuel forage dans la région d'El Melaab.

Région	Forage	X UTM (km)	Y UTM (km)	Profondeur (m)	Age de formation aquifère
ElMelaab	Fp1 (SEV2)	351,439	3 953,001	150	Cénomaniens

III.4. Les ressources souterraines mobilisées

III.4.1. Les puits

La majorité des puits exploités dans notre zone d'étude sont des puits de drainage le long d'Oued Lardjem, et servent à l'alimentation en eau potable des agglomérations. Les puits privés sont mal connus.

Le tableau qui suit représente les différents puits publics destinés à l'AEP des agglomérations.

Tableau12 : Liste des puits publics destinés à l'AEP des agglomérations.

Commune	Nom de puits	X UTM (m)	Y UTM (m)	Profondeur (m)	Débit (l/s)
Lardjem	P1	368181,97	3955128,96	8	0.9
	P2	368131,66	3955029,09	9	3
	P3	368281,69	3955028,65	7.5	1
	P4	368727,00	3953427,03	8	0.5
	P5	368526,96	3953427,62	7	0.9
	P6	367931,33	3954929,67	10	0.35
	P7	367881,02	3954829,80	9	0.4
	P8	368727,44	3953577,05	7	1.2
	P9	369127,66	3953625,87	6	1.4
	P10	368051,35	3954929,31	8.5	3.5
	P11	368061,35	3954929,28	8	2.8
	P12	368081,36	3954929,22	10	2
	P13	368727,15	3953477,04	11	1.8
Sidi Lantri	P1	364342,60	3950539,52	6	1
	P2	364442,62	3950539,23	7	1

III.4.2. Les forages

La daïra de Lardjem compte 17 forages, dont 03 forages seulement sont exploités pour l'alimentation en eau potable des agglomérations, et 14 forages sont abandonnées pour différents raisons : débit faible, forage négatif, eau salée et niveau dynamique profond.

Le tableau qui suit représente les forages en exploitation d'après les données de l'ABH dans l'année de 2016.

Tableau 13: Liste des forages en exploitation dans la zone d'étude.

Commune	Nom	X UTM (m)	Y UTM (m)	N.S. (m)	N.D.(m)	Prof(m)	Débit (l/s)
EL MELAAB	F1	351521,49	3952778,00	38	54	250	8.14
	F4	351471,33	3952728,14	69.89	71.02	250	10
TAMELLAHET	F Ghermeche	374561,54	3964611,48	80	20	90	3

III.4.3. Les sources

Les agglomérations sont alimentées essentiellement par les sources. La région compte un nombre des sources qui ont été recensés avec des débits variables.

Le tableau qui suit regroupe les données de ces sources.

Tableau 14: Liste des sources de la zone d'étude.

Commune	Nom de source	X UTM (m)	Y UTM (m)	Débit capté (l/s)
Lardjem	S Ain Talaoua	358985,59	3961632,77	0,3
	S Ain Ghartine	362599,16	3966553,94	1
	S Ain Laabais	365992,62	3960498,52	1,5
	S Ain Ouled El hadj	366079,92	3958589,89	0,3
	S Ain Nouaoura	367498,85	3955801,12	0,3
	S Ain Shanine	366508,34	3962703,40	0,8
	S Ain Ouled Ali	366304,04	3964277,31	0,3
	S Ain Mayer	364355,23	3711640,44	0,3
	S Ain Chaaba	270033,52	3956467,00	0,2
Sidi Lantri	S Ain Kouacem	364749,31	3961140,37	1,5
	S Ain Kahla	364916,52	3950137,75	0,5
EL Melaab	S Ain Hamra	364514,67	3949538,82	0,5
	S Ain OuledHadj	360526,38	3953751,49	0,5
	S Ain OuledMeddah	349474,57	3953984,36	0,05

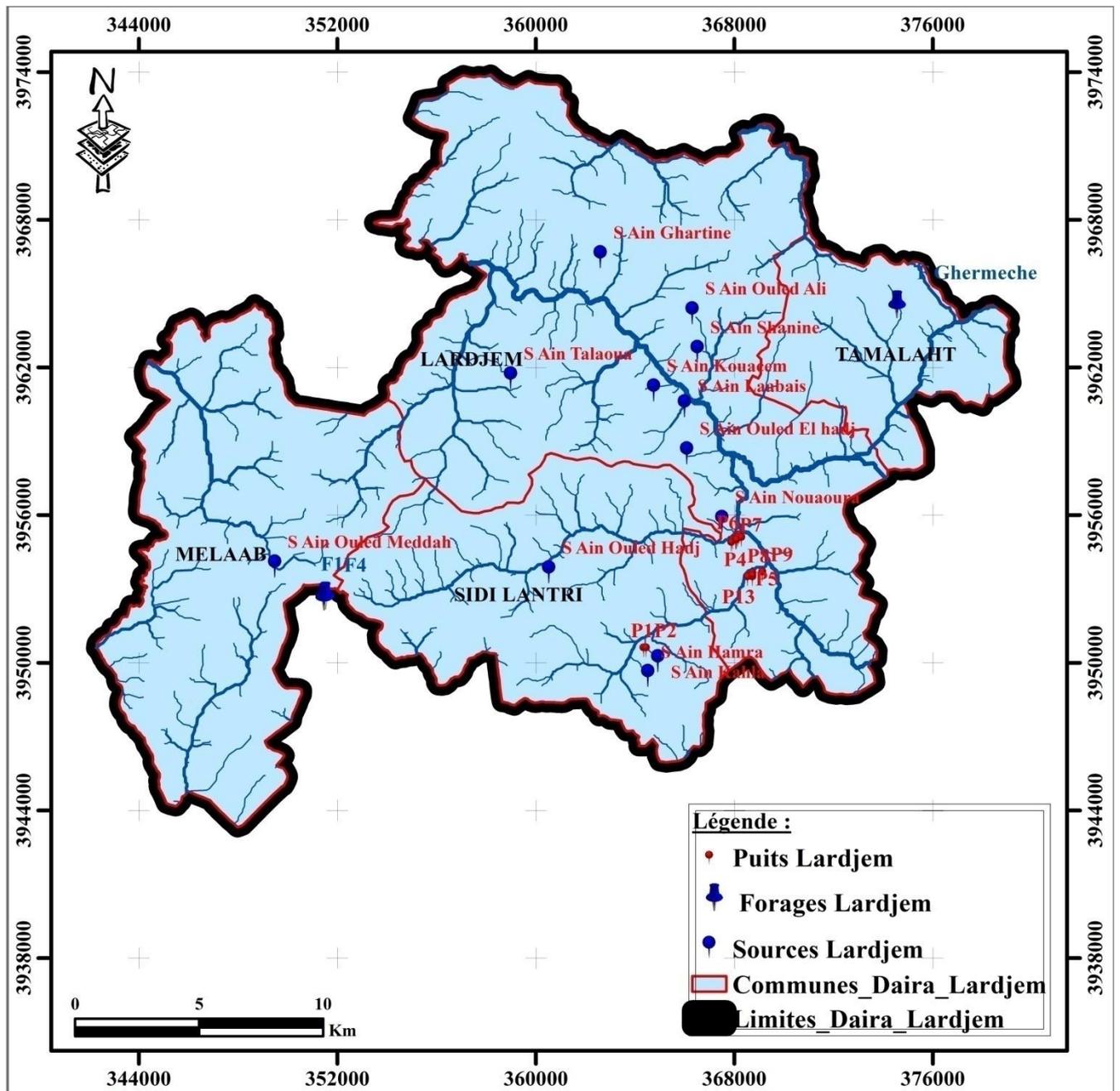


Figure 21 : Répartition spatiale des points d'eau de la région de Lardjem.

III.5. Les caractéristiques hydrodynamiques

III.5.1.Introduction

Les paramètres hydrodynamiques sont des indices qui sont indispensables pour connaître l'aquifère et ses volumes d'eau exploitables par un puits.

Les principaux paramètres régissant l'écoulement des eaux souterraines sont la transmissivité(**T**) et le coefficient d'emmagasinement (**S**).

III.5.1.Transmissivité

La transmissivité d'un aquifère est le produit de la conductivité hydraulique (perméabilité) du matériau aquifère par son épaisseur saturée. Elle s'exprime en m^2/s .

III.5.2.Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement noté **S**, sans dimension, est le volume d'eau libéré par un volume unitaire de ce matériau pour une baisse unitaire de charge hydraulique.

La transmissivité et le coefficient d'emmagasinement se calculent au moyen des expressions d'hydrodynamique souterraine avec les valeurs de débit, de temps et de niveau collectés sur le terrain dans les pompages d'essai.

III.5.3.L'interprétation des paramètres hydrodynamiques

Les données du pompage d'essai exécuté au niveau de forage F1 de la région d'El Melaab.

L'interprétation des résultats de pompage d'essai a été réalisée grâce à l'utilisation de méthode de JACOB.

III.5.3.1.Forage F1 à ElMelaab

- L'ouvrage se site à environ 2.5 km à l'Est de la région d'El Melaab.
- Cordonnées : X= 378 800 ; Y= 268 800
- Profondeur de forage : 250 m
- Niveau hydrodynamique : 54 m
- Niveau statique : 38 m
- La durée de pompage est de 29 heures (104400 s) avec un débit de 8,14 l/s
- Rabattement final : 32,8 m.

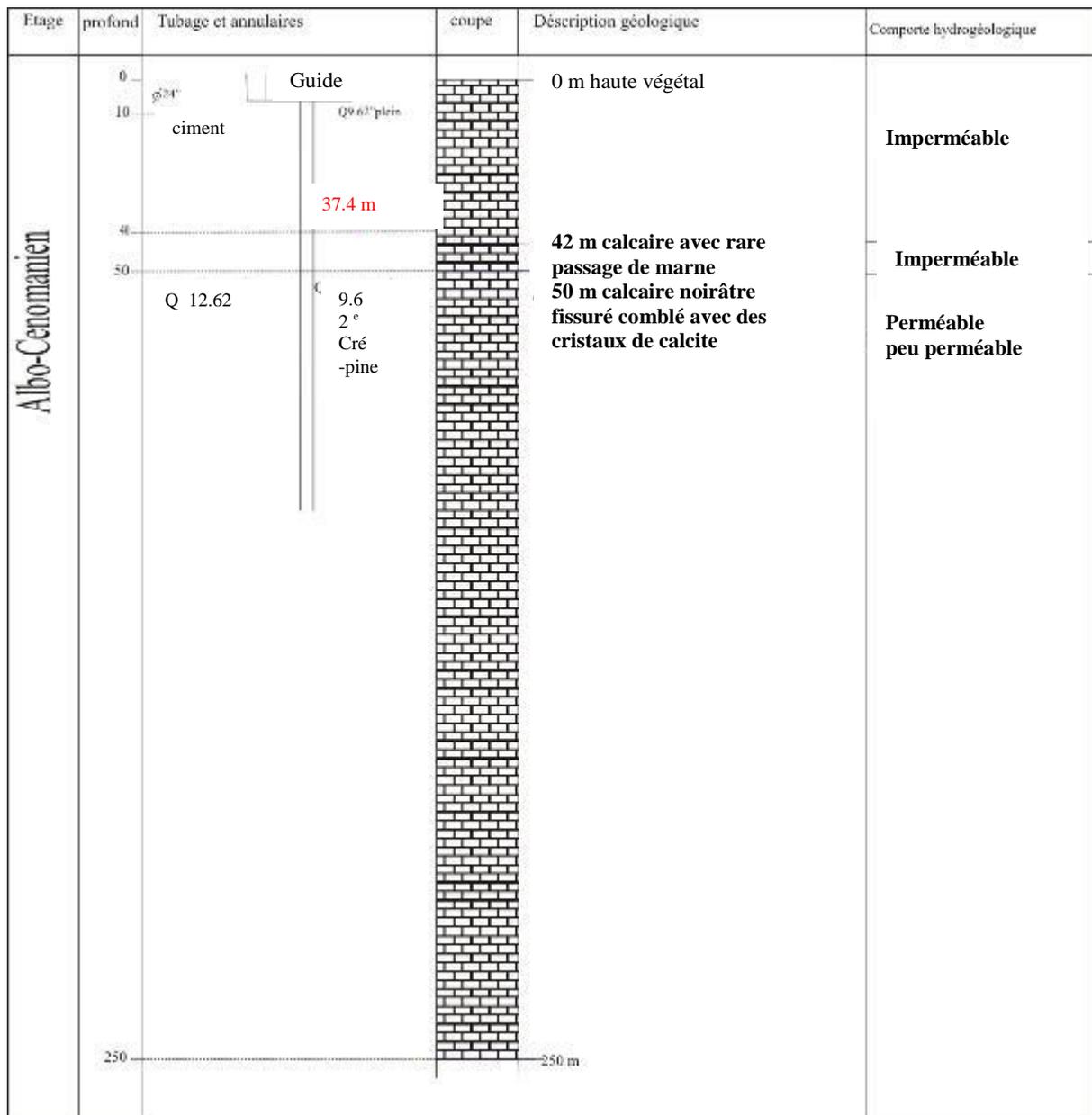


Figure 22 : Caractéristiques et données du forage F1 à la région d'ElMelaab. (Mecif F et Metene A., 2008)

.Courbe de remontée:

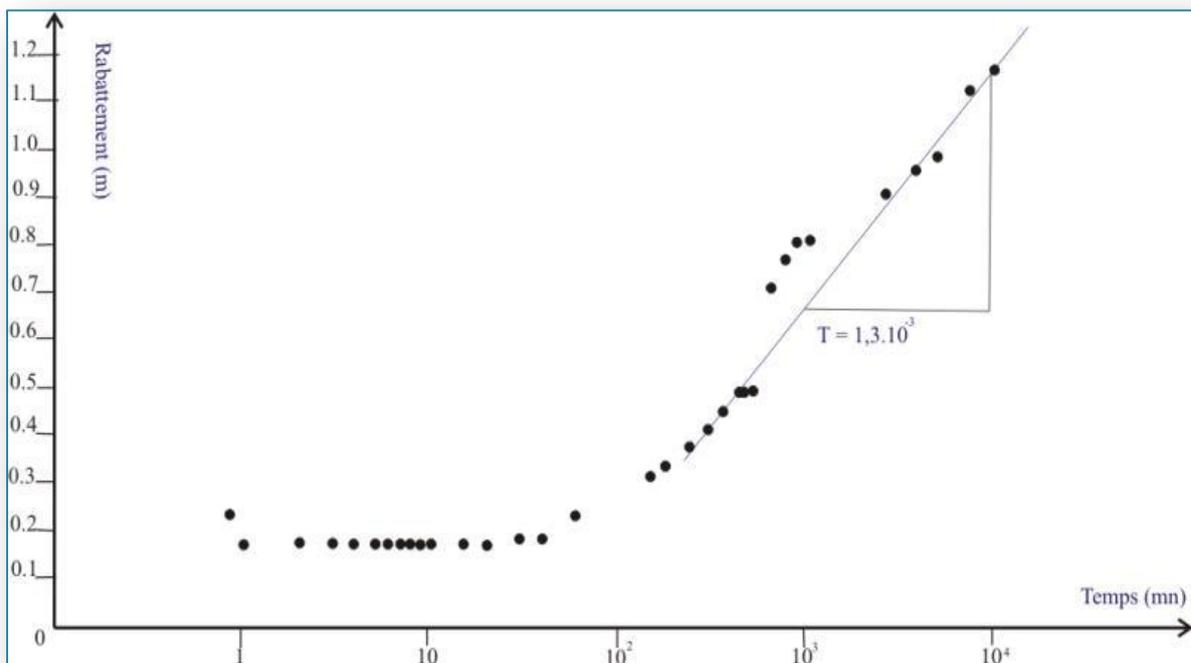
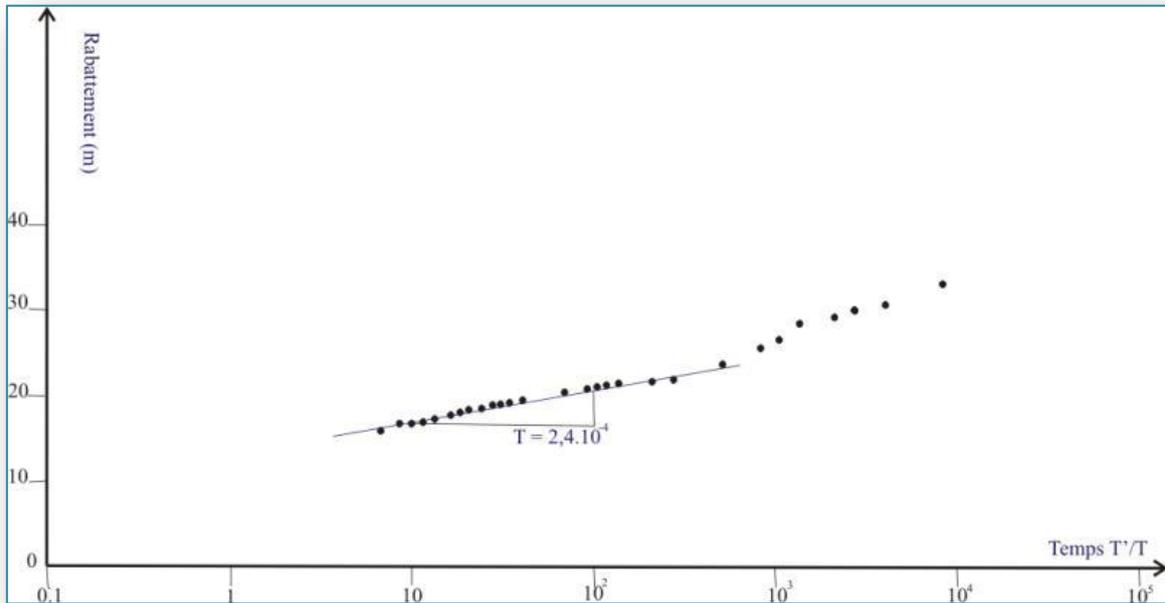


Figure 23 : Courbes de remontée du forage F1 El Melaab. (Mecif F. et Metene A., 2008)

.Pour obtenir la valeur du paramètre de transmissivité on applique la méthode de JACOB.

$$T = 0,183 Q / \Delta S$$

$$Q = 8,14 \text{ l/s} = 8,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta S = 0,68 \text{ m}$$

Alors :

$$\mathbf{T = 2,2 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{s}}$$

III.6.LA PIEZOMETRIE

III.6.1.Définition

La piézométrie est indispensable à la compréhension du comportement d'un aquifère, à sa caractérisation et à l'évaluation de ses capacités.

Elle permet, en particulier d'apprécier les conditions d'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leurs conditions d'alimentation et de drainage, et de la variation de leurs réserves.

III.6.2.Inventaire des points d'eau

L'étude piézométrique nécessite de disposer d'un nivellement très précis des points d'observation (puits, forages, sources), qui permet de garantir la précision dans l'établissement d'une carte piézométrique.

L'établissement de la carte piézométrique de secteur d'étude est basé sur la mesure du niveau piézométrique (Altitude de la surface de l'eau) des points d'eau.

Les points d'eau inventoriés sont des puits et sont reportés sur la carte d'inventaire suivante :

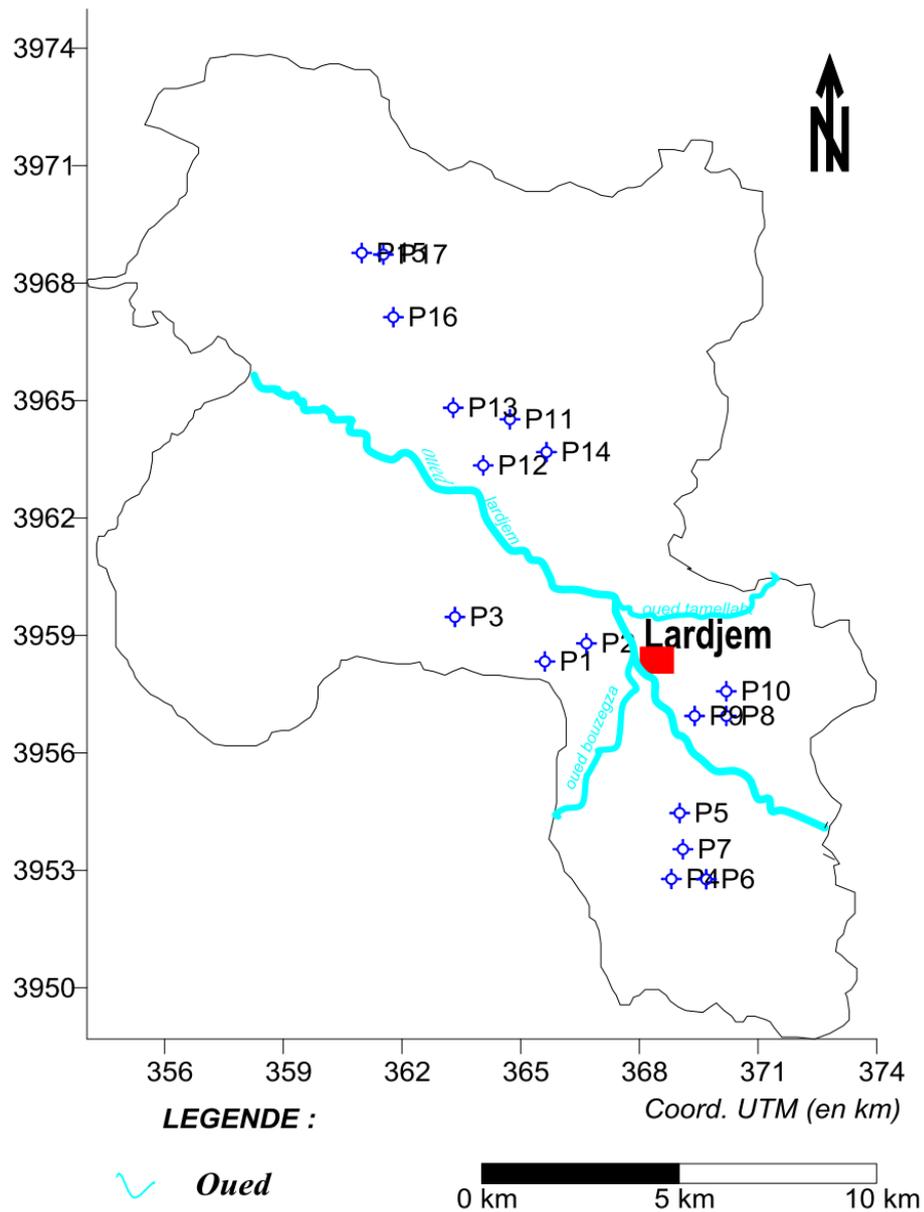


Figure 24 : Carte d'inventaire des puits dans la zone de Lardjem (Dahri A. et Hammoul M.A., 2015)

III.6.3. La carte piézométrique

La carte piézométrique correspondant à la période des hautes eaux (Mars 2015) (**Figure n°22**), permet de définir le sens de l'écoulement des eaux souterraines, qui est déterminé à son tour deux zones, qui sont représentées dans :

- ✓ La partie Nord de Lardjem, qui est caractérisée par un sens d'écoulement des eaux souterraines de l'Est vers l'Ouest.
- ✓ La partie Sud de Lardjem, qui est caractérisée par un sens d'écoulement des eaux souterraines divergent dans tous les directions (Nord, Est, Ouest et Sud).

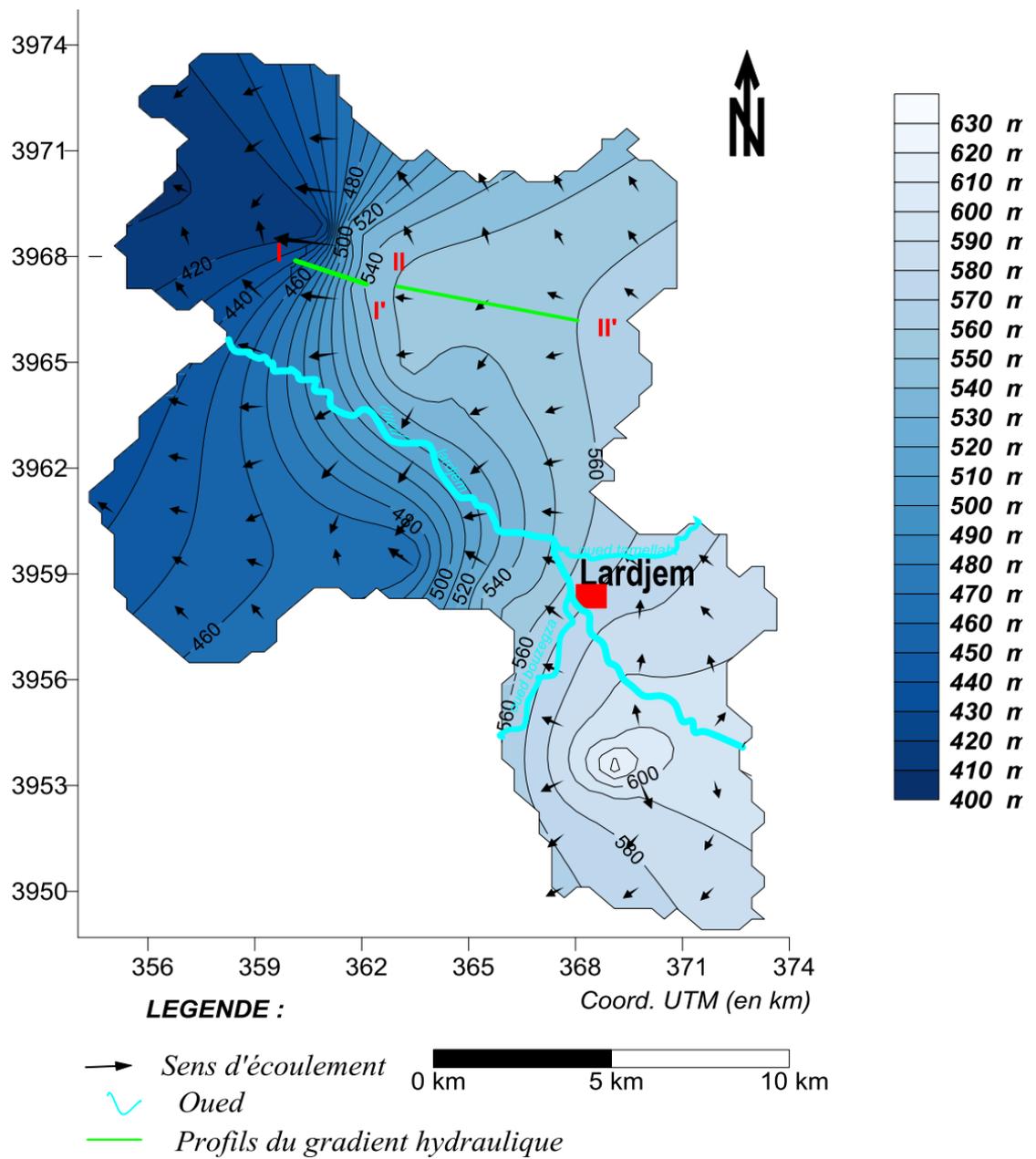


Figure 25 : Carte piézométrique de Lardjem (Période des hautes eaux, Mars 2015) (Dahri A. et Hammoul M.A., 2015)

III.6.4. Interprétation de carte piézométrique

III.6.4.1. Gradient hydraulique

Le gradient hydraulique représente la différence de niveau piézométrique entre deux points et la distance qui les séparent (L).

Il est calculé d'après la formule suivante :

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

Tel que :

i : Gradient hydraulique

h_1 : Niveau piézométrique au point 1 (m)

h_2 : Niveau piézométrique au point 2 (m)

L : Distance entre h_1 et h_2 (m)

D'après les mesures piézométriques réalisées et la morphologie des carte piézométriques, les courbes iso pièzes sont très serrées à la partie centrale de la zone d'étude, et caractérise par un gradient hydraulique fort $i = 0,0022$ (profil I-I'), et la partie Est et Ouest est caractérisée par des courbes iso pièzes plus espacées et un gradient hydraulique faible $i = 0,006$ (profil II-II').

III.7. Conclusion

Dans le secteur étudié, le système aquifère est représenté par deux types d'aquifères: la nappe superficielle (phréatique), formée par le remplissage d'alluvions superficielles du Plio-Quaternaire, et la nappe profonde qui est un système hydrogéologique représenté par les réservoirs calcaires et gréseux, et caractérisé par la structure lithologique complexe.

L'étude hydrogéologique et la prospection par sondage électrique sont indispensables pour une meilleure exploitation des eaux souterraines. Elles montrent que seuls les formations calcaires Cénomaniens (Crétacé), constituent un aquifère exploitable et favorable pour la réalisation des ouvrages hydrauliques.

L'établissement et l'interprétation de la carte piézométrique de la zone d'étude permet de définir deux différents sens d'écoulement des eaux souterraines, l'un est de l'Est vers l'Ouest à la partie Nord de la commune de Lardjem, et l'autre est dans toutes les directions au Sud de la région.

Ces mesures piézométriques permettent aussi de déterminer le gradient hydraulique, où l'on constate, que la partie centrale du site étudié caractérise par un gradient hydraulique fort, et la zone Est et Ouest caractérise par un gradient hydraulique faible.

Chapitre IV :

Etude hydro-chimique

**Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la région
de Lardjem (Wilaya de Tissemsilt)**

IV.1.Introduction

La chimie de l'eau est une discipline scientifique de l'hydrogéologie ayant pour objet d'étude les substances présentes dans l'eau. Les concentrations de ces composés chimiques dépendent de l'origine de l'eau et les formations géologiques traversées. L'étude hydro-chimique est basée sur l'interprétation des mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux, pour objectif de fournir des informations quant à la potabilité.

IV.2.L'objectif du travail

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité de l'eau souterraine à partir de ces caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques dans la région de Lardjem.

IV.3.Les données des points d'eau

En raison des conditions actuelles de pandémie et de quarantaine, nous n'avons pas pu réaliser la partie expérimentale et pratique de ce travail qui consistant à prélever des échantillons d'eau souterraine de la région d'étude et à effectuer des analyses physico-chimique et bactériologiques sur ses échantillons en laboratoire. Nous avons récupérés des analyses du laboratoire de l'ADE de Tissemsilt pour neuf (09) sources réparties dans la région d'étude.

La localisation de ces points de prélèvement "Sources" dans la région de Lardjem qui sont : Ain Laabais, Ain Laabais 2 , Ain Elssoulete, Ain Massouse, Ain Elbouagra Ain Bouzagza 1, Ain Bouzagza2, Ain Krabaa et Ain Ndaouete. Le prélèvement des neufs (09) échantillons et leurs analyses sont effectuées en date du 21-05-2019 (Période des hautes eaux).

IV.4.Les analyses de l'eau

Les analyses de l'eau ont pour but de déterminer la qualité des eaux des sources de la région de Lardjem, grâce à la mesure de certains paramètres physico-chimiques et bactériologiques. La qualité d'eau est déterminée en comparant les résultats aux normes algériennes des eaux de consommation humaine.

-Parmi les paramètres chimiques généralement étudiés, on site:

A-Paramètres physiques :

- La température (T°).
- La conductivité électrique (CE).
- Le potentiel d'Hydrogène (pH).
- La turbidité.

B- Les éléments de pollution :

- Les éléments nutritifs: NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ .
- Les éléments traces métalliques: Fe^{+2} , Mn^{+2} .
- Les éléments organiques: Matière organique (MO).

C- Les paramètres bactériologiques :

- Coliformes.
- E-Coli*.
- Sulfito-réducteur.
- Streptocoques fécaux.

Pour bien interpréter ces analyses, on utilise les diagrammes qui peuvent mettre en évidence l'évolution des différents éléments chimiques et leurs origines.

Tableau 15 : Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine avec valeurs limites (Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unité	Valeur limite
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	µg/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Phosphore	mg/l	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10

	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanure	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5

Tableau 16 : Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine avec valeurs indicatives (Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unité	Valeur limite
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimique en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentrations des ions d'Hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25	
Paramètres microbiologiques	<i>Escherichia Coli</i>	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfito-réductrices y compris les spores	n/100ml	0

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de sources de la région de Lardjem sont représentés dans l'Annexe n°1.

IV.4.1. Les paramètres physiques

1. La température

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée. (Rodier, 1984).

Les valeurs de la température sont résumées dans la figure ci-dessus:

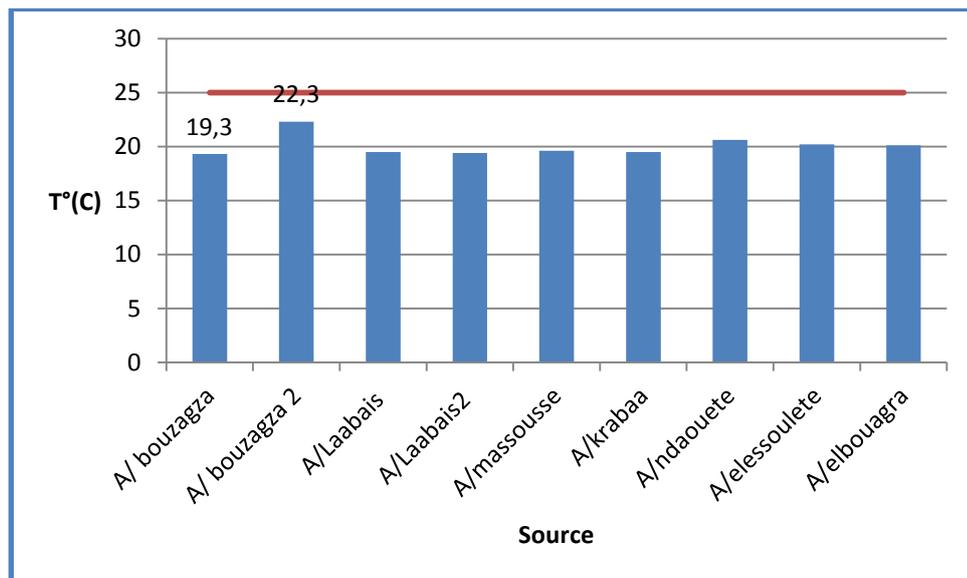


Figure 26 : Histogramme des résultats de la température (°C) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Selon les résultats obtenus de la température de l'eau exprimées dans la figure n°26, les valeurs de température des points d'eau sont variées entre 19,3 et 22,3 °C, sont alors inférieures aux normes algériennes, qui sont fixées à 25°C.

2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ion d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés.

Les résultats obtenus sont résumés dans la figure suivante:

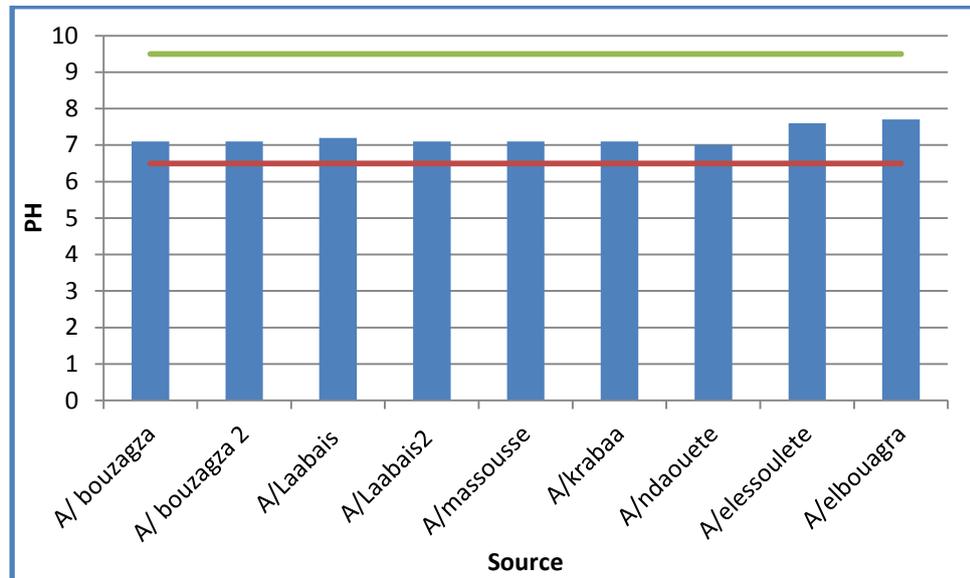


Figure 27 : Histogramme des résultats du potentiel d'Hydrogène (pH) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

D'après les résultats obtenus dans la figure n°27, les valeurs du potentiel d'Hydrogène sont comprises entre 7 et 7,7 ; donc alors ce paramètre ne dépasse pas la norme algérienne des eaux potables qui fixé entre $6,5 \leq \text{pH} \leq 9$.

3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont des mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C.

Les résultats de la conductivité électrique sont présentés dans la figure ci-dessous:

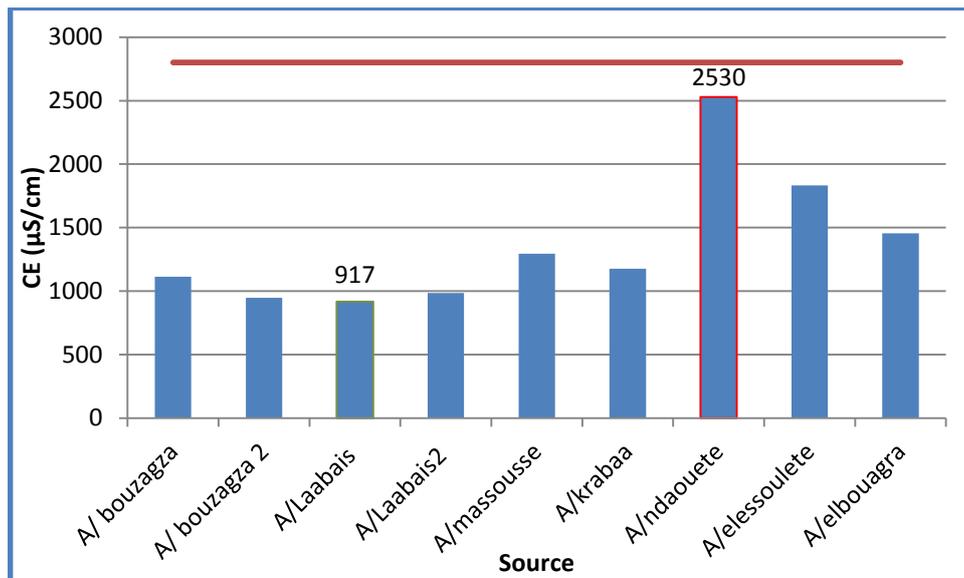


Figure 28 : Histogramme des résultats de la conductivité électrique des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Selon les résultats obtenus dans la figure n°28 de la conductivité électrique, on trouve que les valeurs de C.E. varient entre 917 observé au niveau de la source d'Ain Labaais1 et 2530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistré au niveau de la source d'Ain Ndaouete, ces valeurs sont inférieures à la norme algérienne des eaux potables fixé à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4. La turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes.

Les résultats du paramètre de turbidité sont résumés dans la figure ci-dessus:

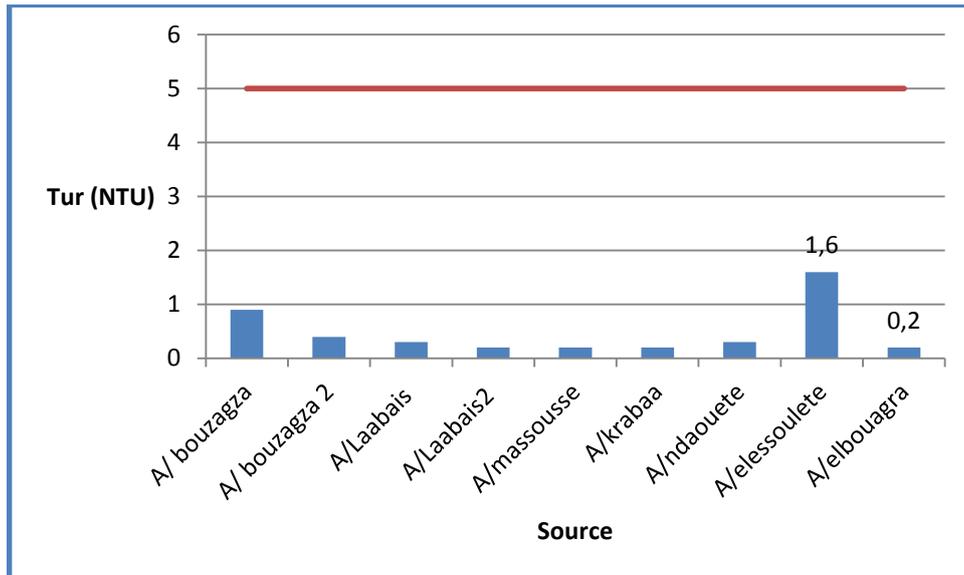


Figure 29 : Histogramme des résultats de la turbidité des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Les résultats obtenus de la turbidité exprimés dans la figure n° 29, montrent que les valeurs de ce paramètre des sources analysées varient entre 0,2 et 1,6 NTU, et qui restent inférieures à la norme algérienne des eaux potables fixée à 5 NTU.

IV.4.2. Les paramètres de pollution

IV.4.2.1. Les éléments nutritifs

1. Ammonium (NH_4^+)

L'Ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'Ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques.

Les résultats obtenus de l'Ammonium sont résumés dans la figure suivante:

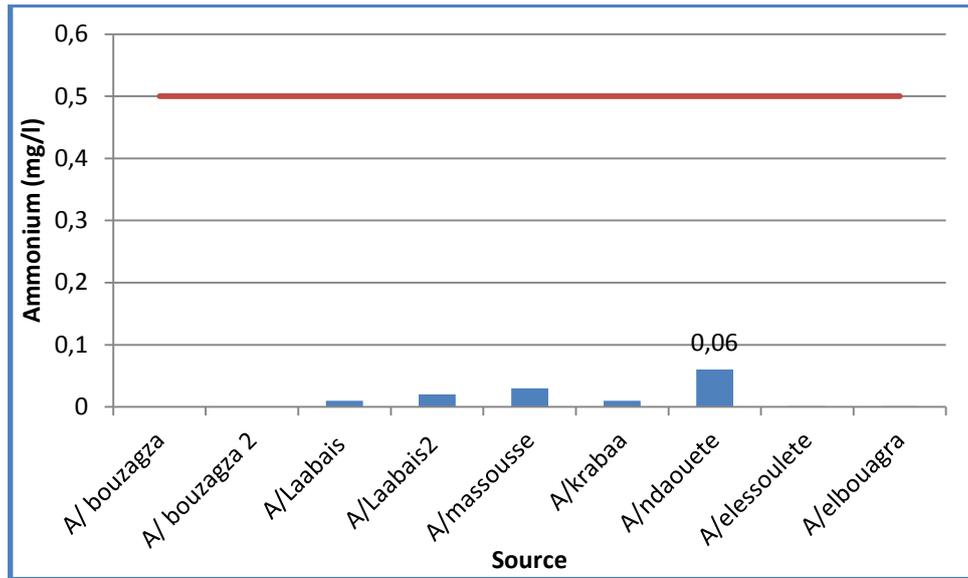


Figure 30 : Histogramme des résultats de l'ammonium (NH_4^+) en (mg/l) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Les résultats de l'ammonium NH_4^+ exprimés dans la figure n°30 montrent que les valeurs de NH_4^+ sont comprises entre 0 et 0,06 mg/l, et qui sont inférieures à la norme algérienne fixé à 0.5 mg/l.

2. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates se trouvent naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 30 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines.

Les valeurs de nitrates mesurés sont résumées dans la figure ci-dessus:

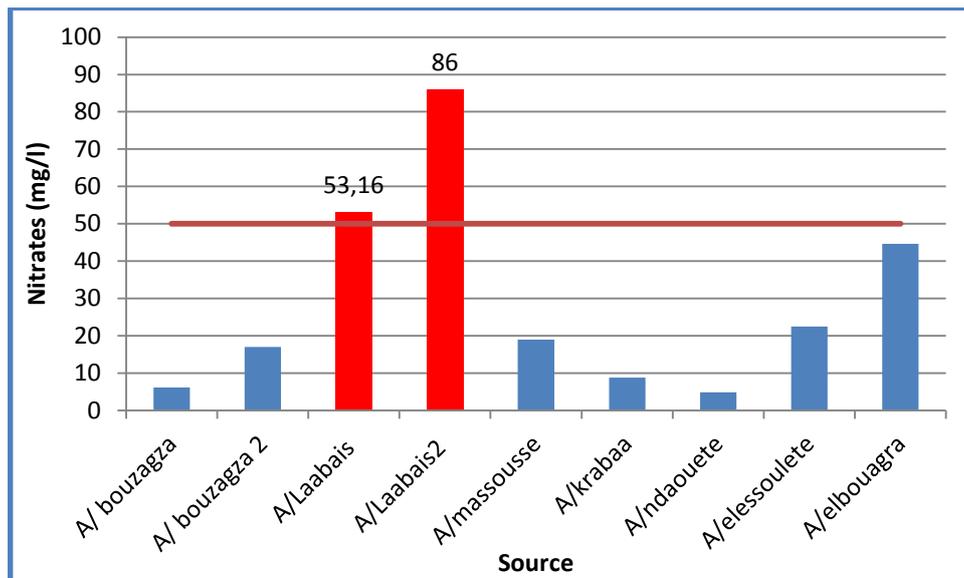


Figure 31: Histogramme des résultats des Nitrates (NO_3^-) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Les résultats des nitrates exprimés dans la figure ci-dessus montrent que les valeurs de nitrate de deux échantillons (source de A. Laabais et source de A. Laabais 2) ont dépassés la norme par des valeurs de 53,16 et 86 mg/l respectivement, qui explique que l'eau de ces deux sources est polluée c'est-à-dire présente une mauvaise qualité, l'origine probable de cet excès est les engrais chimiques de l'activité agricole exercée dans la région ou les eaux usées domestiques.

Les valeurs de nitrates des autres échantillons varient entre 4,89 et 44,6 mg/l, qui restent inférieures à la norme algérienne des eaux potables fixé à 50 mg/l.

3. Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. C'est un composé minéral de formule NO_2^- .

Les valeurs de nitrites sont résumées dans la figure suivante:

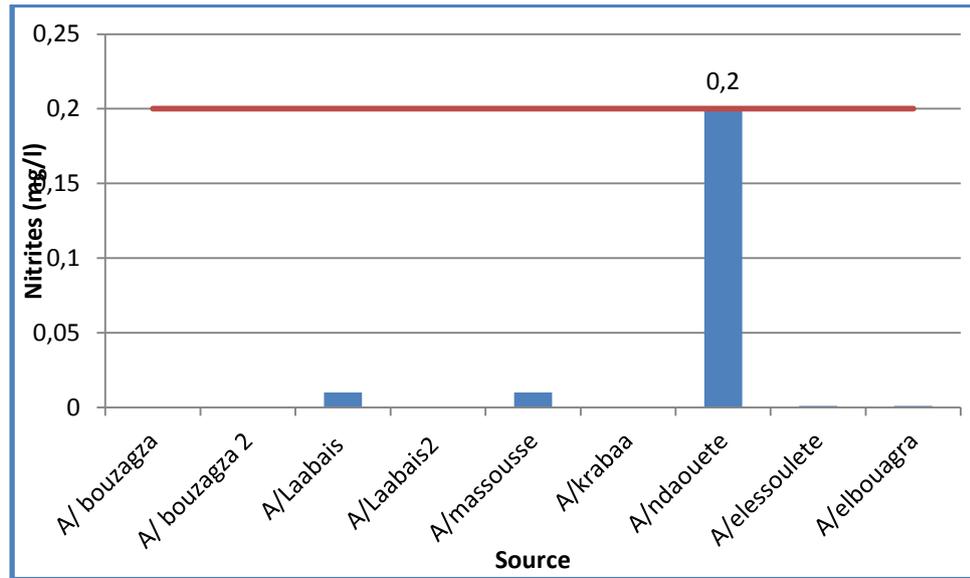


Figure 32 : Histogramme des résultats des Nitrites (NO_2^-) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Les résultats obtenus de nitrites représentés dans la figure ci-dessus montrent que la valeur maximale de NO_2^- est observé à la source d'Ain Ndaouete avec une valeur de 0.2 mg/l et qui ne dépasse pas la norme algérienne des eaux de consommation humaine.

Les concentrations de nitrites de le reste de points d'eau sont inférieures à la norme algérienne des eaux potables fixé à 0,1 mg/l.

IV.4.2.2. Les éléments traces métalliques

1. Le Fer (Fe^{+2})

Les eaux de surfaces peuvent contenir jusqu'à 0,5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine les terrains traversés ou les pollutions industrielles. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau. Le fer de l'eau ne présente certes aucun inconvénient du point de vue physiologique, mais à des teneurs très importantes, il influe sur la qualité organoleptique de l'eau (mauvais goût, couleur et saveur). **(Rodier, 1996).**

Les résultats obtenus de paramètre de fer sont résumés dans la figure ci-dessus:

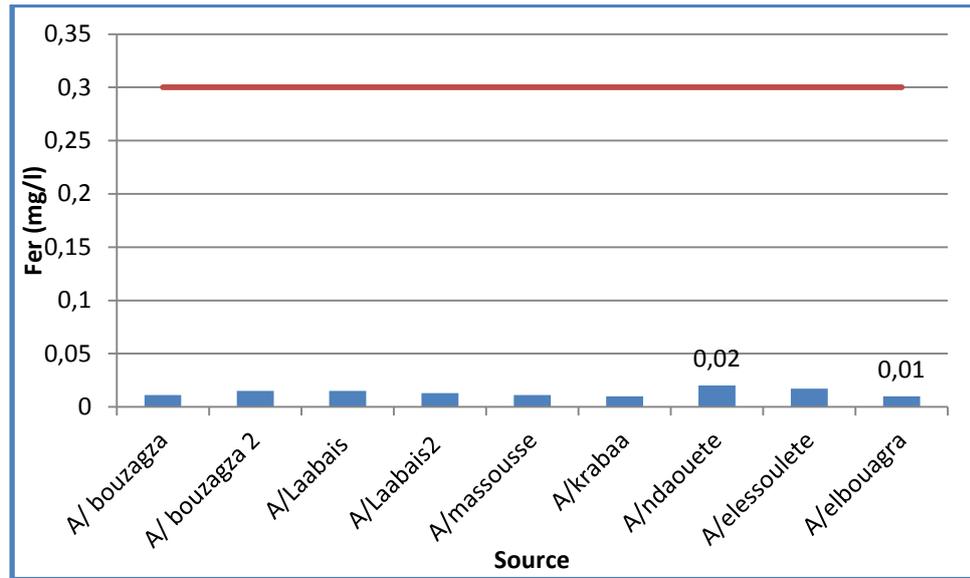


Figure 33: Histogramme des résultats de Fer (mg/l) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Les résultats obtenus de fer qui sont résumés dans la figure n°33, montrent que les concentrations de Fe^{+2} des points d'eau sont variées entre 0,01 et 0,02 mg/l, donc les neuf valeurs sont inférieures à la norme algérienne de l'eau potable qui est fixée à 0,3 mg/l.

2. Manganèse (Mn^{+2})

Le Manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite et la brunîtes. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1 mg/l en particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries. (Rodier, 1976).

Les résultats de mesure du Manganèse sont représentés dans la figure ci-dessus:

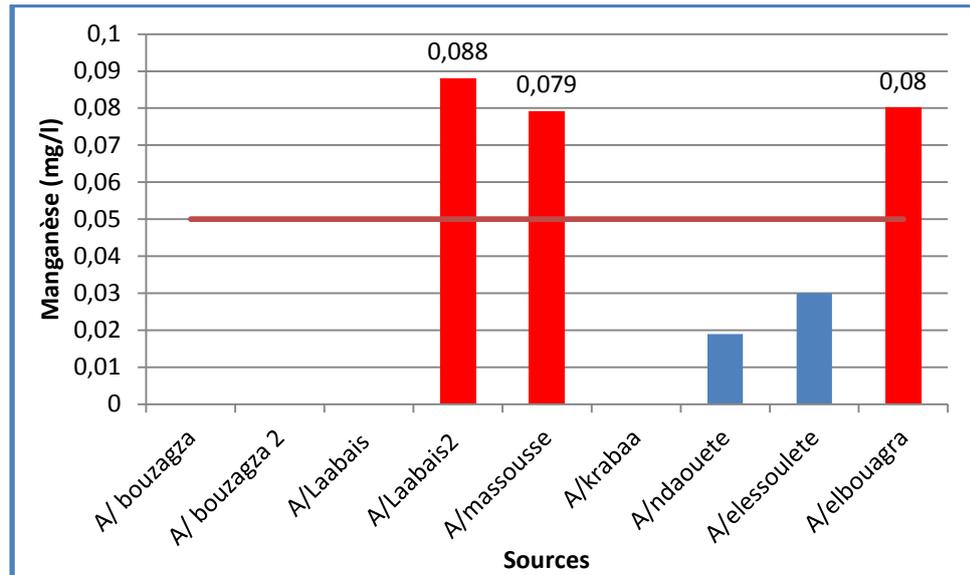


Figure 34: Histogramme des résultats de Manganèse (Mn^{+2}) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

D'après les résultats exprimés dans l'histogramme ci-dessus du paramètre de Manganèse (Mn^{+2}), on trouve que les concentrations de Mn^{+2} des trois échantillons suivantes: A. Laabais 2, A. Massousse et A. Elbouagra, ont dépassés la norme avec des valeurs de: 0,088; 0,08 et 0,079 mg/l respectivement.

Les concentrations des autres échantillons sont comprises entre 0 à 0,03 mg/l, donc ces valeurs sont inférieures à la norme algérienne des eaux potables fixées à 0,05 mg/l ou (50 μ g/l).

Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre de 1 mg/l en particulier lorsqu'il y a une attaque par l'eau de la roche support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries. Dans ces conditions, il est souvent associé au fer avec lequel il co-précipite par oxydation.(Rodier, 2009)

IV.4.2.3. Les éléments organiques

1. Matière organique (MO)

Les matières organiques sont des matières oxydables qui nécessitent pour leur décomposition une certaine quantité d'oxygène. Elles vont appauvrir le milieu naturel en oxygène, c'est pourquoi elles sont considérées comme des matières polluantes.

Les valeurs de la matière organique sont résumées dans la figure ci-dessus:

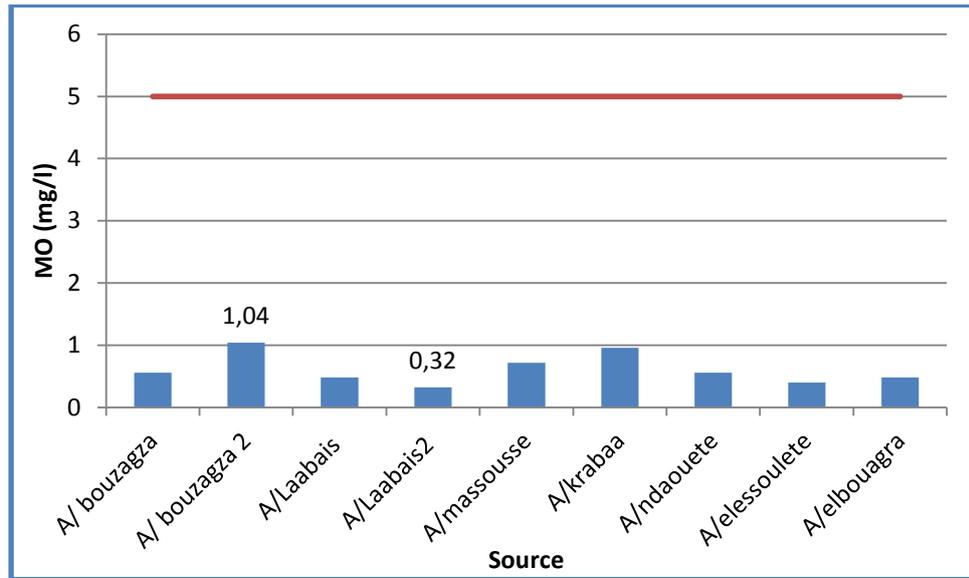


Figure 35: Histogramme des résultats de matière organique (MO) des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

D'après les résultats obtenus qui sont représentées dans l'histogramme de figure n° 35, on observe que les valeurs de la matière oxydable (MO) sont variées entre 0,32 et 1,04 mg/l, donc ces valeurs sont inférieures à la norme algérienne de l'eau potable qui est de l'ordre de 5 mg/l.

IV.4.3. Les paramètres bactériologiques

IV.4.3.1. Coliformes Totaux

Les coliformes sont considérés depuis longtemps comme de bons indicateurs microbiens de la qualité de l'eau de boisson, notamment parce qu'ils sont faciles à détecter et à dénombrer dans l'eau. Le terme "Coliformes totaux" désigne des bactéries Gram-négatives en forme de bâtonnets aptes à se développer en présence de sels biliaires et d'autres agents tensioactifs dotés des mêmes propriétés inhibitrices de la croissance. (OMS, 2000).

Les résultats d'analyse de ce paramètre sont exprimés dans la figure ci-dessus:

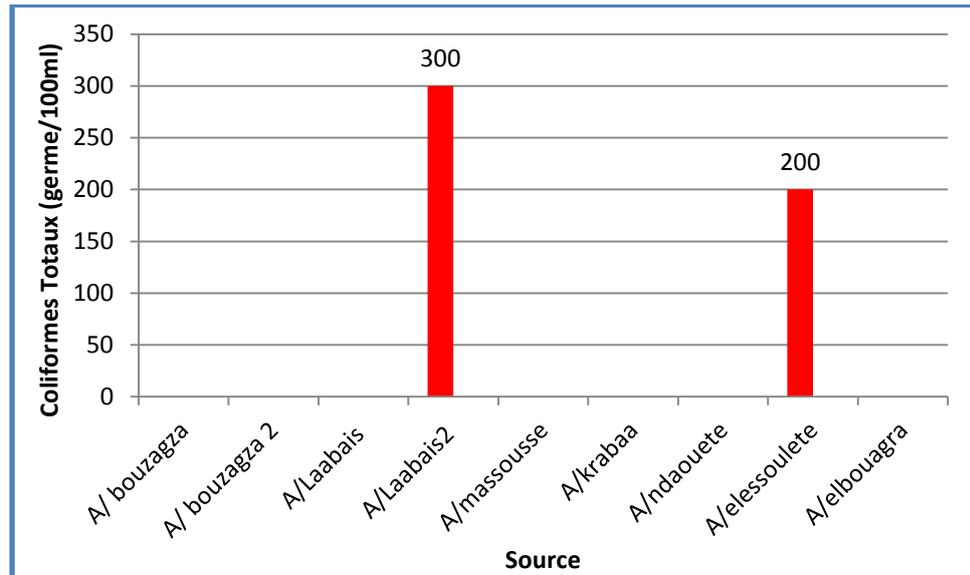


Figure 36 : Histogramme des résultats de coliformes totaux des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Les résultats obtenus de l'analyse de coliformes totaux qui sont représentés dans la figure n° 36, montrent que les valeurs de ce paramètre dans les points d'eau de "A. Laabais 2" et "A. Elssoulete" sont dépassées la concentration maximale admissible, et le reste de points d'eau ont des valeurs égales à la norme nationale qui est d'ordre de 0 germe /100 ml.

IV.4.3.2. *Escherichia coli* (*E. Coli*)

Escherichia coli est abondant dans les fèces humaines et animales où il peut atteindre des concentrations de 10^9 par gramme de matière fraîche. On le trouve dans les eaux d'égout, les effluents traités, ainsi que dans toutes les eaux naturelles et dans les sols qui ont subi une contamination fécale récente, qu'elle soit due à l'homme, aux animaux d'élevage où à la faune sauvage. La présence d'*Escherichia Coli* dans les eaux indique toujours une contamination potentiellement dangereuse demandant une intervention immédiate. (OMS, 2000).

Les résultats d'analyse sont résumés dans la figure ci-dessus:

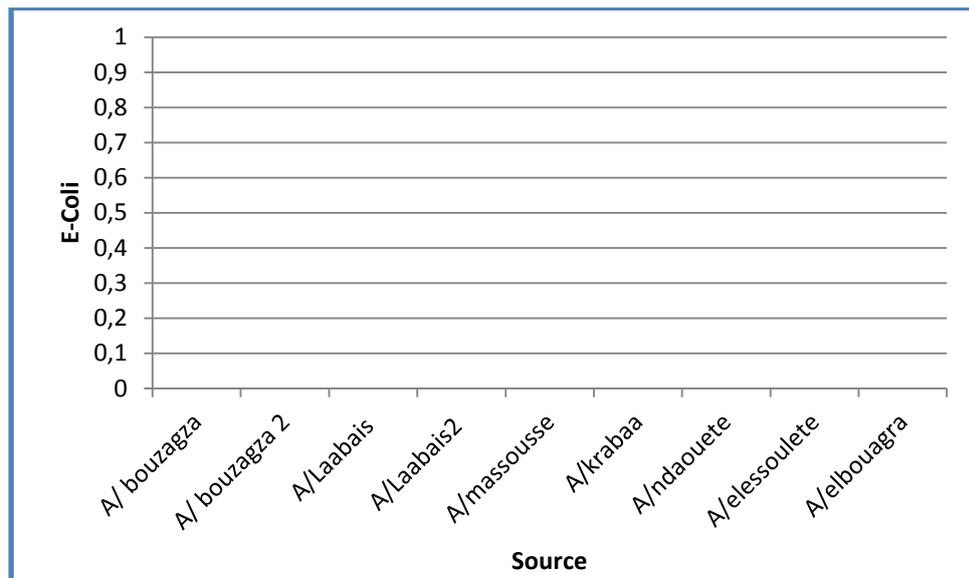


Figure 37: Histogramme des résultats des *E. Coli* des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

D'après les résultats obtenus de l'analyse, les valeurs d'E. Coli de tous les points d'eau sont égales à 0 germe/100ml, donc ces valeurs ne dépassent pas la valeur maximale admissible qui est fixée à 0germe /100 ml.

IV.4.3.3.Streptocoques fécaux

Le terme "Streptocoques fécaux" désigne les streptocoques généralement présents dans les fèces de l'homme et des animaux. Tous possèdent l'antigène du groupe D de Lancefield. Du point de vue taxonomique, ils appartiennent aux genres *Enterococcus* et *Streptococcus*. (OMS, 2000).

Les valeurs de ce paramètre sont résumées dans la figure suivante:

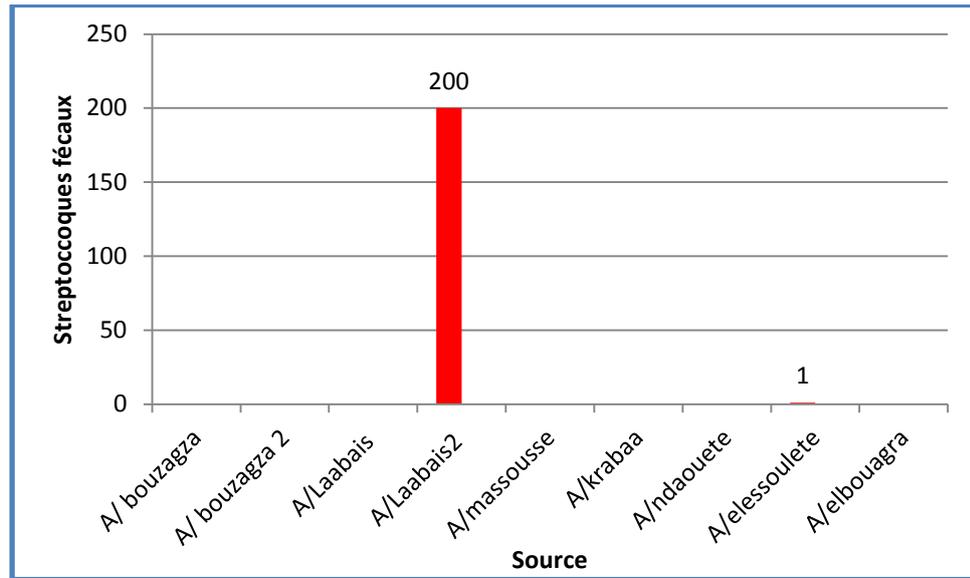


Figure 38: Histogramme des résultats des Streptocoques fécaux des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Selon les résultats obtenus dans l'histogramme, on remarque que les échantillons de "A. Laabais2" et "A. Elssoulete" ont de mauvaise qualité bactériologique, à cause de ces valeurs qui sont dépassées la norme d'OMS fixée à 0 ml, alors les autres échantillons d'eau ont de bon qualité bactériologique.

IV.4.3.4.Sulfito-réductrices

Ce groupe se compose de micro-organismes anaérobies sporigènes. Ils ne sont pas d'origine exclusivement fécale et leur présence dans l'environnement peut avoir d'autres raisons. Les spores de *Clostridia* peuvent suivre dans l'eau beaucoup plus longtemps que les coliformes et ils résistent à la désinfection. (OMS, 2000).

Les résultats obtenus sont résumés dans la figure suivante:

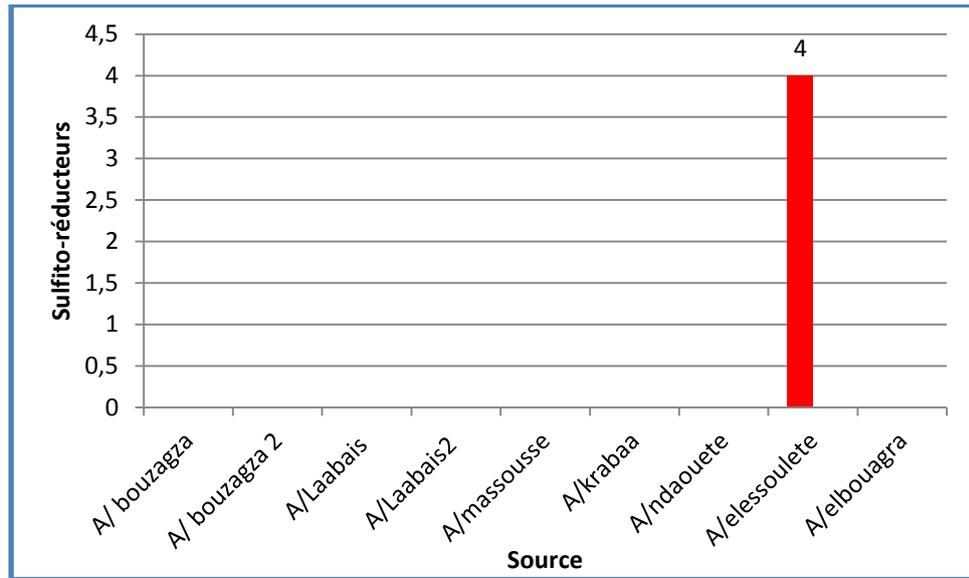


Figure 39: Histogramme des résultats des Sulfite-réducteurs des eaux des points de prélèvement de la région de Lardjem.

Selon les résultats obtenus, la valeur de concentration de Sulfite-réducteurs dans le point d'eau de "A.Elssoulete" dépasse la valeur de la concentration maximale admissible, alors elle a une mauvaise qualité bactériologique, et d' autre part les autres points d'eau ont de bonnes qualités bactériologiques.

IV.5.Conclusion

L'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques a été effectuée a pour but d'un suivi de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine de la région.

Cette étude porte sur la caractérisation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines "Sources", ainsi que la détermination des paramètres bactériologiques.

Les eaux de la zone d'étude ont une mauvaise qualité dans les sources de Ain Laabais, Ain Laabais 2 , Ain Elssoulete, Ain Massouse et Ain Elbouagra, en raison des concentrations élevées en Nitrates (NO_3^-), en Manganèse (Mn^{+2}), et le taux des germes qui dépasse parfois la norme nationale de potabilité qui nécessite un système de désinfection.

Les autres points de prélèvement :Ain Bouzagsa 1, Ain Bouzagsa2, Ain Krabaa et Ain Ndaouete ont relativement une bonne qualité d'eau, et les concentrations des caractéristiques chimiques et les paramètres bactériologiques sont acceptables en les comparant aux normes algériennes de potabilité.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations

La présente étude est incluse la région de Lardjem, qui occupe 19% de la superficie totale de la wilaya de Tissemsilt.

L'étude géologique de la région a montré la succession des époques passées tels que: le Trias, le Jurassique, le Crétacé, l'Eocène, l'Oligocène, le Miocène et le Plio-Quaternaire. Ces époques ont été témoins de plusieurs variations rocheuses, dont les plus importantes sont: les gypses, les marnes, les argiles, les alluvions diverses, les grés et les calcaires. La structure tectonique de massif de l'Ouarsenis est complexe, elle est marquée par plusieurs mouvements qui sont survenus entre le Jurassique et le Crétacé moyen.

L'étude hydro-climatologique a montrée que le secteur étudié est soumise a un climat semi-aride, caractérisé par deux périodes, une période humide et froide du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril, et une période sèche et chaude de mois de Mai jusqu'au mois de Septembre, avec une précipitation moyenne de l'ordre 556,77 mm, et une température moyenne annuelle de 16,86°C observés durant une période de 33ans de 1986 à 2018. La plus part de zone d'étude appartient au sous bassin versant d'Oued Sly, qui a une forme allongé avec une superficie de 1400 km², et qui comprend un réseau hydrographique dense et ramifié.

L'analyse des formations géologiques permet d'identifier deux domaines hydrogéologiques, la nappe phréatique formée par le remplissage d'alluvions superficielles du Plio-Quaternaire, et la nappe profonde représentée par les réservoirs calcaires et gréseux, et caractérisée par la complexité. L'étude géophysique par la prospection électrique a montrée que seuls les formations calcaires Cénomaniens constituer un aquifère exploitable. L'interprétation de la carte piézométrique permet de définir deux sens d'écoulement des eaux souterraines, le premier de l'Est vers l'Ouest au Nord de la région, et le deuxième dans toutes les directions au Sud de la région. Les mesures du gradient hydraulique montre qu'il est fort au centre de la région et faible dans ces extrémités Est et Ouest.

L'étude hydro-chimique a été réalisée pour édifier un aperçu sur la qualité chimique de l'eau des sources. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques sont effectuées par le laboratoire de l'ADE de la wilaya de Tissemsilt. Ces analyses

Conclusion générale et recommandations

sont effectuées dans la région de Lardjem, elles portent sur les paramètres physiques, les éléments de pollution et les paramètres bactériologiques. Les eaux des sources de Ain Laabais 1, Ain Laabais 2, Ain Elssoulete, Ain Massouse et Ain Elbouagra présentent une mauvaise qualité physico-chimique et bactériologique à cause des concentrations élevées en Nitrates et de Manganèse et le taux de germes et qui contiennent d'indicateur de pollution fécale et qui nécessitent un traitement spécifique et une désinfection. Les causes de cette pollution sont multiples ; parmi lesquelles on peut dire qu'il y a une mauvaise protection des sources, non application des mesures d'hygiène et la mauvaise évacuation des eaux domestiques (fosses septiques), qui dépassent les normes algériennes de potabilité. Les autres sources présentent une bonne qualité physico-chimique et bactériologique vis à vis les paramètres analysés, et les valeurs des concentrations des éléments sont inférieures en comparaison avec les normes algériennes pour l'eau potable.

Les mesures recommandées, pour la protection des ressources hydriques (sources d'eau) dans la zone d'étude sont les suivantes :

- ✓ Le traitement sur place ou le stockage des rejets et déchets industriels (unités industrielles de production, stations de lavage et de carburant, élevage, ...).
- ✓ Eviter les infiltrations des rejets domestiques et industriels vers les aquifères et faire recours à des transferts par canalisations vers la station d'épuration, ou vers des lagunes pour un traitement microbiologique.
- ✓ Traiter les déchets solides dans des centres d'enfouissement techniques.
- ✓ Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants et pesticides afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines.
- ✓ Réaliser des analyses physico-chimiques et bactériologiques périodique afin de suivre l'évolution temporelle et spatiale de la qualité des eaux et intervenir la où on détecte une pollution ou une mauvaise qualité.
- ✓ Etablir des périmètres de protection qualitative autour des ouvrages de captages de la région et interdire toute activité anthropique à l'intérieur de ces périmètres qui peut nuire ou dégrader la qualité des eaux.

Références bibliographiques

AHMED ZEGHARI: ETUDE DES BLOCS DIACHRONES RESEDIMENTES DANS LE "FLYSCH ALBO-APTIEN" (GRAND PIC DE L'OUARSENIS) : CARTOGRAPHIE ET ASPECTS SEDIMENTOLOGIQUES **2013**

Agence de bassin hydrographique Cheliff Zahrez, (2002): Mission I: Evaluation des ressources en eau et en sols. Situation actuelle de la mobilisation et synthèse bibliographique

Agence de bassin hydrographique Cheliff Zahez ,(2002) : Mission II : Evaluation des bousions en eau . (2005/2010/2020)

AMINE CHERIF: Le crétacé inférieur D'AIN EL HADJLA : Biostatigraphie et Dynamique sédimentaire « OUARSSENIS ,ALGERIE OCCIDENTALE) **2008**

A.N.R.H de TIARET .

BRAHIM MOHAMED : Les calcaires alite siliceux de la limite cenomanien -Turonien dans l'allonchtone (Nappe B) de l'OUARSSENIS : facies et corrélation **2013**

COLEMBERT 1952 : massif culminant de l'OUARSSENIS XIX° congte ,Geo.inte, Alger 1,3.

COLEMBERT 1955 : L'autochton sud-tellien. Apropose d'hypothèses recntess .Bull.soc,Géol.France ;(6).V ;pp381-390 .

DAHRIA et HAMMOUL.M : Contribution a l'étude hydrogéologique de la commune de LARDJEM , wilaya de TISSEMSILET **2015**

Direction des ressources en eau, (2011): Mission 1: Etude d'actualisation, de modernisation et d'approbation des dossiers d'exécution de la protection de la ville de Lardjem contre les inondations.

Direction des ressources en eau, (2014): Etude géophysique par prospection électrique dans la région Nord et Nord / Ouest de Tissemsilt. Rapport définitif IV.

Direction de la programmation et suivi budgétaires, (2018): Annuaire statistique de la wilaya de Tissemsilt –Année 2017-.

D.R.E de TISSEMSILET .

DURAND ,DELGA 1954 .p.424 :les rapports des venues doleritique .

ERIC. GILLI, CHRISTIAN. MANGAN, JACQUES. MUDRY, (2008): Hydrogéologie: objets, méthodes, applications. 2^{ème} édition. Dunod, Paris.

Gentil 1902 : Esquisse stratigraphique et pétrographique du bassin de Tafna .Bull.serv carte géol.Alger. 2^{ème} sér.n° thèse sci.Paris

Laboratoire Départemental D'Analyses: Analyses physico-chimiques des eaux. Ida. Losere.fr/ sites/ default/ files/ upload/ analyses_physico_chimique_des_eaux_ok, Pdf.

Les données de l'IBGE, (2005): L'eau à Bruxelles. [www.ensa-agadir.ac.ma/ wp-content/uploads/ 2017/ 04/ Fiche_Eau_02_ER.pdf](http://www.ensa-agadir.ac.ma/wp-content/uploads/2017/04/Fiche_Eau_02_ER.pdf).

LUCAS 1942 : Description géologique et pétrographique des monts de GHA ROUBAN et des SIDI EL ABED2 .vol.in.8° text540p .131fig ,Atlas : 34pl.,1cart géol 1/100000 .

MANSOUR ZAAGANE : Etude géostatique des éboulements sur les versant du grand pic de l'OUARSSSENIS : porteur des risques sur la population limitrophe **2006**

MATTAUER M 1958 : Etude géologique de l'OUARSSSENIS ORIENTAL (ALGERIE).Thèse-Es s-cience Paris.pp296-313-06fig .

METTENE .A et MECIF .F : Etude hydrologique du bassin versant de l'OUED LARDJEM , wilaya de TISSEMSILET **2008**

OMS, (2000): Directives de qualité pour l'eau de boisson, deuxième édition, volume 2: Critères d'hygiène et documentation à l'appui. Genève, P: 89-93.

OMS, (2003): Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. Switzerland.

POLVCHE 1960 : contribution a l'étude géologique de l'OUARSSSENIS ORANIS (ALGERIE) publ.serv.cart géol.578p.ALGERIE nouv sér n° 24 .

Subdivision de D.R.E de LARDJEM wilaya de TISSEMSILET .

TIRE EL HADJ : Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dan la wilaya de TISSEMSILET **2015**

RODIER. J, (1976): L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, et eaux de mer, 8^{ème} édition, édition Dunod, Paris, France.

RODIER. J, (1984): L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, et eaux de mer, 7^{ème} édition, Ed. Dunod, Paris, France.

RODIER. J, BAZIN. C, BOUTIN. J-P, CHAMBON. P, CHAMPSOUR. H, RODI. L, (1996): L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8^{ème} édition, Dunod, Paris, France.

Site web : blog.unv-angers.fr/les-diagrammes-ombrothermiques-des-cinq-climat-francais.

Site web : DB.city.com-LARDJEM 3/5 (08-07-2013).

Annexe : 01

Qualité des sources non gérées par L'ADE																						
N°	Nom de la source	Commune	Débit capté (l/s)	date de prélèvement	date d'analyse	paramètres physico-chimiques										paramètres bactériologiques						
						T(°C)	pH	cond (µs/cm)	Tur NTU	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Fe ⁺² (mg/l)	Mn ⁺² (mg/l)	MO (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	coliformes Totaux (ucf/100ml)	E-coli (ucf/100)	sulfito-réducteur (ucf/20ml)	Streptocoques fécaux (ucf/100ml)	Qualité bactériologique	Qualité physico-chimique	
26	A/ bouzagza	LARDJEM	/	22/10/2018	22/10/2018	19	7,1	1115	1	6,1	0,01	0	0,56	0	0	0	0	0	0	0	BQB	BQC
27	A/ bouzagza 2	LARDJEM	/	22/10/2018	22/10/2018	22	7,1	948	0	17	0,02	0	1,04	0	0	0	0	0	0	0	BQB	BQC
28	A/Laabais	LARDJEM	0,3	22/10/2018	22/10/2018	20	7,2	917	0	53,2	0,02	0	0,48	0,01	0,01	0	0	0	0	0	BQB	MQC **
29	A/Laabais2	LARDJEM	0,5	22/10/2018	22/10/2018	19	7,1	985	0	86	0,01	0,09	0,32	0,02	0	300	0	0	200	0	MQB *	MQC **
30	A/massousse	LARDJEM	0,3	22/10/2018	22/10/2018	20	7,1	1295	0	19	0,01	0,08	0,72	0,03	0,01	0	0	0	0	0	BQB	BQC
31	A/krabaa	LARDJEM	0,2	22/10/2018	22/10/2018	20	7	1177	0	8,8	0,01	0	0,96	0,01	0	0	0	0	0	0	BQB	BQC
32	A/ndaouete	LARDJEM	0,1	21/05/2019	21/05/2019	21	7	2530	0	4,89	0,02	0,02	0,56	0,06	0,2	0	0	0	0	0	BQB	BQC
33	A/elessoulete	LARDJEM	0,2	21/05/2019	21/05/2019	20	7,6	1834	2	22,5	0,02	0,03	0,4	0	0	200	0	4	1	0	MQB *	BQC
34	A/elbouagra	LARDJEM	0,1	21/05/2019	21/05/2019	20	7,7	1455	0	44,6	0,01	0,08	0,48	0	0	0	0	0	0	0	BQB	BQC
NB:																						
* MQB: mauvaise qualité bactériologique : le taux des germes dépasse la norme qui nécessite un système de désinfection																						
** MQC: mauvaise qualité physico-chimique : le taux de nitrate dépasse la concentration maximale admissible qui nécessite un système de dénitrification																						
BQB: bon qualité bactériologique																						
BQC: bon qualité physico-chimique																						
D: douar																						
A : ain																						