

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et d'Hydraulique  
Référence : ...../2020



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع...../2020

## Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Thème

**Etude de la possibilité de la recharge artificielle  
des nappes souterraines cas de la région  
d'Ouled Djellel de la wilaya de Biskra**

Nom et Prénom de l'étudiante :

M<sup>elle</sup> : TahraouiKhaoula

Encadreur :

M<sup>me</sup> : ZouitaNadjoua

Co-Encadreur :

M<sup>r</sup> : LoughraichiYazid

Année universitaire : 2019 - 2020

## **DÉDICACES**

*Tout d'abord, nous sommes fidèlement reconnaissants à Allah que  
Cette recherche a été menée avec succès.*

*À mes chers parents qui ont attendu ce moment depuis longtemps,  
c'est grâce à vous*

*À tous mes frères et sœurs et tous les membres de ma famille je dédie  
ce travail à mes belles Selsabil Mehda et Chorouk Tashi et Litya  
Asoui et Khadija Grine, et ma sœurs Aicha, Khadija  
, Imane Tahraouiii, et ma belle Lina et mes amis Okba Abid et  
Beskri el Hacem*

*Ce travail est aussi dédié à mon frère Tahraoui Hocine et mes oncles  
Tahraoui Taher et Hocine, Ibrahim.*

*Et à mes chers collègues*

**TAHRAOUI KHAOULA**

## **REMERCIEMENTS**

*Je remercie tout d'abord mon encadreur madame Zouita Nadjoua. Tous les remerciements au Dr : LOGHRAICHI Yazid qui m'a donnée tous les types d'aides et d'encouragements depuis le début de cette initiation à la recherche jusqu'à la fin.*

*Mes immenses remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté de juger et évaluer ce travail.*

*Aussi mes remerciements vont à tous les professeurs et le staff du département de Génie Civil et d'Hydraulique pour leur travail pendant toutes ses années.*

*Je remercie tous mes amis et collègues pour leurs soutien et encouragements.*

*Enfin mes remerciements s'adressent aux membres de jury qui nous feront l'honneur de juger mon travail.*

**TAHRAOUIKHAOULA**

## Résumé

La rareté croissante des ressources en eau du fait de la diminution des quantités disponibles par personne, ainsi que le rabattement des nappes souterraines est une réalité vécue surtout ces dernières années. Il faut donc trouver des solutions en élaborant une stratégie de gestion de l'eau à moyen et long terme.

La recharge artificielle des nappes souterraines peut être une solution parmi d'autre pour résoudre le problème de rabattement causé généralement par une surexploitation des ressources hydriques souterrains.

A travers ce travail, nous avons effectué une recherche bibliographique sur la recharge naturelle des nappes souterraines et proposé quelques méthodes techniques pour la recharger artificielle des nappes souterraines.

C'est dans ce cadre que nous avons entrepris cette étude de faisabilité de recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellal qui souffre depuis des années d'un rabattement ainsi qu'un déséquilibre de sa recharge naturel qui se fait par (Oued Djedi ) qui est le plus long cours d'eau du Sud algérien. Cet Oued est l'exutoire de plusieurs cours d'eau ; son plus important effluent est Oued M'zi

De se fait l'Oued Djedi est généralement sec sauf en période de crues où il véhicule le plus important débit qui se perd généralement par évaporation et même par sa forte vitesse d'écoulement vue sa forte pente qui débute des Djebel Amor ; il se dirige vers son exutoire qui est chott Mélgahir. Il faut donc trouver une solution qui favorise l'infiltration au lieu de l'écoulement superficiel ; en utilisant une méthode de recharge artificielle.

La recharge artificielle de nappe fait partie des nouvelles méthodes s'intégrant dans la gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE) et se présente comme une alternative complémentaire aux aménagements de surface.

En utilisant les données géologiques et hydrogéologique ainsi que géographique et climatique de la zone d'étude, complétées et validées par des observations de terraines. Nous avons conclu que la meilleure solution dans la recharge artificielle des nappes souterraines est choisie dans notre cas est un ensemble de dispositifs composé de seuils, de puits filtrants et l'exploitation des eaux usées dans les bassins d'infiltration.

## المخلص

ندرة الموارد المائية المتزايدة بسبب تناقص الكميات المتاحة للفرد، وتدهور الكميات وانخفاض منسوب المياه الجوفية، وبالتالي فإن التنمية الاقتصادية والاجتماعية تتطلب تطوير وتحديد استراتيجية لإدارة المياه على المدى المتوسط والبعيد، والبحث عن مقترحات للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية.

من خلال هذا العمل ، أجرينا بحثاً ببيوغرافيا حول التغذية الطبيعية للمياه الجوفية وعرضنا بعض الأساليب الفنية التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية..

في هذا السياق، أجرينا دراسة الجدوى لهذه للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية لمنطقة أولاد جلال التي تعاني منذ سنوات من انخفاض في منسوبها مما أدى إلى تدهور الزراعة و تربية الأنعام و حتى الاستهلاك اليومي لسكان المنطقة قد تأثر

من المعروف أن (وادي جدى ) له دور فعال في التغذية الطبيعية للمياه الجوفية لأولاد جلال و مع شح التساقط و عدم الاستفادة من مياه الوادي الذي لديه يزيد منسوبه في فترات الفيضانات باعتبار انه اكبر مجرى مائي في صحراء الجزائر و هو مصب لعدة

ودان أهمها واد مزى و لكن للأسف كل كميات الماء التي تجري في واد جدي تضيع إما لشدة التبخر أو تتجه بسرعة إلى مصبها الطبيعي و هو شط ملغيغ لان مسارها يكون عبر منحدر ذو ميل و بالتالي يجب ان نكبح سرعة جريان واد جدي بجعل مياهه تتغلغل إلى المياه الجوفية لأولاد جلال والتي تمثل موقعًا مناسبًا النوع من تقنيات التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية هي إحدى الطرق الجديدة المدمجة في الإدارة المتكاملة لموارد المياه وتقدم كبديل مكمل لتنمية والاستفادة من المياه السطحية

باستخدام البيانات الهيدرولوجية والجغرافية والمناخية والجيولوجية من منطقة الدراسة، مدعومة بالملاحظات الميدانية. توصلنا إلى أن أفضل حل في التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية يتم اختياره في حالتنا هو مجموعة من الأجهزة المكونة من عتبات وآبار ترشيح واستغلال المياه المستعملة و طرحها في الأسطح الحرة للتربة

### Abstract

Managed Aquifer Recharge (MAR) is an emerging sustainable technique that till now has provided successful results and is expected to solve many water resource, supply and management problems, especially in semi-arid and arid zones.

This study focused on finding solutions regarding potential aquifer recharge

Ouled djellal area, which has been affected in recent years by water shortages. Actually, there is only one It is the source of groundwater and is diminishing due to excessive consumption.

After the hydrological and hydrogeological study of the Audi djedi, we became so

He suggested using the quantities of water

To recharge water: fixed thresholds at valley level absorb wells and finally

Spreading water (treated wastewater) onto the vacant soil surfaces to recharge the aquifer.

## *La liste des abréviations*

**GIRE** gestion intégrée des ressources en eaux

**A.N.R.H** Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

**AEP** Alimentation en eau potable

**TP** Température annuelle en(C°)

**Pr** précipitation annuelle (mm)

**ETR** Evapotranspiration réelle (mm)

**Exc** excédante (mm)

**Def** Déficit Agricole (mm)

**RFU** Réserve facilement utilisable (mm)

**Hr** L'humidité relative (%)

**TA** Titre Alcalimétrique

**TAC** Titre Alcalimétrique Complet

**TH** Titre Hydrotimétrique

**PH** Potentiel d'Hydrogène

**F°** Degré française

## Les Listes de tableaux

Tableau .1 : Les nappes captées de la région d'Ouled Djellal (ZAIR .N,2017).....	20
Tableau .2 : Moyennes annuelles des précipitations ( LAHLALI.A(2019)).....	21
Tableau .3: Précipitations moyennes mensuelles (2008)d'Ouled Djellal (Guezainia.I ,Guerram .A ,2011).....	22
Tableau .4 : Les températures dans la région d'OuledDjellal (2008).....	22
Tableau 5 EVOLUTION DES POINTS D'EAU EN EXPLOITATION(FORAGES ET PUIITS)(A.N.R.H(2000)).....	37
Tableau.6 :La composition chimique des eaux de la nappe souterraine d'Ouled Djellal (Guezainia.IGuerram.A2011 ).....	40
Tableau.7: tableau récapitulative des résultats des analyse physico-chimiques des eaux de la nappe souterraine du bassin versant de l'OudeDjedi (LAHLALI .A,2019).....	42
Tableau .8 : classification des eaux d'irrigation de la nappe souterraine d'OuledDjellal par le calcul du SAR (sodium absorption ration) (LAHLALI . A ,2019).....	44
Tableau. 9 : classification des eaux d'irrigation(norme USDA) ( LAHLALI ,2019 AYERS , 1976 in ZELLA ,1991).....	45
Tableau 10 : Les Caractéristiques des seuils sur Oued Djedi.....	61

## Les listes des figures

Figure 1: Schéma de l'aquifère à nappe libre. (MOSLEMEL.M,2015 in GILBERT. 1998).....	04
Figure 2 : Schéma de l'aquifère a nappe captive (Google).....	05
Figure 3 : Schéma d'une nappe semi-captive( Amkadni .Y, Alaoui. I,2012).....	05
Figure 4 : alimentation des nappes phréatique (Google).....	07
Figure 5 : Les principaux facteurs régissant la recharge (SALEM.M, 2012).....	09
Figure 6: Carte de situation géographique de la wilaya de Biskra( H.P.E, 2005 in ZAIR.N , 2017).....	14
Figure.7 :Découpage administratif de la wilaya de Biskra(ANAT, 2003 inZAIR .N,2017).....	14
Figure 8 :Carte de la population et la densité de la wilaya de Biskra.(HELAL.F ,2016).....	15
Figure .9 : La carte hydrographique de la zone d'étude (HELAL .F ,2016).....	16
Figure 10 : La carte d'esquisse géologie de la région de la wilaya de Biskra (SEDRATI.N,2011).....	17
Figure .11 : Calcaires marneux. BENDDIN.S(2019).....	18
figure.12 : Grés de l'Albien inférieur (BENDDIN.S,2019).....	19
Figure .13 : Coupe géologique Nord-Sud de la région d'étude. ( SEDRATI. N ,2011).....	19
Figure.14 : la carte pluviométrique de la région de Biskra ( ZAIR .N,2017,Extrait de la carte pluviométrique d'Algérie 1/500000, 1971).....	21
Figure 15 :Régime pluvio-thermique de 7 stations climatologiques de l'Est algérien(MEBARKI.A ,2005),données O.N.M.....	22
Figure .16: Courbe pluviométrique(2008).....	23
Figure 17 : Carte d'évapotranspiration du nord Algérien.( <a href="http://www.ANRH.dz">www.ANRH.dz</a> ).....	23
Figure 18 : Le bassinversant saharien du Chott Melghir, ANRH 1992 in RERBOUDJ. A M, (2005).....	24
Figure 19: Bassin versant de l'Oued Djedi ; établie d'après Dubief J., 1953 in MEBARKI, 2005).....	26
figure 20: Profil du bassin versant de l'Oued Djedi (établie d'après Dubief J., 1953 in MEBARKI, 2005.....	27
Figure .21 : Courbe hypsométrique (Gaurichi.y,2010).....	31
Figure 22 : Volume soutiré de la daïra de Sidi Khaled et Ouled Djellal. (SEDRATI. N ,2011).....	34
Figure 23 : Répartition des points d'eau de la wilaya de Biskra (ANRH, 2000).....	34

<i>Figure 24 : Les aquifères inventoriés au niveau de la région de Biskra (ANRH, 2008 in ZAIR .N , 2017).....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 25 : Coupe hydrogéologique dans la région de Biskra, KIENKEN. M, 1960 et GURAUD. R 1973 in BOUCHMAL. F, 2017.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 26: Carte piézométrique de la nappe des calcaires( ANRH 1980 in SEDRATI. N,2011).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 27 :La carte Piézométrique de la cuvette de l'Oued Djedi (ANRH 2000).....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 28 :Carte piézométrique Juin 2019.(LAHLALI, 2019).....</i>	<i>40</i>
<i>Figure. 29. Représentation des eaux selon le diagramme de Piper (Lahlali,2019).....</i>	<i>42</i>
<i>figure.30: Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Clémentet Galent,.1979 in LAHLALI. A 2019).....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 31 /l'emplacement de l'ancien barrage de dérivation.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 32 : Variation des niveaux statiques de la nappe Mio-pliocène dans la zone Est de la wilaya de Biskra (Zair N.2017, ANAT, 2003).....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 33 : Variations des niveaux statiques de la nappe des calcaires (Zair N .2017 ,NAT, 2003).....</i>	<i>52</i>
<i>Figure.34 : Seuils en moellons( Moussajjal.N , Boudahk.N (2014).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure .35 : Carte Google Earth le choix du seuil de la recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellel.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 36 ; Estimation de la position des seuils sur l'Oude Djedi.....</i>	<i>60</i>

## *Les Listes des photos*

<b>Photo 01 :L'ancien seuil en gabions le long transversal de Oued Djedi (lahlali 2019).....</b>	<b>49</b>
<b>Photo 02 : Evacuateur de crue - Oued Djedi, LAHLALIA, 2019).....</b>	<b>50</b>
<b>Photo 03 :Sed Oued Lassel , en crue, LAHLALI. A, 2019.....</b>	<b>51</b>
<b>Photo 04 :L'ancien seuil en gabions le long transversal de Oued Djedi (lahlali .A ,2019).....</b>	<b>54</b>
<b>Photo 05 :Seuil en béton ( Moussajjal.N , Boudahk.N ,2014).....</b>	<b>54</b>
<b>Photo 06 : Seuil en gabion( Moussajjal.N , Boudahk.N ,2014).....</b>	<b>55</b>
<b>Photo07 aet 07 b. :Les crues de l'Oued Djedi avril 2020.....</b>	<b>57</b>

## Table des matières

**Dédicaces**

**Remerciements**

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des photos**

**Introduction générale**

### **CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine**

Introduction .....	3
I.1.Quelque définitions sur le milieu souterrain.....	3
I.1.1. Le système aquifère : .....	3
I.1.2-L'Aquifère : .....	3
I.1.3. Nappe d'eau souterraine: .....	3
I.2 Classification des nappes: .....	3
I.2.1. Classification selon des critères piézométriques: .....	3
I.2.2. Types d'eau souterraine : .....	6
I.3.Charge hydraulique et écoulement : .....	6
I.4. Alimentation des nappes : .....	6
I.5. Recharge des nappes souterraines en zone aride : .....	8
I.6.Recharge des nappes en zones semi-arides : .....	8
I.6.1. Recharge directe par précipitation : .....	8
I.6.2. Recharge localisée : .....	9
I.6.3. Echange rivière-nappe : .....	9
I.6.3.1. Les méthodes d'estimation des échanges rivière-nappe : .....	9
I.6.4. Principaux facteurs régissant la recharge : .....	9
I.7.Bilan hydrique : .....	10
I.8. La Recharge artificielle en zone aride : .....	12
I.9.Equilibre ou déséquilibre d'une nappe exploitée .....	12

Conclusion.....	12
-----------------	----

## **CHAPITRE II : Cadres géographique, climatique et géologique de la zone d'étude**

INTRODUCTION .....	13
II.1 Aperçu géographique.....	13
II.1.1. Situation géographique .....	13
II.1 .2. Démographie.....	15
II.1.3. Développement de la ville d'Ouled Djellal .....	15
II.2. Situation Hydrographique .....	15
II. 3. Cadre géologique de la région d'Ouled Djellal .....	16
II.3.1. Quaternaire.....	16
II. 3.2. Miocène supérieur (Pontien) .....	16
II.3.3. Pliocène .....	16
II.3.4. Eocène moyen (Lutétien).....	17
II.3.5. Eocène inférieur .....	17
II.3.6. Sénonien supérieur .....	17
II.3.7. Sénonien inférieur.....	18
II.3.8. Turonien .....	18
II.3.9. Cénomaniens.....	18
II.3.10. Albien.....	18
II.3.11 Aptien .....	19
II. 3.12. Barrémien .....	19
II.4. Aspect climatologique.....	20
II.4.1 Les précipitations .....	20
II.4.1.1. Les précipitations moyennes annuelles.....	21
II.4.2 La Température.....	22
II.4.3.L'évapotranspiration : .....	23
CONCLUSION.....	24

## **CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal**

INTRODUCTION.....	24
III.1. L'étude hydrologique de la région d'Ouled Djellal : .....	24

III.1.1. Le bassin versant de Chott Melghir : .....	24
III.1. 2. Bassin versant d'Oued Djedi : .....	25
III.1.2.1. Caractéristiques morphologiques des bassins versants.....	27
III.1.2.2. Indice de compacité de Gravelius .....	27
III.1.2.3. Dimension du rectangle équivalent .....	28
III.1.3. Les écoulements et les infiltrations de la région d'Oued Djellel : .....	28
III.1.4. La détermination des débits de crues : .....	29
III.1.5. Les écoulements et les infiltrations de la région d'Oued Djellel : .....	31
III.1.6. La détermination des débits de crues : .....	32
III.1.7.1. Les débits des effluents de l'Oued Djedi : .....	33
III.2. L'aspect hydrogéologique : .....	33
III.2.1. Unités aquifères principales .....	34
III.2.1.1 La morphologie de l'aquifère .....	35
III.3 Hydrodynamique de la nappe: .....	36
III.4. Piézomètre .....	38
Conclusion .....	40

## **CHAPITRE IV : Qualité des eaux de la nappe souterraine d'ouled djellal**

Introduction .....	40
IV.1. L'étude hydrochimie des eaux .....	40
IV.1.1 Représentation des eaux selon le diagramme de Piper : .....	41
IV.2. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux .....	42
IV.2.1 Les caractéristiques physiques : .....	43
IV.2.2 Paramètres chimique : .....	43
IV.3 Classification des eaux d'irrigation de la nappe souterraine d'Oued-Djeddi .....	43
Conclusion .....	45

## **CHPITRE V : Etude de la possibilité de la recharge artificielle de la nappe souterraine d'ouled djellal**

Introduction .....	47
V.2. La Recharge des nappes en zones semi-arides .....	47
V.2.1 Recharge directe par précipitations .....	48

V.2.2 Recharge localisée .....	49
V.3 .Les condition préalables à recharge artificielle de nappesouterraine .....	50
V.3.1 Les conditions Hydrogéologiques.....	50
V.3.2 Les conditions hydrologiques.....	50
V.3.3. Les conditions géochimiques et biologiques .....	51
V.4 Evolution du niveau piézométrique :.....	51
V.5 La recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellal .....	53
V.5.1 dispositifs des seuils .....	54
V.5.1.1 Seuils en béton : .....	54
V.5.1.2 Seuils en gabions :.....	55
V.5.1.3Seuils en enrochements : .....	56
V.5.1.4- Seuils en moellons : .....	56
V.5.1.5 Seuils mixtes : .....	56
V.5.2 Recharge parles puits d'infiltration .....	57
V.5.3 Recharge artificielle par les eaux usées.....	58
V.5.3.1Recharge depuis la surface par infiltration des eaux au filtre naturel du sol: .....	59
V.6.3.2Recharge par les bassins d'infiltration : .....	59
V.6. Inconvénients de la recharge artificielle des nappes:.....	60
<b>V.7 Position et Caractéristiques des seuils proposé pour la recharge artificielle sur oued Djedi :</b>	<b>61</b>
Conclusion .....	62

## **CONCLUSION GENERALE**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

# Introduction générale

## Introduction générale

Introduction générale :

L'eau souterraine constitue la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète, environ 8 à 10 millions de km<sup>3</sup>. Son volume annuellement renouvelable par l'infiltration des précipitations est estimé à plus de 10.000 km<sup>3</sup>. Comparé à l'exploitation annuelle d'environ 800 km<sup>3</sup>/an effectuée pour satisfaire les besoins du tissu socio-économique mondial.

Le Sahara algérien renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines. Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles, c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire, par infiltration sur les affleurements des couches perméables. Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes, cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques sont disponibles.

Dans la zone d'études, les eaux souterraines constituent la principale ressource hydrique exploitée dans la région, que ce soit pour l'alimentation en eau potable des habitants ou pour assurer l'irrigation des cultures ; surtout en raison de la nature agricole de la région et de l'expansion urbaine.

La willaya d'Ouled Djellal possède des ressources hydriques d'une région à faibles potentialités en eau souterraine, dont les nappes alluviales sont généralement tributaires des recharges épisodiques apportées par les eaux de crues.

Leur développement économique et social est directement lié à la disponibilité et à l'utilisation des ressources en eau, et notamment les eaux souterraines, qui sont souvent les seules disponibles tout au long de l'année.

Ceci est d'autant plus problématique que les volumes d'eau consommés ont considérablement augmenté au cours des dernières décennies pour satisfaire le besoin croissant en eau potable et les activités industrielles et agricoles, accroissant encore la sensibilité et la fragilité de ces ressources.

La connaissance de l'origine des eaux souterraines et de leurs modes de renouvellement est donc indispensable à leur gestion raisonnée

Ainsi, la recharge artificielle de nappe fait partie des nouvelles méthodes s'intégrant dans la gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE) et se présente comme une alternative complémentaire aux aménagements de surface.

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude de possibilité de recharge artificielle de la nappe souterraine dans la région d'Ouled Djellal par l'Oued djedi par l'identification des sites choisis pour l'implantation des seuils visant à ralentir les vitesses des écoulements et favoriser l'infiltration dans les nappes.

## **Introduction générale**

Le présent travail est subdivisé en cinq chapitres que l'on peut résumer comme suit :

Le premier chapitre ; consiste à présenter la recharge naturelle et ses concepts et théorie. Les différentes méthodes de réalimentation d'une nappe souterraine.

Le deuxième chapitre ; porte sur la présentation de notre zone d'étude. Nous avons jugé qu'il est primordial de montrer les aspects géographiques, climatique et géologique de la région d'Ouled Djellal pour faire apparaître l'importance de la région d'étude et présenté la situation du sous bassin versant de l'Oued Djedi par rapport à son bassin versant de chott Melghir.

Le troisième chapitre ; couvrira l'étude hydrologique de la zone d'étude et présente les cartes piézométries. Il faut signaler dans ce contexte la rareté des données hydrologiques

Cette étude sera un appui scientifique pour le choix du site des seuils pour l'alimentation de la nappe sur l'Oued Djedi et en même temps détermination de la zone de la recharge de la nappe souterrain en s'aidant de la carte géologique de la région.

Le quatrième chapitre ; traite des qualités physico chimiques de la nappe souterraine du sous bassin versant de l'Oued Djedi,

Nous découvrirons la nature des eaux de l'Oued Djedi et la répartition quantitative des différents éléments dissous dans l'eau

Le dernier chapitre ; traite la possibilité de la recharge artificielle de nappe souterraine d'Ouled Djellal. De proposer des préconisations concernant des sites choisis pour l'implantation des seuils et les puits d'infiltration, la faisabilité de cette technique.

# Chapitre I : la recharge naturelle de nappe souterraine

## **Introduction**

Face à la demande croissante et à la dégradation continue de la qualité des eaux de surface, le recours systématique aux réserves en eaux Souterraines est devenu partout une nécessité. Et la même question revient continuellement aux Hydrogéologues: les ressources exploitées sont-elles renouvelées ? Si oui, comment et à quel taux ?

### ***1.1. Quelques définitions sur le milieu souterrain***

#### ***1.1.1. Le système aquifère :***

C'est l'espace du sous-sol contenant une ressource identifiable, et gérable, en tant que telle la tendance naturelle de l'eau est de s'écouler toujours vers un "niveau de base" qui est celui de la mer. Elle peut être momentanément ralentie, piégée et peut s'accumuler dans des formations géologiques lui offrant cette place.

Un système aquifère est donc l'ensemble d'un réservoir naturel souterrain et de l'eau qu'il contient, ou qui le traverse. (GILBERT. 1998)

#### ***1.1.2-L'Aquifère :***

L'eau souterraine exploitée par les hydrogéologues est contenue et se déplace selon les gradients d'élévation et de pression dans les formations géologiques poreuses et perméables (à des degrés divers). L'ensemble formation-eau souterraine est appelé aquifère. D'après le dictionnaire de Castany-Margat, on appelle aquifère un corps de roche perméable comportant une zone saturée - ensemble du milieu solide et de l'eau contenue - suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre d'eau appréciables. L'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités (GILBERT. 1998)

#### ***1.1.3. Nappe d'eau souterraine:***

La nappe d'eau souterraine est constituée par l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en continuité hydraulique. Le mouvement de l'eau est fonction des gradients d'élévation et de pression. (GILBERT. 1998)

### ***1.2 Classification des nappes:***

#### ***1.2.1. Classification selon des critères piézométriques:***

On peut classer les nappes selon critères piézométriques comme suit

- a) Les nappes libres;
- b) Les nappes captives
- c) Les nappes semi-captives

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

### A- Les nappes libres:

Dans une nappe libre, la surface piézométrique peut, en fonction des conditions climatiques et de la recharge de la nappe par les précipitations, fluctuer librement dans la formation aquifère considérée car celle-ci s'étend au-dessus de la surface piézométrique (GILBERT. 1998) (figure.1)

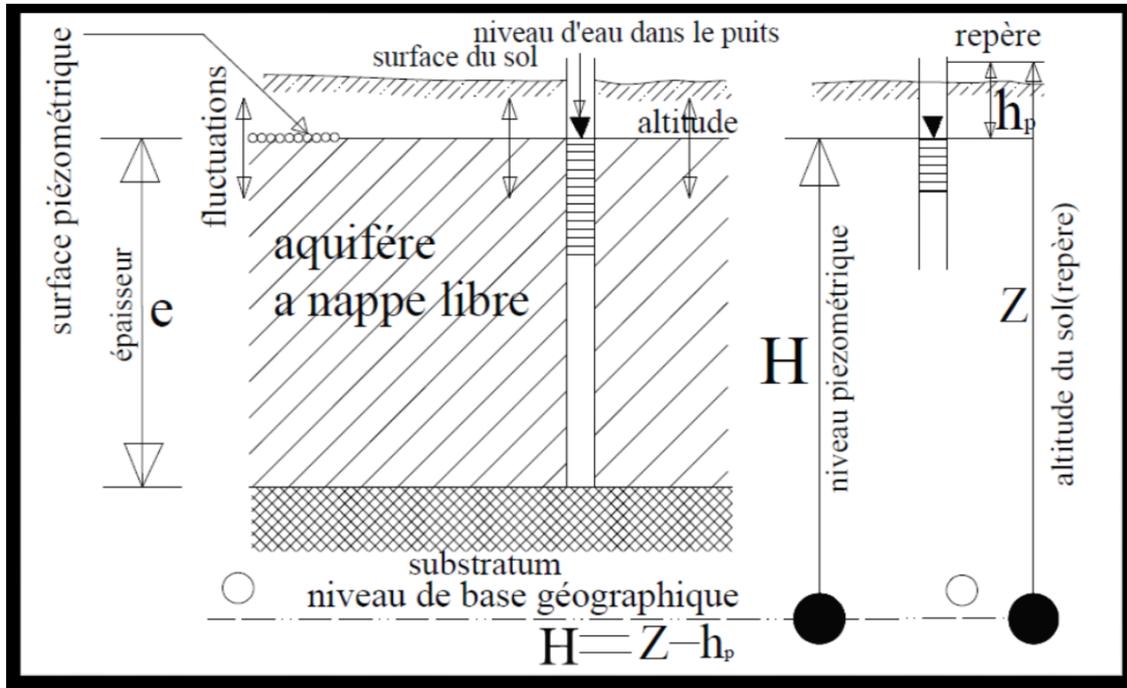


Figure 1: Schéma de l'aquifère à nappe libre.

(MOSLEMEL.M,2015 in GILBERT. 1998)

### B- Les nappes captives:

Une nappe captive est une nappe qui est surmontée par une formation peu perméable où la surface aquifère est très poreuse et dont la charge hydraulique (surface piézométrique) de l'eau qu'elle contient est supérieure au toit de la nappe. Elle est sous pression.

Ces nappes sont difficilement rechargées car leur bassin d'alimentation en surface est limité. Elles représentent une ressource en eau particulière, moins importante sur le long terme que les nappes phréatiques, mais souvent mieux protégées des pollutions. (<https://www.aquaportail.com>) (Figure 2).

La nappe est enfermée car elle est surmontée par une formation peu ou pas perméable; l'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. A la suite d'un forage au travers du toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir : la nappe est artésienne. Le jaillissement peut disparaître par la suite si la nappe est exploitée au point de diminuer sa pression.

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

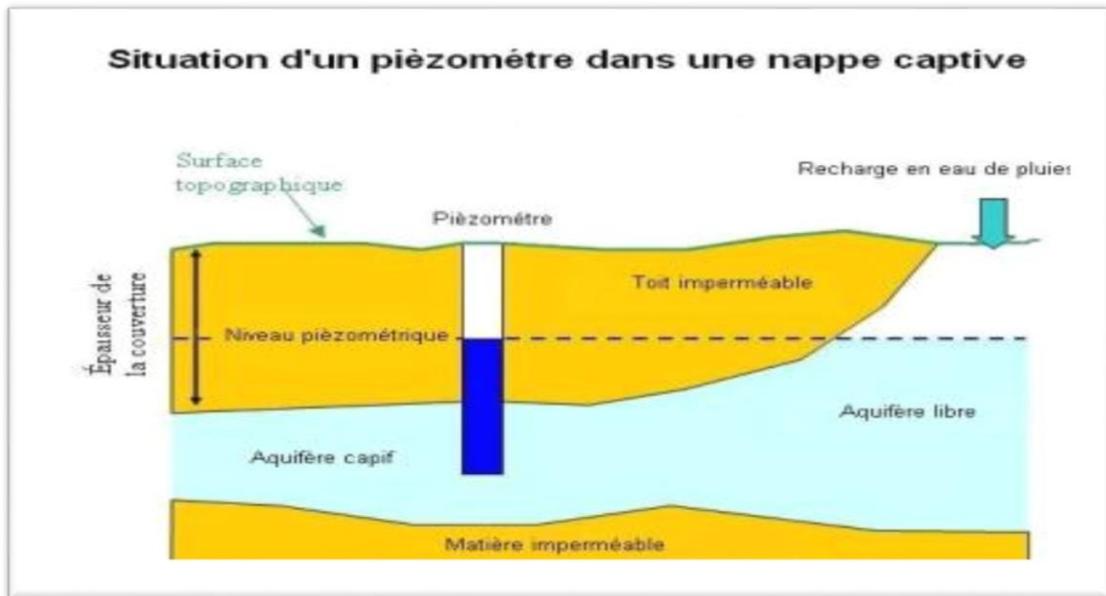


Figure 2 : Schéma de l'aquifère a nappe captive (Google)

### C- Les nappes semi-captives:

L'eau provient non seulement de la nappe mais aussi de la couche semi-perméable qui la surmonte, en admettant que cette couche soit (partiellement) saturée. L'effet du pompage est de faire baisser la charge hydraulique de la nappe, et de créer ainsi une différence de charge entre la nappe principale et la couche semi-perméable.

Par conséquent, l'eau de la nappe libre contenue dans cette couche rejoint la nappe principale, par un écoulement vertical et dirigé de haut en bas.

Le toit ou le substratum (ou les deux) de l'aquifère sont souvent constitués par un semi-perméable. (Amkadni .Y, in Alaoui. I ; 2012)

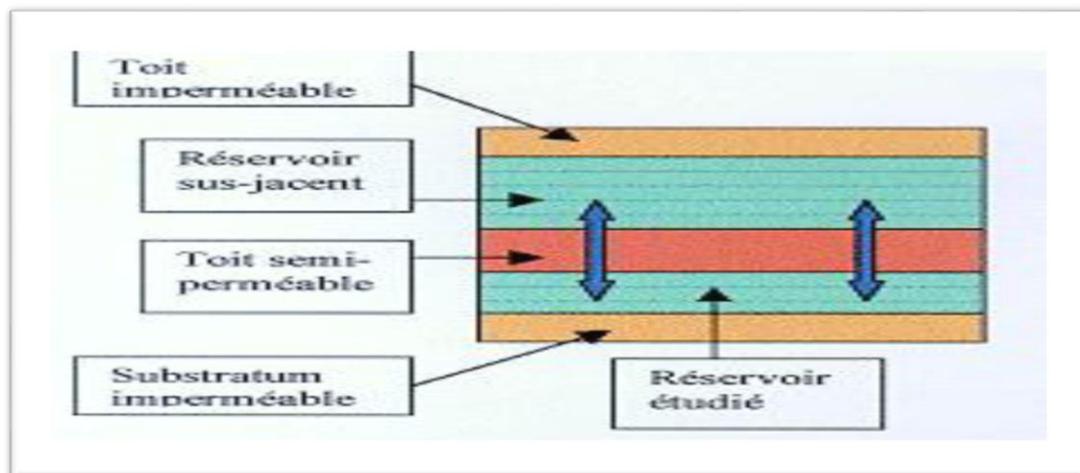


Figure 3 : Schéma d'une nappe semi-captive  
( Amkadni .Y, Alaoui. I(2012))

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

### I.2.2. Types d'eau souterraine :

Il convient de distinguer, pour définir les caractéristiques hydrogéologiques des réservoirs, deux types d'eau souterraine : l'eau gravitaire et l'eau de rétention.

#### ❖ L'eau gravitaire

L'eau gravitaire est la fraction de l'eau souterraine libérée par l'action de la force de gravité. C'est l'eau mobilisable. Elle seule circule dans les aquifères, sous l'action des gradients et alimente les ouvrages de captage et les sources. Le volume d'eau gravitaire libéré est fonction du temps d'égouttage et de la granulométrie.

#### ❖ L'eau de rétention

L'eau de rétention est la fraction de l'eau souterraine, maintenue dans les vides à la surface des grains ou des parois des microfissures, par des forces supérieures à celles de la gravité. Elle n'est donc pas mobilisable. Attirée fortement à la surface du solide, elle fait corps avec lui et appartient physiquement et mécaniquement à la même phase de l'aquifère, réservoir/eau de rétention

(G. CASTANY, ..... )

### I.3. Charge hydraulique et écoulement :

La charge hydraulique conditionne l'énergie d'un point de la nappe d'eau. Comme l'eau se déplace du point à haute énergie vers le point à basse énergie, il est impératif de bien connaître, si possible le champ de. En laboratoire on mesure la pression généralement à l'aide de manomètres alors que sur le terrain on utilise des tubes piézométriques. Il est recommandé de mettre en place en un même endroit plusieurs piézomètres ouverts chacun à des profondeurs différentes. On peut aussi

mesurer les charges hydrauliques correspondant à différentes profondeurs en utilisant des pack ers. On observe deux schémas de dispositif de relevé piézométrique:

- l'un avec des piézomètres dispersés, permettant de connaître la direction d'écoulement et le gradient (sur ligne de courant).
- l'autre avec des piézomètres groupés en un point afin de connaître la composante verticale de l'écoulement (F. Z WAHLIN. P RENA RD 2002).

### I.4. Alimentation des nappes :

Le couple recharge-décharge joue un grand rôle dans le cycle hydrologique. Dans un bassin hydrologique bien défini, correspondant à un bassin hydrogéologique, on exprime le bilan en se basant sur les zones de recharge et de décharge. F. Z WAHLEN et P. REARD (2002)

Dans la zone de recharge

$$P = Q_s + R + E_r$$

Dans la zone décharge

$$Q = Q_s + D - E_d$$

•Q = débit de surface

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

- $Q_S$  = débit superficiel
- $E_R$  = évapotranspiration
- $R$  = recharge
- $D$  = décharge
- $E_D$  = évaporation de la surface

Paramètres du bilan hydrologique ci-dessus est délicate.

Elle n'est pas traitée ici, à l'exception de l'évaluation de  $R$  que nous verrons plus bas. (Figure 3)

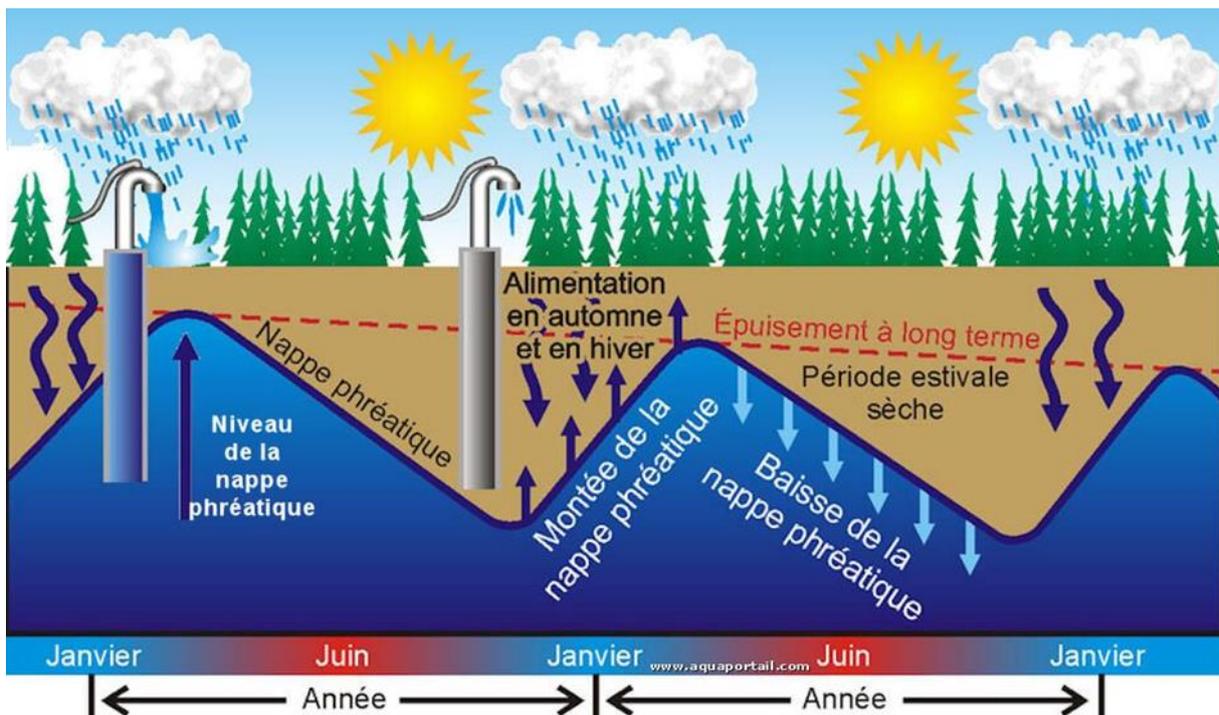


Figure 4 : alimentation des nappes phréatique (Google)

Nous notons que la principale raison de la charge des aquifères c'est les précipitations, Infiltration d'eau de rivière ou écoulement hypodermique, et Sous-écoulement de la roche.

### ***1.5. Recharge des nappes souterraines en zone aride :***

Dans un sens général, la recharge peut être définie comme le flux de percolation d'eau qui parvient à la nappe constituant ainsi un apport additionnel à sa réserve ; SIMMERS, (1988). Une nette distinction doit cependant être faite entre le volume potentiel d'eau disponible dans le sol et la recharge effective (infiltration efficace).

La recharge des eaux souterraines peut s'opérer naturellement (recharge naturelle) à partir des précipitations, des rivières (pérennes ou intermittentes), des canaux ou des lacs. Elle peut également survenir artificiellement (recharge artificielle) par intervention directe de l'homme. Ou comme un phénomène induit par certaines de ses activités (irrigation, réseau d'adduction d'eau potable ...etc. (HACHAICHI. Z, 2018).

Les principaux mécanismes de recharge naturelle des nappes en zone aride peuvent être classés en trois catégories :

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

– **La recharge directe** par percolation verticale des précipitations efficaces à travers la zone non saturée.

– **La recharge localisée**, forme intermédiaire de la recharge, résultant d'une accumulation de l'eau à surface en absence d'un chenal bien défini.

– **La recharge indirecte** par percolation dans le lit des cours d'eau généralement intermittents ou Oueds. HACHAICHI. Z, 2018 et SIMMERS, (1997)

### ***1.6.Recharge des nappes en zones semi-arides :***

Le développement économique et social est directement lié à la disponibilité et à l'utilisation des ressources en eau, et notamment les eaux souterraines, qui sont souvent les seules disponibles tout au long de l'année. (SALEM .M. (2012), e .g. GENXU & GUO DONG, 1999 ; HAMDY & MUNGOZZA, 2003 ; BRAUNE & XU, 2010)

Dans les environnements semi-arides, les processus de la recharge sont hétérogènes et variables dans l'espace et dans le temps. (SALEM .M.(2012) ,e .g. COOKet AL,( 1989) ; Le Gal La Salle et AL.,( 2001) ; SCANLON et al., 2006).

Cette hétérogénéité est liée à la forte variabilité des paramètres hydrologiques (pluviométrie, ruissellement et infiltration) qui augmente avec l'aridité. SALEM.M. (2012), LEDUC, (2003)

#### ***1.6.1. Recharge directe par précipitation :***

L'infiltration directe des précipitations dans les zones semi-arides est très variable dans l'espace et dans le temps et considérée souvent négligeable face à une pluviométrie faible et une reprise évaporatoire élevée. L'infiltration est plus importante dans les régions désertiques dunaires grâce à la forte porosité et la présence réduite du couvert végétal ((SALEM.M, 2012, in DINCER et al. 1974 ; Li et al, 2004).

#### ***1.6.2. Recharge localisée :***

En zone semi-aride, les rivières temporaires et les bas-fonds représentent un point essentiel du cycle hydrologique : concentrant les eaux de surface, ils sont souvent les seuls lieux où peut se produire une infiltration jusqu'à la nappe, du fait d'une évapotranspiration importante ( SALEM.M 2012 in, E G Martin-Rosales & Leduc, 2003).

La recharge localisée est évidemment totalement discontinue dans l'espace. D'autres formes de recharge localisée existent, comme les sites de recharge artificielle ou les zones irriguées, mais aussi les rejets urbains. On est alors très éloigné des processus habituels des aquifères de grands bassins sédimentaires (SALEM.M 2012, in Wood et al., 1997 ; Gehrels et al., 1998 ; Scanlon et al., 1999 ; Farid et al., 2012)

#### ***1.6.3. Echange rivière-nappe :***

Les interactions nappe-fleuve sont complexes et se développent de manières très diverses selon les lieux et les moments. Selon l'échelle d'observation, les hétérogénéités fonctionnelles peuvent varier du centimètre au mètremais l'hétérogénéité vient d'abord des conditions morphologiques des tronçons du cours d'eau, de son régime hydraulique, des cotes respectives de la nappe et de la

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

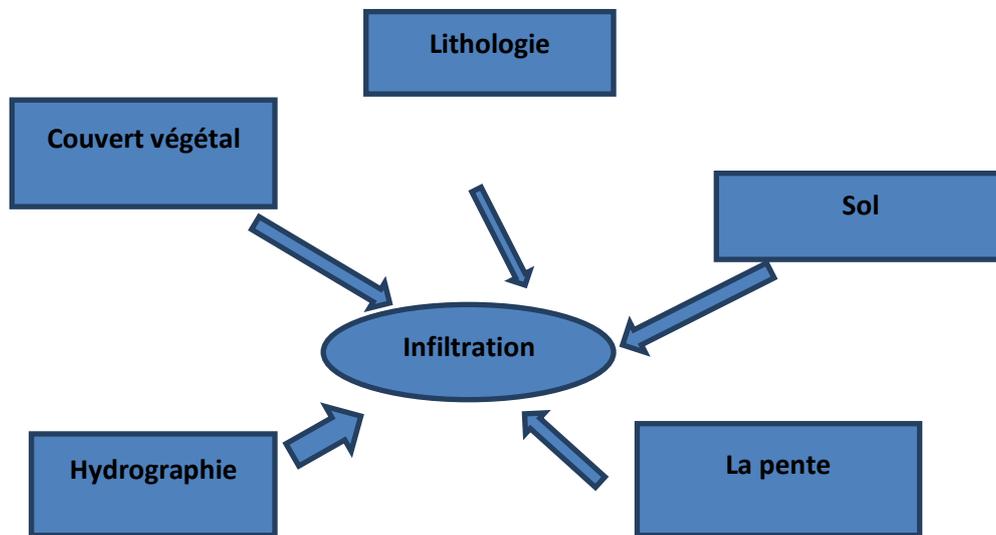
rivière, des caractéristiques physiques de la couche de sédiments tapissant le fond du cours d'eau. (SALEM.M,2012 in Sophocleous, 2002 et Winter, 1999 et Woessner, 2000)

### *1.6.3.1. Les méthodes d'estimation des échanges rivière-nappe :*

- Les méthodes hydrologiques, par exemple les jaugeages différentiels en surface mais aussi, pour le souterrain, les quantifications basées sur la loi de Darcy.
- Les méthodes géochimiques : le décalage des compositions chimiques entre surface et souterrain peut fournir des indications sur leur connexion (SALEM.M(2012),

### *1.6.4. Principaux facteurs régissant la recharge :*

Le schéma suivant (Figure 5) résume les principaux facteurs régissant l'infiltration



**Figure 5 : Les principaux facteurs régissant la recharge (SALEM.M, 2012),**

Les facteurs régissant la densité et la distribution de l'alimentation naturelle et artificielle dans les couches d'eau souterraine cristalline et cassée sont mal connus. Cependant, les propriétés distinctives des roches sont très hétérogènes, ce qui rend difficile l'estimation des flux.

### *1.7. Bilan hydrique :*

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnée par comparaison entre les apports et les pertes en eau. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et du prélèvement ultérieur sur ces réserves.

Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration. (Hachaichi. Z, 2018).

- Les éléments principaux connus servant de base au calcul du bilan hydrique sont la hauteur de précipitation  $P$ , le débit d'exploitation des eaux souterraines  $Q_{ex}$  et la variation positive de la

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

réserve en eau souterraines +  $d_w$  (reconstitution des réserves en eaux souterraines, évaluée d'après le débit des sources ou l'observation de la cote du plan d'eau dans les ouvrages témoins.

L'expression du bilan hydrique est la suivante :

$$P = E + R + Q_{ex} + d_w$$

P : est la hauteur de précipitation donnée par les postes pluviométriques.

E : Evapotranspiration réelle

R : Ruissellement de surface

$Q_{ex}$  : Exploitation des eaux souterraines

$D_w$  : Variation de la réserve en eaux souterraines.

L'élément du bilan, inconnu, est l'évapotranspiration réelle difficile à évaluer directement (Gilbert .C(1998)).

### ***1.8. La Recharge artificielle en zone aride :***

Au sens large du terme, la recharge artificielle est définie comme le procédé qui consiste à introduire de l'eau dans une formation perméable en vue de sa réutilisation dans des conditions de régime et de qualité différentes. (Hachai chi. Z 2018)). (Bize et al.,1972).

La recharge artificielle des nappes (RAN) est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère.

Elle est une des mesures qui peut être mise en œuvre pour sécuriser l'approvisionnement en eau, compenser certains effets du changement climatique et plus généralement aménager la pression quantitative et qualitative sur les masses d'eau souterraine selon ; Casanova. J,Cagnimel, N. Devau, M. Pettenati, P. Stollsteiner (2013)).

❖ Les objectifs peuvent être divers:

- Maintien ou augmentation de la recharge naturelle de l'aquifère dans le cadre d'un maintien ; du niveau piézométrique pour pallier les problèmes de la baisse de productivité des forages, d'intrusions de biseaux salés ou d'inversion des échanges entre les niveaux aquifères ;

- Modification de la qualité des eaux (lutte contre la pollution, mélange d'eaux de qualités

Différentes, traitement de l'eau par géo épuration).(Hachai chi. Z(2018)).

❖ Le stockage souterrain présente les avantages suivants :

- Coûts réduits liés à la disponibilité naturelle des réservoirs ;
- Faibles pertes par évapotranspiration ;
- Amélioration de la qualité de l'eau infiltrée à travers les alluvions ;
- Disponibilité des surfaces habituellement occupées par les lacs des retenues ;

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

❖ Les techniques de recharge artificielle utilisées en zone aride peuvent être groupées en deux grandes catégories (HACHIACHI. Z (2018). In, RUSHTON et AL, 1989 ; BIZE, 1985 ; KROEMAN, 1997) :

- Les épandages contrôlés qui consistent à augmenter la quantité d'eau infiltrée par

Accroissement de la surface ou du temps d'infiltration. Ils comprennent les bassins d'infiltration,

Les lâchers dans le lit naturel ou aménagé (en diguettes ou en bassins) de l'oued et les épandages sur des périmètres irrigués ;

- Les injections directes dans les puits, les forages ou les tranchées de recharge. Les techniques de recharge artificielle par les lâchers dans le lit de l'oued sont les plus utilisées

En raison de leurs efficacités techniques et économiques et de la disponibilité saisonnière de l'eau. Elles nécessitent un barrage réservoir en amont pour la régulation des écoulements de l'oued et éventuellement un aménagement du lit de l'oued. L'efficacité de la recharge par les lâchers de barrages dépend de la quantité d'eau mobilisable, sa qualité (matières en suspension et composition chimique), de la capacité de stockage et des caractéristiques de l'aquifère.

### *1.9. Equilibre ou déséquilibre d'une nappe exploitée :*

L'équilibre d'une nappe exploitée est exprimé classiquement par l'équation du bilan d'eau :

$$Q_a = Q_d + Q_p$$

Avec :

$Q_a$  : alimentation (moyenne) : débit moyen global naturel de la nappe .

$Q_d$  : débit sortant par les exutoires naturels.

$Q_p$  : débit prélevé total.

Rappelons que cet équilibre a un caractère global, car il est rapporté à l'ensemble du système aquifère pris comme cadre spatial d'un bilan significatif.

En régime de déséquilibre à long terme, se traduirait par une décroissance persistante de la réserve, donc par une chute continue des niveaux.

En fait on a tort d'associer les notions d'excès d'exploitation et de déséquilibre du bilan

Sans distinguer les types de nappes exploitées :

Une nappe libre, alimentée par toute sa surface et à réserve variable, peut et Généralement doit être exploitée en se souciant de ne pas rompre son équilibre à long terme.

Dans le cas d'une nappe captive, à faible alimentation et réserve fixe, le maintien d'un équilibre n'a pas de sens : prévenir la "surexploitation" est un faux problème.

## CHAPITRE I : la recharge naturelle de nappe souterraine

Le souci d'éviter la surexploitation (globale) n'a donc de sens que pour les nappes libres : par opposition à leur exploitation "normale" équilibrée, conçue comme une prise sur un flux

Renouvelé, la "surexploitation" ajouterait un prélèvement sur un stock non renouvelé. Il est impropre, de ce point de vue, de qualifier de "surexploitation", même temporaire ou saisonnière, tout excédent instantané des prélèvements sur le débit global d'une nappe libre,

C'est-à-dire sur l'alimentation du système (presque toujours plus irrégulière et plus variable  
MOUSSELMAL .M, 2015 in MARGAT.J, (1977)

### *Conclusion :*

En raison du développement du monde aujourd'hui et de ses progrès, le besoin en eau. Qui est le premier élément vital de toutes les activités humaines, augmente et en raison de la sécheresse qui balaie certains pays du monde ; les eaux souterraines restent le seul moyen de fournir de l'eau surtout dans les pays qui ont un climat sec.

Pour conclure, on peut dire que la ressource d'eau souterraine peut être renouvelée. Ce renouvellement ou recharge peut se faire naturellement surtout par infiltration des précipitations ou artificiellement par divers moyens dont le but surtout de satisfaire les besoins en eau.

Néanmoins cette recharge artificielle nécessite certaines conditions qu'il faut tenir compte avant toute opération de recharge artificielle.

Dans ce qui suit, nous aborderons l'étude de la possibilité de la recharge artificielle de la nappe de la région d'Ouled Djellal qui présente un site propice et favorable à ce type de technique de gestion d'eau et les moyennes de la recharge artificielle de nappe souterraine.

## Chapitre II : Cadres géographique, climatique et géologique de la zone d'étude

## INTRODUCTION

Ouled Djellal est une ville située au Sud-Ouest du massif des Aurès en Algérie, à environ 100 km au sud-ouest de la ville de Biskra et à 390 km au Sud- Est d'Alger. Elle compte environ 66 000 habitants, dont près de la moitié sont issus de l'exode rural des années 70. Rattachée à Biskra, depuis l'époque Ottomane, puis faisant partie du département des Aurès pendant la période coloniale, elle fut rattachée une nouvelle fois, après l'indépendance, Biskra, lors du découpage administratif de 1974. en novembre 2019 La nouvelle division a été annoncée d'Ouled Djellal a fait le numéro 51 de l'État.

Dans la région d'Ouled Djellal, comme dans beaucoup d'autres des marges sahariennes, les principales activités économiques sont liées aux cultures du palmier dattier et à l'élevage. L'importance des palmeraies est due surtout à la présence de nappes souterraines et/ou phréatiques très productives et peu profondes dont l'exploitation date de plus d'un siècle. (Lahlali. A, 2019).

Cependant, le développement récent dans la région des Ziban se caractérise par l'extension, la diversification et la rationalisation des activités économiques. L'eau étant ici le facteur limitant du développement, et surtout de l'activité agricole, il est fondamental de connaître et de maîtriser parfaitement ce facteur (CHABIOUR.N, 2006). Ainsi, les forages profonds encouragés par l'Etat ont rendu possible l'exploitation intensive de vastes superficies, considérées auparavant pendant des siècles comme zones de parcours.

Le secteur d'étude fait partie des régions Sud de l'Oued Djeddi.

### *II.1 Aperçu géographique*

#### *II.1.1. Situation géographique*

La région des Ziban s'étend sur les piémonts de l'Atlas saharien qui se partage en trois massifs montagneux du Zab, des Aurès et des Nemenchas, juste à la flexure de contact entre le bouclier saharien rigide et tabulaire et les plissements très marqués de l'Atlas. (ZAIR. N, (2017)

La wilaya est située au Sud-Est de l'Algérie aux portes du Sahara. Avec l'altitude moyenne est d'environ 200 m. Guezainial.Guerram .A (2011), selon la Monographie de wilaya de Biskra 2008) Ce qui fait d'elle une des villes les plus basses d'Algérie.

Le Chef-lieu de la wilaya est située à 390 km au Sud-Est de la capitale Alger ; limitée au Nord par le domaine pré atlasique et les montagnes des Aurès, au Sud par les reliefs d'Ouled Djellal, à l'Est par la zone de Chott (Chott Melghir) et à l'Ouest par les plaines steppiques de la région de Djelfa. (SEMAR et SENGOUGA, 2013).

La wilaya s'étend sur une superficie de 326,60 km<sup>2</sup> (Guezainia I. et Guerram .A (2011), avec une population de 63 237 habitants (2008) répartie à travers 6 commune (26 /11/2019).

Au Nord et au Sud par la chaîne tellienne et la chaîne atlasique, respectivement aux environs des coordonnées géographiques 34° 25' 44 de latitude Nord.



## CHAPITRE II : Cadres géographique, climatique et géologique de la zone d'étude

Oued Djedi et à peu près à 1 km au Sud de la ville d'Ouled Djellal, avec les coordonnées suivantes : -34°25' et 32° Nord et 5°03' et 51° Est ,(LAHLALI.A(2019)).

### II.1.2. Démographie

selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008 (44000 habitants), la population de la wilaya est évaluée à 63 237 habitants en 2015.( Voir la figure 8)

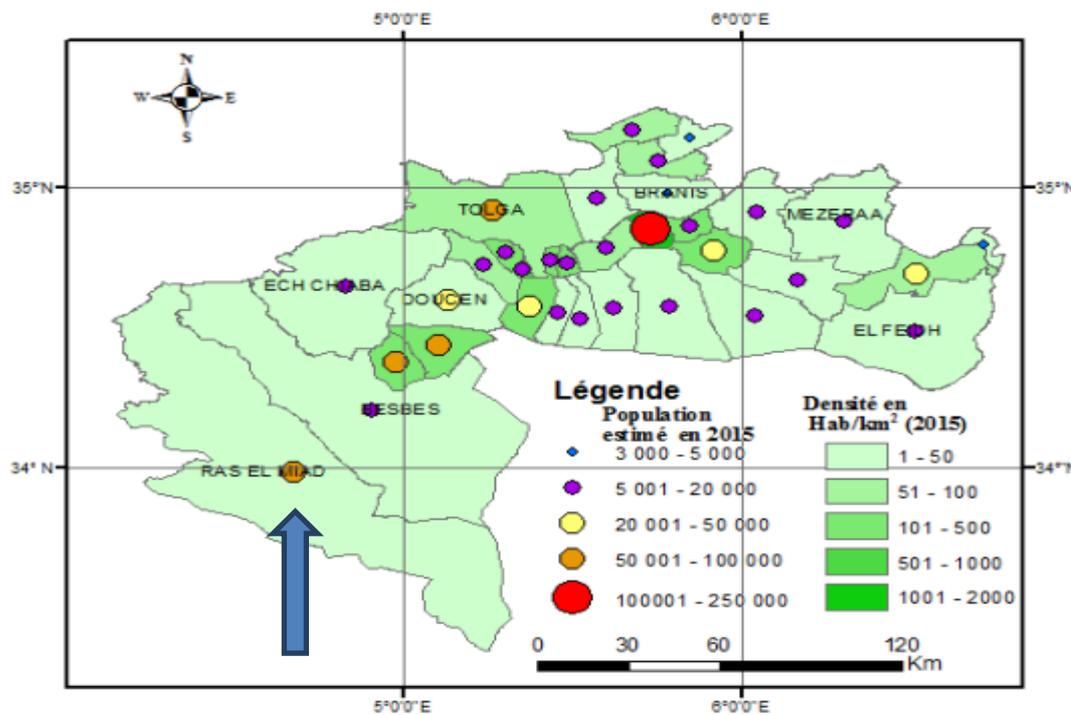


Figure 8 : Carte de la population et de la densité de la wilaya de Biskra.(HELAL.F ,2016)

### II.1.3. Développement de la ville d'Ouled Djellal

Avant 1990, la ville d'Ouled Djellal était un véritable cul de sac, mais aujourd'hui, grâce aux nombreuses routes qui ont vu le jour progressivement, Ouled Djellal est devenue une plaque tournante du trafic routier.

Ainsi, la ville est reliée aux villes d'El Oued, de Touggourt et de Ouargla, au sud ; elle est aussi reliée aux villes de Laghouat et Djelfa, à l'ouest, et aux villes de M'Doukal, Barika et Batna, au nord.(<https://fr.m.wikipedia.org>)

D'autres éléments naturels et technologiques ont contribué à la restriction de la forme actuelle du tissu bâti de la ville et ont orienté son extension, il s'agit de : l'Oued Djedi et notamment Oued El Assel. Les terrains sableux sur les rives d'Oued Djedi, situé sur le côté Ouest et côté Nord-est de la ville.

### II.2. Situation Hydrographique

La wilaya d'Ouled Djellal est drainée au sud par un important cours d'eau qui est Oued- Djedi à caractère temporaire dont le débit est irrégulier et pratiquement nul Elle est parcourue aussi par d'autres Oueds de moindre importance qui sont: Oued Besbes, Oued Diefel et Oued Rtem.(Guezainia.I,Guerram .A (2011)).

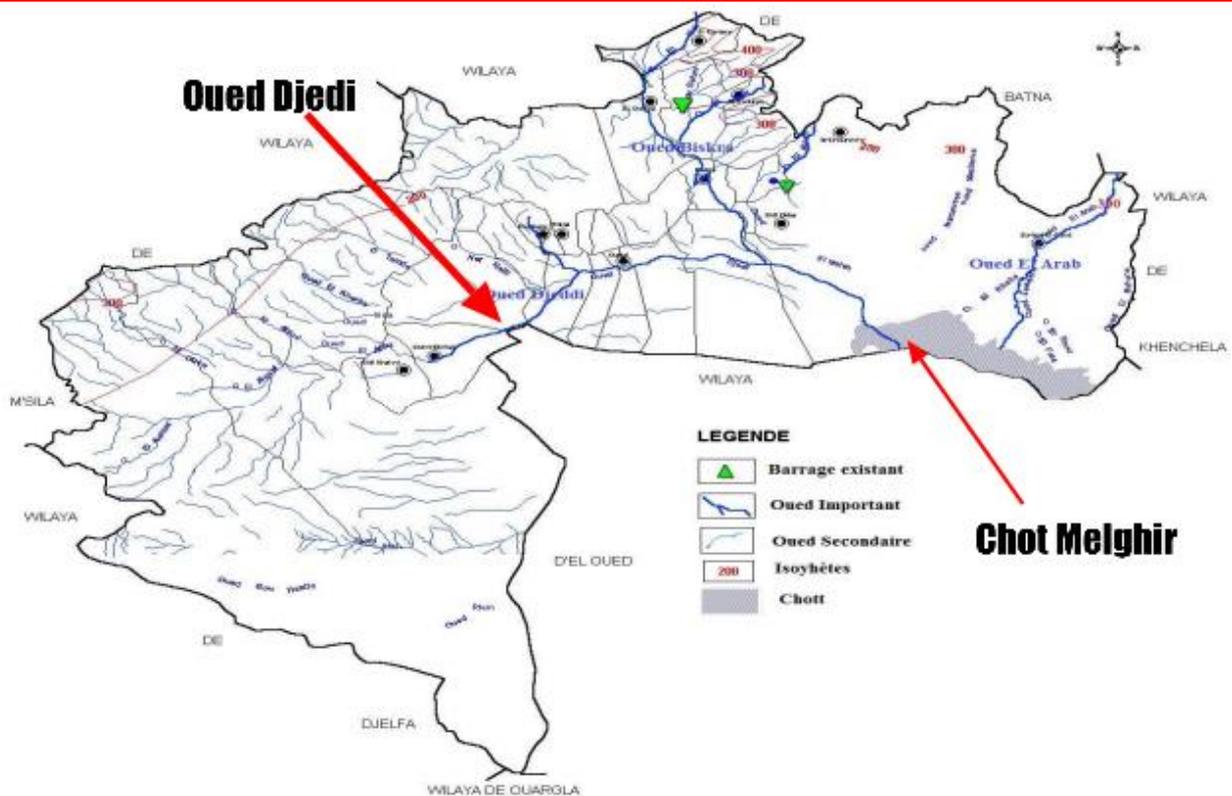


Figure .9 : La carte hydrographique de la zone d'étude (HELAL .F ,2016)

### II. 3. Cadre géologique de la région d'Ouled Djellal

La région d'Ouled Djellal représente un pays de transition structurale et sédimentaires, au Nord c'est un pays montagneux, tandis qu'au Sud c'est un pays effondré, qui fait partie du Sahara Septentrional. Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexures, de plis-failles et de failles d'orientation Est Ouest appelé "Accident Sud Atlasique ( Lahllali.A(2019)).

La région d'Ouled Djellal se caractérise par des terrains sédimentaires, allant du Quaternaire au sommet jusqu'au Barrémien à la base.

#### II.3.1. Quaternaire

Il s'étend largement dans la plaine en couvrant les dépressions, les vallées, il est caractérisé par une érosion des dépôts pliocènes ainsi que par alluvionnement important (sables et argiles) dans les grandes plaines.

#### II. 3.2. Miocène supérieur (Pontien)

Il affleure seulement dans la dépression (combe) de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal. Il est représenté par des argiles et marnes multicolores souvent très sableuses. C'est un dépôt continental détritique : argiles, sables, graviers et marnes.

#### II.3.3. Pliocène

## CHAPITRE II : Cadres géographique, climatique et géologique de la zone d'étude

Il est représenté par des poudingues, des bancs de grès et d'argiles sableuses à proximité des massifs (Chetma, Chaïba et Ouled Djellal) passant à des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine.

Il est également représenté par la croûte calcaire-gypseuse englobant souvent des masses de poudingues, des sables et des graviers dans le Sud de l'Oued Djedi. (LAHLLALI.A (2019))

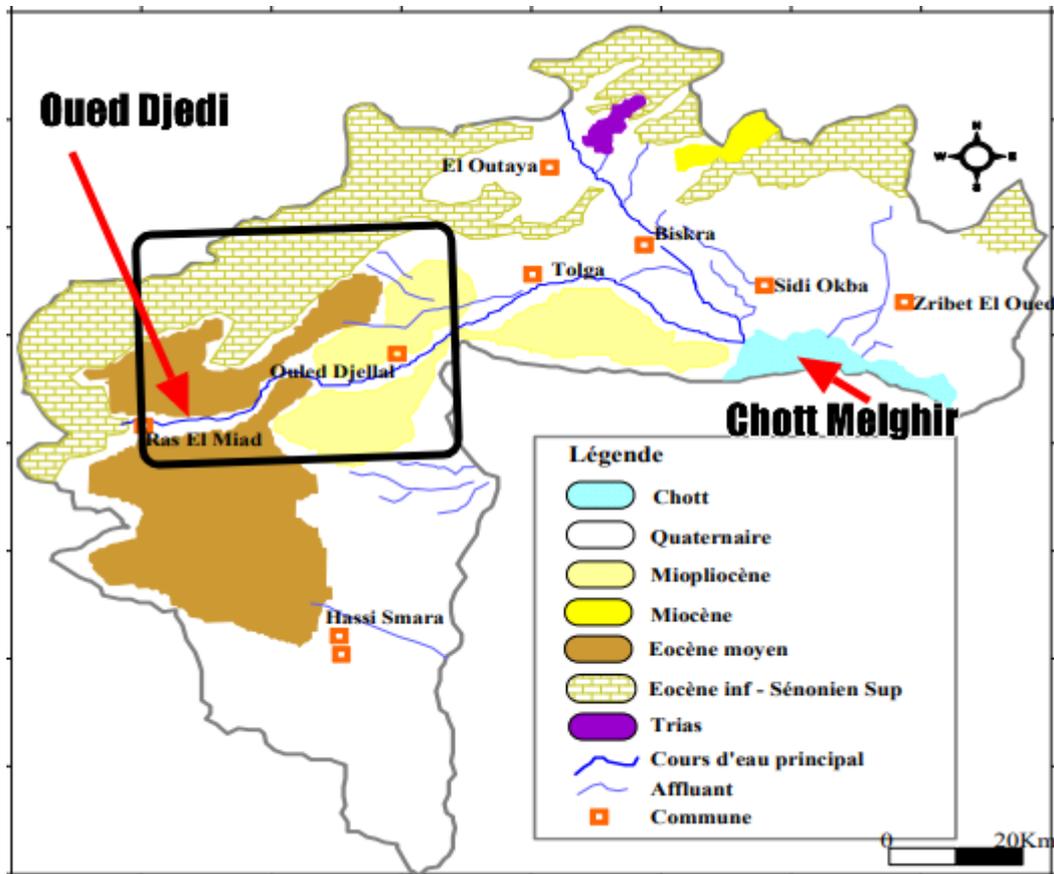


Figure 10 : La carte d'esquisse géologique de la région de la wilaya de Biskra (SEDRATI.N,2011)

### II.3.4. Eocène moyen (Lutétien)

C'est un dépôt exclusivement lagunaire représenté par des argiles, du gypse en couches épaisses, des anhydrites et des calcaires dolomitiques. Les couches gypseuses et calcaires sont très développées dans la région d'Ouled Djellal.

### II.3.5. Eocène inférieur

Sa puissance varie entre 150 et 200 mètres. Ce sont des calcaires blancs riches en silex noirs ; ils affleurent au Nord de Tolga.

### II.3.6. Sénonien supérieur

Il est représenté par des calcaires cristallins et dolomitiques en couches très épaisses, des intercalations lagunaires marneuses et gypseuses très nombreuses à l'Ouest (Djebel Gouara et sur le

CHAPITRE II : Cadres géographique, climatique et géologique de la zone d'étude (flanc Nord du Djebel Bou Rhezal). Ce sont des calcaires maestrichtiens reposant sur les marnes noirâtres du campanien (à Dalaat el hamra).

### ***II.3.7. Sénonien inférieur***

Il affleure sur le flanc Nord de djebel Bou Rhezal, sa puissance est de 300 à 400m. Ce sont des calcaires gris ou blancs alternant régulièrement avec des marnes grisâtres, parfois gypseuses. (LAHLLALI.A(2019))

### ***II.3.8. Turonien***

Il est représenté uniformément dans toute la zone montagneuse par un épais niveau de 200 à 300m d'épaisseur composé de calcaire cristallin de calcaire marneux et de calcaire dolomitique.



**Figure .11 : Calcaires marneux. BENDDIN.S(2019)**

### ***II.3.9. Cénomanién***

Cet étage affleure aux deux extrémités de la région de Biskra, surtout au niveau de la combe du Djebel Bou Rhezal et au nord-est de BorjChaïba, sa puissance est de 500 m. Ce sont des calcaires marneux avec intercalations marneuses et gypseuses. (LAHLLALI.A(2019))

### ***II.3.10. Albien***

*Il affleure dans la combe de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal et au nord de Chaïba. Il est constitué en majeure partie par des grès rouges ou gris avec intercalation d'argile rouge, sa puissance est d'environ 250 m. A la base de la série, les formations sont gréseuses (50 à 100 m.) :*

*grès fins à ciment calcaire beige gris à OuledDjellal. Au sommet, les formations sont plus carbonatées (environ 100 m) : calcaire gris et marnes gris noires à Sidi Khaled ; calcaire blancs à gris et argiles grises à vertes à OuledDjellal.(LAHLLALI.A(2019))*



figure.12 : Grés de l'Albien inférieur (BENDDIN.S(2019))

### II.3.11 Aptien

Cette couche est visible seulement vers Chaïba, elle présente un faciès lagunaire avec intercalation marine, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, des anhydrites, des calcaires dolomitiques et des dolomies. L'épaisseur de ce dépôt est d'environ 60 m.

Les forages ont traversé 50 m. de dolomies et de calcaires argileux à Sidi Khaled, mais rien d'équivalent à Ouled Djellal où l'on a pu noter une absence totale des faciès carbonatés entre le Barrémien et l'Albien qui sont gréseux, Il peut s'agir ici d'un changement latéral de faciès ou d'une lacune de sédimentation.(LAHLLALI.A(2019))

### II. 3.12. Barrémien

Cette couche affleure uniquement vers Chaïba. Elle est constituée par les grés rouges avec quelques intercalations argileuses.

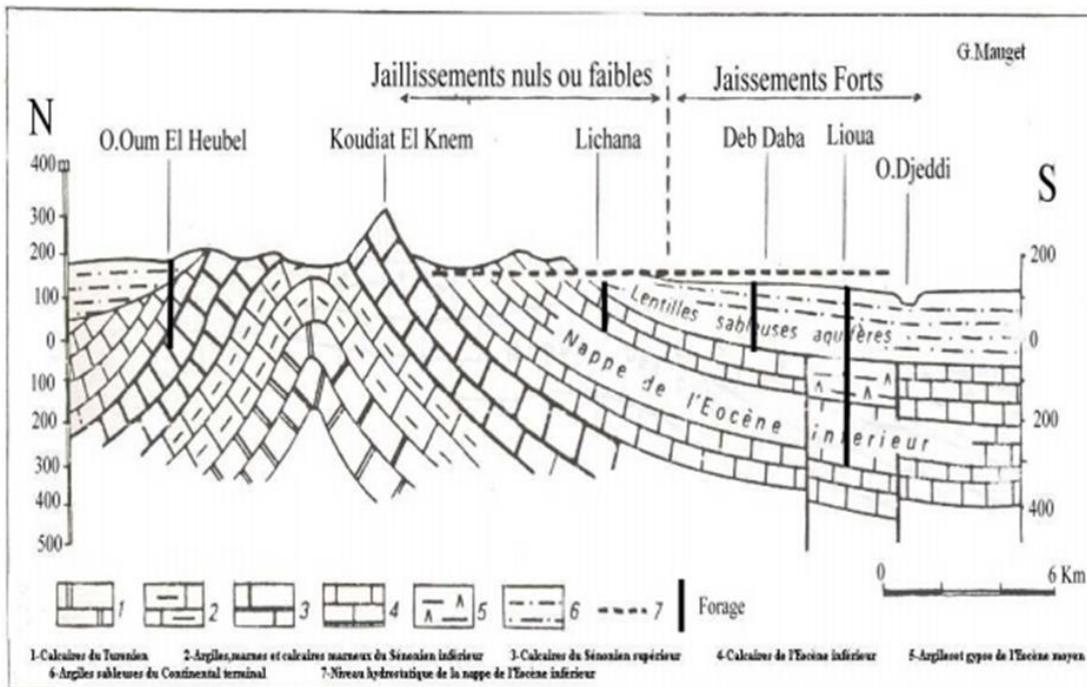


Figure .13 : Coupe géologique Nord-Sud de la région d'étude. ( SEDRATI. N ,2011)

Le tableau suivant présente les nappes d'eau exploitées de la région d'étude

Tableau. 1 : Les nappes captées de la région d'Ouled Djellal (ZAIR .N,2017)

	La nappe	Profondeur (m)
Ouleddjellal	phréatique	20-60
	Moi-pliocène	90-250
	Eocène inférieur	90-500
	Albien	1700-2600
Sidi khaled	Phréatique	20-60
	Eocène inférieur	90-500
	Albien	1500-2500

#### ***II.4. Aspect climatologique***

Dans un pays comme l'Algérie caractérisé par le contraste entre le climat méditerranéen de la bordure littorale et le climat désertique du sud en passant par le climat des montagnes, des hauts plateaux, il est nécessaire de pouvoir préciser le type climatique du secteur que l'on étudie.

Notre région d'étude, sur le plan météorologique, constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques, notamment, le passage du régime climatique méditerranéen au climat saharien caractérisé par des influences desséchantes qui règnent, pendant une partie de l'année, sur le Sahara Septentrional.

Le relief caractérisé par les derniers chaînons de l'Atlas Saharien et formant une barrière aux influences méditerranéennes accentue les contrastes climatiques.

La région d'Ouled-Djellal fait partie du climat méditerranéen à étage bioclimatique saharien caractérisé par des hivers secs et froids et des étés secs et chauds.(Guezainia.I ,Guerram .A (2011)).

Le climat d'Ouled Djellal est : sec et chaud en été (température entre 35 et 45 °C le jour, et entre 25 et 35 °C la nuit), il est sec et froid en hiver (température entre 10 et 20 °C le jour, et entre -2 et 5 °C la nuit). (<https://www.doc-developpement-durable.org>)

les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau .

##### ***II.4.1 Les précipitations***

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien , On note ainsi des précipitations annuelles très faibles dans certaines localités.(ould-baba)

Les précipitations sont très faibles et irrégulièrement réparties dans le temps et dans l'espace, les précipitations moyennes annuelles La pluviométrie moyenne annuelle dans la région est faible mais les variations interannuelles sont très fortes. (Guezainia.I ,Guerram .A (2011)).

## CHAPITRE II : Cadres géographique, climatique et géologique de la zone d'étude

Une zone de grande extension caractérisée par des précipitations comprises entre 100 à 200 mm enregistrées au niveau de la ville de Biskra, Branis, Sidi Okba, Ain Naga, Tolga, Doucen, Ouled Djellal et Sidi Khaled.

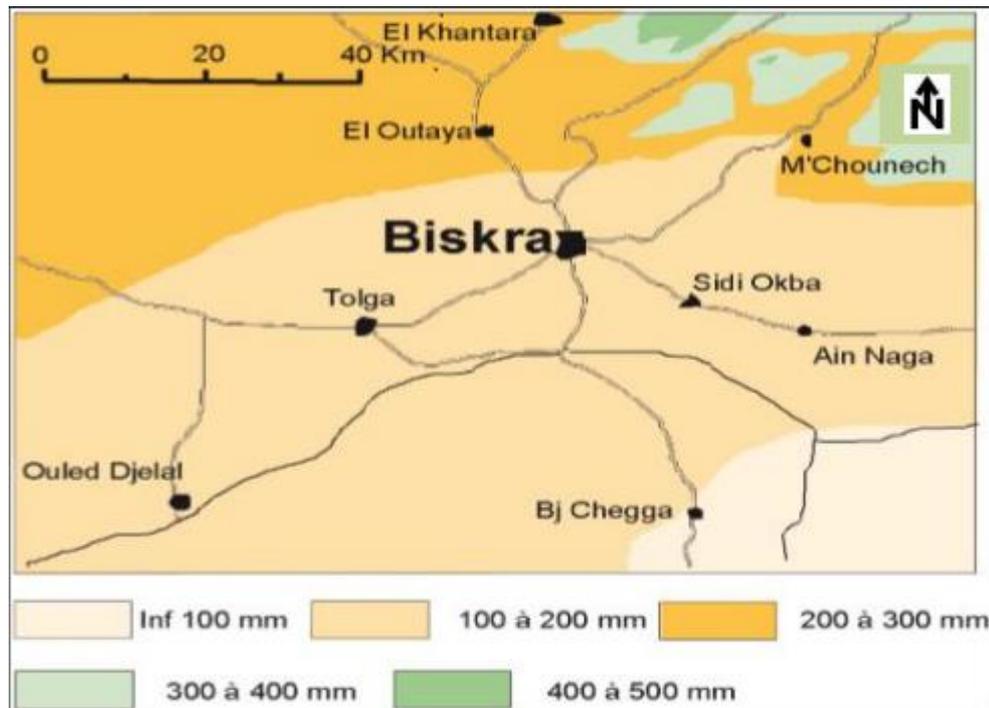


Figure.14 : la carte pluviométrique de la région de Biskra ( ZAIR .N,2017,Extrait de la carte pluviométrique d'Algérie 1/500000, 1971)

### II.4.1.1. Les précipitations moyennes annuelles

Les moyennes annuelles calculées au niveau des stations de Biskra, Ouled Djellal et El Outaya sont mentionnées sur le tableau 2. Conformément au schéma général, on observe une diminution de la pluviosité du Nord vers le Sud en ce qui concerne la plaine saharienne (entre Biskra et Ouled Djellal). En revanche la moyenne annuelle est plus élevée à Biskra qu'à El Outaya située plus au Nord.

Tableau .2 : Moyennes annuelles des précipitations ( LAHLALIA(2019))

Station	Altitude	Longitude	latitude	Moy.Annuelle 1926-1950	Moy.Annuelle 1968 - 1990
Biskra	85 m	5°45'	34°47'	144.8 mm*	125 mm
El Outaya	282 m	5°44'	35°01'	-	119 mm
Ouled Djellal	196 m	5°40'	34°25'	118.3 mm*	-

\*Dubief (1959)

Le choix de deux périodes est guidé par le fait que la période récente comporte beaucoup de lacunes et qu'en plus, ceci peut nous renseigner sur les éventuels changements climatiques sur des périodes assez longues. Nous remarquons que pour la station de Biskra, la période 1926-1950 est relativement plus humide que celle de 1968 –1990.

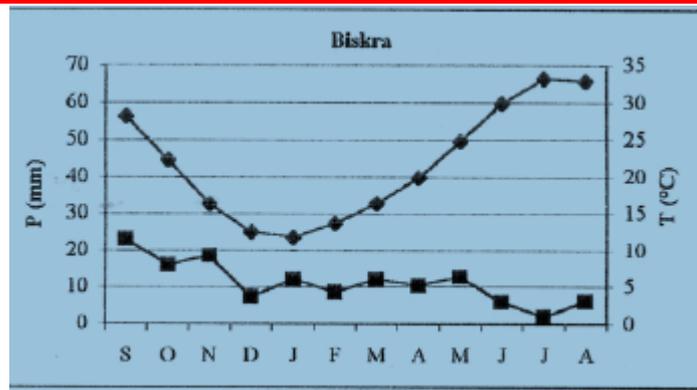


Figure 15 :Régime pluvio-thermique de 7 stations climatologiques de l'Est algérien(MEBARKIA (2005),données O.N.M.,

Tableau .3: Précipitations moyennes mensuelles (2008)d'Ouled Djellal (Guezainia.I ,Guerram .A ,2011) :

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Pluviométrie (mm)	4.1	0.5	4.1	0	21.1	0	0	18.1	0.5	40	0	37.7	126.2

#### II.4.2 La Température

Les températures moyennes mensuelles des différents périodes se limitent en deux saisons, un hiver froid et un été chaud et dont l'écart de températures peut dépasser 25.3C°.

Le maximum absolu de température peut dépasser 48,4 C° et le minimum absolu peut être descendu jusqu'à 1,6C°.

Tableau .4 : Les températures dans la région d'OuledDjellal (2008)

MOIS	j	f	m	a	M	j	j	a	s	o	n	D	Moy annuelle
La température	21	24	28	33	38	42	45	44	40	33	26	22	33

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer les périodes sèche et humide.

Lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau, et lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est humide.

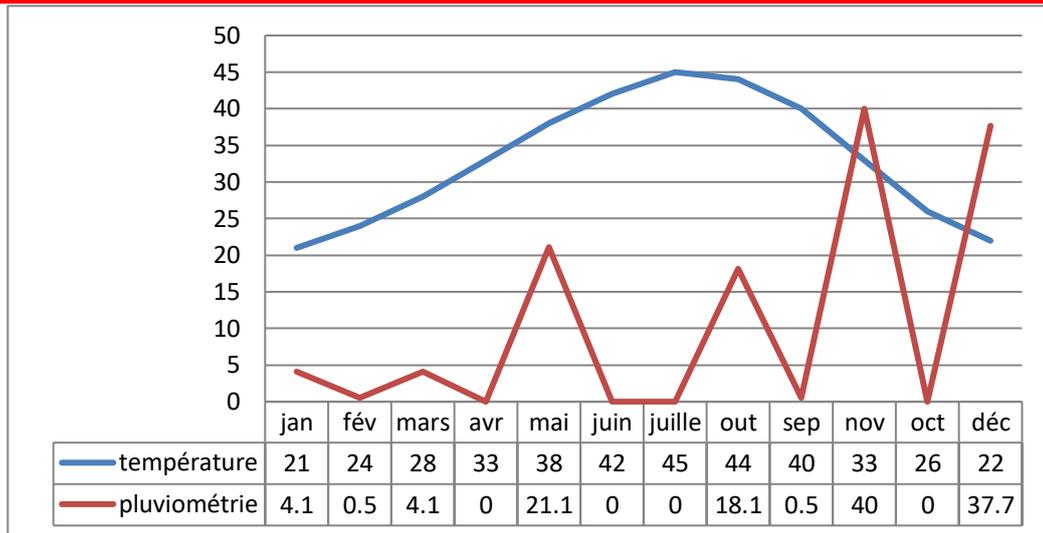


Figure .16: Courbe pluviométrique(2008)

A partir de ce diagramme, on constate que durant l'année hydrologique, la région est caractérisée uniquement par une période sèche.

La détermination de cette période a une importance primordiale pour déterminer les besoins en eau d'irrigation. Sachant que dans cette période l'évaporation dans la région d'Ouled Djellal est à son maximum ce qui implique un rabattement de la nappe souterrain qui fut la seul source d'eau dans cette région agricole

#### II.4.3.L'évapotranspiration :

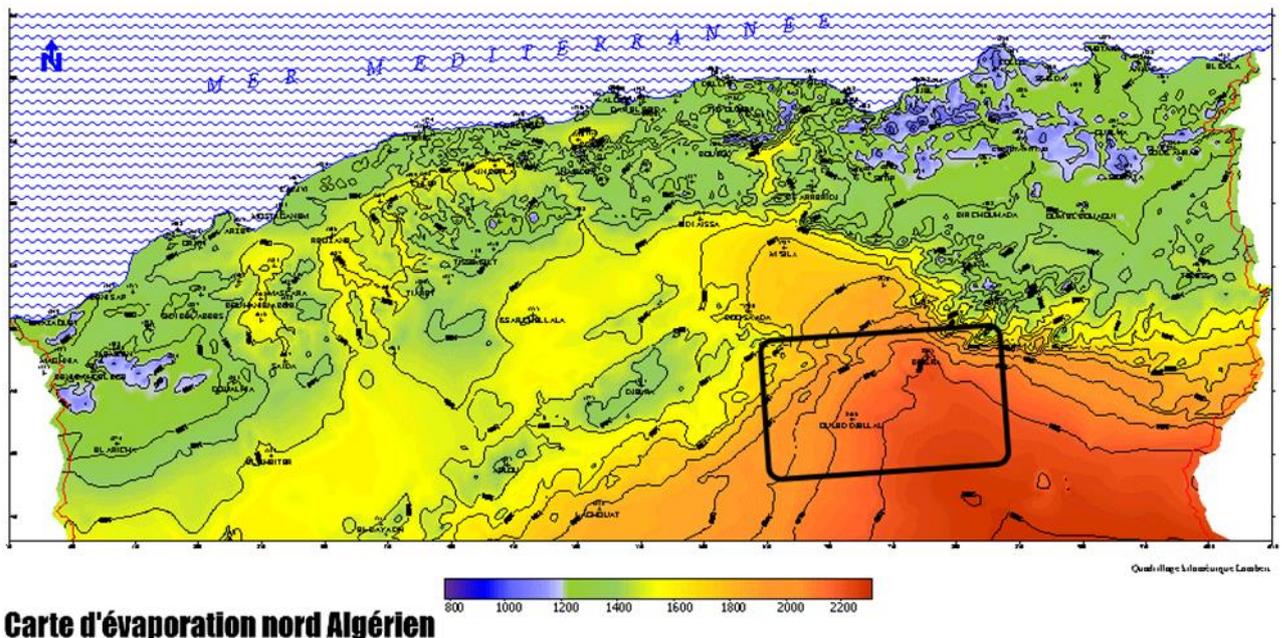


Figure 17 : Carte d'évapotranspiration du nord Algérien.( [www.ANRH.dz](http://www.ANRH.dz))

Selon la carte d'évapotranspiration la zone d'étude se situe dans la partie où l'évaporation est très importante

### *CONCLUSION*

. Le sous bassin versant de l'Oued Djedi appartient au grand bassin versant du chott Melghir qui se trouve fortement marqué par un climat à tendance aride mis en évidence par la faiblesse des précipitations. De point de vue climatique la région d'étude est caractérisée par des hivers doux et peu pluvieux avec des précipitations irrégulières dans l'espace et dans le temps.

La chaîne montagneuse du bassin versant du chott Melghir forme une barrière face aux perturbations climatiques venant du nord. Cette situation est souvent aggravée par une évaporation élevée et une faible couverture végétale favorisant le travail de l'érosion.

Le cycle hydrologique dans le bassin versant de chott Melghir favorise l'évaporation et le ruissellement superficiel en non les infiltrations ce qui provoque une mauvaise alimentation de la nappe souterraine de cette région.

Selon des études antérieures, certains jours de l'année, la région peut subir de fortes quantités de pluie. Ces pluies peuvent être importantes et provoquer des ruissellements considérables aux zones d'alimentations des affleurements géologiques.

Celles-ci s'infiltrent dans les formations aquifères et alimentent les aquifères justifiant la faisabilité hydrologique de la recharge des nappes souterraines

Dans cette cuvette à matériaux par endroits argileux et/ou marneux, alternant avec des grès (Miocène) et par d'autres crétacé à grès et carbonates au sud, les différents cours d'eau ont déposés un matériel alluvionnaire à sables, graviers et galets limoneux avec des lentilles purement marneuses ou argileuses et ce, dès le Mio-Pliocène jusqu'au Quaternaire.

**CHAPITRE III :**  
**ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA**  
**REGION D'OULED DJELLEL**

INTRODUCTION

L'étude hydrologique et hydrogéologique de la région d'Ouled Djellel sera un appui scientifique pour le choix du site Des seuils sur l'Oued Djedi et en même temps détermination de la zone de la recharge de la nappe souterrain en s'aidant de la carte géologique de la région.

III.1. L'étude hydrologique de la région d'Ouled Djellel :

La zone d'étude est située dans le sous bassin versant du plus long cours d'eau du sud algérien qui est l'Oued Djedi qui appartient à son tour au grand bassin versant de chott Melghir

III.1.1. Le bassin versant de Chott Melghir :

Ce grand bassin versant couvre une superficie de 68 750 km<sup>2</sup>, soit 3,4% de la surface du bassin saharien, il s'étend entre les chaînes de l'Atlas saharien (Aurès, Nememcha et les monts de Batna) au Nord, jusqu'à la dépression du Sahara septentrional. L'endoréisme est le caractère principal du bassin. Ce dernier compte trente (30) sous bassins, il est drainé par un chevelu hydrographique d'une longueur de 37 822 km d'oueds, coulant vers les zones de dépression, et dont le plus important est celui de Chott Melghir. Les principaux Oueds sont ceux qui drainent les versants sud des Aurès : Oued El Haï (140 km), Oued El Abiod (152 km), Oued el Arab (170 km) et l'Oued Djedi (500 km) qui reçoit les eaux de la partie occidentale du Djebel Amour en avant de la ville de Laghouat et traverse toute la région située à l'ouest du méridien de Biskra (Lahlali .A(2019),Dubief, 1953 in Chabour, 2006).

Le niveau de base de tous les Oueds du versant Sud de l'Aurès est de -36m ; ils ne l'atteignent qu'à l'occasion de leurs plus grandes crues.

L'Oued M'zi né dans le Djebel Amour, il descend en direction de Laghouat. Au-delà de la zone d'épandage située immédiatement à l'aval de Ksar El Hirane, il prend le nom d'Oued Djedi qu'il conservera jusqu'à son débouché dans le Chott Melghir. Il occupe une surface de 6153 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 390 Kms

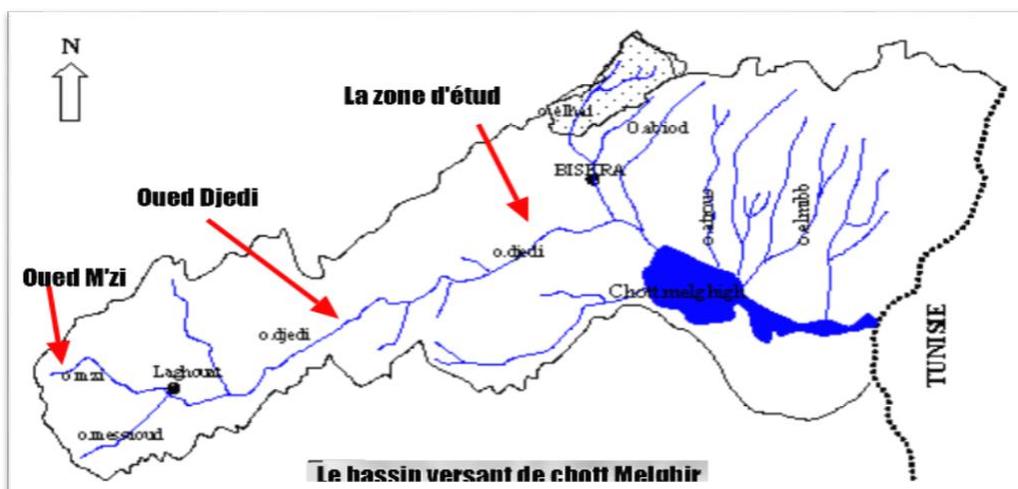


Figure 18 : Le bassinversant saharien du Chott Melghir, ANRH 1992inRERBOUDJ. A M, (2005)

Les bassins du Melghir (Fig.18) couvrent en gros une superficie de 685000 km<sup>2</sup>, sur lesquels 250000 peuvent être considérés comme appartenant encore au domaine de l'endoréisme actif et 200000 à celui des ergs. (Ouled-baba.M(2005))

L'aire totale du bassin du Chott Melghir atteint 68 750 km<sup>2</sup>. Mais, nous ne prenons pas en compte l'ensemble de la surface drainée de l'Oued Djedi (26 800 km<sup>2</sup>), bassin dont l'artère maîtresse dépasse les 500 km (MEBARKI .A(2005), Dubief J., 1953)

#### *III.1. 2. Bassin versant d'Oued Djedi :*

Le bassin du Djedi couvre une superficie de 26800 km<sup>2</sup> environ. La longueur de l'artère maîtresse dépasse légèrement les 500 km. L'O. Djedi proprement dit peut être considéré comme le collecteur de la vaste gouttière qui s'étend entre l'Atlas saharien et le plateau des daïas (DUBIEF, 1953). Entre Laghouat (Altitude : 752 m) et Oued Djellal (Altitude : 156m) l'oued Djedi reçoit une quinzaine d'affluents sur sa rive gauche et finit son parcours après 500 m dans le chott Melghir (Altitude : -26 m) (ouled –baba.M(2005), BRL, 1998a).

D'une façon générale, les seuls cours d'eau qui provoquent un écoulement accidentel notable sont ceux de la rive gauche qui descendent de l'Atlas saharien. Les deux plus importants affluents sont l'O. Mzi, si on ne le considère pas comme artère maîtresse, et l'O. Mergueb. Tous les deux prennent naissance vers 1400 m d'altitude et ont des bassins versants de superficies comparables : 4500 km<sup>2</sup> pour le premier, 4300 km<sup>2</sup> pour le second.

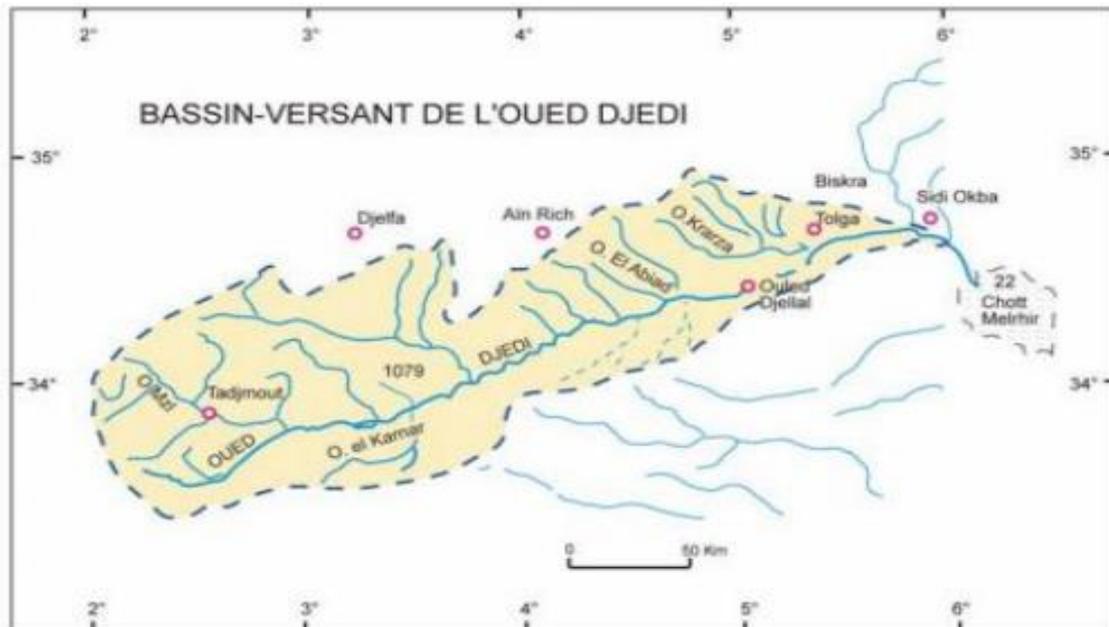
Plus à l'Est, les affluents deviennent moins importants, leurs origines étant à une altitude bien moins élevée et leurs bassins beaucoup plus restreints (OULED BABA .M, (2005) in DUBIEF, 1953).

Pour le calcul de l'alimentation des nappes, le bassin versant de l'Oued Djedi sera rattaché à l'Atlas saharien.

La fréquence moyenne des écoulements est de 10 j/an à Laghouat, de 5 j/an à Oued Djellal et seulement de 2 à 3 au sud de Biskra.

En amont de Laghouat, l'oued Mzi a un écoulement pérenne de 100 I/s provenant de sources nées d'une remontée des eaux d'infiltration lors d'une cluse de calcaires turoniens constituant le Jebel Milok. L'étude des apports de l'oued M'zi à Sekhafa (BRL, 1998a) a permis d'estimer les débits de crue décennale et centennale à 650 et 1250 m<sup>3</sup>/s. (MEBARKI.A(2005)).

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'oued djellal



*Figure 19: Bassin versant de l'Oued Djedi ; établie d'après Dubief J., 1953*

*in MEBARKI, 2005)*

L'Oued Djedi reçoit plusieurs oueds provenant du flanc Sud de l'Atlas saharien.

Les principaux affluents sont pour la partie occidentale :

\*L'Oued M'Zi qui prend naissance à une altitude de 1593 m.

\*L'Oued Messad qui prend naissance à une altitude de 1000 m.

\*L'Oued Merguel et l'Oued Moudjbara qui prennent naissance à une altitude d'environ 1400 mètres et se rejoignent pour former l'Oued Demmed.

Selon le profil de l'Oued Djedi en remarque qu'il y a une pente très importante entre la région de l'Ouled Djellal et l'exutoire de chott Mélgahir ce qui explique la réduction de temps de concentration des eaux de pluies dans la zone d'étude, et explique la torrencialité de son écoulement



### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

$K_G$  : Indice de compacité de Gravelius

P : Périmètre stylisé en km du bassin versant

A : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

- Lorsque  $K_G$  est proche de 1 le bassin versant est de forme quasiment circulaire
- Lorsque le  $K_G$  est supérieur à 1, le bassin versant est de forme allongée.
  - Un bassin versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé.

•  $K_G = 1,5$  .le bassin versant de l'Oued Djedi est donc de forme allongé

#### III.1.2.3. Dimension du rectangle équivalent

L. Roche (1962) compare le bassin versant à un rectangle de même superficie et même indice de compacité. La longueur et la largeur du rectangle de Roche, sont calculées à l'aide des formules

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

$$l = \frac{1}{2} \cdot K_G \cdot \sqrt{\pi \cdot A} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot K_G} \right)^2} \right) \text{ avec } K_G \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}}$$

Suivantes :

L: longueur du bassin versant en (km)

l : largeur du bassin versant en (km) A : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

$K_G$  : indice de compacité de Gravelius

Les valeurs obtenues pour le bassin de l'Oued Djedi sont : Longueur : L= 305 km.

Largeur : l = 110 km (Lahllali .A ,2019)

#### III.1.3. Les écoulements et les infiltrations de la région d'Ouled Djellal :

Nous abordons ici un des problèmes capitaux du Sahara. A première vue, selon DUBIEF (1953), il y a une opposition irréductible entre ces deux ordres de faits. C'est, vraisemblablement, pour pallier cette difficulté apparente que divers météorologistes et géographes ont été amenés à imaginer les chutes de pluies au Sahara sous forme de déluges localisés.

En fait, le problème ne présente pas de difficultés si l'on fait intervenir l'intensité des précipitations, c'est-à-dire leur vitesse de chute, et la vitesse de pénétration de l'eau dans le sol. Il est

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

bien évident qu'il y aura excès momentané d'eau à la surface de la terre dès que l'intensité de la pluie sera supérieure à la vitesse d'absorption de l'eau par celle-ci. Lorsque la pellicule d'eau libre ainsi formée aura une épaisseur suffisante, un ruissellement apparaîtra. Il sera, évidemment, d'autant plus rapide que la pente sera plus forte et la végétation plus clairsemée. Autrement dit, les facteurs intervenant dans le phénomène du ruissellement sont :

- ❖ D'une part, l'intensité et la quantité de pluie tombée,
- ❖ D'autre part, la perméabilité du sol arrosé, son pendage et l'état de sa couverture végétale.

On peut y ajouter, dans une certaine mesure, l'évaporation qui agit sur la petite pellicule d'eau formée momentanément à la surface du sol.

Les pluies sahariennes, caractérisées par leurs faibles valeurs quantitatives, peuvent donner lieu au ruissellement encore important observé, de nos jours, dans le Sahara

. Une grande partie de ces eaux ruisselantes s'infiltré dans les lits des Oueds, OULD BABA.M, (2005)

L'Oued Djedi a un écoulement temporaire, il ne présente un écoulement superficiel que pendant quelques jours par an, à la suite de crues. Les mesures de débits de l'Oued Djedi sont effectuées au niveau de la seule station de M'lili équipée.

Les seuls cours d'eau qui provoquent un écoulement notable sont ceux de la rive gauche qui descendent de l'Atlas saharien. La puissance des crues diminue d'amont en aval. Ainsi la puissance des crues des affluents des cours d'eau inférieurs peut parfois décroître, suffisamment, pour que celles-ci soient entièrement absorbées avant leur arrivée à l'oued Djedi.

A Ouled Djellal, la variation des nombres de crues présente deux maxima. L'un, le plus élevé au début du printemps, l'autre plus faible en automne. (LAHLALI .A ,2019).

Les périodes d'observation des stations sont trop courtes, en ce qui concerne l'étude faite à Ouled Djellal.

Néanmoins les résultats sont pratiquement comparables à ceux des autres méthodes (méthodes synthétiques, abaques de Chaumont, méthodes de comparaison avec d'autres bassins versants...). Cette étude statistique se base sur les données s'étalant sur trois années. CHABOUR N, (2006).

Les débits maximums estimés pour une période de retour centennale sont de l'ordre de 4000m<sup>3</sup>/s. Ces résultats tiennent compte de l'apport de certains confluent se trouvant à l'aval de Ouled Djellal avant la station de M'lili.

#### *III.1.4. La détermination des débits de crues :*

Les crues sont les événements correspondant à la circulation des débits exceptionnels dans les bassins versants, elles sont influencées par de nombreuses variables, parmi lesquelles on cite l'intensité, la durée et la distribution de la pluie dans le bassin ainsi que sa topographie etc.

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

Les débits des crues ont une influence directe sur le régime hydrologique, particulièrement en Algérie, où les oueds, à cause de la grande irrégularité, passant de débits nuls à des débits de crues exceptionnels.

Les crues dépendent essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie, de plus, le rôle physique du bassin versant n'est pas négligeable.

De ce fait, l'évolution de la crue obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse, sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, les paramètres morphométriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapport des confluences et des longueurs, etc...), par la pente des thalwegs. La forme du lit, la largeur de la vallée. De plus, les diverses branches du chevelu hydrographique interviennent bien qu'à un degré moindre dans l'évolution ou la perturbation d'une crue. Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles.

Presque chaque problème qui se produit est dû aux variations des conditions et des données qui font que c'est la disponibilité des données plutôt que la nature des problèmes qui conditionnent la procédure.

Il existe de nombreuses méthodes empiriques pour l'estimation des crues, leur étude détaillée permet une vue d'ensemble du développement historique de l'hydrologie. Les traités d'hydrologies donnent les formules les plus souvent utilisées et leurs domaines

D'application.

D'une façon générale, les formules empiriques s'appuient surtout sur des informations. D'ordre général qui ressortent de la comparaison d'un grand nombre de bassins versants.

L'absence d'observations hydrométrique de longue durée sur beaucoup de petits cours

D'eau a suscité l'établissement de très nombreuses formules pour le calcul du débit maximum de la crue probable. Ces formules sont basées sur l'expérimentation ou sur certaines informations propres à certaines régions pour les quelles ont été déterminées.

Ces formules empiriques sont à prendre avec précaution dans le sens où si elles sont valables dans une région, elles ne le sont pas dans l'autre et donnent souvent des valeurs sous-estimées ou surestimées.

Les débits donnés par ces formules tiennent compte essentielles de la (superficie, de la pluviométrie, de la fréquence des crues....etc.) du bassin considéré.

Cette partie hydrologique a pour but de déterminer les débits de crues de projet aux différentes fréquences de l'Oued Djedi fournissant les données de base pour le dimensionnement des ouvrages

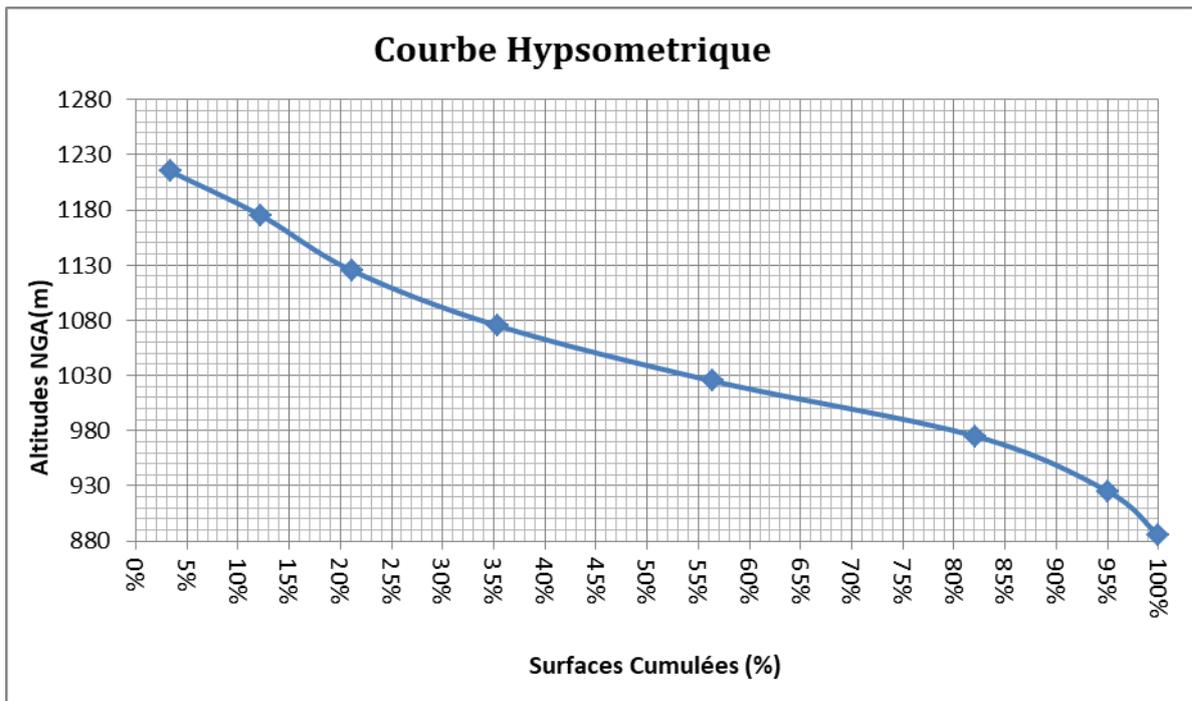


Figure .21 : Courbe hypsométrique (Gaurichi,y,2010)

#### III.1.5. Les écoulements et les infiltrations de la région d'Ouled Djellal :

Nous abordons ici un des problèmes capitaux du Sahara. A première vue, selon DUBIEF (1953), il y a une opposition irréductible entre ces deux ordres de faits. C'est, vraisemblablement, pour pallier cette difficulté apparente que divers météorologistes et géographes ont été amenés à imaginer les chutes de pluies au Sahara sous forme de déluges localisés.

En fait, le problème ne présente pas de difficultés si l'on fait intervenir l'intensité des précipitations, c'est-à-dire leur vitesse de chute, et la vitesse de pénétration de l'eau dans le sol. Il est bien évident qu'il y aura excès momentané d'eau à la surface de la terre dès que l'intensité de la pluie sera supérieure à la vitesse d'absorption de l'eau par celle-ci. Lorsque la pellicule d'eau libre ainsi formée aura une épaisseur suffisante, un ruissellement apparaîtra. Il sera, évidemment, d'autant plus rapide que la pente sera plus forte et la végétation plus clairsemée. Autrement dit, les facteurs intervenant dans le phénomène du ruissellement sont :

- ❖ d'une part, l'intensité et la quantité de pluie tombée,
- ❖ D'autre part, la perméabilité du sol arrosé, son pendage et l'état de sa couverture végétale.

On peut y ajouter, dans une certaine mesure, l'évaporation qui agit sur la petite pellicule d'eau formée momentanément à la surface du sol.

Les pluies sahariennes, caractérisées par leurs faibles valeurs quantitatives, peuvent donner lieu au ruissellement encore important observé, de nos jours, dans le Sahara

. Une grande partie de ces eaux ruisselantes s'infiltré dans les lits des Oueds, OULD BABA.M, (2005)

L'Oued Djedi a un écoulement temporaire, il ne présente un écoulement superficiel que pendant quelques jours par an, à la suite de crues. Les mesures de débits de l'Oued Djedi sont effectuées au niveau de la seule station de M'lili équipée.

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

Les seuls cours d'eau qui provoquent un écoulement notable sont ceux de la rive gauche qui descendent de l'Atlas saharien. La puissance des crues diminue d'amont en aval. Ainsi la puissance des crues des affluents des cours d'eau inférieurs peut parfois décroître, suffisamment, pour que celles-ci soient entièrement absorbées avant leur arrivée à l'oued Djedi.

A Ouled Djellal, la variation des nombres de crues présente deux maxima. L'un, le plus élevé au début du printemps, l'autre plus faible en automne. LAHLALI .A .(2019)).

Les périodes d'observation des stations sont trop courtes, en ce qui concerne l'étude faite à Ouled Djellal.

Néanmoins les résultats sont pratiquement comparables à ceux des autres méthodes (méthodes synthétiques, abaques de Chaumont, méthodes de comparaison avec d'autres bassins versants...). Cette étude statistique se base sur les données s'étalant sur trois années. CHABOUR N, (2006).

Les débits maximum estimés pour une période de retour centennale sont de l'ordre de 4000 m<sup>3</sup>/s. Ces résultats tiennent compte de l'apport de certains confluent se trouvant à l'aval de Ouled Djellal avant la station de M'lili.

#### *III.1.6. La détermination des débits de crues :*

Les crues sont les événements correspondant à la circulation des débits exceptionnels dans les bassins versants, elles sont influencées par de nombreuses variables, parmi lesquelles on cite l'intensité, la durée et la distribution de la pluie dans le bassin ainsi que sa topographie etc.

Les débits des crues ont une influence directe sur le régime hydrologique, particulièrement en Algérie, où les oueds, à cause de la grande irrégularité, passant de débits nuls à des débits de crues exceptionnels.

Les crues dépendent essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie, de plus, le rôle physique du bassin versant n'est pas négligeable.

De ce fait, l'évolution de la crue obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse, sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, les paramètres morpho métriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapport des confluences et des longueurs, etc...), par la pente des thalwegs. La forme du lit, la largeur de la vallée. De plus, les diverses branches du chevelu hydrographique interviennent bien qu'à un degré moindre dans l'évolution ou la perturbation d'une crue. Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles.

Presque chaque problème qui se produit est dû aux variations des conditions et des données qui font que c'est la disponibilité des données plutôt que la nature des problèmes qui conditionnent la procédure.

Il existe de nombreuses méthodes empiriques pour l'estimation des crues, leur étude détaillée permet une vue d'ensemble du développement historique de l'hydrologie. Les traités d'hydrologies donnent les formules les plus souvent utilisées et leurs domaines

D'application.

D'une façon générale, les formules empiriques s'appuient surtout sur des informations. D'ordre général qui ressortent de la comparaison d'un grand nombre de bassins versants.

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

L'absence d'observations hydrométrique de longue durée sur beaucoup de petits cours

D'eau a suscité l'établissement de très nombreuses formules pour le calcul du débit maximum de la crue probable. Ces formules sont basées sur l'expérimentation ou sur certaines informations propres à certaines régions pour les quelles ont été déterminées.

Ces formules empiriques sont à prendre avec précaution dans le sens où si elles sont valables dans une région, elles ne le sont pas dans l'autre et donnent souvent des valeurs sous-estimées ou surestimées.

Les débits donnés par ces formules tiennent compte essentielles de la (superficie, de la pluviométrie, de la fréquence des crues....etc.) du bassin considéré.

Cette partie hydrologique a pour but de déterminer les débits de crues de projet aux différentes fréquences de l'Oued Djedi fournissant les données de base pour le dimensionnement des ouvrages.

#### III.1.7.1. Les débits des effluents de l'Oued Djedi :

Selon LAHLALI. A. 2019 ; Les débits souterrains suivants ont été évalués pour quelques oueds importants de la région (ANAT).

➤ OUED EL ABIADH	40 l/s
➤ OUED LASEL	29 l/s
➤ OUED DIFEL	32 l/s
➤ OUED TRAFIA	20 l/s

#### III.2. L'aspect hydrogéologique :

Par manque de données hydrogéologiques spécifiques à la région d'Ouled Djellal *nous* avons collecté plusieurs études sur la wilaya de Biskra

En 1950, le débit total dans la région de Biskra était de l'ordre de 0.01 m<sup>3</sup> /s (nappe d'éocène). A cette période, la plupart des puits étaient encore jaillissants et leur niveau hydrostatique se situait à 20 mètres au-dessus du niveau du sol (ANRH, 1986, in SEDRATI, 2011).

La multiplication des forages a permis une augmentation des débits exploités (0.09 m<sup>3</sup> /s), pour les deux nappes du complexe terminal. Cette augmentation des débits s'est accompagnée par l'augmentation des forages, ainsi de 250 forages opérationnels tubés dans l'éocène et une centaine de forages dans la seconde nappe (Moi- pliocène), le nombre d'ouvrage atteint 3937 pour la nappe du Moi- pliocène et 1768 pour la nappe de l'éocène inférieur en 2008, ce qui a généré un rabattement des niveaux piézométriques. Par ailleurs le débit total prélevé avoisine près de 14.21 m<sup>3</sup> /s.

La première conséquence de cette surexploitation s'est soldée par un rabattement important du niveau de la nappe phréatique de Biskra, ce dernier dépasse actuellement 100 mètres alors qu'il atteignait au maximum 40 mètres (A.N.A.T.2002 in SEDRATI.N 2011)

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

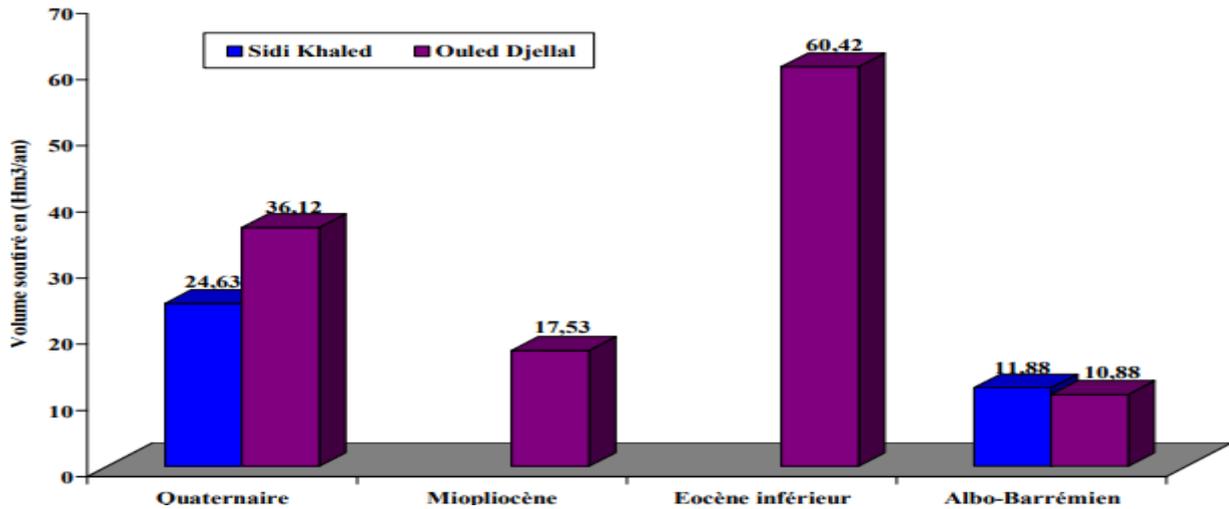


Figure 22 : Volume soutiré de la daïra de Sidi Khaled et Ouled Djellal. (SEDRATI. N ,2011)

Selon SEDRATI.N (2011) ; Ces deux régions limitrophes, présentent des ressources en eau souterraines identiques, représentées par les nappes du Quaternaire, du Mio-Pliocène, de l'Eocène inférieur et du Continentale Intercalaire. Le graphique précédant montre que les deux nappes du Quaternaire et de l'Eocène inférieur sont les plus sollicitées, respectivement avec des volumes de 60.75 et 60.42 Hm<sup>3</sup> /an. Il est à remarquer que la nappe du continental Intercalaire est plus exploitée dans cette région, comparativement aux autres régions de la wilaya.

#### III.2.1. Unités aquifères principales

La lithologie et les considérations hydrodynamiques permettent d'individualiser 4 unités aquifères principales

- La nappe phréatique du Quaternaire
- La nappe des sables du Mio-Pliocène et Pontien
- La nappe des calcaires de l'Eocène inférieur et Senonien
- La nappe des grès du Continental Intercalaire.(ANRH ,2000)

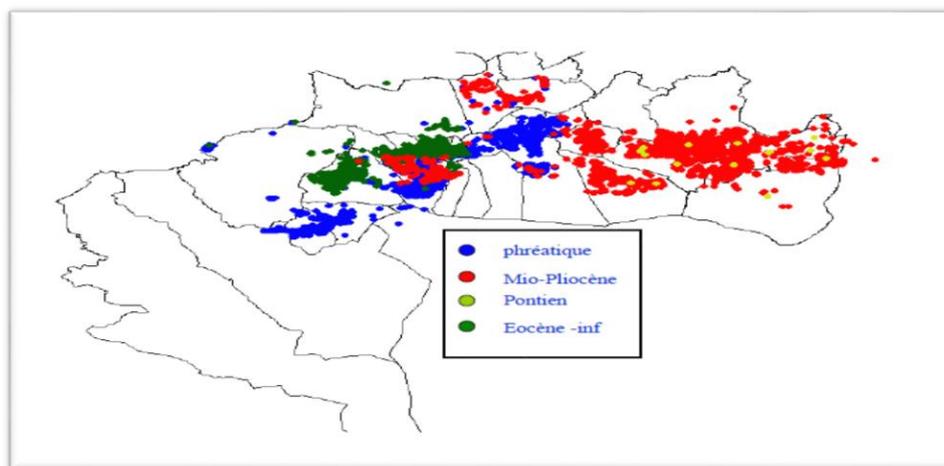
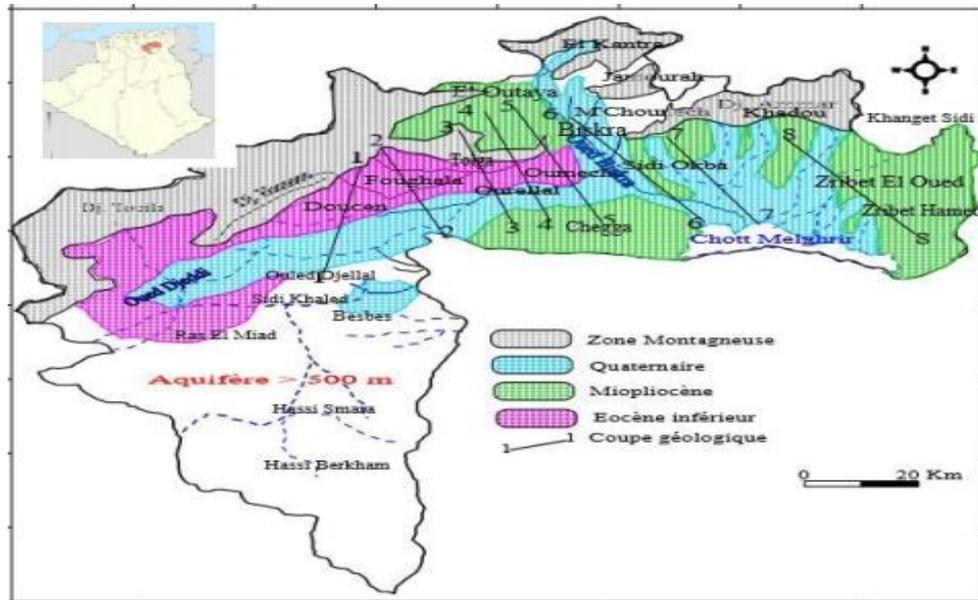


Figure 23 : Répartition des points d'eau de la wilaya de Biskra (ANRH, 2000)

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

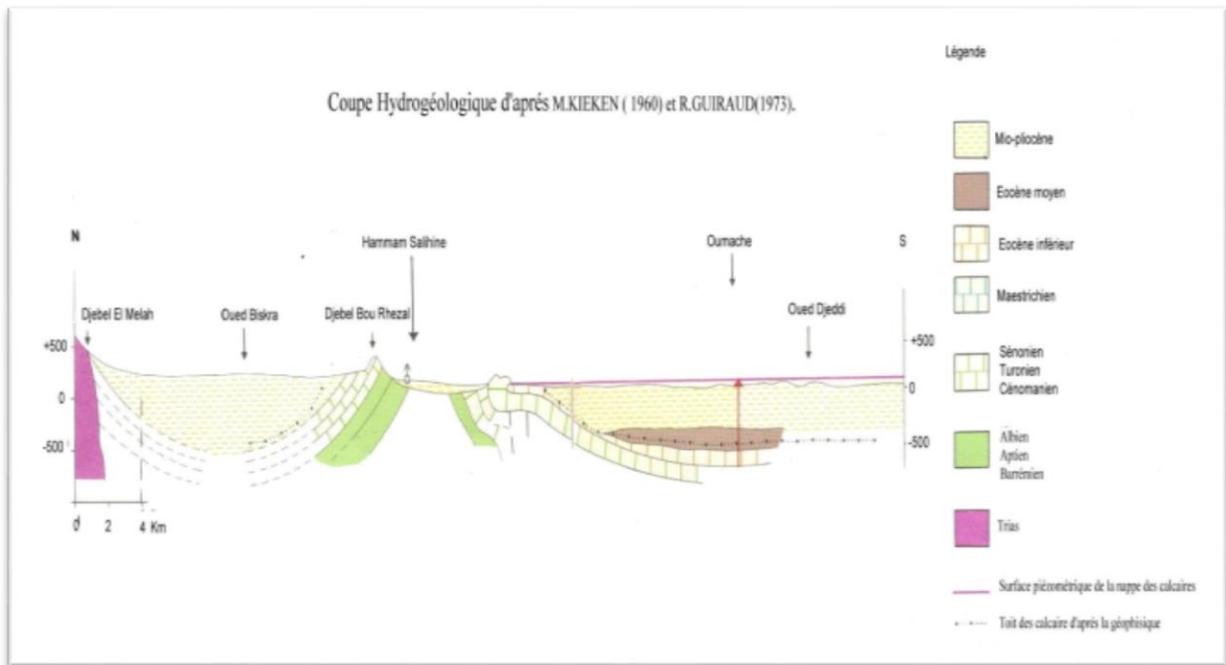
**III.2.1 La morphologie de l'aquifère** La morphologie de la cuvette est favorable à la conservation et la circulation souterraine des eaux. Il s'agit d'une gouttière topographique limitée par un relief gneissique comblée par d'alluvions provenant de la désagrégation des roches cristallines (LAHLALI.A,2019)



**Figure 24 : Les aquifères inventoriés au niveau de la région de Biskra (ANRH, 2008 in ZAIR .N 2017)**

Selon ZAIR. N, (2017) ; Les ressources en eau souterraine dans la région est contenue dans les deux grands systèmes aquifères qui sont : le complexe terminal (CT) et le continental intercalaire (CI) tous deux surmontés par la nappe phréatique qui est présenté dans l'ensemble des oasis (figure 22) (UNESCO, 1972).

Dans la région de Biskra, il faut signaler que 90,34% du volume d'eau souterraine mobilisé (686,5 Hm<sup>3</sup> /an) est destinés l'irrigation (ABHS ,2005)



**Figure 25 : Coupe hydrogéologique dans la région de Biskra, KIENKEN. M, 1960 et GURAUD. R 1973 in BOUCHMAL. F, 2017**

Le Mio-pliocène affleure au Nord Est de la plaine de Biskra, au Nord de l'Oasis de Mkhedma où elle est constituée par des sables rouges à poudings. Cette même formation se retrouve au Sud de Oued Djedd et au Sud Ouest du Doucen vers Ouled Djellal Notons qu'à proximité près des bordures des monts de Ziban les argiles sableuses sont en contact avec les calcaires de l'éocène inférieure. Ce qui semble indiquer des échanges entre les aquifères de sables et de calcaires fissurés, particulièrement lorsque l'épaisseur des argiles est faible.

A l'Est de la wilaya de Biskra, cette nappe se subdivise en deux aquifères séparés par une épaisse couche d'argile et d'argile sableuse, l'un profond désigné sous le non du Pontien et l'autre moyennement profond qui est la nappe du Mio-pliocène connue dans cette région. Notons que l'épaisseur de l'aquifère des sables varie entre 80m et 140m et sa profondeur oscille entre 100 à 300 m.(SEDRATI. N ,2011)

**III.3 Hydrodynamique de la nappe:**

L'écoulement de l'eau souterraine est déterminé par suivants : coefficient de perméabilité et transmissive, gradient et charge hydraulique, et débit d'une nappe et vitesse, d'écoulement des eaux souterrains.

Plusieurs étude ont été effectuée qui explique hydrodynamique de la nappe souterraine d'Ouled Djellal ;

**\*\*ANRH en 1980**

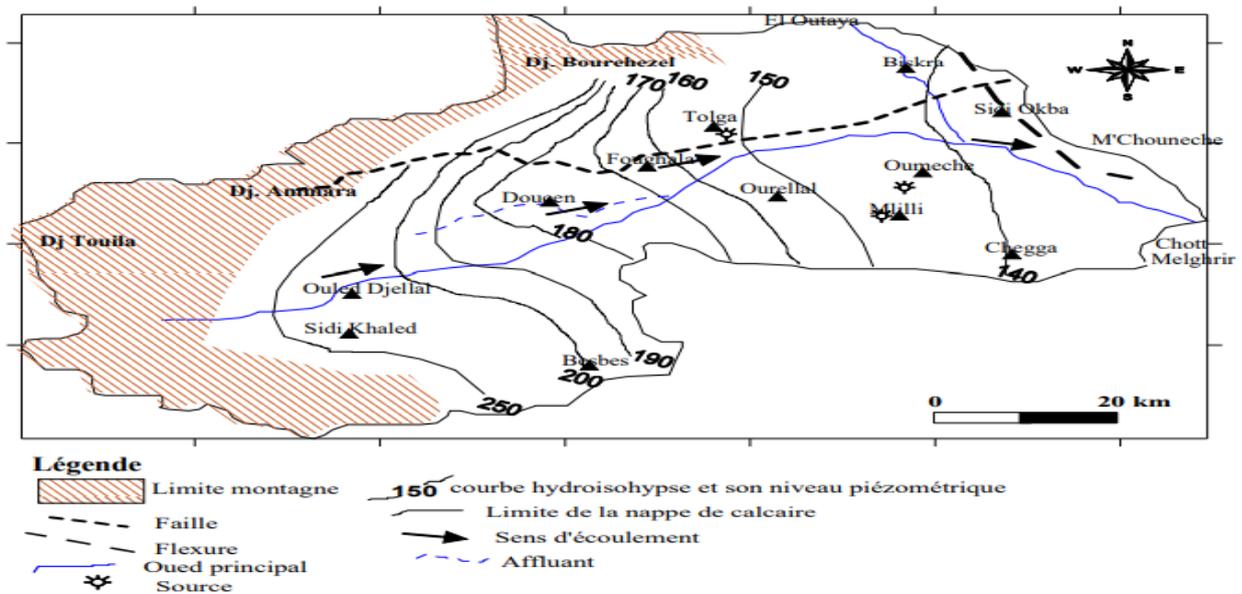
L'observation de la carte suivante figure...établit par ANRH en 1980, montre que l'écoulement est caractérisé par deux sens d'écoulements :

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

- Le premier dirigé du Nord vers le Sud,
- Le second se fait dans la direction Sud –Ouest Nord- Est.

**Nous remarquons que l'Oued Djeddi, joue le rôle d'un axe de drainage.**

La partie amont de la carte se caractérise par un rétrécissement, ce qui entraîne un accroissement du gradient hydraulique il passe de 0.2 à 0.6%. Ceci se traduit par une baisse de la perméabilité et une accélération des écoulements. SEDRATI. N, (2011)



**Figure 26: Carte piézométrique de la nappe des calcaires**

**ANRH 1980 in SEDRATI. N (2011).**

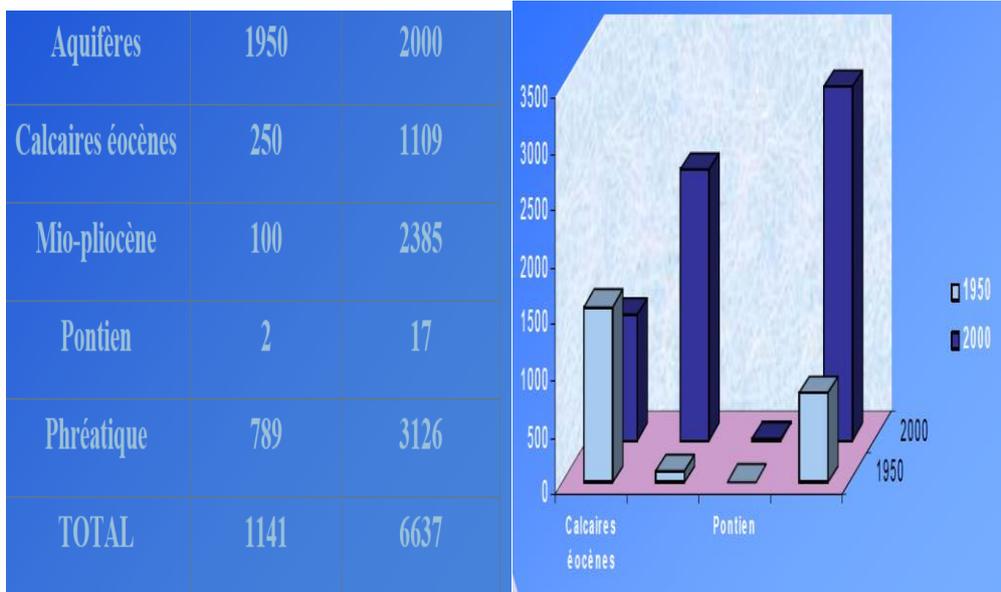
**\*\*ANRH en 1997**

Selon SEDRATI.N (2011) ; La carte piézométrique établit par l'ANRH, en 1997 indique deux directions des écoulements souterrains. Le premier se fait dans le sens Nord Ouest- Sud Est et le second se faisant dans la direction Ouest - Est.

**Cependant l'Oued Biskra et l'Oued Djeddi constituent une ligne de partage des eaux, facilitant ainsi l'alimentation de la nappe par convergence des eaux.**

**Tableau 5 EVOLUTION DES POINTS D'EAU EN EXPLOITATION(FORAGES ET PUITTS)(A.N.R.H(2000))**

**CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal**



**III.4. Piézomètre**

La carte piézométrique établie par (l'ANRH année 2000.) et réalisée par la méthode de triangulation, a permis de tracer les lignes de courant et par conséquent les principaux axes d'écoulement et les lignes de partage des eaux.

L'examen de cette carte a permis le calcul d'un paramètre très important dans l'écoulement, il peut être calculé de plusieurs façons notre cas, il est calculé par la formule

Suivante :

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

I: gradient hydraulique (sans dimension).

H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>: désignent les niveaux piézométriques déterminés par les courbes hydro-isohypses. L : désigne la distance entre les deux points de niveaux piézométriques.

L'analyse des courbes hydro-isohypses permet de distinguer 04 principales zones :

**-Zone nord :**

Les courbes hydro-isohypses sont très serrées sont parfois aplaties et parfois resserrées, les lignes de courant divergent vers le centre d'Oued Djedi. La cote la plus élevée est de 200m et la plus faible est de 180m. Le gradient hydraulique varie de  $1.22 \cdot 10^{-2}$  à  $8.56 \cdot 10^{-3}$  ce qui va expliquer que la vitesse de l'écoulement d'eau est redressée du nord vers le sud de cette zone. Ce dernier caractérise une forte perméabilité, justifiée par la présence des alluvions.

**-Zone centrale :**

C'est une zone de captage des eaux le niveau piézométrique est inférieure à 180m les lignes

### CHAPITRE III : Etude hydrologique de la région d'ouled djellal

De courant sont convergentes vers le puits 06. (Voir carte piézométrique) Les courbes hydro-isohypses sont aplaties trop serrées ce qui explique un gradient hydraulique fort avec une grande vitesse. Le gradient hydraulique est de  $3.83 \cdot 10^{-2}$  entre les courbes piézométriques 180m et 200m

Caractérise les formations sables limoneux argileuse ce qui explique une faible perméabilité.

#### -Zone sud :

Les courbes hydro-isohypses sont aplaties. Les lignes de courant sont divergentes vers l'oued, avec un gradient hydraulique de  $4.29 \cdot 10^{-2}$  entre les courbes piézométriques 200m et 170m donc une perméabilité faible caractérise les formations sables argileux.

#### -Zone ouest :

Les courbes hydro- isohypses sont aplaties; les lignes de courant sont divergentes, l'écoulement se fait dans la direction, vers le cours d'eau. La cote la plus élevée 300m, et la plus faible est de 170m. Le gradient hydraulique est de l'ordre de  $4.40 \cdot 10^{-2}$ .

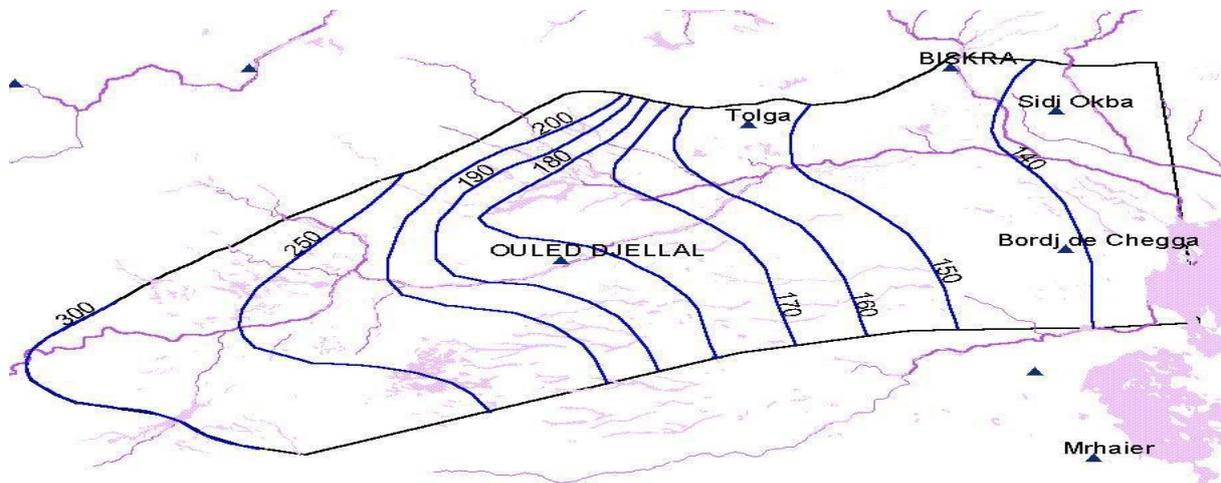


Figure 27 : La carte Piézométrique de la cuvette de l'Oued Djedi (ANRH 2000)

Selon une étude effectuée, les essais de pompage réalisés au niveau des forages F1.F2. et puits P2 (2017) ont donné : Un transmissivité égale à  $1,2 \cdot 10^{-3}$  m/s

Le coefficient d'emmagasinement varie entre 3,14% et 6,%. Le débit d'infiltration donnée par la loi de DARCY en 2017 par Levassor est 1.26l/s.

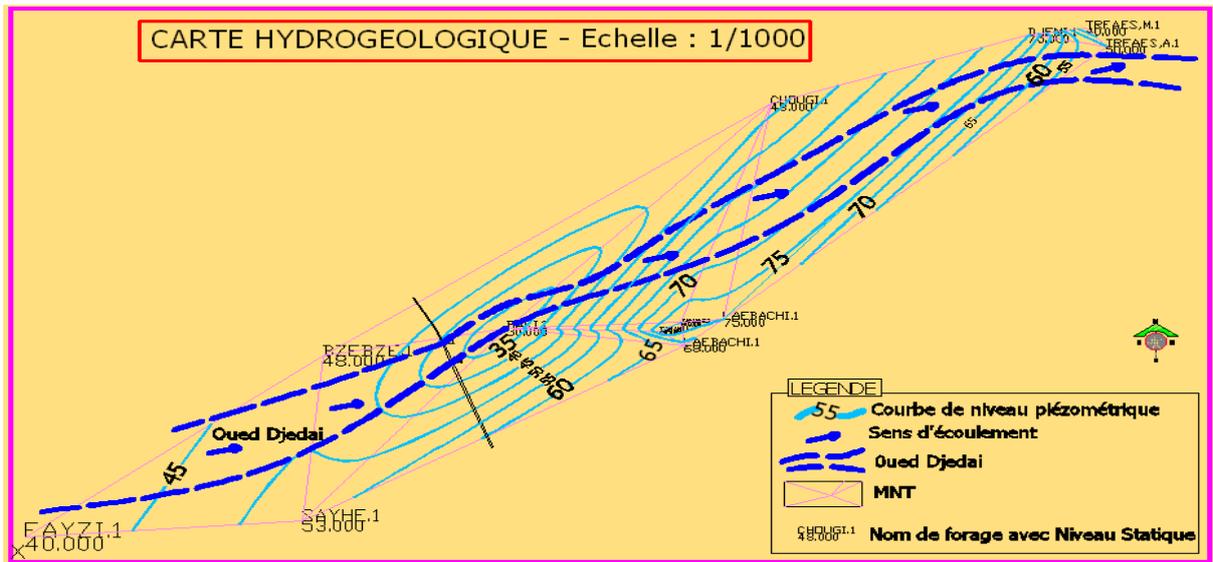


Figure 28 : Carte piézométrique Juin 2019. (LAHLALI, 2019)

**Conclusion**

Dans la région de Biskra ; les eaux de surface sont omniprésentes, et sont alimentées essentiellement par les principaux oueds, tels Oued Djeddi, Oued Biskra, Oued El Arab, Oued El Abiod , mais malheureusement par manque d'infrastructures destinées à la mobilisation de ces ressources (barrages, retenues collinaires,.....), la majorité de ces oueds se jettent lors des crues dans chott Melghir. ZAIR .N, (2017)

Pour l'Oued Djedai des prises d'eau par dérivation et ouvrages traditionnels s'effectue par les fellahs pendant ces crues. Il faut donc réhabiliter ces anciens ouvrages hydrauliques existants pour une meilleure alimentation de la nappe souterraine d'ouled Djellal.

La nappe d'Ouled Djellal est caractérisé par : L'épaisseur alluvionnaire atteinte de 35,5 m. La carte piézométrique montre que le sens d'écoulement de l'infero-flux suit parfaitement l'axe de la vallée (amont vers l'aval).

Le gradient hydraulique d'envoi de 0,003, La pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

L'alimentation des nappes par infiltration est négligeable, les pluies de faible intensité ne jouent pratiquement aucun rôle, et une forte proportion des eaux précipitées est évaporée. Les pluies torrentielles les plus intéressantes pour les nappes sont rares 2 à 3 fois par ans

Donc la seule solution c'est de profiter des rares crues pour alimenter la nappe souterraine d'Ouled Djellal en se basant sur la recharge artificielle .

CHAPITRE IV: Qualité des eaux de la  
nappe souterraine  
d'ouled djellal

## Introduction

L'étude de la chimie des eaux, vient en complément à toute étude hydrogéologique, elle permet d'expliquer les mécanismes qui régissent la qualité des eaux. Elle apporte de nombreuses informations sur les échanges qui s'effectuent entre l'aquifère et son environnement c'est-à-dire sur la nature de l'encaissant, sur les zones d'alimentation et de circulation, ...

Compte tenu des conditions actuelles que nous traversons en 2020, nous utiliserons donc dans cette partie les données, les rapports précédents et les articles traitant de la qualité de l'eau dans la zone d'étude.

Nous découvrirons la nature des eaux de l'Oued Djedi et la répartition quantitative des différents éléments dissous dans l'eau.

La partie qui nous intéresse dans cette étude c'est la nappe souterraine qui peut être alimenté artificiellement qui se situe entre à peu près 20 et 100 de profondeur donc ; la nappe phréatique surtout

Exemple :

<b>Daïra</b>	<b>Nappe</b>	<b>Profondeurs (m)</b>
Oued Djellal	Phréatique	20-60
	Mio-pliocène	90-250
	Eocène Inférieur	90-500
	Albien	1700-2600

### IV.1.L'étude hydrochimie des eaux

L'étude hydrochimie est basée sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés. Par Guezainia.IGuerram.A, en 2011 Les analyses effectuées sur des prélèvements d'échantillons d'eau des forages d'Ouled Djellal permet de donner la composition chimique de ces eaux. Le tableau 11 résume les résultats obtenus

**Tableau.6 :La composition chimique des eaux de la nappe souterraine d'Ouled Djellal**

(Guezainia.IGuerram.A2011 )

<b>N° D'identification Laboratoire</b>	<b>N° forage</b>	<b>Date de prélevé</b>	<b>Ca mg/l</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>cl</b>	<b>So<sub>4</sub></b>	<b>Ph</b>
2572	F <sub>1</sub>	13/12/83	292		302	5.8	600	1100	7.6
2573	F <sub>2</sub>	13/12/83	346		282	5.9	550	1050	7.6
1645	F <sub>3</sub>	28/11/92	248		225	6.1	142	889	7.3
2865	F <sub>4</sub>	21/07/93	300		126	23	165	900	8.3
2861	F <sub>5</sub>	13/06/93	200		132	29	105	810	8.2

Les valeurs du pH obtenues pour les différents forages oscillent entre 7.2 à 8. Ce sont des valeurs assez proches de la neutralité avec une légère tendance vers basicité.

On constate que les valeurs des concentrations en Ca sont proches au niveau des différents forages. La teneur maximale est de 346 mg/l, et la concentration minimale est de 200mg/l et les valeurs des concentrations en K sont proches au niveau des différents forages. La teneur maximale est de 29mg/l, et la concentration minimale est de 5.8 mg/l

Les sulfates ( $\text{SO}_4^-$ ) très fortes, la teneur maximale est de 1050 mg/l est la concentration minimale est de 810 mg/l, pour  $\text{Cl}^-$  est très forte aussi la valeur maximale est de 600 mg/l

Et la concentration minimale est de 105 mg/l .

En 2019 L'étude hydro chimiques est basée sur l'interprétation des mesures des paramètres physico- chimiques et des analyses de 4 échantillons prélevée par lahlal iahmed pendant le mois de juin 2019 dans la région d'Oued Djellal au niveau des forages implantés dans les deux rives de l'Oued Djedi L'appréciation de la potabilité des eaux et leur aptitude à servir pour l'A.E.P et l'irrigation.

Après les prélèvements des eaux de la nappe souterraine du bassin versant de l'Oued Djedi ; des analyse physico chimique sont effectués au niveau des laboratoires de l'université Mohamed Kheider de Biskra en utilisant plusieurs méthodes déterminant la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Djedi de la région d'Oued Djellal : \*Recherche des éléments physico-chimique entre anions et cations \*Utilisé quelques méthodes qui utilise les résultats des analyses pour déterminé la qualité des eaux analysés, ensuite présenté ces résultat selon plusieurs types de diagrammes.

#### IV.1.1 Représentation des eaux selon le diagramme de Piper :

Cette classification permet la représentation des échantillons en fonction des pourcentages des quantités en réaction des cations et des anions dans chaque triangle du diagramme. Nous obtenons un point triple pour les cations et un autre pour les anions de chaque échantillon. Le prolongement des points dans le losange détermine un point unique caractéristique du faciès chimique de l'eau, qui permet une approche globale de la composition chimique des eaux. Les points projetés dans les triangles (Fig. N°.23) montrent une tendance vers le pôle bicarbonate pour les anions et calcique ou magnésique pour les cations. Dans le losange, tous les points sont placés dans l'aire du faciès bicarbonaté calcique ou magnésique.

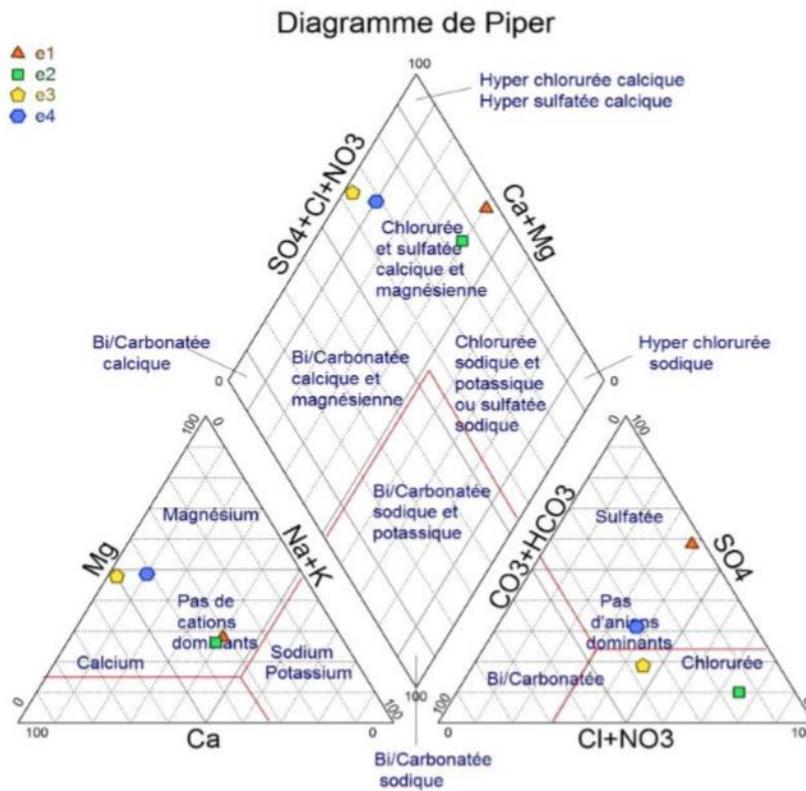


Figure. 29. Représentation des eaux selon le diagramme de Piper (Lahlali,2019).

#### IV.2. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux

Les résultats des analyses physico-chimiques pour les 4 échantillons étudiés sont indiqués dans le tableau suivant :

Les analyses ont été réalisées au laboratoire d'université Mohamed Kheider de Biskra. Elles ont porté sur les éléments chimiques majeurs suivants :

Les cations :  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ .

Les ions :  $SO_4^{-}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $CO_3^{-}$ ,  $HCO_3^{-}$ .

Tableau.7: tableau récapitulative des résultats des analyse physico-chimiques des eaux de la nappe souterraine du bassin versant de l'OuedJedi (LAHLALI .A,2019)

L'eau	CE( $\mu$ S/cm)	ph	Cations solubles en (meq/l)				Anions solubles en(meq /l)			SAR	Classe Riverside
			Ca+	Mg+	Na+	K+	Cl-	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
SEO	350	7.65	7.62	4.05	8	0.13	20	10.6	11	3.32	C4S1
F1	421	7.15	16.7	9.42	25.65	0.46	25.1	51	3.64	6.54	C2S1
F2	627	7.3	276	127	34	40	600	107	208	7.46	C2S1
F3	2080	7.41	50	29.17	2.87	0.2	34.66	54.08	134	24.22	C2S1
F4	512	7.54	89	63	25	0.3	70	80	102	2.867	C2S1

#### IV.2.1 Les caractéristiques physiques :

➤ pH : Les valeurs de pH obtenues pour les différents puits sont comprises entre 6,85 et 7,51, c'est-à-dire proche de la neutralité, avec une légère tendance vers la basicité, ce qui va expliquer l'absence des ions  $\text{CO}_3^{2-}$ . Par ailleurs, le pH d'équilibre de l'ensemble des échantillons analysés est inférieur au pH mesuré. Révélant le caractère incrustant des eaux.

➤ Température : On constate les valeurs mensuelles de la température présentent une moyenne de 20,3, elles varient entre une valeur maximal relevée en juin (2019) de 25,8°C, et une valeur minimale relevée en janvier (2019) de 8°C, pour les eaux brutes, et entre 25°C et 8,2°C avec une moyenne 15,95°C, pour les eaux traitées.

➤ Conductivité : Les résultats des analyses ont révélé les valeurs de la conductivité à 25,80 C° et 26,90 C° des 4 échantillons qui varient entre 4,3 .102 et 3. 102  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### IV.2.2 Paramètres chimique :

➤ Le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ): Les teneurs de  $\text{Ca}^{2+}$  de la nappe libre sont comprises entre 1,88 méq/l comme valeur minimale, elles vont atteindre la valeur maximale 8,32 méq/l.

➤ Le Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ): On constate que les valeurs des concentrations en  $\text{Mg}^{2+}$  sont proches au niveau des différents forages. La teneur maximale est de 1,13 méq/l, et la concentration minimale est de 4,3 méq/l.

➤ Le sodium et le potassium ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ): le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau. La teneur maximale de  $\text{Na}^+$  est 7 méq/l, et la concentration minimale est de 0,5 méq/l, et la teneur maximale de  $\text{K}^+$  est 0,4 méq/l, et la concentration minimale est de 0,02 méq/l.

➤ Les chlorures  $\text{Cl}^-$ : La teneur maximale de  $\text{Cl}^-$  est 5,5 méq/l, et la concentration minimale est de 0,5 méq/l.

➤ Les sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ): Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de :

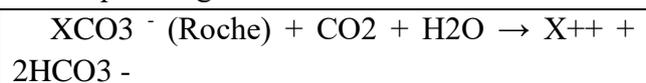
\*Des formations gypseuses.

\*Légère solubilité de  $\text{CaCO}_3$  avec des passées gypseuses

\*Des eaux usées industrielles

La teneur maximale de  $\text{SO}_4^{--}$  est 107 méq/l, et la concentration minimale est de 51,59 méq/l.

➤ Les bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ : Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en  $\text{CO}_2$ , de la température, le pH de l'eau et la nature lithologique des terrains traversés. Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



Les concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  sont faibles, elles sont comprises entre 3,64 méq/l et 208 méq/l.

#### IV.3 Classification des eaux d'irrigation de la nappe souterraine d'Oued-Djeddi

Chapitre IV : Qualité des eaux de la nappe souterraine d'Ouled Djellal

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour déterminer ce risque, Wilcox a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (SAR) et la minéralisation totale.

Donc le SAR, sera calculé par la formule suivante :

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

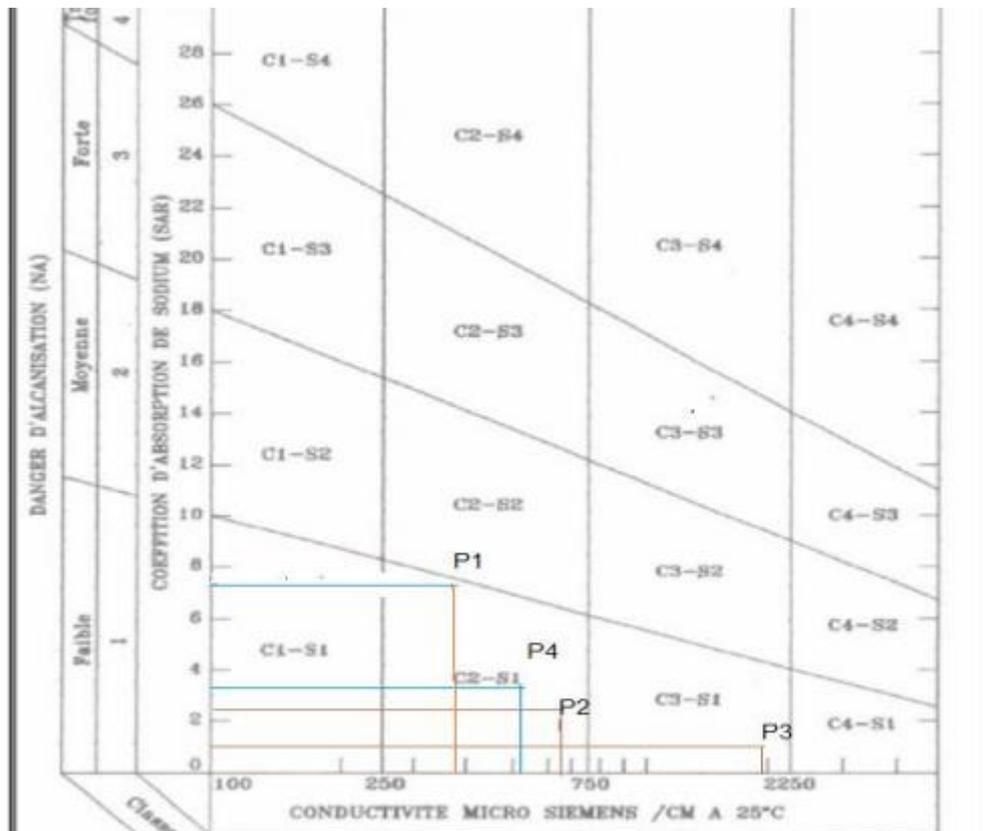
Où les concentrations sont exprimées en méq/l

Nous allons utiliser les résultats des analyses physico-chimiques présentée dans le tableau précédant

**Tableau .8 : classification des eaux d'irrigation de la nappe souterraine d'Ouled Djellal par le calcul du SAR (sodium absorption ration) (LAHLALI . A ,2019)**

Puits	SAR	CE(μS/cm )	Coordonnée s	SAR	La classe
E1/P1	5.4307	421	XYZ	7.10	C2S1 Excellente
E2/P2	0.4561	627	Xyz	2.39	C2S1 Excellente
E3/P3	24.22	2080	Xyz	0.45	C3S1 Admissible
E3/P3	2.867	521	Xyz	2.87	C2S1 Excellente

La figure suivante présente le Diagramme de classification des eaux d'irrigation



#### Chapitre IV : Qualité des eaux de la nappe souterraine d'Oued djellal

Ces eaux convenant à l'irrigation, elles ont une salinité faible. Le diagramme de Wilcox montre que l'eau de la nappe d'inféroflux est de bonne qualité pour l'irrigation. Cette méthode se traduit sous forme d'un diagramme qui définit cinq classes d'eau qui sont présentés dans le tableau suivante :

**Tableau. 9 : classification des eaux d'irrigation (norme USDA) ( LAHLALI ,2019 AYERS , 1976 in ZELLA ,(1991))**

De gré	Classe	Qualité	L'état d'utilisation
1	C1-S1	Excellente	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures ,sur la plupart du sol (P1 .P2.P4)
2	C2-S1 C2-S2	Bonne	En général ,eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérants au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	C3-S1 C3-S2 C2-S3	Admissible	En général ,eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés ,l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée P3
4	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Médiocre	En général ,eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Mauvaise	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions .sol très perméable, bon lessivage , plantes tolérantes très bien le sel

#### Conclusion

La connaissance de la qualité des eaux est un paramètre important surtout lors de la prise de décision concernant l'implantation et la destination d'une recharge artificielle de la nappe souterraine

La chimie est importante pour la région d'étude, eu égard au contexte particulièrement difficile où interfère l'agriculture grosse consommatrice d'eau et un climat aride caractérisé par une faiblesse des précipitations, avec une forte évaporation ce qui peut provoquer une hausse de la concentration des minéraux entre autre l'augmentation de la salinité

L'infiltration des eaux de recharge artificielle provoquera un changement des propriétés chimiques initiales de la nappe souterraine, selon la nature géochimique du lit de l'Oued Djedi ; sachant que cette présente étude a été menée sur les eaux de la région d'Oued Djellel

Distribué dans toute la zone d'étude, il dispose d'un très grand réservoir qui se distingue par sa constitution rocheuse et sa structure géologique L'exploitation qu'ils fournissent. Ces aquifères auront une interaction avec les eaux d'infiltré par la recharge artificielle de la nappe souterraine d'Oued Djellel

#### Chapitre IV : Qualité des eaux de la nappe souterraine d'ouled djellal

Les valeurs de la conductivité sont faibles pour la majorité des analyses en peu même déduire que dans les zone à faible minéralisation est faible salinité qu'il y a dilution de l'eau qui peut être due à la recharge de la nappe dans cette zone ;

Comme ce dernier a connu une diminution du niveau des eaux souterraines, dans le chapitre suivant, nous discuterons de la possibilité de la recharge de nappe souterraines du la willaya d'Ouled Djellal .

Chapitre v :Etude de la  
possibilité de la  
recharge artificielle de  
la nappe souterraine  
d'ouled djellal

## Introduction

Dans plusieurs régions du monde cependant. En milieu aride ou semi-aride par exemple, les rivières sont souvent inexistantes ou rares, ou ne coulent que quelques semaines, au mieux quelques mois dans l'année. Sur le plan local, il peut en plus souvent y avoir une inadéquation entre le développement démographique et plus généralement socio-économique, d'une part, et la disponibilité de la ressource en eau, de l'autre. La situation peut même devenir préoccupante si le raisonnement s'effectue en terme de réserve d'eau souterraine renouvelable. Dans plusieurs parties du monde, en effet, les populations exploitent l'eau souterraine comme elles exploiteraient une mine, c'est-à-dire jusqu'à épuisement de la ressource. Dans ces cas-là, lorsque l'eau souterraine ne suffit plus, la solution consiste souvent à recourir à des transferts coûteux de gros volumes d'eau sur des distances qui peuvent parfois atteindre plusieurs centaines de kilomètres, entraînant des gaspillages d'eau et des surcoûts importants.

La région d'Ouled Djellal souffre actuellement d'une pénurie d'eau souterraine, car nous étudierons la possibilité d'une recharge des eaux souterraines en exploitant toutes les ressources disponibles dans la région pour résoudre le problème actuel

D'autant plus que la zone est de nature agricole. V.1 La définition de la recharge artificielle :

La recharge artificielle des nappes (RAN) est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère. Elle est une des mesures qui peut être mise en œuvre pour sécuriser l'approvisionnement en eau, compenser certains effets du changement climatique et plus généralement aménager la pression quantitative et qualitative sur les masses d'eau souterraine. Elle ne doit, toutefois, pas remplacer une gestion basée sur la réduction des prélèvements et l'adaptation de ceux-ci à la disponibilité de la ressource (J. Casanova, M. Cagnimel, N. Devau, M. Pettenati, P. Stollsteiner (BRGM), (2013)

## V.2. La Recharge des nappes en zones semi-arides

Les dernières décennies ont vu la multiplication des recherches sur les aquifères des

Régions semi-arides, et notamment leurs recharges., nous avons d'abord considéré celle relative à des contextes, similaires de grand aquifère sédimentaire.

Dans les environnements semi-arides, les processus de la recharge sont hétérogènes et

Variables dans l'espace et dans le temps. Cette hétérogénéité est liée à la forte variabilité des paramètres hydrologiques (pluviométrie, ruissellement et infiltration) qui augmente avec aridité.

En effet, dans ces régions, l'évapotranspiration potentielle est largement supérieure aux précipitations et la recharge est sporadique et restreinte à la saison des pluies. A ceci s'ajoutent les

variabilités locales liées à la topographie, aux types de sol, à la végétation, à la géologie et à l'occupation du sol.

Les diverses sources de recharge des eaux souterraines :

- Recharge directe par les précipitations,
- Recharge par le réseau hydrographique, à écoulement rarement permanent et le plus souvent très sporadique,
- Recharge locale concentrée après accumulation des écoulements dans des mares temporaires de bas-fonds.

Devant une telle variété de situations, les analyses monothématiques, encore fréquentes, montrent vite leurs limites et peuvent conduire à des évaluations erronées de la recharge. (Mohamed.A(2012)).

### **V.2.1 Recharge directe par précipitations**

Les précipitations sont souvent très mal connues, tant leur variabilité spatiale et

Temporelle est grande et les réseaux d'observation insuffisamment denses. De plus, en zone semi-aride, la recharge ne peut jamais être exprimée comme une fonction simple des précipitations.

La recharge directe peut être approchée par plusieurs méthodes : mesures directes,

Géochimiques et bilan hydrique. Les méthodes géochimiques basées sur l'utilisation du

Bilan des chlorures et les isotopes de la molécule d'eau sont les plus utilisées par la

Simplicité de leur mise en œuvre De nombreux travaux scientifiques ont été consacrés à l'évaluation de la recharge directe des eaux souterraines par les méthodes géochimiques (e.g. Filippi et al., 1990 ; Leduc et al., 2000 ; Edmunds, 2009 ; MacDonald et al., 2009 ; Liu et al., 2009 ; Lihe et al., 2010).

L'infiltration directe des précipitations dans les zones semi-arides est très variable dans

L'espace et dans le temps et considérée souvent négligeable face à une pluviométrie faible

Et une reprise évaporatoire élevée. L'infiltration est plus importante dans les régions

Désertiques dunaires grâce à la forte porosité et la présence réduite du couvert végétal

(Dinceret al., 1974 ; Li et al., 2004) (Mohamed.A(2012)).

*Cette méthode peut être effectuée dans la région d'Ouled Djellel mais avant tout il faudra frainer la vitesse de l'écoulement de l'Oued Djedi et cela en procédant au réhabilité des ouvrages hydrauliques en amont surtout l'ancien barrage de dérivation qui datte d'environ 1950*



*Photo 1 :L'ancien seuil en gabions le long transversal de Oued Djedi (lahlali 2019)*



*Figure 31 / l'emplacement de l'ancien barrage de dérivation*

### V.2.2 Recharge localisée

Dans les régions semi-arides, les rivières temporaires et les basses terres font un point

Indispensables du cycle hydrologique: la concentration des eaux de surface, elles sont souvent les seules Endroits où des infiltrations d'eaux souterraines peuvent se produire, en raison de

Évaporation importante de la transpiration, accumulation d'eau de surface Limité dans le temps et dans l'espace, et donc visible ou du moins reconnaissable à ses effets (Mohamed.A,2012)

V.3 .Les condition préalables à recharge artificielle de nappes souterraine

### V.3.1 Les conditions Hydrogéologiques

La présence de formations géologiques qui favorisent le stockage (aquifère). Des caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère qui aident l'introduction et le stockage de l'eau dans l'aquifère comme une épaisseur de la zone non saturée suffisamment importante pour permettre une remontée significative de la nappe dans le cas d'une nappe libre. De plus, la surface de la nappe ne doit donc pas être trop proche de la surface du sol afin de ne pas occasionner des désordres en surface et d'assurer une meilleure autoépuration.

Une transmissivité dans la zone non saturée de l'aquifère qui ne doit pas être trop faible pour

Permettre un stockage significatif, ni trop grande pour ne pas évacuer très rapidement les volumes injectés.

Dans le cas des nappes captives, les conditions aux limites physiques et chimiques du système

Doivent permettre l'injection de volumes additionnels d'eau en déplaçant les mêmes volumes des eaux natives (Bouimouass H, Boujghad A (2014)).

### V.3.2 Les conditions hydrologiques

La présence d'une ressource d'eau adéquate pour fournir l'eau de recharge (cours naturel d'eau, période de crue d'une rivière, station de traitement des eaux usées ou des effluents industriels, station de désalinisation de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre) capable de fournir les volumes d'eau de recharge durant la durée de vie du projet estimée généralement à 20 ans. La connaissance des variations climatiques saisonnières dans le cas d'une eau naturelle de recharge (variations des précipitations, de la température et de l'hygrométrie) et de leur impact sur le régime hydrologique de la ressource (périodes de crue et d'étiage). Une qualité d'eau brute destinée à la recharge qui doit répondre à certaines normes afin de minimiser les coûts inhérents et de conserver la rentabilité du projet.

Dans cette étude on suppose qu'on doit profiter des crues de l'Oued Djedi en implantant des seuils ou bien en faisant la réhabilitation de ceux qui existent déjà

Une autre possibilité de recharger la nappe en injectant les eaux épurées et traitées dans les années à venir une fois que la station d'épuration d'Ouled Djallel sera disponible et fonctionnelle



Photo N °02 : Evacuateur de crue - Oued Djedi, LAHLALIA, 2019)



**Photo 03 :Sed Oued Lassel , en crue, LAHLALI. A, 2019**

### **V.3.3. Les conditions géochimiques et biologiques**

La géochimie de l'eau de recharge, de l'eau originale de l'aquifère et de la roche réservoir doit être caractérisée. Les interactions fluide-fluide et fluide-roche doivent être rigoureusement identifiées parce qu'elles peuvent avoir un impact négatif sur le dispositif de RAN adopté. L'autoépuration par des processus de traitement naturel et l'extraction des nutriments et d'autres microorganismes pathogènes et xénobiotiques non désirés peuvent fournir un avantage additionnel. Les formations épaisses et les nappes captives, entre autres, conviennent pour le stockage. Dans les nappes alluviales, la zone non saturée peut être réduite tandis que dans les formations fissurées et karstiques, les circulations peuvent être trop rapides de ce fait, le stockage et l'épuration peuvent être limités.

Les conditions déjà citées vont déterminer le volume d'eau à injecter, le volume récupérable et l'efficacité du dispositif de RAN utilisé, par suite le succès du projet de RAN. (Bouimouass H, Boujghad A (2014)).

### **V.4 Evolution du niveau piézométrique :**

La région d'étude englobe plusieurs niveaux aquifères dans différentes formations

Avec des conditions hydrodynamiques et hydrogéologiques distincts.

Sont exploiter à l'irrigation particulièrement la nappe de mio-plio-quaternaire et la nappe des calcaires. La nappe albiennaise profonde et non renouvelable est exploitée en grande quantité en raison de la croissance démographique et de l'activité agricole dans la wilaya

Dans le cas objet de cette étude, il s'agit clairement de réalimenter la nappe d'Ouled Djellal dans le but de soutenir le niveau piézométrique pour maintenir la productivité des ouvrages.

Le principal aquifère de ce secteur est composé de formations conglomératiques et sableuses du Mio-Pliocène.

Les ressources en eau sont exploitées grâce à des puits qui se sont répandus dans toute la région. Cependant, l'utilisation

L'utilisation chaotique et excessive de l'eau met la ressource en péril. Déclin important et continu

Niveaux de pression des eaux souterraines, absence de sources artésiennes et drainage

Signes de surexploitation des aquifères.(Zair N, 2017)

Les figures 32 et 33 montrent l'intensité de la baisse des niveaux

La biométrie de l'aquifère du Mio-Pliocène entre 2000 et 2008 a révélé des déclinés dans l'ancienne région de Biskra avant la nouvelle division administrative (séparation d'Ouled Djellal)

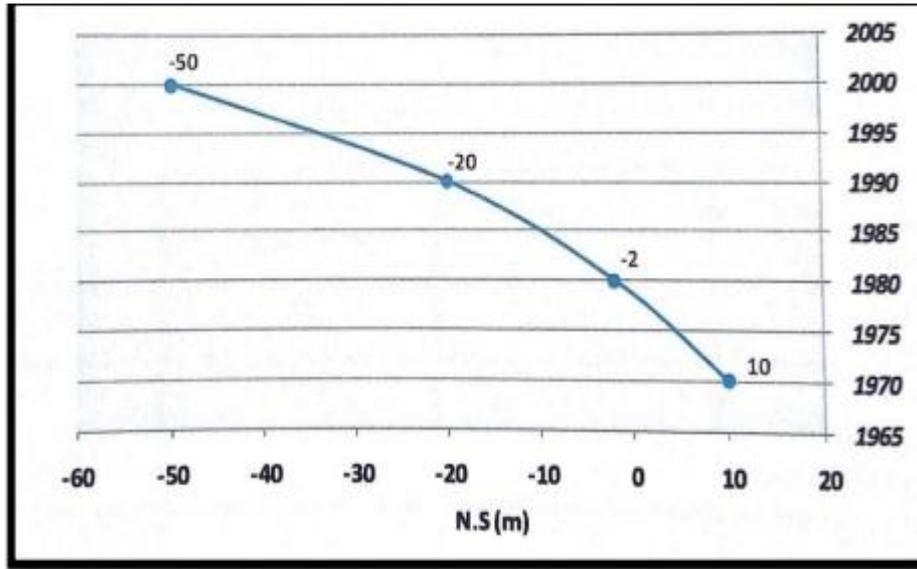


Figure 32 : Variation des niveaux statiques de la nappe Mio-pliocène dans la zone Est de la wilaya de Biskra (Zair N.2017, ANAT, 2003).

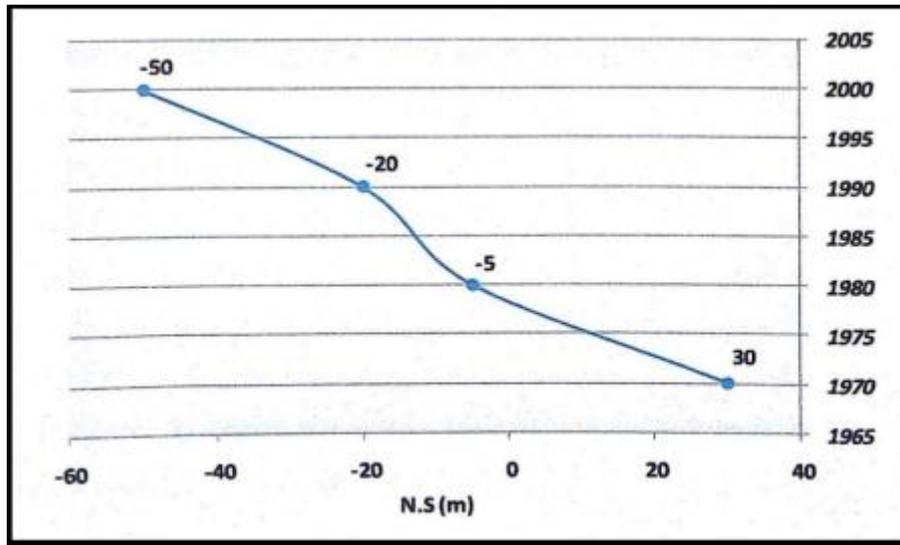


Figure 33 : Variations des niveaux statiques de la nappe des calcaires (Zair N .2017,NAT, 2003).

### V.5 La recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellal

Selon les cartes géologique Les fissures ou les failles qui existes dans la partie Sud-Ouest d'Ouled Djellal aux limite de Sidi Khaled , peuvent êtres une zone de recharge de la nappe phréatiques dans cette zone, la nature géologique est Eocène Moyen.

Les agriculteurs de la région d'Ouled Djellal et selon des observations déclarent que pendant les crues qui parviennent par l'Oued Laasal l'un des effluent Nord-Ouest de l'Oued Djedi les

Niveaux de leurs forage augmentes et cette Oued passe selon la carte géologique aux alentours des failles (**Lahlali .A** ,2019)

Le but de cette étude est de rechercher dans les zones favorables des sites potentiels

D'aménagement d'ouvrages de réalimentation et le type du dispositif approprié. Le choix des sites est effectué en fonction des critères suivants :

- Situation à l'intérieur des zones favorables
- Disponibilité de terrain aménageable
- Origine, potentiel et qualité des eaux destinées à la recharge

Notre choix s'est porté sur trois solutions ou dispositifs pour alimenter la nappe d'ouled djellal

Par les deux oueds (oued djedi , l'Oued Laasal), pendant les périodes des crues.

On dispose généralement trois moyens de recharge artificielle des nappes (ABADA. 2007)

- Recharge directe depuis la surface (Fossés et sillons, Recharge par aspersion, Aménagement de cours d'eau, bassins d'infiltration)
- Recharge directe du subsurface.( fosses et puits , inondation de cavités naturelles , épandage souterrain , forage d'injection)
- Combinaison des méthodes de surfaces et du subsurface.(Mohamed.A2015 ,Abada 2007)

#### **V.5.1 dispositifs des seuils**

Par définition, un seuil en rivière est un ouvrage de faible hauteur construit dans le lit mineur d'un cours d'eau dans le but de rehausser la ligne d'eau et non pas de stocker de l'eau. Le lit mineur est barré totalement dans le sens de la largeur, et partiellement dans le sens de la hauteur et donc les faibles débits ne provoquent pas de débordement dans le lit majeur. Afin d'éviter une confusion fréquente.

Nous pouvons adopter cette solution pour réduire la perte d'eau de pluie à long de la vallée d'Oued Djedi



**Photo 04 :L'ancien seuil en gabions le long transversal de Oued Djedi (LAHLALI .A ,2019)**

On peut classer les seuils en trois grandes catégories ordonnées suivant une augmentation progressive des ouvrages.

#### **V.5.1.1 Seuils en béton :**

Ces ouvrages présentent une grande solidité d'ensemble (monolithisme) mais sont par contre très sensibles aux affouillements puisque le parement bétonné lisse ne dissipe pas l'énergie. Pour la conception des seuils en béton dans les rivières à fond mobile il est donc nécessaire de prévoir un dissipateur d'énergie efficace.



**Photo 05 :Seuil en béton ( Moussajjal.N , Boudahk.N ,2014)**

#### V.5.1.2 Seuils en gabions :

Un gabion est composé d'une structure métallique en grillage de forme parallélépipédique, remplie de pierres. Ce type de matériau, flexible et perméable est intéressant pour les seuils ou les bassins de dissipation lorsque que le coût de transport de gros enrochement devient prohibitif.



**Photo 06 : Seuil en gabion( Moussajjal.N , Boudahk.N ,2014)**

Une construction en gabions coûte moins cher qu'un ouvrage traditionnel. On peut utiliser des pierres en petits morceaux ou des cailloux, que l'on trouve généralement près du chantier pour remplir les cubes, sans devoir recourir à des matériaux spécifiques ou à de la main-d'œuvre spécialisée. Un ouvrage en gabions peut être construit sans équipement mécanique lourd. Une fois achevé, l'ouvrage en gabions sera immédiatement efficace à cent pour cent, sans qu'il soit nécessaire d'attendre comme c'est le cas normalement pour les ouvrages en béton.

#### V.5.1.3Seuils en enrochements :

La construction de seuils en enrochements de carrière a tendance à se répandre surtout dans les régions où l'approvisionnement en gros blocs est aisé (proximité des lieux d'extraction ou possibilité d'ouverture de carrière pour les chantiers importants). Ces seuils présentent le triple avantage d'un coût de réalisation modéré, d'une grande souplesse et d'une dissipation d'énergie

Importante sur le parement aval des ouvrages dû à la rugosité des blocs, et se justifient également mieux sur le plan environnemental.

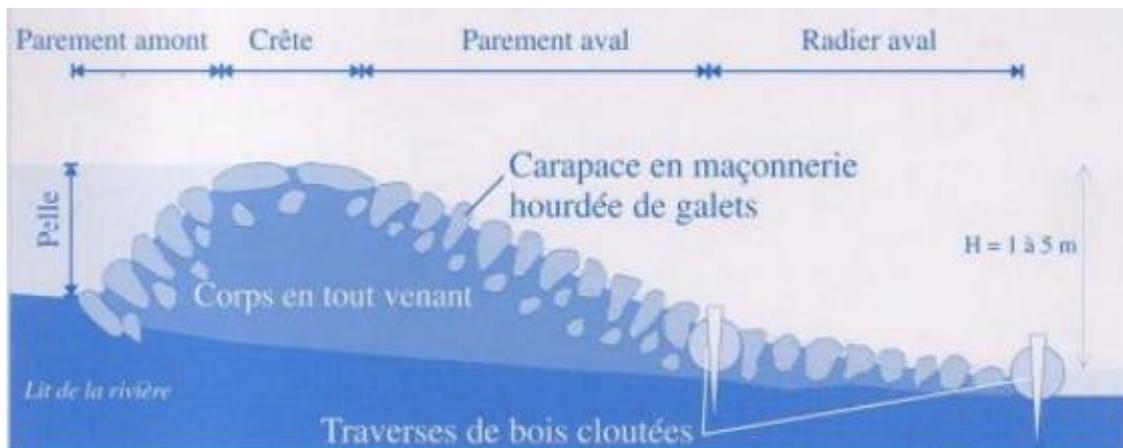
La taille des enrochements utilisés est fonction de leur nature (granite, calcaire) et de leur structure (fissurée ou non). On utilisera en général les blocs de grandes dimensions (blocs de 1T à 1,5T parfois jusqu'à 3T ou 4T), notamment pour les bassins de dissipation. Les blocs sont parfois liaisonnés au béton ou au bitume.

#### V.5.1.4- Seuils en moellons :

Les seuils en moellons, dont certains sont pluriséculaires, ont été construits pour l'irrigation des terres agricoles ou pour l'alimentation de moulins. Ils ont généralement une faible hauteur de chute (1 à 4 mètres). Ces seuils présentent un profil en travers de type triangulaire, c'est à dire avec un parement aval incliné.

Ils sont constitués d'une carapace en pierres de taille réduite (30 à 50 kg environ), calée à la main de façon à garantir leur résistance au courant et plus ou moins épaisse, disposée sur son corps

de remblai en matériaux tout-venant (voir figure ci-dessous). Parfois les moellons sont liaisonnés à la chaux ou clavés dans une charpente en bois qui augmente la solidité de l'ensemble. Ces structures sont classiques et exposent l'ouvrage à une dégradation rapide dans le cas où un morceau de carapace est emporté



**Figure.34 : Seuils en moellons( Moussajjal.N , Boudahk.N (2014)**

#### V.5.1.5 Seuils mixtes :

On entend par seuils mixtes des seuils composés de plusieurs catégories de matériaux. En fait la plupart des seuils sont mixtes (enrochements bétonnés, seuils en béton avec bassin de dissipation en gabion ou en enrochement...). Si l'association de matériaux différents paraît a priori favorable à la stabilité de l'ensemble, il faut cependant tenir compte de leurs différences de comportement. La réalisation de seuils mixtes exige certaines précautions relatives à la perméabilité mais aussi à la souplesse spécifique à chaque matériau mis en œuvre.(Moussajjal.N , Boudahk.N (2014)

L'objectif est d'accroître le rendement de l'infiltration naturelle en cherchant à gagner sur :

- la surface de la plage d'infiltration.
- la charge hydraulique.
- la durée de l'infiltration.

#### V.5.2 Recharge par les puits d'infiltration

Les puits filtrants sont des ouvrages ponctuels, peu profonds qui permettent le transfert des eaux vers les couches perméables du sol et l'infiltration. Ils sont dimensionnés pour répondre au

besoin de la zone collectée et alimentés directement par ruissellement, soit par des drains ou collecteurs.

Le puits d'infiltration permet de stocker temporairement l'eau des crues, puis les évacue par infiltration dans le sol. L'infiltration se fera différemment selon :

- La nature du sol : plus ou moins perméable en fonction de sa composition.
- Les dimensions du puits d'infiltration.

➤ La nature des matériaux utilisés lors de la construction du puits. Nous préconisons de réaliser les puits filtrants sur le même site des seuils à l'amont de la digue. Les ouvrages devront être visitables et régulièrement entretenus de manière à garantir leur bon fonctionnement en permanence. Tous les équipements nécessitant un entretien régulier doivent être pourvus d'un accès permettant leur desserte en toute circonstance notamment par des véhicules d'entretien.

Le dimensionnement des puits a un diamètre de 0,8 à 1 m et profondeur de 10 à 20 m. Ils peuvent avoir une marelle d'une hauteur de 20 à 30 cm. (BENDINE .I, 2019)

La zone d'Oude Djedi est soumise à deux crues à l'année (fig crue à avril 2020) , mais le niveau des eaux souterraines diminue en raison de la grande quantité d'évaporation due au climat désertique de la région en adoptant la méthode des puits d'infiltration absorbants pour exploiter l'eau de pluie et la préserver des pertes.

Les agriculteurs de la région d'Ouled djellal dépendent beaucoup de cette technique, car ils creusent des puits au niveau d'une vallée sérieuse, et lorsque des inondations se produisent, ces puits se remplissent et l'eau s'infiltré dans les nappes souterraines.



**Photo07 a et 07 b. :Les crues de l'Oued Djedi avril 2020**

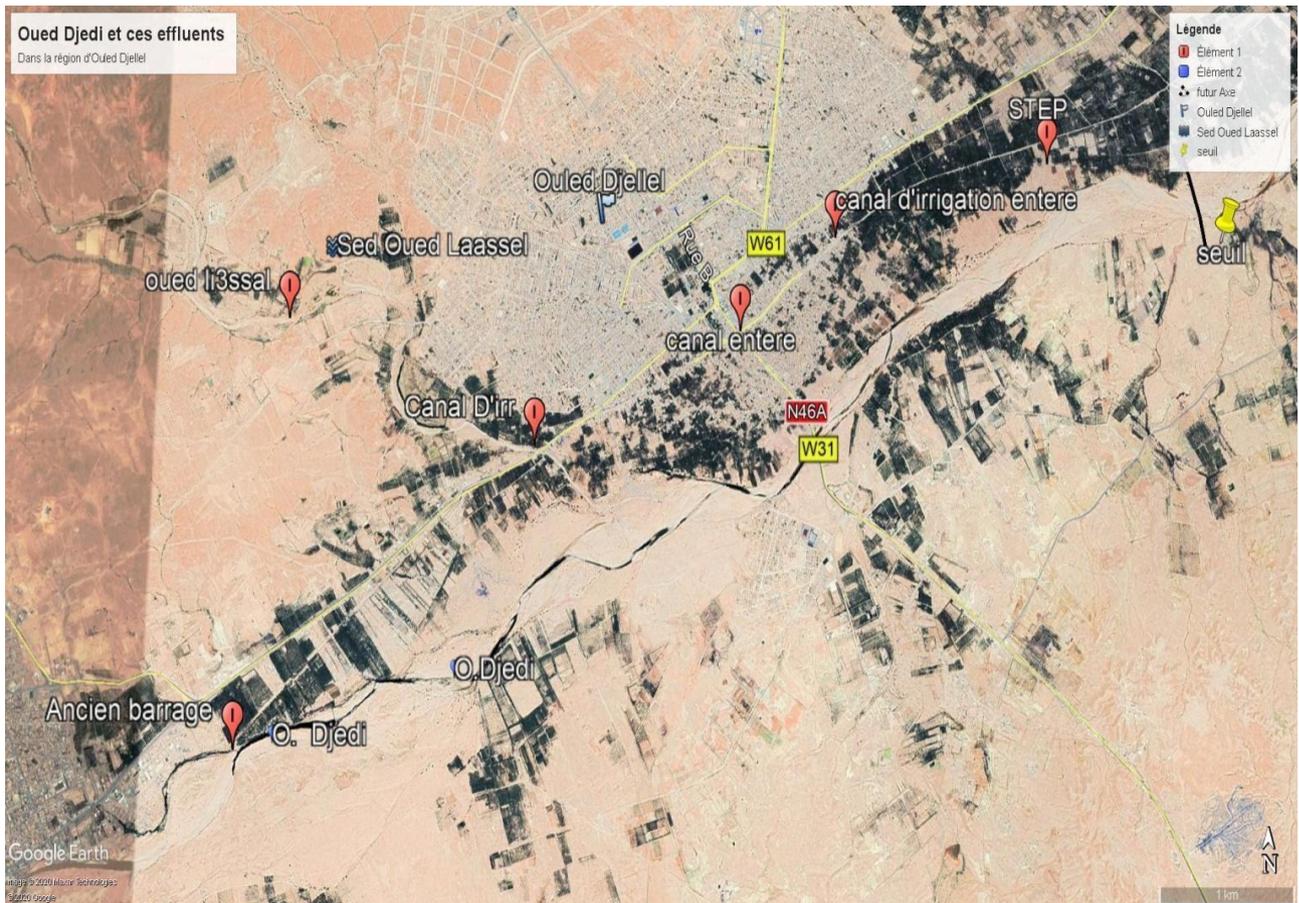
### **V.5.3 Recharge artificielle par les eaux usées**

La région d'Ouled Djellal a connu un rabattement des eaux souterraines en raison de la nature de la région désertique, du grand volume d'évaporation et de l'augmentation de la demande en eau, car la nature de zone est agricole. Et l'Augmentation de la démographie

On peut dire que la ressource d'eau souterraine peut être renouvelée.

Ce Renouvellement ou recharge peut se faire naturellement surtout par infiltration des eaux usées après le traitement. Néanmoins cette recharge artificielle nécessite certaine condition qu'il faut tenir on compte avant toute opération de recharge artificielle.

En peut pratiquer cette méthode dans la zone d'étude une fois que la station d'épuration sera mise en marche et certainement après avoir effectué les traitements nécessaires des eaux épurés, A la sortie da la ville d'Ouled Djellel ( voire carte Google earth figur n° 32 )



**Figure .32 : Carte Google Earth le choix du seuil de la recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellel**

#### V.5.3.1 Recharge depuis la surface par infiltration des eaux au filtre naturel du sol:

C'est la méthode la plus simple pour obtenir des débits élevés avec un minimum d'aménagement physique sur le terrain. En effet, les surfaces nécessaires sont très importantes ce qui signifie une mobilisation de terrain très étendue, donc des coûts d'acquisition élevés. Par contre, les charges d'exploitation seront beaucoup plus faibles que dans le cas d'une injection directe. Par ailleurs, le pouvoir d'autoépuration du sol joue un rôle prépondérant grâce à l'utilisation du réacteur du sol de la zone non saturée avec des vitesses d'infiltration peuvent varier de quelques centimètres à quelques mètres par jour et la hauteur du bassin sera plus de 0.4 mètres. (MOUSSELMAL, M. 2015, ABADA. 2007)

#### V.6.3.2 Recharge par les bassins d'infiltration :

Il peut s'agir d'une excavation faite dans le sol et pouvant avoir des origines divers (anciennes carrières par exemple), ou bien d'un ouvrage de génie civil comportant la construction de berge. le bassin ainsi forme reçoit une certaine quantité d'eau qui, sous l'effet de la charge hydraulique, va pénétrer dans le sol. (MOUSSELMAL, M. 2015, ABADA. 2007)

Injection superficielle (bassin d'infiltration) Les bassins sont souvent réalisés en déblai-remblai, l'eau est préalablement traitée ou non en fonction de son origine et de sa qualité et dirigée dans le bassin. Elle s'infiltré préférentiellement par le fond, l'infiltration a également lieu, mais dans

une moindre mesure, par les parois. Cette technique est sujette au colmatage, il est donc nécessaire de s'assurer de la qualité des eaux à infiltrer et de prévoir les opérations d'entretien nécessaires, d'évaluer leur fréquence et d'estimer leur coût, (critère de faisabilité économique importante).

Ils peuvent aussi bien être utilisés pour l'infiltration d'eau en provenance de cours d'eau que d'effluents préalablement traités.

En général, la qualité de l'eau de recharge est un facteur essentiel pour la réussite d'une opération de RAN. Cette qualité est gouvernée par :

- La qualité de l'eau infiltrée ou injectée.
- Les conditions physiques de détérioration et d'adsorption des particules.
- La dégradation biogéochimique.
- La minéralogie initiale de l'aquifère et les phénomènes d'interaction eau- roche.
- La qualité de l'eau native de l'aquifère.

Différents phénomènes naturels contribuent à l'amélioration et parfois aussi à la détérioration de la qualité de l'eau de surface injectée dans le sol. Parmi les constats les plus fréquents sur sites, citons:

L'injection d'une eau ayant une demande en oxygène excédant sa concentration en oxygène est susceptible de provoquer l'apparition de conditions réductrices ( $O_2 < 1 \text{ mg/L}$ ) et parfois anaérobiques qui favorisent la mobilisation de fer et de manganèse.

#### V.6. Inconvénients de la recharge artificielle des nappes:

Pour faire à peu près le tour de la question, il reste à signaler les problèmes spéciaux auxquels la recharge permet de faire face :

- Drainage d'une nappe phréatique par injection dans des couches profondes; b) réduction du débit d'une rivière;
- Régulation thermique d'une ressource en eau ;
- Le stockage souterrain des résidus liquides peut provoquer des risques sur le sous-sol en raison de la nature physico-chimiques de ces résidus liquides comme la détérioration de gisements minéraux et la dégradation d'eaux souterraines.
- Problème du colmatage: le colmatage est lié à l'apport, par l'eau infiltrée, de fines particules qui colmatent les pores du sol, mais aussi à des réactions physico-chimiques ou biologique dans le sol entraînant, par exemple, le gonflement des argiles ou la prolifération des bactéries ou d'algues créant un film biologique, que l'on ne peut éliminer totalement car il participe à l'épuration des eaux infiltrées. (Mousselmal.M,2015,SAINTE-PE. 1970).

V.7. 1 Position et Caractéristiques des seuils proposé pour la recharge artificielle sur oued Djedi :

Malheureusement, nous avons très peu de données pour optée pour une méthode de recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellel, mais nous avons fait quelques propositions et en espère qu'il y aurait d'autres études dans ce contexte pour trouver l'endroit et la méthode idéale pour cela.

Cependant, un emplacement de seuil que nous avons vu est suggéré comme approprié pour la recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellal.

Les sites potentiels susceptibles de mise en œuvre de recharge et leur implantation doit être comme suit :

Identification du site (coordonnées, accès, croquis)

Nature des dépôts du lit et son pouvoir filtrant

Aspect socioéconomique et activités dans la zone du site

Nature des matériaux de construction

Largeur de la section, pente, profil de l'oued...

Nature géologique et lithologique du site (lit et berges...)

Caractéristiques des berges avec enquêtes sur les traces des crues antérieures (BENDINE .S ,2019)

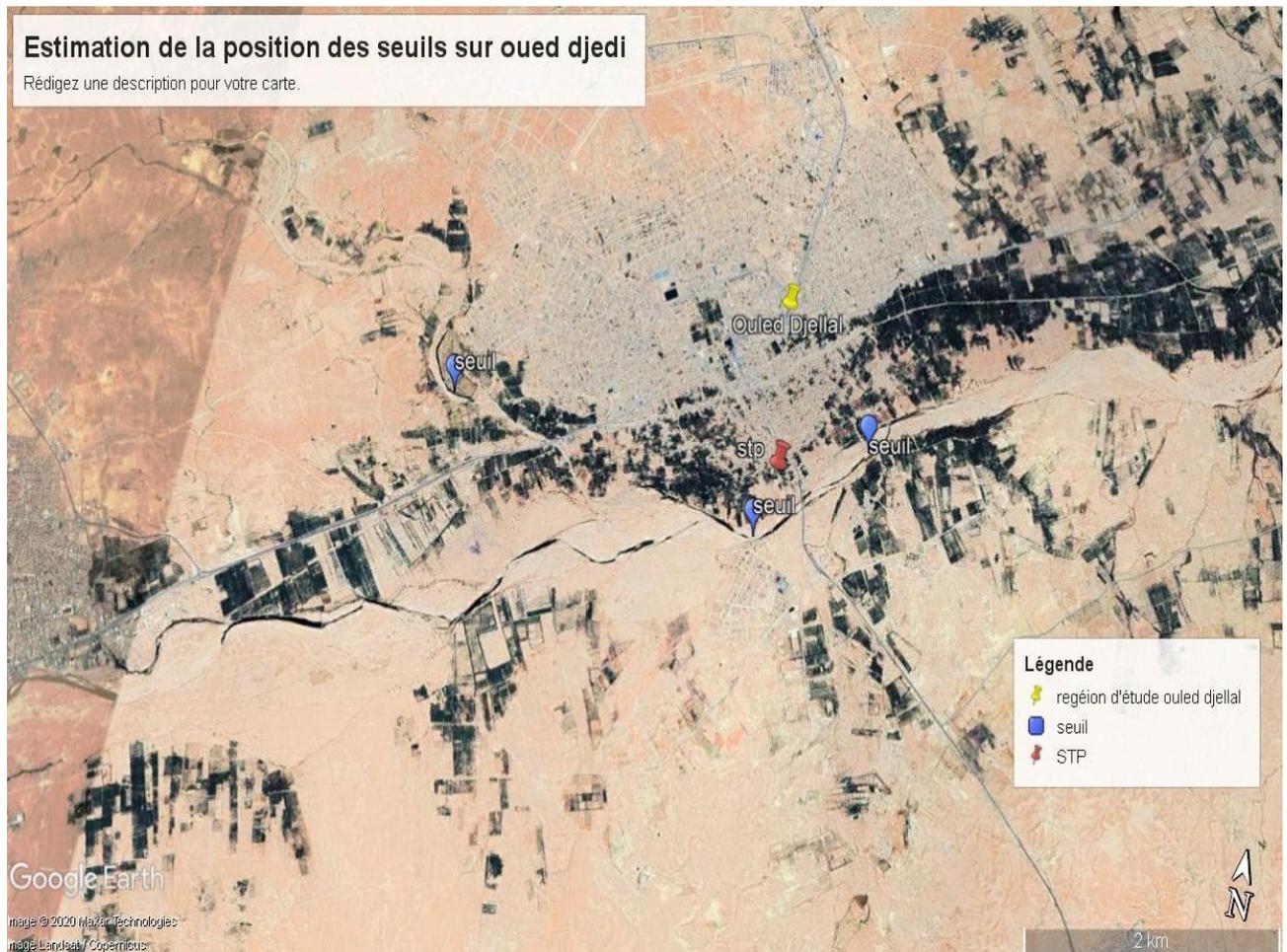


Figure 33 ; Estimation de la position des seuils sur l'Oude Djedi

**Tableau 10 : Les Caractéristiques des seuils sur Oued Djedi**

Nombre du seuil	Situation Coordonnées GPS	H (m)	Matériau de Construction
1 après STP	34°24'53.72"N 5° 4'6.60"E	1	Gabion
2 existent sur Oued LAASSEL.	34°25'19.29"N 5° 4'39.69"E	1	Gabion
3	34°22'53.16"N 4°56'15.34"E	1	Gabion

### Conclusion

Pour conclure, on peut dire que la ressource d'eau souterraine peut être renouvelée. Ce renouvellement ou recharge peut se faire naturellement surtout par infiltration des Précipitations ou artificiellement par les eaux usées.

Le but d'étude la possibilité de recharger les eaux souterraines en utilisant toutes les ressources disponibles dans la zone pour résoudre le problème actuel de rabattement de la nappe souterraine et par conséquent ; la satisfaction des besoins en eau de la région d'Ouled Djellal qui augmente

Il faut des études approfondies pour réaliser ce genre de projet, nous n'avons pas eu l'occasion pour cela mais selon les informations que nous avons pu collecter la recharge artificielle de la nappe souterraine d'Ouled Djellal sera une solution pour profiter des eaux des crues véhiculé par l'oued Djedi et qui se perd soit par évaporation ou par ruissellement vers chott Melghir sans pouvoir l'utiliser dans cette zone d'Ouled Djellal qui souffre d'un déficit hydrique

Nous avons proposé les dispositifs des seuils l'Oued Djedi et les puits d'infiltration et l'injection des eaux usées après le traitement par les bassins d'infiltration. Ces dispositifs permettent un emmagasinement des eaux de crues et favorisent l'infiltration vers la nappe du Mio-Pliocène.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

### **Conclusion générale :**

Plusieurs problèmes hydrauliques peuvent être solutionnés si on a recours à la recharge

Artificielle des nappes. La recharge artificielle des nappes est une pratique émergente qui vise à augmenter les volumes d'eau en favorisant par des moyens artificiels son infiltration jusqu'à l'aquifère; elle fait partie, avec l'utilisation de l'eau de pluie, des eaux usées retraitées.

La recharge artificielle des nappes est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère ; elle fait partie, avec l'utilisation de l'eau de pluie, des eaux usées retraitées et du dessalement de l'eau de mer, des ressources en eau non conventionnelles les plus souvent citées participant à une gestion de l'eau optimisée.

À travers cette étude, Nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion de la recharge artificielle des nappes souterraines, des ressources alternatives en eau les plus souvent citées participant aune gestion économe de l'eau.

Le bassin versant du chott -milrhir se trouve fortement marqué par un climat à tendance aride mis en évidence par la faiblesse des précipitations. La chaîne montagneuse du chott-milrhir forme une barrière face aux perturbations venant du nord. Cette situation est souvent aggravée par une évaporation élevée et une faible couverture végétale favorisant le travail de l'érosion.

Le bassin versant de l'Oued Djedi est alimenté par plusieurs effluents, qui parviennent des altitudes avec une pente très accentuée. Ce qui provoque un temps de concentration réduit des précipitations ; donc le ruissèlement se fait en dépit de l'infiltration et par conséquent une faible alimentation de la nappe souterraine d'Ouled Djellal.

la région d'étude est caractérisée par des hivers doux et peux pluvieux avec des précipitations irrégulières dans l'espace et dans le temps. En été le climat est sec et chaud avec des températures qui peuvent atteindre des seuils maximaux pendant les mois juillet et aout. Ces conditions climatiques favorisent une évaporation très importante.

Ces pluies peuvent être importantes et provoquer des ruissellements considérables aux zones d'alimentations affleurements des géologiques. Celles-ci s'infiltrent dans les formations aquifères et alimentent les aquifères justifiant la faisabilité hydrologique de la recharge artificielle de la nappe souterraine

Les eaux de cette nappe souterraine de l'Oued Djedi qui est situé dans la région d'Ouled Djellel sont peu minéralisées surtout à proximité de l'Oued et plus spécialement la partie Nord de la zone d'étude.

La zone d'ouled djellal renferme un aquifère fortement menacé par la surexploitation. Le rôle stratégique que joue cet aquifère dans le développement socio-économique de la région

## Conclusion générale

Impose la mise en place d'urgence d'actions de sauvegarde, de protection et la mise en place de dispositifs de recharge artificielle en vue de restaurer une partie du potentiel hydraulique exploité dans cet aquifère.

La connaissance du pouvoir infiltrant des terrains de surface, l'épaisseur de la zone non saturée et la diffusivité de l'aquifère, permettent de mieux définir les zones potentiellement favorables à la recharge de l'aquifère .

- Amkadni Y.Alaoui I(2012), Gestion de la nappe phréatique du Haouz-Mejjate (Maroc), MEMOIRE Licence, Université Cadi Ayad Faculté des Sciences et Techniques- Marrakech.
- **Bendinne .S (2019)** , ETUDE DE LA FAISABILITE DE LA RECHARGE DE LA NAPPE D’EL MAADER (BOU SAADA) PAR LES EAUX DE CRUES, Mémoire de Master, Université Mohamed khider –Biskra. Faculté des Sciences et de la Technologie,hydraulique.
- **Bouimouass H, Boujghad A** (2014) : Etude hydrogéologique et hydrologique de la recharge artificielle de la nappe de Haouz au niveau d’oued Zat au sud-est de Marrakech, Mémoire de Licence en sciences et techniques Eau et Environnement, Faculté des sciences et techniques de Marrakech, Département des sciences de la terre, Université Cadi Ayyad –Marrakech, Royaume du Maroc.
- **G. Castany** " principes et méthodes de l' hydrogéologie et "http://www.e-geologie.org
- **Gilbert .C(1998)**, EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES ET BILAN HYDRIQUE DANS LES CALCAIRES DE TUNISIE,2-8page.
- **Guezainia I. Guerram .A(2011)**, ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA VILLE D’OULED DJELLAL (WILAYA DE BISKRA), Mémoire De Fin D’études En Vue De L’obtention Du Diplôme De Master deux En Hydraulique, Université Larbi Ben M’hidi Oum El Bouaghi.
- **HAOUSSA .N(2013)**, Etude de la qualité des eaux des mélanges’’Eau d’oued Biskra - Eau de Droh, Mémoire de Master2, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Ouled\\_Djellal#G%C3%A9ographie](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Ouled_Djellal#G%C3%A9ographie).
- [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Elevages/Moutons-Ovins/races/Ouled%20Djellal\\_race-ovine\\_Wikipedia-Fr.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Elevages/Moutons-Ovins/races/Ouled%20Djellal_race-ovine_Wikipedia-Fr.pdf)
- <https://www.aquaportail.com>.
- **HELAL. F** (2016), Qualité, gestion intégrée et cartographie des ressources en eau de la wilaya de Biskra, Mémoire En Vue de l’Obtention du Diplôme de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l’Univers.
- **Hachaichi .Z(2018)**, Quantification de la recharge naturelle et artificielle d’un système soumis à des contraintes climatiques et anthropiques en zone aquifère semi –aride (bassin de Foussana) Tunisie centrale, Thèse de Doctorat, L’École Nationale d’Ingénieurs de Sfax.
- **J. Casanova, M. Cagnimel, N. Devau, M. Pettenati, P. Stollsteiner (BRGM)**, (2013) : Recharge artificielle des eaux souterraines: état de l’art et perspectives, rapport final.
- **Limam .N** (2014) : perspectives de développement des ressources en eau dans le bassin du Tensift, Agence du Bassin Hydraulique du Tensift, Royaume du Maroc.
- **Lahllali.A** (2019), ETUDE DE FAISABILITE D’UN BARRAGEINFERO-FLUX SUR OUED DJEDI A OULED DJELLEL (DE LA WILAYA de biskra), Mémoire de Master, Université Mohamed khider –Biskra, Faculté des Sciences et de la Technologie, hydraulique urbaine

- **MOHAMED. A (2012)**, Approches hydrodynamique et géochimique de la recharge de la nappe du Trarza, sud-ouest de la Mauritanie Hydrodynamic and geochemical approaches of Trarza groundwater recharge, south-western Mauritania, THÈSE DE DOCTORAT, UNIVERSITE PARIS-SUD .
- **Moussajjal.N , Boudahk.N (2014)** : Contribution à l'étude de la recharge artificielle de la nappe du Haouz au niveau de l'oued Ghmat (Bassin de Tensift), Mémoire De Fin D'études, Département des Sciences de la Terre,marrakch
- **Margat. J (1998)**, Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen. Ressources et utilisations. Ed. Plan Bleu et BRGM, Documents du BRGM, 282, 110 p. Orléans.
- **MOUSSELMAL .M, (2015)**, CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECHARGE

DES NAPPES PAR PROCEDES ARTIFICIELLES, DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah.

- **MOHAMED .A ,(2012)**, Approches hydrodynamique et géochimique de la recharge de la nappe du Trarza, sud-ouest de la Mauritanie Hydrodynamic and geochemical approaches of Trarza groundwater recharge, South-western Mauritania, THÈSE DE DOCTORAT, UNIVERSITE PARIS-SUD, ÉCOLE DOCTORALE : MIPEGE
- **SAINTE-PEMAXA(1970)**,alimentation artificielle des nappes, colloque
- **Zwahlen et Renard(2002)**, hydrogéologie générale, Université de Neuchâtel
- **Z air .N(2017)** , Evaluation la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation, problème et solution, cas de la région de Biskra ( Sud-est Algérien) , Mémoire de Master2, Faculté de Technologie Département d'Hydraulique et Génie civile , Université d'El-Oued .