

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abbès Laghrour

- Khenchela-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Ecologie et
environnement

Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée

Thème

**Cartographie multicritère de la potentialité de
recharge artificielle des nappes souterraines dans les
régions semi arides par les outils de la télédétection et
du SIG (Cas de la région de bassin versant Garaet El
Tarf NE Algérie)**

Présenté par :

✚ Bakhouche Noussaiba
✚ Slama Meriem

DEVANT LE JURY :

✚ Président : Aouidane Laiche M.C.B (Université Abbès Laghrour Khenchela)
✚ Promoteur : Boulabeiz Mahrez M.C. A (Université Abbès Laghrour Khenchela)
✚ Examineur : Mezhoud Amel M.A.A (Université Abbès Laghrour Khenchela)

Année universitaire : 2020/2021



Remerciement

Tout d'abord nous remercions Dieu de nous à donner la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme nos formations et pourvoir réaliser le travail.

Nos remerciements s'adressent à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre a coopéré à l'élaboration de ce travail et particulièrement :

Notre encadreur, Monsieur Boulabeiz Mahrez, pour ses compétences, sa rigueur au travail, ses multiples conseils, ses orientations et sa disponibilité. Nous disons merci.

Les membres du jury. Messieurs Fouidane Laiche et Madame Mazhoud Amel, d'avoir accepté d'examiner ce travail.



Noussaiba

Dédicace



Noussaiba

Je dédie ce modeste travail

A Dieu source de toute connaissance

A mon Père, pour ses encouragements, son soutien, Surtout pour son amour et son sacrifice que rien n'entrave Le déroulement de mes décisions.

A ma Mère, Noura qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

A mes Grands Parents, qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail ma gratitude et mon affection.

A ma sœur : Soundes : A mes frères : Ali, Louai, kosay.

A ma famille : Yacine, Ahmed, Ibrahim, Abir

A mes professeurs : Ben Hizia, Salehi, Dib, Dellaa, Badis, Bensouici.

A mes meilleurs amis : Chaïma, Mounira, Salima, ainsi L'équipe écologique Mylrande, Tanuin, Mascula art club, Toufik Mo

Et à l'ensemble des étudiants de la promotion master 2 écologie fondamentale et appliquée de l'année 2020-2021.

A mon binôme Meriem, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail et toute la famille Slama.

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

Bakhouche Noussaiba.





Meriem

Dédicace



Meriem

*Je dédie ce modeste travail à
A Dieu source de toute connaissance.*

*A mon père mon idole dans la vie, pour son soutien. Son affection et la
confiance qu'il m'a accordé.*

*A ma mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout son
amour pour reprendre mes études.*

A mes sœurs: Hanane, Habiba, Sohila, Sabrina, Wided, Imen.

A mes frères : Omar, Farouk, Khaled.

*A mes proches amis : Sihem, Awatef, Hasna, Fryal, Sameh,
Basma.*

*A mon binôme Noussaiba, pour sa compréhension tout au long de ce travail
et toute la famille Bakhouche.*

*Et à l'ensemble des étudiants de la promotion master 2 écologie
fondamentale et appliquée de l'année 2020-2021.*

Merci d'être toujours là pour moi, que dieu leur accorde santé et prospérité.

Stama Meriem



TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

RESUME

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : REVUE DE LITTERATURE

1. Introduction 3

2. Concept de la recharge artificielle des eaux souterraines 4

3. Techniques de la recharge artificielle 4

3.1 L'épandage de l'eau 4

3.2 Injection dans un puits..... 5

4. Les méthodes de recharge artificielle des eaux souterraines..... 6

4-1 Direct 7

4.1.1 méthode de surface bassin 7

4.1.1.1 Inondation 7

4.1.1.2 Bassins ou réservoirs de percolation..... 8

4.1.1.3 L'augmentation des cours d'eau..... 9

4.1.1.4 Système de fossés et de sillons 10

4.1.1.4.1 Caractéristiques du site et directives de conception 11

4.1.1.5 Digue de contour 12

4.1.2 Sous-surface 13

4.1. 2.1 Puits de recharge	13
4.1.2.2 Fosse/puits de recharge	14
4.1.2 .2.1 Les puits de recharge	14
4.1.2.2.2 Les Fosses de recharge	15
4.1.2.3 Puits creusé abandonné.....	16
4.2 Indirect	17
4.2.1 Recharge induite	17
4.2.2 Modification des aquifères	18
5. Typologie de la recharge artificielle par origine de l'eau.....	21
5.1 Eaux de dessalement	21
5.2 Eaux de surface	22
5.3 eaux urbaines usées traitées	24
6. Quelques facteurs à considérer pour la recharge artificielle	26
6.1 Les factures de Recharge artificielle	26
6.1.1 Facteurs géologiques	26
6.1.1.1 la porosité de l'aquifère	26
6.1.1.2 Conductivité hydraulique d'un aquifère.....	26
6.1.1.3 l'équilibre chimique dans l'aquifère est très important	27
6.1.1.4 Les argiles ont tendance à être de bons échangeurs d'ions	27
6.1.2 Facteurs hydrogéologique	27
6.1.3 Facteurs physicochimiques	27
6.1.3.1 Caractéristiques physiques	28
6.1.3.2 Caractéristiques chimiques	28
7. Les avantages de la recharge artificiels	29

8. Les inconvénients de la recharge artificielle	30
9. Les objectifs de la recharge artificielle	30
10. Conclusion	32

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude	34
1.1 Situation administrative	34
1.2 Situation géographique	34
2. Climat	36
3. Caractéristiques du réseau hydrographique	36
3.1 Hydrologie	36
3.2 Réseaux hydrographiques	36
4. Le relief et le couvert végétal	38
4.1 Le couvert végétal	38
4.2 Le relief	39
5. Faune remarquable.....	40
6. Cadre morphométrique.....	41
6.1 Les sous-bassins	41
7. Aperçu socio-économique	42
7.1 Démographie.....	42
7.2 Principales activités	43
7.3 Agriculture	43
7.4 Industrie	44
7.5 Artisanat	44
7.6 Tourisme	45

CHAPITRE III : Cadre Géologique

1. Introduction	47
2. Cadre général.....	47
2.1 La série stratigraphique.....	48
2.1.1 Trias	48
2.1.2. Crétacé	50
2.1.2.1 Crétacé inférieur.....	51
2.1.2.1.1 Barremien supérieur.....	51
2.1.2.1.2 Aptien	51
2.1.2.1.3 Albien (Crétacé moyen)	52
2.1.2.1.4 Crétacé supérieur	52
2.1.2.1.5 Cénomaniens inférieur (Woodbinian)	52
2.1.2.1.6 Turoniens	52
2.1.2.1.7 – Turonien (moyen et supérieur)	53
2.1.2.1.8 Coniacien	53
2.1.2.1.9 Santonien	53
2.1.2.1.10 Campanien : (marnes et calcaires crayeux)	53
2.1.2.1.11 Le Maestrichtien est assez différent.....	53
2.1.3 Éocène	54
2.1.3.1 Yprésien et Thanetien	54
Montien	54
2.1.4 Miocène	54
2.1.4.1 Miocène supérieur	54
2.1.4.1.1 Tortonien gréseux blanc	54

2.1.4.1.2 Tortonien supérieur continental.....	54
2.2.4.2 Miocène inférieur	54
2.2.4.2.1 Aquitano-Burdigalien (conglomérats rouges) ...	54
2.1.4.2.2 Langhien-Serravalien	55
2.1.5 Le Mio-pliocène	55
2.1.6 Le Quaternaire	55
3. Conclusion	58

Chapitre VI : Identification des sites potentiels pour la recharge artificielle

1. Introduction	60
2. La méthodologie.....	60
2.1 Paramètres influençant la recharge artificielle	61
2.2 Attribution des pondérations	62
3. Résultats et discussion.....	66
3.1 La profondeur de l'eau (P).....	66
3.2 La Texture de Sol (S).....	67
3.3 Lithologie.....	69
3.4 La Pente (%)	71
3.5 Densité de drainage	72
3.6 Occupation de sol / L'utilisation des sols	75
3.7 Les précipitations.....	77
4. Délimitation des zones potentielles de recharge artificielle des eaux souterraines	78
5 Sites de recharge artificielle appropriés	81
6. Conclusion	82
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	84

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

N° de figure	Titre de figure	Page
Fig.01	Situation administrative de la région d'étude.	14
Fig.02	Situation géographique du bassin versant Gareat El Tarf.	15
Fig.03	Principaux oueds et leurs longueurs.	16
Fig.04	Réseau hydrologique de Gareat El Tarf.	17
Fig.05	Le relief de bassin versant Gareat Al Tarf.	18
Fig.06	Carte géologique de la zone Gareat El Tarf (d'après J. M. VILA).	21
Fig.07	Lithologie du bassin versant de Gareat El Tarf, à partir de Vila (1977).	22
Fig.08	Schéma présentant une partie des différents types de recharges artificielle dans différents environnements hydrogéologiques (d'après Gale et al., 2002, Pettenati,2007).	01
Fig.09	Recharge de surface directe par inondation.	02
Fig.10	Bassins ou réservoirs de percolation.	03
Fig.11	Système d'augmentation de flux ; (A) : Vue en plan. (B) : Coupe longitudinale le long de A-A'. (C) : vue en coupe transversale du chenal du cours d'eau à B-B'(modifié à partir de Beckman et Avendt).	04

Fig.12	Méthode du fossé et du sillon.	05
Fig.13	Digue de contour.	06
Fig.14	Recharge artificielle via un tuyau d'injection. Source : USGS (2011).	07
Fig.15	Les puits de recharge.	08
Fig.16	Fosse de recharge.	09
Fig.17	Recharge par puits creusé abandonné.	10
Fig.18(A /B)	(18-A) : La recharge induite résultant du pompage. (18-B) : Recharge artificielle d'un canal enterré.	11

Fig.19	Exemples de barrières d'eau souterraine.	12
Fig.20	Construction d'un aquifère artificiel.	13
Fig.21	Organigramme des principales étapes de traitement pour l'identification des zones potentielles de recharge artificielle.	23
Fig.22	Carte du Profondeur de la nappe de la zone d'étude.	24
Fig.23	Carte de texture du sol.	25
Fig.24	Carte de la lithologie de la zone d'étude.	26
Fig.25	Carte des pentes de la zone d'étude.	27
Fig.26	A-Carte de classification de densité de drainage B-Carte de densité de drainage générée par l'outil Focal Statistics.	28

Fig.27	Carte d'occupation de sol / L'utilisation des sols.	29
Fig.28	Carte des précipitations.	30
Fig.29	Calcul de l'indice partiel.	31
Fig.30	Carte de délimitation des zones potentielles de recharge artificielle des eaux souterraines.	32
Fig.31	Emplacement proposé pour les sites de recharge artificielle des eaux souterraines.	33

LISTE DES TABLEAUX

N° de tableau	Titre de tableau	Page
Tab.01	Dénombrement des oiseaux d'eau entre 1971 et 2004.	01
Tab.02	Les caractéristiques morphométriques de Bassin versant Gareat El Tarf (DFOB 2017).	02
Tab.03	Distribution de la population par commune au niveau du bassin de Gareat El Tarf.	03
Tab.04	Principales unités industrielles au niveau du bassin de Gareat El Tarf.	04
Tab.05	Les deux types de crétacé.	05
Tab.06	Log hydrogéologique du bassin versant de Gareat El Tarf (DALI. N, 2009).	06
Tab.07	Paramètres de poids de la recharge potentielle des eaux souterraines.	07
Tab.08	Classement et pondération des différents paramètres et de leurs valeurs CSI pour le zonage de la recharge artificielle des eaux souterraines.	08
Tab.09	Attribution des notes pour les paramètres utilisés pour les zones potentielles de recharges artificielle.	09

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : Alimentation En Eau Potable.

AHP : Analytic Hierarchy Process, (Le Processus D'analyse Hiérarchique).

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydrique.

As: Arsenic.

ASR: Stockage et récupération des aquifères

ASTR: Stockage, transfert et récupération des aquifères.

C-à-d. : c'est -à- dire.

Cd : Cadmium.

Cr : Chrome.

Cu : Cuivre.

DEM : Digital Elevation Model, le Modèle numérique de terrain.

DFOB : Direction Des Forêts d'Oum El Bouaghi.

DHKH : Direction Hydraulique de wilaya de kenchela.

DHOB : Direction Hydraulique de wilaya d'Oum El Bouaghi.

DJ : Djebel.

E : Est.

ESRI : Institut De Recherche Sur Les Systèmes Environnementaux.

Fig: Figure.

Hg: Mercure.

IDW: Idea and Design Works.

IDW : Invers Distance weighted.

Inf : Inférieur.

Km : Kilomètre.

MCDA : Analyse De Décision Multicritères.

MCDM : Multi-Criteria Decision Making.

MES : Matière En Suspension.

MNT : Modèle numérique de terrain télécharger

Moy : Moyen.

N : Nord.

Ni : Nichel.

NRC : National Research Council.

O : Ouest.

ONM : Office National De La Météorologie.

ONS : Office National D'assainissement.

Pb : Palladium.

PH : Potentiel Hydrogène.

S : Sud.

SAT : Systèmes De Traitement Sol-Aquifère.

Se : Sélénium.

SIG : Systèmes D'informations Géographique.

Sp: Espèce.

SRTM: Mission de topographie radar de la navette.

Sup : Supérieur.

W : Ouest.

Résumé :

Cette étude propose une méthodologie pour délimiter les zones de recharge artificielle favorables à l'aide de la télédétection intégrée (**RS**), du système d'information géographique (**SIG**) et des techniques de la prise de décision multicritère pour augmenter les ressources en eau souterraine dans le bassin versant de Gareat ElTarf au nord-est de l'Algérie, qui connaît des problèmes de pénurie d'eau depuis quelques années. Les couches thématiques considérées dans cette étude sont : Lithologie (**L**), Densité de drainage (**D**) ; précipitation (**R**) ; texture du sol (**S**) ; la pente (**Sp**) ; profondeur d'eau (**P**) et occupation du sol (**Os**). Différents thèmes et leurs caractéristiques correspondantes ont reçu des poids appropriés en fonction de leur contribution relative à la recharge des eaux souterraines dans la région, et des poids normalisés ont été calculés à l'aide du processus de hiérarchie analytique de Saaty (**PHA**).

Ces couches thématiques ont ensuite été intégrées dans l'environnement **SIG** pour délimiter des zones de recharge artificielle dans la zone d'étude. La carte de recharge artificielle ainsi obtenue divise la zone d'étude en trois zones. Il a été constaté qu'environ 53 % de la zone d'étude relève de la zone « appropriée », tandis que 35 % relève de la zone « modérément appropriée ». La partie nord de la zone d'étude s'est avérée impropre à la recharge artificielle.

Sur la base des informations disponibles sur le terrain, les barrages de retenue sont suggérés comme des structures de recharge artificielle prometteuses.

Mots Clés : Recharge artificielle, SIG, Télédétection, eau souterraines, barrage de retenue, Garaet El Tarf, Algérie.

Abstract:

This study proposes a methodology to delineate favorable artificial recharge areas using integrated remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) techniques to increase groundwater resources in the Gareat El Tarf watershed in northeastern Algeria, which has been experiencing water scarcity problems for the past few years. The thematic layers considered in this study are: Lithology (L), Drainage density (D); precipitation (R); soil texture (S); the slope (Sp); water depth (P) and land use (Os). Different themes and their corresponding features were given appropriate weights based on their relative contribution to groundwater recharge in the region, and normalized weights were calculated using the Saaty Analytical Hierarchy Process (AHP).

These thematic layers were then integrated into the GIS environment to delineate areas of artificial recharge in the study area. The resulting artificial recharge map divides the study area into three zones. It was found that approximately 53% of the study area falls into the "suitable" zone, while 35% falls into the "moderately suitable" zone. The northern portion of the study area was found to be unsuitable for artificial recharge.

Based on the available field information, check dams are suggested as promising artificial recharge structures.

Keywords: Artificial recharge, GIS, Remote sensing, groundwater, check dam, Garaet El Tarf, Algeria.

ملخص:

تقترح هذه الدراسة منهجية لتحديد مناطق التغذية الاصطناعية الملائمة باستخدام الاستشعار عن بعد المتكامل، ونظام المعلومات الجغرافية وتقنيات صنع القرار متعددة المعايير لزيادة الموارد في المياه الجوفية في مستجمعات مياه قرعة الطرف في شمال شرق الجزائر ، والتي تعاني من مشاكل ندرة المياه لعدة سنوات.

الطبقات الموضوعية التي تم تناولها في هذه الدراسة هي: علم الصخور ، كثافة الصرف ؛ هطول الأمطار ؛ نسيج التربة ؛ المنحدر ؛ عمق المياه واستخدام الأرض . تم إعطاء هذه الموضوعات المختلفة وخصائصها المقابلة أوزاناً مناسبة بناءً على مساهمتها النسبية في تغذية المياه الجوفية في المنطقة ، وتم حساب الأوزان القياسية باستخدام عملية التحليل الهرمي . ثم تم دمج هذه الطبقات الموضوعية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتحديد مناطق التغذية الاصطناعية في منطقة الدراسة. وبالتالي ، فإن خريطة التغذية الاصطناعية التي تم الحصول عليها تقسم منطقة الدراسة إلى ثلاث مناطق. فقد وجد أن ما يقرب 53٪ من منطقة الدراسة تقع ضمن المنطقة "المناسبة" ، بينما تقع 35٪ منها ضمن المنطقة "المناسبة إلى حد ما". و تبيّن أن الجزء الشمالي من منطقة الدراسة غير مناسب للتغذية الاصطناعية.

بناءً على المعلومات المتوفرة في هذا المجال ، يُقترح السدود على أنها هياكل إعادة تغذية صناعية واعدة.

الكلمات المفتاحية: التغذية الاصطناعية ، نظم المعلومات الجغرافية ، الاستشعار عن بعد ، المياه الجوفية ، سد الاحتباس ، جارة الطرف ، الجزائر



***Introduction
Générale***

Introduction générale :

L'eau est l'un des besoins fondamentaux et nécessaires à toute vie sur terre. Recouvre plus de 70 % du globe. Cependant, l'eau est pourtant abondante, mais sa répartition sur la terre est largement inégalitaire. Certains pays souffrent d'un manque d'eau important pour assurer les besoins vitaux élémentaires de leurs populations, tandis que d'autres ne savent plus comment maîtriser le trop-plein d'eau chronique qui envahit progressivement les terres arables et déplace des flux entiers de population. (Shiklomanov, 1993).

La gestion et la préservation de la ressource en eau constituent une préoccupation mondiale majeure (Mutin, 2009) et (Louise, 2007), et tout spécialement dans les pays à climat aride et semi-aride où le patrimoine hydrique est sans cesse mis à l'épreuve compte tenu de la croissance des besoins en eau (développement industriel, accroissement démographique...). En Algérie, 67 % des terres irriguées sont irriguées par des eaux souterraines (Zektser et Everett, 2004). Les eaux souterraines constituent le plus important réservoir d'eau douce au monde, ils ont une ressource extrêmement précieuse et très importante, aux usages multiples (Todd, 2005).

Le prélèvement d'eau souterraine pour répondre à cette demande provoque souvent une intrusion d'eau de mer et une dégradation de la qualité de l'eau des aquifères côtiers. En raison de la forte demande mondiale (Sandoval et Tiburan, 2012), les eaux souterraines ont été surexploitées dans de nombreuses régions du monde, ce qui entraîne des problèmes écologiques et environnementaux. Ces derniers associés à la surexploitation des eaux souterraines peuvent être surmontés en utilisant technologie de recharge artificielle des eaux souterraines (Asano, 1985) et (UNEP, 2011).

La recharge artificielle consiste à injecter de l'eau dans une formation aquifère en ayant pour objectif une gestion active et rationnelle de ce réservoir et vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère. Par conséquent, la recharge des eaux souterraines est progressivement devenue un mécanisme potentiel de gestion des ressources en eau souterraine (Bower, 2002) et (Singh et al., 2019).

La plaine de Garaet El Tarf à l'est des hauts plateaux constantinois a été confrontée à de graves pénuries d'eau pour l'irrigation et à des fins domestiques au cours des dernières années et la disponibilité des eaux de surface ne peut être assurée. Par conséquent, la majorité de la superficie irriguée de la plaine est cultivée en utilisant les eaux souterraines extraites des forages. Cependant, le pompage excessif et illimité des eaux souterraines a entraîné une baisse

des niveaux des eaux souterraines dans la plupart des parties de la zone d'étude, ce qui pose des questions sur durabilité des eaux souterraines.

Les forages peut profond deviennent également inopérants chaque année pendant la période sèche, ce qui affecte à son tour les moyens de subsistance des agriculteurs. Par conséquent, la reconstitution de l'aquifère par recharge artificielle est nécessaire pour maintenir les ressources en eau souterraine de la région à long terme.

D'innombrables chercheurs à travers le monde ont mené des études sur les applications de la télédétection et des SIG pour l'exploration des zones potentielles d'eau souterraine, et il a été constaté que la détermination de ces zones est influencée par les différents facteurs, ce qui nécessite une validation conséquente (Magesh et al., 2012).

Actuellement, les techniques AHP basées sur le SIG et la télédétection sont l'approche la plus populaire dans la cartographie des zones potentielles d'eau souterraine.

Cette technique facilite l'intégration et l'analyse de grands volumes de données, tandis que les études de terrain aident à valider l'avantage des résultats. L'intégration de système d'information géographique (SIG) avec des autres approches permet de mieux comprendre les caractéristiques contrôlant la présence d'eau souterraine dans les aquifères (Solomon et Quiel, 2006), c'est aussi un outil excellent et utile pour gérer une énorme quantité de données spatiales et peut être utilisé dans le processus de prise de décision dans un certain nombre de domaines tels que l'hydrologie et la gestion de l'environnement (Rahmati et al., 2015).

L'objectif principal de notre travail de recherche est l'identification des zones potentielles de la recharge artificielle dans Gareat El Tarf, en utilisant système d'information géographique plus précisément SIG sous ArcGis qui utilise les couches thématiques comme des cartes critères et donne à chaque critère une valeur de pondération qui intervient dans l'agrégation complète en produisant une carte de synthèse qui localise les différents sites de recharge artificielle.

Ce mémoire est organisé autour de 4 principaux chapitres, à savoir :

- Un chapitre concernant la présentation de contexte physique et géographique de bassin versant Gareat El Tarf.
- Un chapitre traite l'identification des différentes formations géologiques de la zone d'étude.
- Un chapitre concernant revue de littérature sur la recharge artificielle.
- Un chapitre majeur pour identifier et délimiter les zones potentielles d'eau souterraine grâce à l'intégration de diverses cartes thématiques dans diverses plateformes SIG.
- En dernier une conclusion générale et des recommandations.



Chapitre I :
Revue de littérature

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une revue complète de la littérature avec le contexte théorique de principal concept qui apparait dans cette thèse.

Les eaux souterraines sont l'une des ressources naturelles les plus recherchées en raison de leur grande importance et de leurs diverses utilisations. Elle ne représente qu'un pourcentage de l'ensemble des ressources en eau du monde, mais elle constitue 96 % de toutes les ressources en eau douce (Gabel, 2010 ; USGS, 2016).

L'extraction sûre de l'eau souterraine et la gestion appropriée des eaux souterraines sont importantes pour la durabilité de la ressource. Le rendement sûr est la quantité d'eau souterraine naturelle qui peut être extraite d'un aquifère sur une base durable, économiquement et légalement, sans altérer la qualité de l'eau souterraine native ou créer un effet indésirable tel que des dommages environnementaux (Fetter, 2001). La gestion de l'eau peut être définie comme la planification globale de l'utilisation bénéfique, plus l'exploitation pour des avantages économiques et sociaux optimaux, de l'ensemble des ressources en eau (ONU, 1975).

L'augmentation de la demande en eau dans de nombreuses régions a conduit à la mise en œuvre de mesures de gestion de l'eau plus intensives pour parvenir à une utilisation plus efficace des réserves d'eau disponibles limitées.

La reconstitution naturelle des eaux souterraines est très lente. Si les eaux souterraines sont exploitées à un rythme supérieur à celui de leur réapprovisionnement naturel, cela entraînera une baisse du niveau des eaux souterraines et du lac, puisque le lac est relié hydrauliquement au système des eaux souterraines. À long terme, cela entraîne la destruction des ressources en eau souterraine. Pour augmenter la reconstitution naturelle des réserves d'eau souterraine, la recharge artificielle des eaux souterraines est devenue de plus en plus importante pour augmenter les réserves d'eau souterraine. En termes simples, la recharge artificielle est un processus par lequel l'excès d'eau de surface est dirigé vers le sol. Soit par épandage à la surface, soit en utilisant des puits de recharge, soit en modifiant les conditions naturelles pour augmenter l'infiltration. Afin de réalimenter un aquifère. Il s'agit du mouvement de l'eau à travers des systèmes artificiels depuis la surface de la Terre jusqu'aux couches souterraines contenant de l'eau. Où elle peut être stockée pour une utilisation future (Casanova *et al.*, 2012).

La recharge artificielle (parfois appelée recharge planifiée) est un moyen de stocker l'eau sous terre en période de sécheresse. De stocker l'eau dans le sous-sol en période de surplus d'eau pour répondre à la demande en période de pénurie (NRC, 1994).

2. Concept de la recharge artificielle des eaux souterraines

D'après (Todd, 1959), la recharge artificielle est « l'augmentation de la quantité d'eau bénéficiant aux réservoirs d'eau souterraine via des dispositifs artificiels ». (Flint et al., 2002) la définissent comme étant « l'introduction d'eaux extérieures dans une formation aquifère par leur transit dans la zone non saturée à travers des bassins d'infiltration, puits, aménagement des cours d'eau, etc. ».

La recharge artificielle des nappes est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, et des processus d'épandage ou de retenue de l'eau sur le terrain pour augmenter l'infiltration à travers le sol et la percolation vers l'aquifère ou d'injection d'eau par des puits directement dans l'aquifère. Les systèmes d'infiltration de surface ne peuvent être utilisés que pour recharger des aquifères non confinés. Les aquifères confinés peuvent être rechargés par des puits qui pénètrent dans l'aquifère. La recharge par puits est également utilisée pour les aquifères non confinés s'il n'y a pas de terrain approprié pour les systèmes d'infiltration.

La recharge artificielle peut être effectuée en utilisant tout surplus d'eau de surface. Lorsque de l'eau de faible qualité est utilisée pour la recharge, les formations souterraines peuvent agir comme des filtres naturels pour éliminer de nombreux polluants physiques, biologiques et chimiques de l'eau lors de son passage. Souvent, l'amélioration de la qualité de l'eau est en fait l'objectif principal de la recharge, et le système est exploité spécifiquement en utilisant le sol et l'aquifère pour fournir un traitement supplémentaire à la source d'eau. Les systèmes utilisés de cette manière sont appelés systèmes de traitement sol-aquifère (SAT), ou géo- purification.

3. Techniques de la recharge artificielle

Les méthodes de recharge artificielle peuvent être regroupées en deux grandes catégories :

3.1 L'épandage de l'eau

L'épandage de l'eau sur la surface du sol afin d'augmenter la quantité d'eau s'infiltrant dans le sol et percolant ensuite vers la nappe phréatique (Spandre). Les méthodes d'épandage :

– les bassins

- Les canaux
- les fossés et les sillons
- les inondations
- l'irrigation par aspersion.

3.2 Injection dans un puits

Introduction directe de l'eau de recharge dans l'aquifère à l'aide de puits d'injection

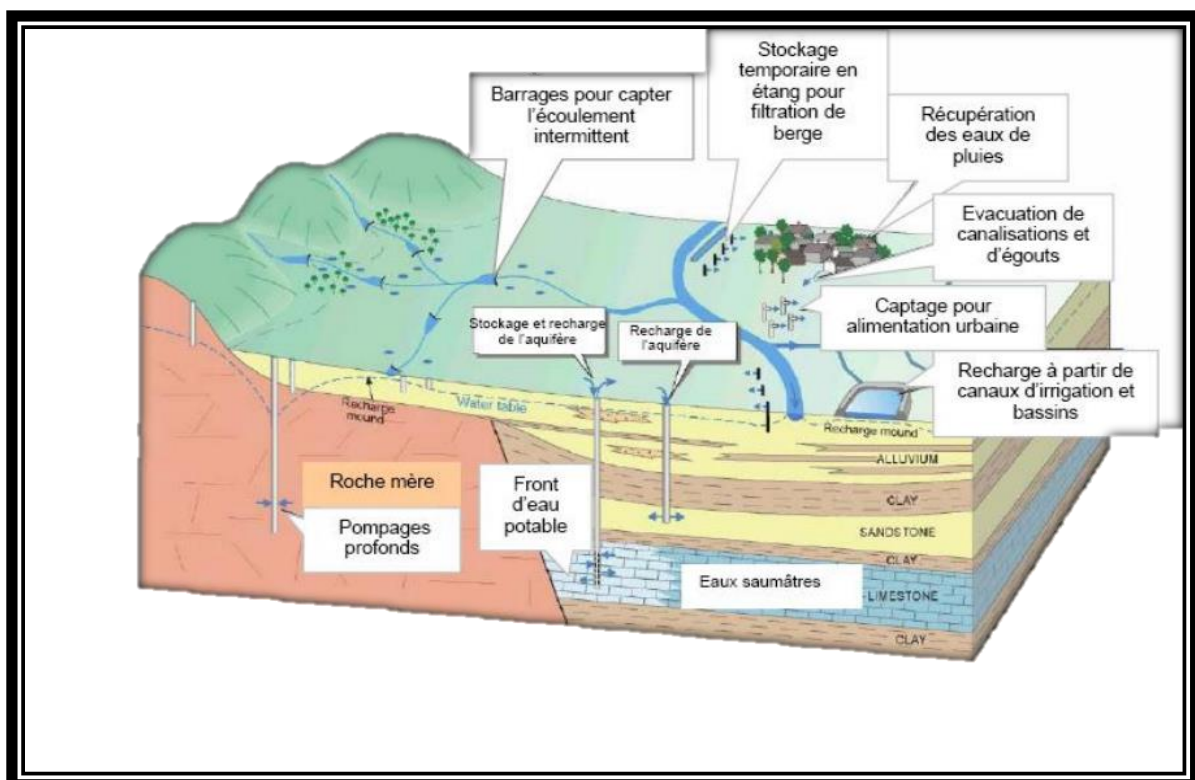
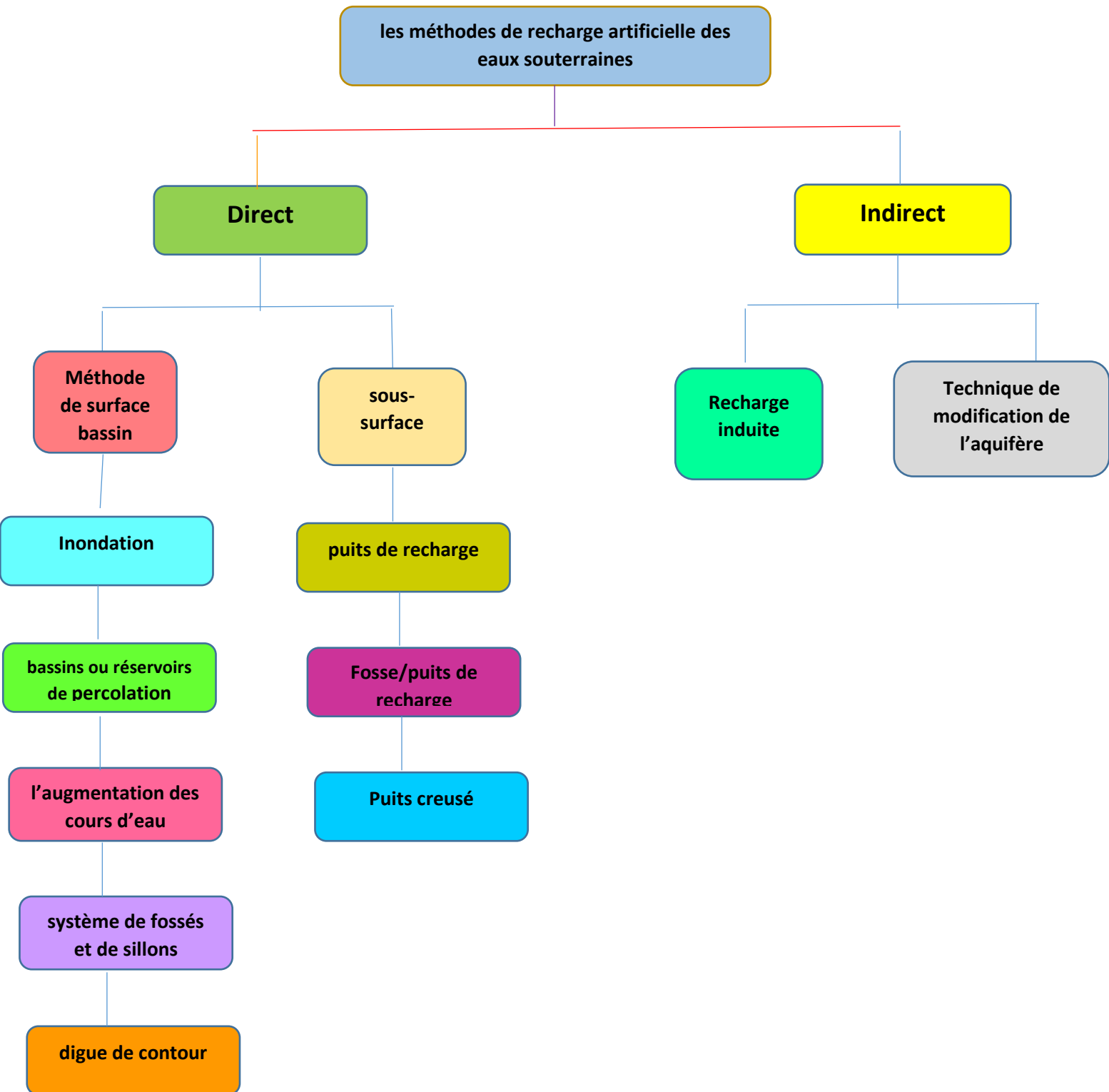


Fig. (01) : Schéma présentant une partie des différents types de recharges artificielles dans différents environnements hydrogéologiques (d'après Gale et al., 2002 ; Pettenati, 2007).

4. Les méthodes de recharge artificielle des eaux souterraines.



4.1 Direct

4.1.1 méthode de surface bassin

4.1.1.1 Inondation

La recharge par inondation ne peut se faire que sur des terrains ayant une pente de 1 à 3 %. L'objectif est de répandre l'eau sur une grande surface en un mince film qui se déplace lentement vers le bas de la pente sans perturber le sol. L'eau est répandue sur la surface du terrain à partir de plusieurs points de distribution pour obtenir une application uniforme. Des remblais ou des fossés peuvent délimiter le système pour localiser la filtration ou pour protéger les terrains adjacents. L'excès d'eau peut être collecté au point bas topographique du système pour être évacué (**Figure.02**). En général, les taux d'infiltration sont plus élevés là où le sol et la végétation ne sont pas perturbés. Le plus gros problème de la technique d'inondation est le confinement : les autres problèmes sont liés à la grande surface de terrain nécessaire et à l'évaporation. Le plus grand avantage de la méthode est le cout relativement faible de la construction et de l'entretien (Asano, 1985).

Cette méthode permet d'obtenir un taux d'infiltration plus élevé dans une région où la couverture végétale est mince ou le sol sableux.

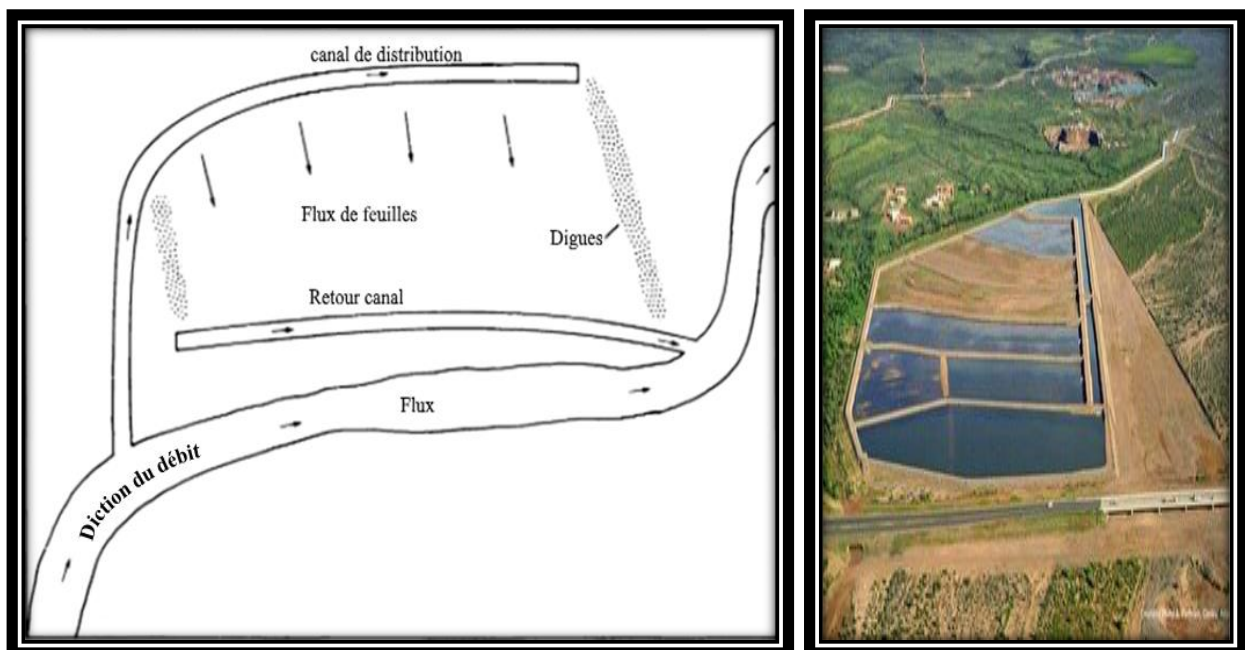


Fig. (02) : Recharge de surface directe par inondation.

4.1.1.2 Bassins ou réservoirs de percolation

Le réservoir de percolation est un réservoir artificiel qui est construit en travers d'un cours d'eau, submergeant une zone de terrain avec une perméabilité adéquate pour faciliter une percolation suffisante pour collecter les eaux de ruissèlement et leur permettre de percoler dans le terrain perméable. C'est l'une des méthodes efficaces pour remplir la nappe phréatique (également appelée recharge des eaux souterraines) (C .2018, 10 décembre).

- Des séries de barrages en terre sont construites sur des sites appropriés pour stocker une quantité adéquate d'eau de surface.
- La zone du réservoir doit être choisie de manière à ce qu'une quantité significative d'eau s'infiltré à travers le lit du réservoir et atteigne la nappe phréatique.
- Efficace dans les zones alluviales, les zones de roche dure.
- Utile pour fournir une recharge continue après la mousson.
- La taille du réservoir dépend de la capacité de percolation des strates.
- C'est la méthode la plus commune de recharge artificielle.
- Dans cette méthode, l'eau est retenue dans une série de bassins ou de réservoirs de percolation,
- La taille du bassin peut dépendre de la topographie de la zone,
- L'efficacité et la faisabilité de cette méthode sont plus dans la formation de roche dure où les roches sont fortement fracturées et altérées.

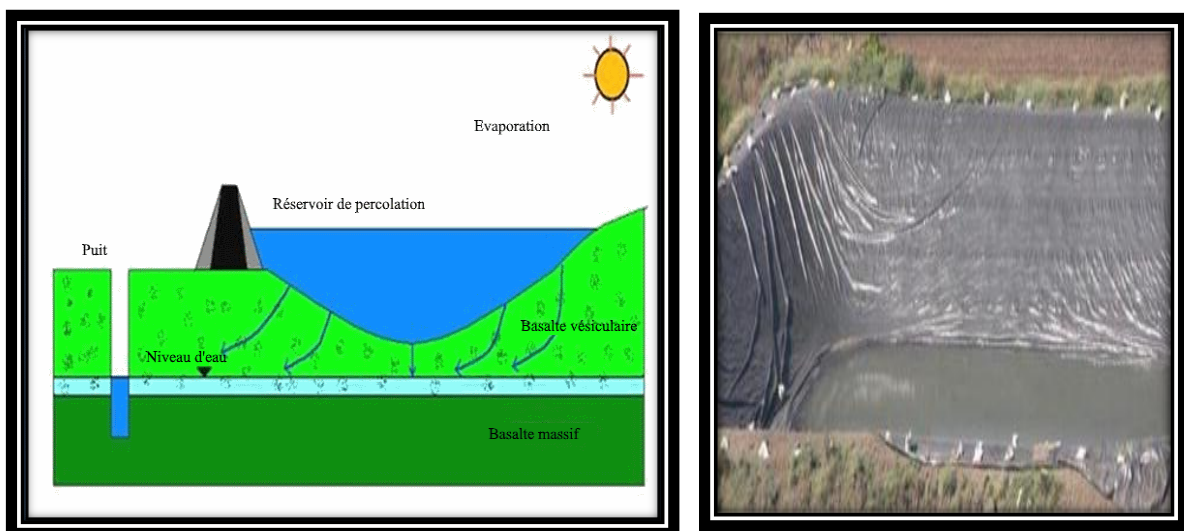


Fig. (03) : Bassins ou réservoirs de percolation.

4.1.1.3 L'augmentation des cours d'eau

L'augmentation du débit d'un cours d'eau implique l'application d'eau de recharge au canal d'un cours d'eau près de la tête de sa zone de drainage pour rétablir ou augmenter l'infiltration à travers le lit du cours d'eau (**Figure. 04**). L'augmentation du débit d'un cours d'eau est considérée comme une alternative à la recharge artificielle dans les zones où les cours d'eau alimentés par des eaux souterraines ont cessé de couler ou sont devenus sec dans leur partie supérieure en raison de la baisse du niveau des eaux souterraines (Prince,1982) .et en plus de la recharge, l'environnement du cours d'eau est sensiblement amélioré par la restauration du débit du canal. Cette méthode est généralement moins efficace que d'autres techniques, car les vitesses des cours d'eau dépassent les taux d'infiltration et les sources économiques d'eau de recharge ne sont pas toujours disponibles. Cependant, la restauration des écosystèmes des cours d'eau par cette forme de recharge compense en partie ces inconvénients (Asano,1985).

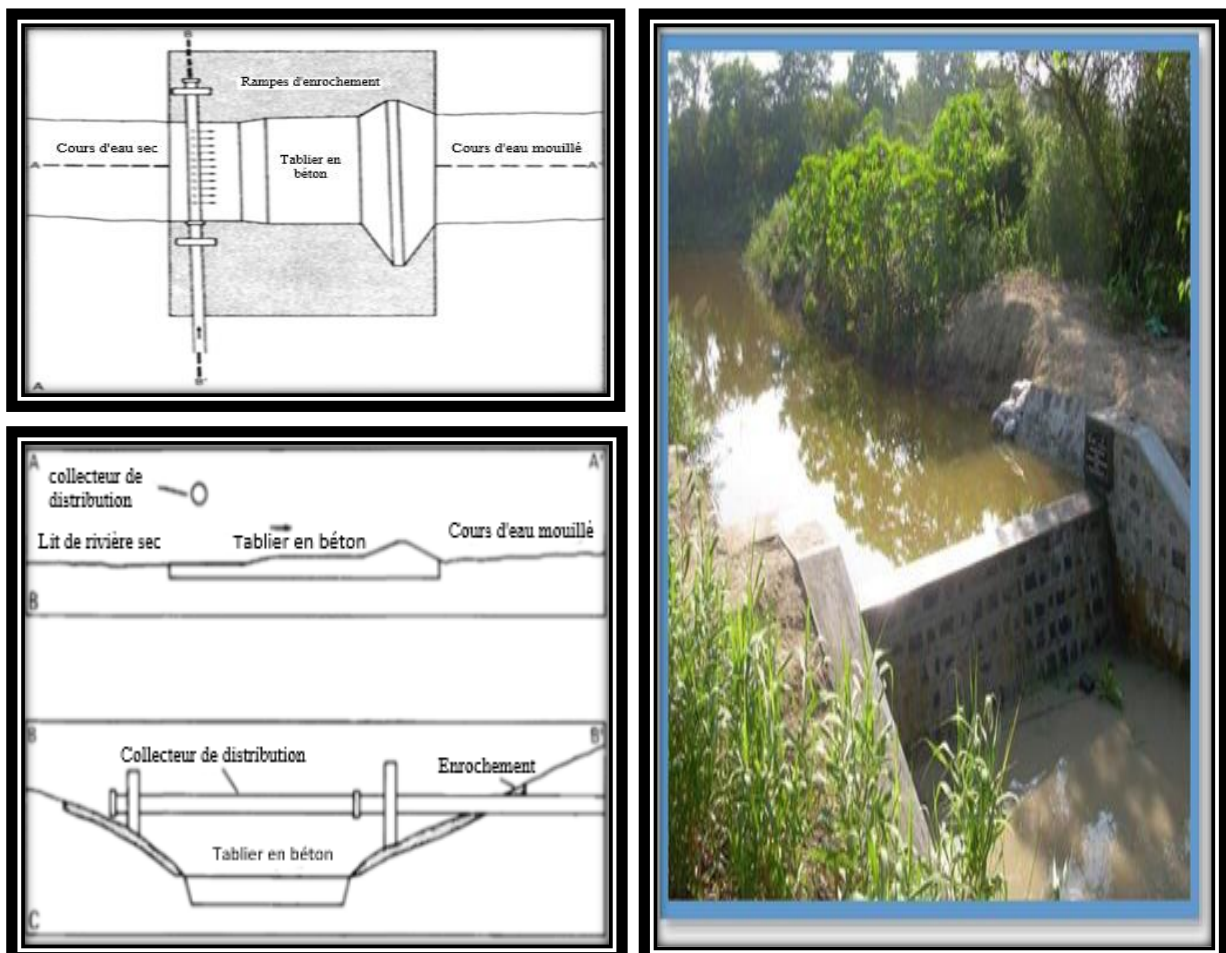


Fig. (04) : Système d'augmentation de flux ; (A) : Vue en plan. (B) : Coupe longitudinale le long de A-A ». (C) : vue en coupe transversale du chenal du cours d'eau à B-B » (modifié à partir de Beckman et Avedt),(Beckman et Avedt,1973) .

4.1.1.4 Système de fossés et de sillons

Dans les zones à topographie irrégulière, des fossés ou des sillons peu profonds, à fond plat et très rapprochés offrent une surface de contact maximale pour l'eau de recharge provenant d'un ruisseau ou d'un canal.

Cette technique nécessite moins de préparation du sol que les bassins de recharge et est moins sensible à l'envasement. La **figure (05)** montre un plan ou une série typique de fossés partant d'un fossé d'alimentation et descendant la pente topographique vers le cours d'eau. En général, trois modèles de système de fossés et de sillons sont adoptés.

- **Modèle de fossé latéral**

L'eau du ruisseau est détournée vers le canal/digue d'alimentation à partir duquel de plus petits fossés sont créés à angle droit. Le débit de l'eau du canal d'alimentation vers ces fossés est contrôlé par des vannes. La profondeur du sillon est maintenue en fonction de la topographie et aussi dans le but de maximiser la surface mouillée maximale et de maintenir une vitesse uniforme. L'excès d'eau est acheminé vers le cours d'eau principal par un canal de retour avec le limon résiduel.

- **Modèle dendritique**

L'eau du ruisseau est détournée du canal principal vers une série de petits fossés répartis selon un modèle dendritique. Selon un modèle dendritique. La bifurcation des fossés continue jusqu'à ce que pratiquement toute l'eau soit infiltrée dans le sol.

- **Modèle de contour**

Les fossés sont creusés en suivant le contour de la surface du sol de la zone. Lorsque le fossé se rapproche du cours d'eau, on effectue un retour en arrière, ce qui permet au fossé d'effectuer des méandres à plusieurs reprises. Et en avant de façon répétée. À un point plus bas en aval, le fossé rejoint le cours d'eau principal, lui renvoyant ainsi l'excès d'eau. Retournant ainsi l'excès d'eau à celui-ci.

4.1.1.4.1 Caractéristiques du site et directives de conception

- Bien que cette méthode s'adapte à un terrain irrégulier, la zone de contact avec l'eau dépasse rarement 10 % de l'aire de recharge totale.
- Les fossés doivent avoir une pente permettant de maintenir la vitesse d'écoulement et de minimiser le dépôt de sédiments.
- Les fossés doivent être peu profonds, à fond plat et peu espacés pour obtenir une zone de contact maximale avec l'eau. Une largeur de 0,3 à 1,8 m est typique.
- Il faut prévoir un fossé collecteur pour ramener l'excès d'eau dans le canal principal. La méthode des fossés et sillons est généralement couteuse, car elle nécessite un niveau élevé de supervision et d'entretien.

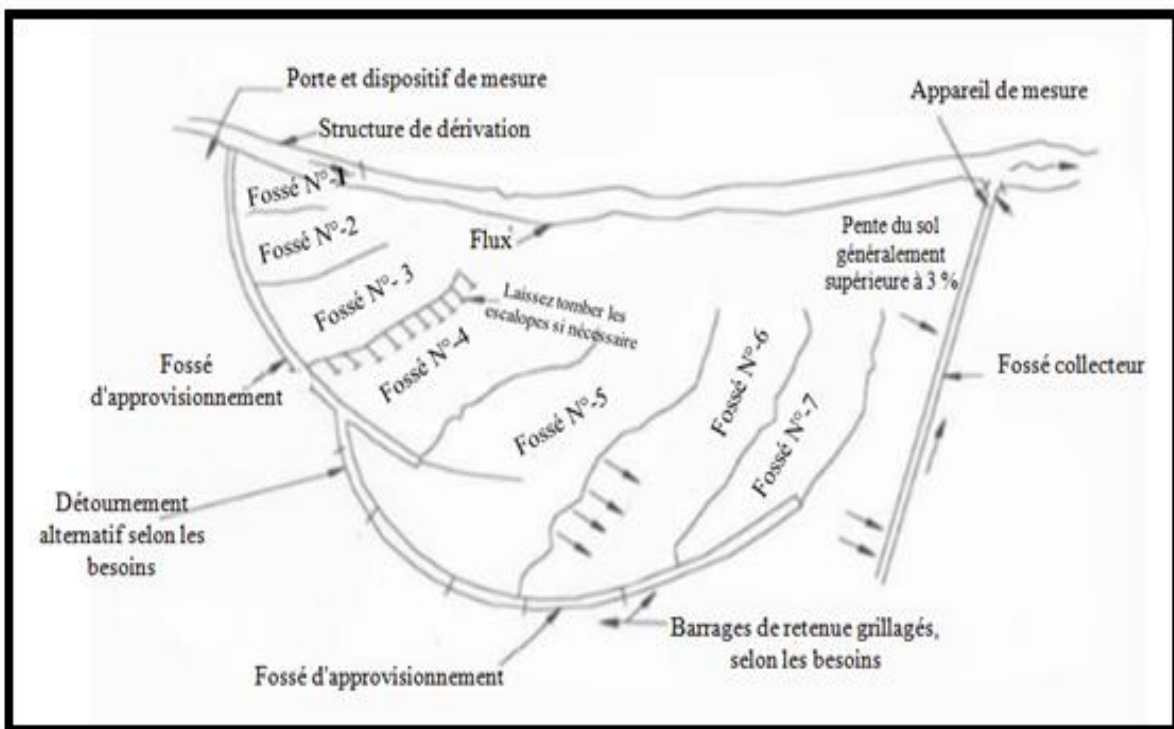


Fig. (05) : Méthode du fossé et du sillon.

4.1.1.5 Digue de contour

les digues de contour, qui sont une pratique de gestion des bassins versants visant à stocker l'humidité du sol, impliquent la construction de petites digues ou de digues en travers de la pente du terrain. Ils tirent leur nom de la construction de digues le long des contours d'une même élévation de terrain. Cette technique est généralement adoptée dans les zones à faible pluviosité (normalement moins de 800 mm) où l'on dispose de terres agricoles en pente douce avec de très longues longueurs de pente et où les sols sont perméables. Elle n'est pas recommandée pour les sols à faible drainage interne, par exemple les sols argileux. Le schéma d'un système typique de digues de contour est présenté à la **fig.06** ;(Sinha et Milu , TP40)

La construction de digues de contour consiste à construire des digues trapézoïdales étroites (digues) le long des courbes de niveau pour retenir l'eau derrière elles, qui s'infiltre dans le sol et augmente finalement la recharge des eaux souterraines. Les aspects importants de la conception des digues de contour sont :

1. L'espace
2. La section transversale
3. La déviation. La liberté de déviation pour aller plus haut ou plus bas que l'élévation de la digue de contour pour un meilleur alignement sur les terrains ondulés. Meilleur alignement sur les terrains ondulés.

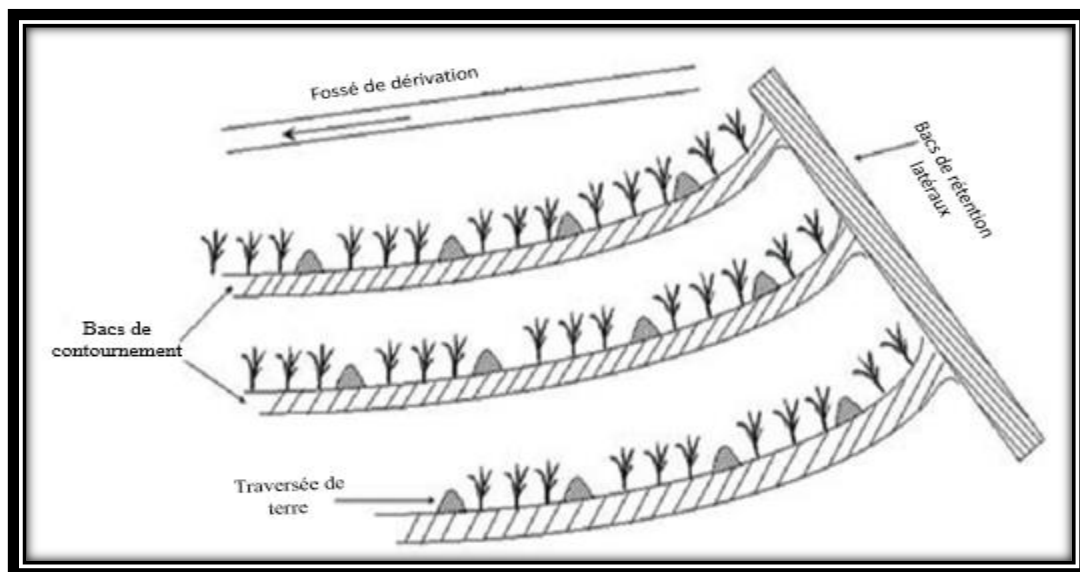


Fig. (06) : Digue de contour.

4.1.2 Sous-surface

4.1.2. 1 Puits de recharge

Les puits de recharge ou d'injection sont des techniques de recharge des eaux souterraines utilisées pour déverser directement l'eau dans les zones aquifères profondes. Les puits de recharge peuvent être tubés avec le matériau qui recouvre l'aquifère. Si ce matériau est non consolidé, un écran peut être placé dans le puits dans la zone d'injection. Les puits de recharge ne conviennent que dans les zones où une épaisse couche imperméable existe entre la surface du sol et l'aquifère à réalimenter. Ils sont également avantageux dans les zones où les terrains sont rares (car la recharge des eaux souterraines de surface nécessite de grandes surfaces d'infiltration). Un taux de recharge relativement élevé peut être atteint avec cette méthode (O'HARE *et al.*, 1986).

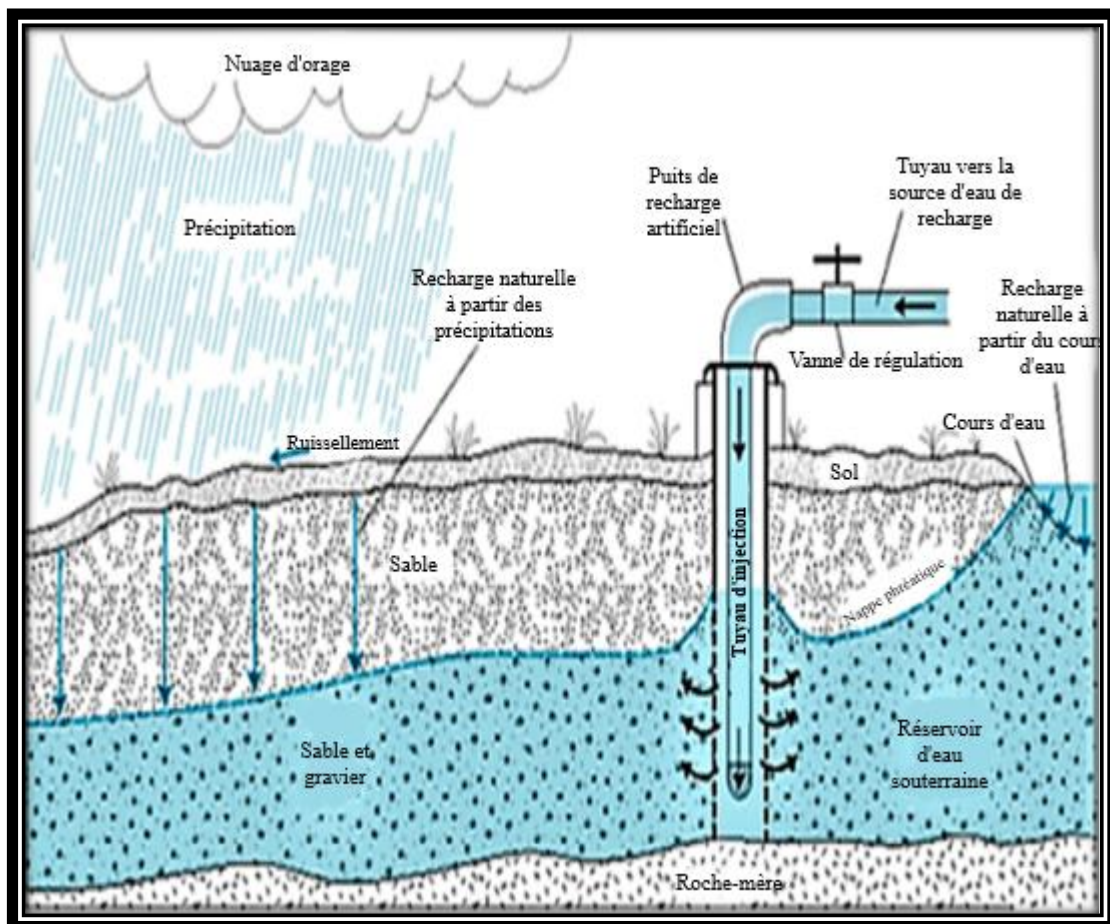


Fig. (07) : Recharge artificielle via un tuyau d'injection. Source : (USGS,2011).

4.1.2 .2 Fosse/puits de recharge

4.1.2.2.1 Les puits de recharge

Les aquifères phréatiques ne sont pas toujours reliés hydrauliquement aux eaux de surface. À l'échelle régionale, les couches ou lentilles imperméables forment une barrière entre l'eau de surface et la nappe phréatique, ce qui rend les méthodes de diffusion de l'eau moins efficaces. Pour une recharge efficace de l'aquifère peu profond, les horizons moins perméables doivent être traversés pour rendre l'aquifère directement accessible. Les puits de recharge sont une option. Ce sont des excavations de dimensions variables qui sont suffisamment profondes pour pénétrer dans les strates moins perméables (**Fig.08**).

Les fosses de réalimentation diffèrent des puits de réalimentation par gravité, car ces derniers n'atteignent pas nécessairement l'aquifère non confiné et l'eau de réalimentation doit s'infiltrer dans la zone vadose. La superficie réelle requise dépend du volume de recharge prévu et de la perméabilité des strates sous-jacentes. Par conséquent, la perméabilité doit être déterminée. Les pentes latérales abruptes et la faible perméabilité de ces strates signifient que la sédimentation ne se produit que sur le fond et que le colmatage est impossible. Se produit uniquement sur le fond et que le colmatage des parois latérales est limité. La pente des parois latérales devrait être d'environ 2 : 1. La zone de fond des fosses ouvertes peut nécessiter un nettoyage manuel périodique. Si les fosses de recharge sont équipées d'un filtre, la couche supérieure du filtre doit également être nettoyée ou remplacée périodiquement; (Sinha et Milu, TP40).

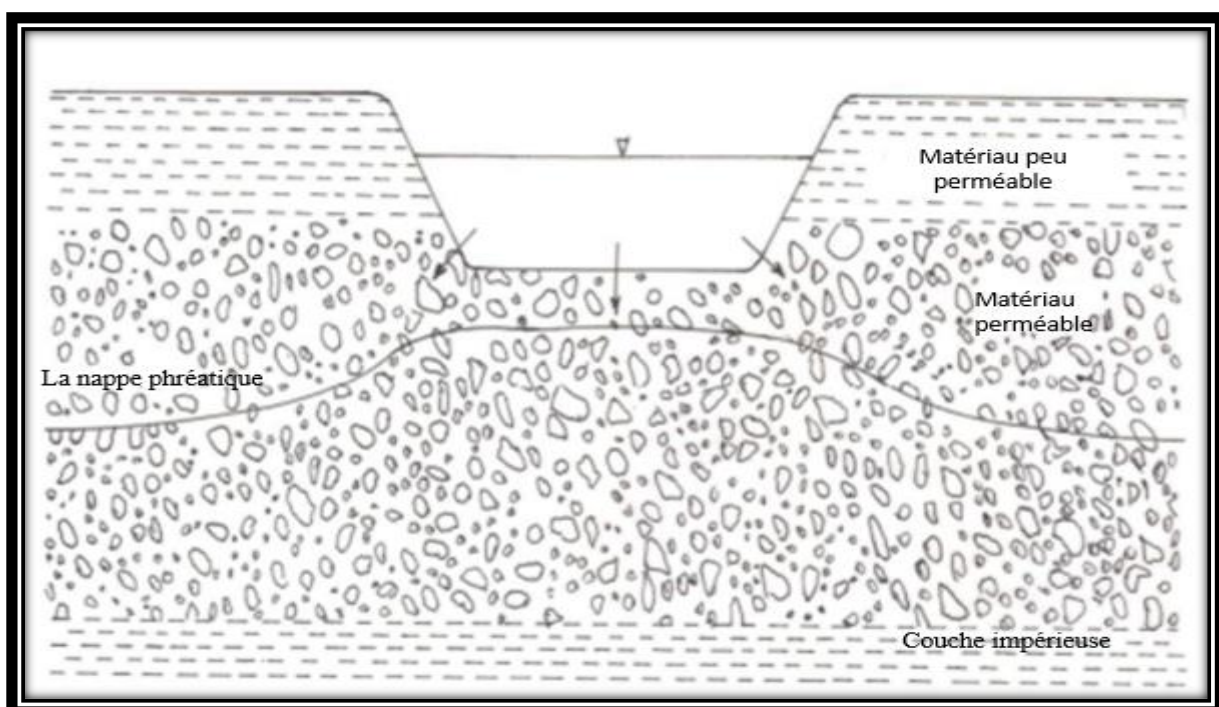


Fig. (08) : Les puits de recharge.**4.1.2.2.2 Les Fosses de recharge**

Dans les cas où un aquifère est situé profondément sous la surface du sol et recouvert de strates peu perméables, une fosse est utilisée pour la recharge artificielle. Une fosse de recharge est similaire à un puits de recharge, mais sa section transversale est beaucoup plus petite (**Fig.09**).

Une fosse de recharge peut être creusée manuellement si les strates ne sont pas spongieuses. Dans les bonnes argiles dures, il est possible de creuser des fosses profondes jusqu'à 25 à 30 m de profondeur sans tubage. Pour des fosses encore plus profondes, il peut être nécessaire de recourir au baillage, au forage par circulation inverse ou à la méthode de rotation directe. Lorsqu'ils sont creusés manuellement, les fosses doivent avoir un diamètre d'environ 2 m au fond;([Sinha et Milu , TP40](#)).

Dans le cas de trous forés, le diamètre ne doit pas dépasser 0,8 à 1 m. Le puits doit aboutir dans des couches plus perméables situées sous la couche de confinement. Il ne doit pas toucher la nappe phréatique.

Les fosses non revêtues doivent être remblayées, d'abord avec des galets de roche, puis sur les quelques mètres supérieurs avec un filtre de gravier et de sable. Si, au bout d'un certain temps, le matériau filtrant s'étouffe à cause des solides en suspension de l'eau brute qui se sont déposés sur les couches supérieures, il faut le creuser ou l'écoper et prévoir un nouveau filtre. L'envasement et le colmatage des remplissages plus profonds sont difficiles à éliminer. La croissance biotique peut également obstruer le remplissage. Les fosses obstruées sont difficiles à nettoyer et doivent être abandonnées. Les fosses plus profondes creusées dans des strates spéléologiques doivent être doublées ou tubées. Il n'est pas nécessaire de remblayer complètement les fosses revêtues. Un filtre de gravier ou de sable grossier de quelques mètres d'épaisseur peut être placé au fond. En cas de colmatage, le matériau filtrant peut être retiré par écopage et remplacé par un matériau filtrant propre. Dans les fosses revêtues, l'eau de recharge peut être acheminée par un petit tuyau conducteur allant jusqu'au filtre;([Sinha et Milu , TP40](#)).

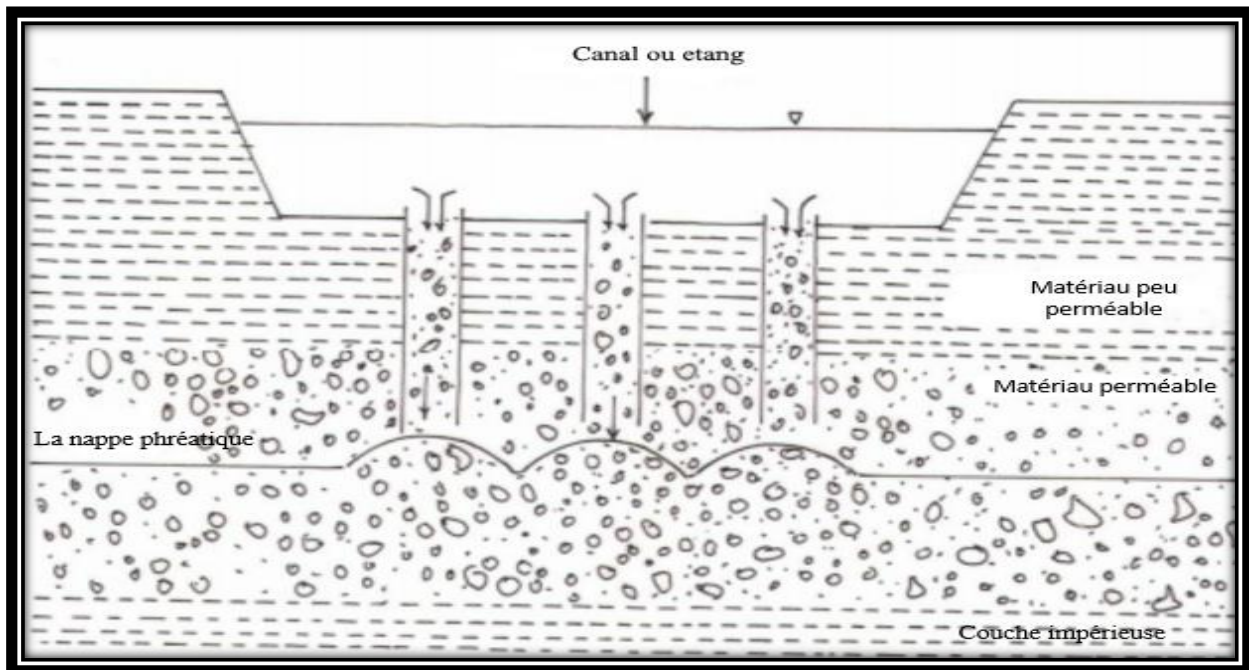


Fig. (09) : Fosse de recharge.

4.1.2.3 Puits creusé abandonné

Un puits creusé sec ou inutilisé peut être utilisé comme structure de recharge. L'eau de recharge est guidée par un tuyau jusqu'au fond du puits ou au moins sous le niveau de l'eau stagnante, afin d'éviter d'affouiller le fond et de piéger des bulles d'air dans l'aquifère. Avant d'utiliser le puits creusé comme structure de recharge, son fond doit être nettoyé et tous les dépôts fins doivent être enlevés. L'eau de recharge doit être exempte de limon. Le puits doit être nettoyé régulièrement. Une chloration périodique doit être utilisée pour contrôler la contamination bactériologique. Cette technique est adaptée aux grands bâtiments, ayant une surface de toit de plus de plus de 1000 m²; (Sinha et Milu , TP40).

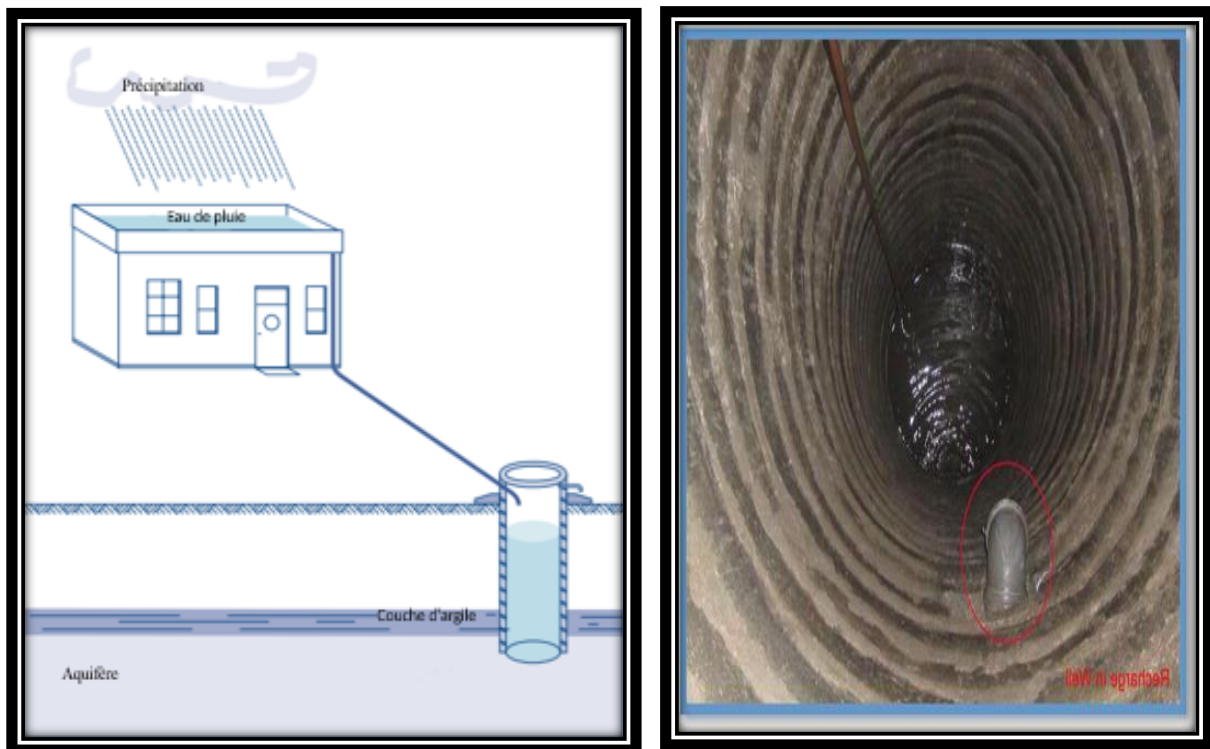


Fig. (10) : Recharge par puits creusé abandonné.

4.2 Indirect

4.2.1 Recharge induite

Il s'agit d'une méthode indirecte de recharge artificielle impliquant le pompage de l'aquifère, connecté hydrauliquement avec l'eau de surface, pour induire la recharge du réservoir d'eau souterraine. Lorsque le cône de dépression intercepte la limite de recharge de la rivière, une connexion hydraulique est établie avec la source de surface, qui commence à fournir une partie du rendement du pompage. Dans ces méthodes, il n'y a pas d'accumulation artificielle d'eau souterraine, mais seulement un passage de l'eau de surface vers la pompe à travers un aquifère. En ce sens, il s'agit plus d'une augmentation du pompage que d'une mesure de recharge artificielle (**Figure.11**) (Asano, 1985)..

Dans les zones de roche dure, les canaux abandonnés fournissent souvent de bons sites pour la recharge induite. Un déversoir de contrôle dans le canal d'un cours d'eau, situé en amont de la bifurcation du canal, peut contribuer à une infiltration élevée du réservoir de surface vers le canal abandonné lorsque des pompages importants sont effectués dans les puits situés dans le canal enterré. Le plus grand avantage de cette méthode est que, dans des situations hydrogéologiques favorables, la qualité de l'eau de surface s'améliore généralement grâce à

son parcours dans le matériau aquifère avant qu'elle ne soit rejetée par le puits de pompage. Pour obtenir de très grandes quantités d'eau à partir du lit d'une rivière, des dépôts du lit d'un lac ou de zones gorgées d'eau, on construit des puits collecteurs. Les grands débits et les faibles hauteurs de levage rendent ces puits économiques, même si le coût d'investissement initial est plus élevé que celui des puits tubulaires.

Dans les zones où l'aquifère phréatique adjacent à la rivière a une épaisseur limitée, les puits horizontaux peuvent être plus appropriés que les puits verticaux. Horizontaux peuvent être plus appropriés que les puits verticaux. Un puits collecteur avec des latéraux horizontal et des galeries d'infiltration peuvent obtenir plus de recharge induite à partir des puits collecteurs de cours d'eau. Construits dans des lits de nala saisonniers, ils peuvent être efficaces comme structures de recharge induite pour de courtes périodes seulement. Pour de courtes périodes seulement (Asano, 1985).

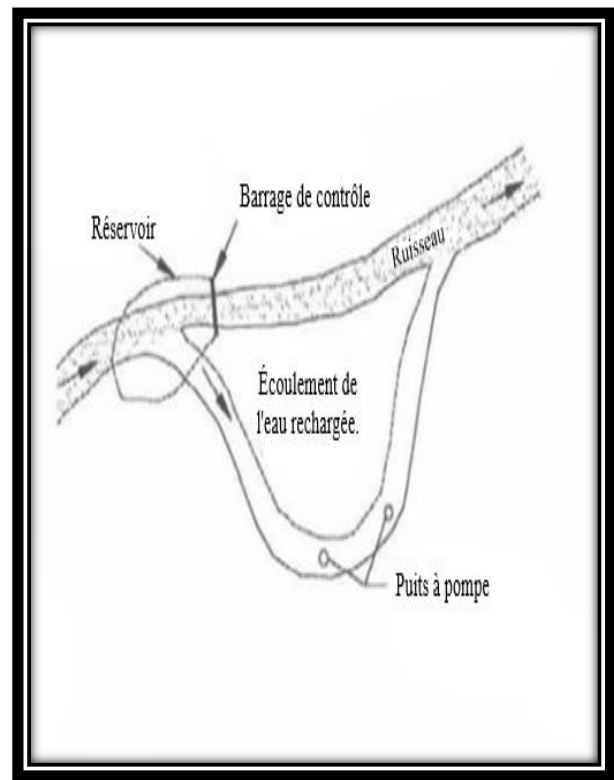
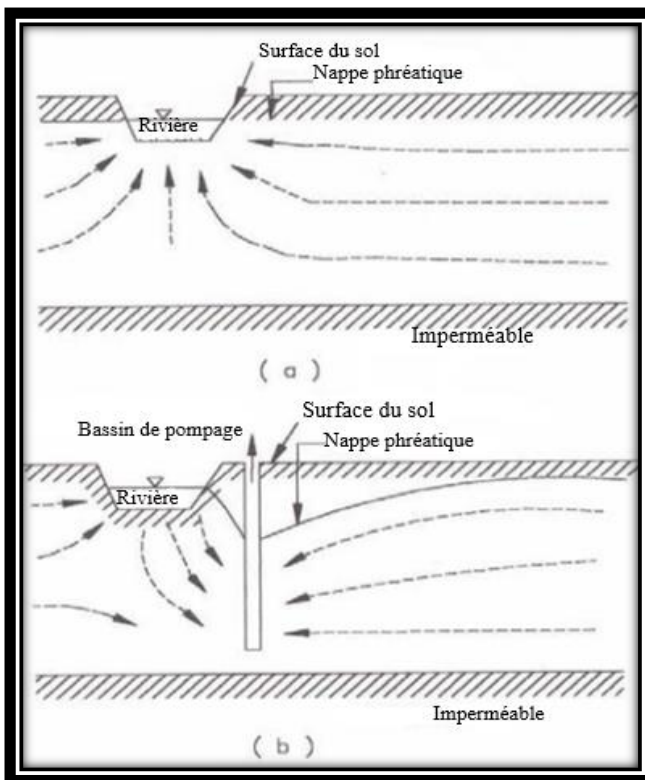


Fig. (11-A) : La recharge induite résultant du pompage .

D'un puits près d'une rivière.

(a) Modèle d'écoulement naturel.

(b) Schéma d'écoulement avec puits de pompage.

Fig. (11-B) : Recharge artificielle d'un canal enterré

4.2.2 Modification des aquifères

Les aquifères peuvent être modifiés par des structures qui empêchent l'écoulement ou par des techniques qui créent une capacité de stockage supplémentaire. Des barrières d'eau souterraine ont été construites dans de nombreux endroits pour obstruer et retenir l'écoulement des eaux souterraines.

Une tranchée est creusée en travers du lit de la rivière et remblayée avec un matériau relativement imperméable obtenu localement et donc peu coûteux. La barrière ne s'étend que partiellement à travers les dépôts alluviaux au-dessus du substratum rocheux afin de créer un effet de « remous » régulé, qui soutient les niveaux d'eau souterraine élevés résultant des pluies de mousson. Un cours d'eau intermittent a déposé des sédiments grossiers dans un environnement géologique contenant principalement de l'argile. Au printemps, lorsque le ruisseau s'écoule, l'aquifère du canal du ruisseau, qui a une capacité de stockage considérable, se remplit rapidement d'eau. Lorsque les mois secs arrivent, l'aquifère a été sévèrement épuisé par le débit du système. Pour remédier à la situation, une gravière abandonnée a été utilisée comme bassin collecteur pour améliorer la recharge de l'aquifère, et un barrage d'eau souterraine a été construit en argile à la base de l'aquifère du canal du ruisseau avec un puits installé en amont et à côté du barrage (Asano, 1985).

Ce barrage d'eau souterraine a suffisamment retardé le débit pour maintenir la capacité de stockage de l'aquifère, de sorte que les demandes en eau puissent être satisfaites pendant les périodes de plus grand besoin. La construction d'aquifères complets à petite échelle semble également réalisable.

En revêtant un canal de drainage naturel, en le remplissant de sable propre et uniforme et en le recouvrant d'un paillis de gravier pour le protéger de l'évaporation, on peut créer un aquifère artificiel qui fournira de l'eau filtrée par gravité avec un entretien minimal. Les facteurs les plus importants dans la construction d'un aquifère artificiel sont le choix d'un collecteur de drainage de taille appropriée, la conception d'une capacité de stockage adéquate et le choix d'une géométrie de réservoir qui minimise le colmatage (Asano, 1985).

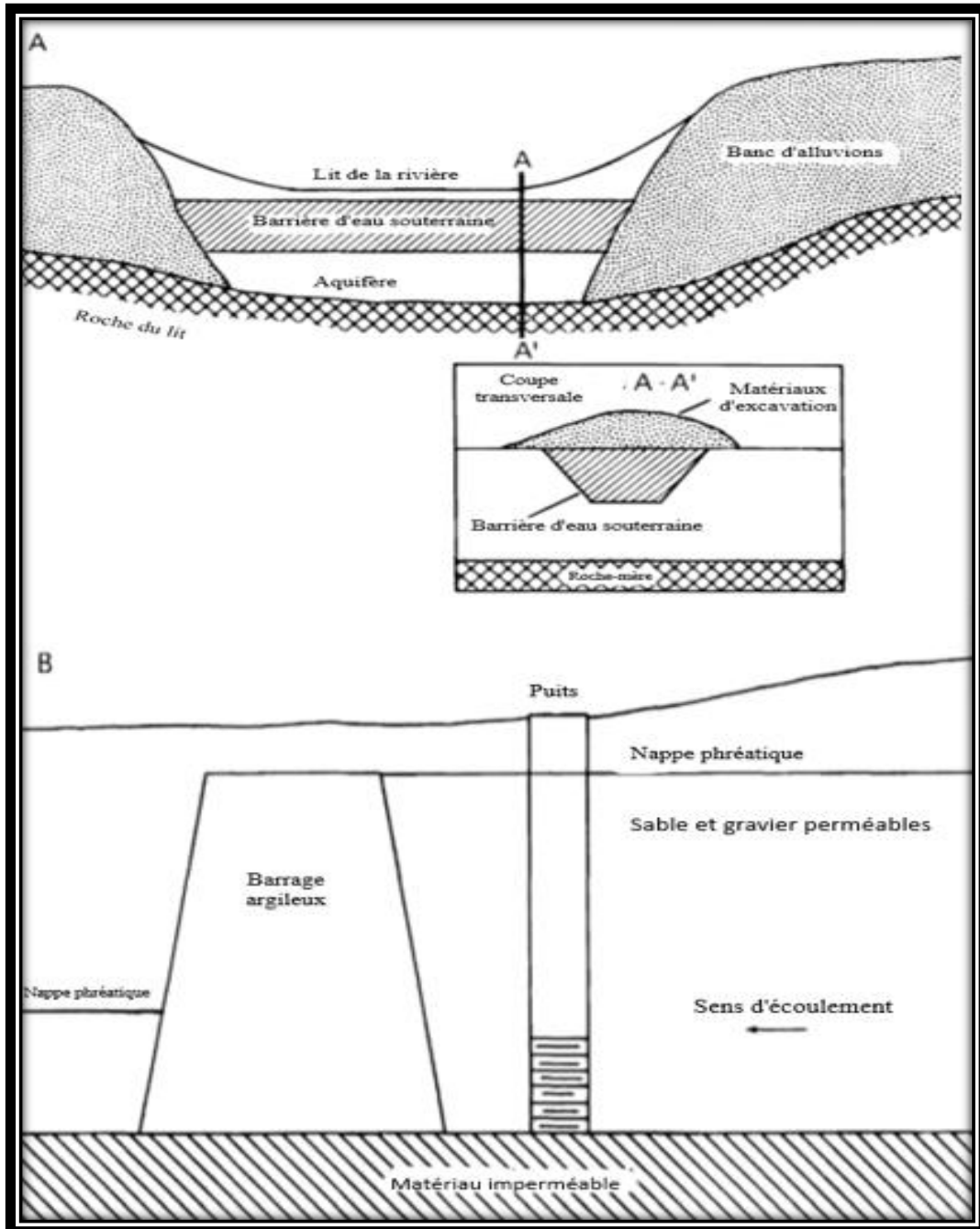


Fig. (12) : Exemples de barrières d'eau souterraine.
 (A) Conception utilisée en Inde (Ratnoparkhi,1978).
 (B) Conception utilisée dans le Dakota du Nord (Pettyjohn,1981) .

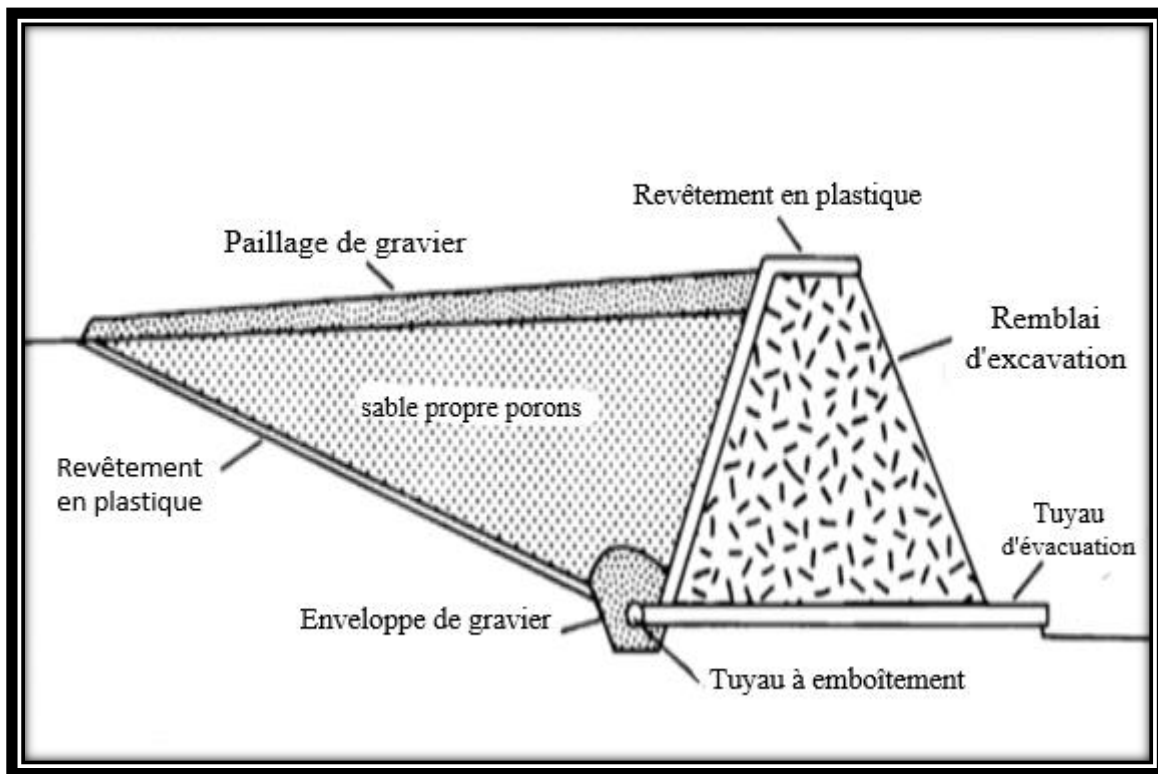


Fig. (13) : Construction d'un aquifère artificiel(Helweg et Smith,1978).

5. Typologie de la recharge artificielle par origine de l'eau (Casanova,2012)

5.1 Eaux de dessalement (Casanova,2012)

L'eau de mer ou les eaux saumâtres dessalées, nommées ici eaux de dessalement, sont une alternative développée pour la production d'eau potable, d'eau pour l'industrie ou d'eau pour l'agriculture. Ces eaux de dessalement peuvent également être utilisées en recharge artificielle de nappe. Initialement réservées aux pays énergétiquement riches, tels que l'Arabie Saoudite, les Emirats Arabes Unis ou Bahreïn qui produisent de l'eau potable à partir de l'eau de mer, les eaux de dessalement sont de plus en plus utilisées dans le monde grâce à l'amélioration des techniques de dessalement, et donc à la diminution de leur coût de production. Les procédés de dessalement peuvent être regroupés en deux grandes familles :

- Les procédés de distillation (ou d'évaporation)
- Les procédés membranaires (Guern *et al.*, 2003).

Leur utilisation pour la recharge artificielle reste actuellement très limitée par comparaison avec les eaux de surfaces, les volumes d'eau de dessalement sont moindres. Concernant les techniques de distillation, le volume d'eau de dessalement issu peut être plus

élevé lorsque celles-ci sont couplées entre elles (si des techniques de distillation à multiples effets et des techniques de compression mécanique de vapeur étaient couplées).

Les volumes des eaux de dessalement issues des techniques membranaires sont légèrement plus faibles. En raison des volumes relativement faibles produits et de leurs coûts extrêmement élevés, les eaux de dessalement ne sont quasiment jamais utilisées dans le cadre de dispositifs de recharge artificielle dont l'objectif est d'augmenter de manière significative le volume d'une nappe. Toutefois, la stabilité de la production de l'eau de dessalement peut être un argument dans certains pays arides en faveur de son utilisation comme une source d'eau de recharge secondaire dans le cadre des dispositifs de recharge dont l'objectif est quantitatif. Les techniques de production des eaux de dessalement donnent à ce type d'eau des propriétés chimiques particulières. La principale est que l'eau de dessalement est très peu minéralisée.

Dans le cas des eaux produites par distillation, l'eau a une teneur en sels dissouts généralement compris entre 5 et 30 mg. En raison de cette faible teneur en sel, ces eaux ne sont pas conformes aux normes de portabilité. Il est donc nécessaire de reminéraliser ces eaux, jusqu'à ce que leur teneur en sel soit proche de 300 mg. Cet apport peut être réalisé, par exemple, en mélangeant des eaux de dessalement et des eaux saumâtres, ce qui permet de diminuer les coûts de dessalement en augmentant les volumes de production et de valoriser les eaux saumâtres existantes. Dans le cas des techniques membranaires, les eaux de dessalement produites ont des teneurs en sels plus élevées, de l'ordre de 300 à 400.

5.2 Eaux de surface (Casanova,2012)

Dans les pays tempérés, où les précipitations compensent correctement les pertes par évaporation, les eaux de surfaces sont généralement abondantes et renouvelables. En conséquence, elles peuvent donc être utilisées dans le cadre des programmes de recharge artificielle dont l'objectif est principalement quantitatif.

Les variabilités interannuelles et saisonnières du cycle hydrologique sont essentielles à comprendre pour ce type de projet. Connaître la variabilité interannuelle est essentiel pour estimer correctement le volume d'eau de surface potentiellement utilisable dans le cadre de programme de recharge artificielle. Cela permet de déterminer les volumes d'eau pouvant être mis en jeu dans le cadre de ces pratiques en fonction des années (sèches vs humides), ce qui est particulièrement important dans le cadre des sites de recharge se situant dans des zones climatiques où la succession de plusieurs années sèches consécutives est possible

(bassin Méditerranéen par exemple). Malheureusement, il n'est pas rare que cette analyse se limite essentiellement au suivi du débit moyen, ce qui ne permet pas d'appréhender avec précision la variabilité du cycle hydrologique. En outre, la variation saisonnière des ressources en eau de surface est également à prendre en compte.

La forte variabilité entre les débits maximum et minimum au cours des années pour un même mois, montre que l'utilisation du débit moyen n'est pas pertinente pour gérer des dispositifs de recharge, car il faut tenir compte du débit minimum en dessous duquel le prélèvement du débit de la rivière n'est pas possible. Une évaluation mensuelle de la variabilité de ce type d'eaux de surface est donc essentielle afin de pouvoir les utiliser comme eaux de recharge (Pyne,2005). Dans le cas des eaux de surface temporaires, le cycle hydrologique est plus aléatoire et la disponibilité des eaux dépend d'évènements climatiques qui ne se mettent en place que quelques jours ou semaines dans l'année. Il est important de noter que la durée durant laquelle ces évènements climatiques sont susceptibles de se mettre en place peut varier en fonction des années. Historiquement, ce type d'eau de surface n'était que peu utilisé dans le cadre de la recharge artificielle en raison de son caractère transitoire. Récemment de nouveaux dispositifs, notamment d'injection directe, ont été développés afin d'utiliser ce type d'eau. Ces nouveaux dispositifs correspondent principalement aux dispositifs d'ASR développés dans les zones soumises à un climat méditerranéen, semi-désertiques et désertiques. Les eaux de surface possèdent des propriétés chimiques et microbiologiques qui impliquent que ces eaux de recharge ont en général une qualité supérieure à celles des autres types d'eau de recharge (eaux usées traitées). De ce fait, ces eaux peuvent être utilisées dans le cadre de dispositifs de recharge artificielle n'impliquant pas de phases de géo-épuration telle que les dispositifs d'injection directe ASR ou ASTR. Néanmoins, certaines eaux de surface peuvent posséder des propriétés chimiques et microbiologiques qui limitent leur utilisation dans le cadre des dispositifs de recharge (eaux de ruissèlement). Dans le cas des eaux de surface permanentes et temporaires, la principale limite est liée au fait que ces eaux peuvent posséder une concentration en matières en suspension (MES) élevée. Une eau de recharge à forte teneur en MES présente trois risques.

Le premier risque est d'ordre sanitaire et implique que les MES fournissent un substrat aux microorganismes, y compris pathogènes, facilitant ainsi leur développement. De plus, la présence de Mes limite l'efficacité des prétraitements potentiellement appliqués, tels que les traitements au chlore ou aux ultraviolets, pour détruire les microorganismes présents

dans les eaux de recharge. Il est en effet démontré que le maintien d'une teneur élevée en MES limite considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes.

Deuxièmement, la présence de MES implique des risques techniques en favorisant le colmatage des dispositifs de recharge. Troisièmement, la qualité des eaux de recharge peut être fortement altérée par la présence de MES car de nombreux contaminants et nutriments peuvent s'adsorber sur leur surface. En conséquence, l'utilisation d'eaux de surface riches en MES comme eaux de recharge peut induire une pollution des eaux de l'aquifère ciblé. Similairement aux critères quantitatifs, il est important de souligner que la qualité chimique et microbiologique de ces eaux de surface peut fortement varier en fonction du temps. La capacité d'utilisation de ces eaux de recharge est donc susceptible d'évoluer au cours du temps.

5.3 eaux urbaines usées traitées (Casanova,2012)

À l'heure actuelle, les eaux usées traitées sont utilisées au sein de dispositifs de recharge artificielle dans de nombreux pays. Très répandue dans les pays où la ressource en eau fait le plus défaut. Il est important de souligner qu'en France, l'article 24 du décret n° 94-469 du 3 juin 1994 et l'annexe n° 86 du rapport du Sénat sur la qualité de l'eau et de l'assainissement (sous la direction de Gérard Micquel, mars 2003) précisent que l'utilisation des eaux usées pour la recharge artificielle des aquifères est prohibée. Les volumes d'eau usée traitée sont légèrement plus élevés que ceux des eaux de dessalement, mais restent inférieurs à ceux des eaux de surfaces. Similairement aux eaux de dessalement, la production d'eaux usées traitées est relativement stable au cours du temps. Il est toutefois important de noter que la production d'eaux usées peut augmenter drastiquement lors des périodes touristiques dans les zones de villégiature. De ce fait, les eaux usées traitées sont généralement utilisées dans le cadre de dispositifs de recharge dont l'objectif est d'augmenter de manière significative le volume de la nappe aussi bien que dans ceux dont l'objectif est d'améliorer la qualité de l'aquifère. Différents types d'eaux usées traitées peuvent être définies suivant la nature des traitements qui leur sont appliqués. Il est possible d'identifier deux grands groupes de traitements :

- Les traitements classiques largement utilisés par les stations d'épuration.
- Les traitements supplémentaires qui sont généralement appliqués dans les projets de réutilisation des eaux usées traitées, dont la recharge artificielle. (Faby et

Brissaud, 1997).

Les traitements classiques et/ou supplémentaires, lorsqu'ils sont réalisés correctement, sont largement à même d'améliorer les qualités chimique et microbiologique des eaux usées. Par exemple, les traitements primaires et secondaires sont conjointement susceptibles d'éliminer de 50 à 99 % des virus entériques et des bactéries du genre *Salmonella* et des bactéries du genre *Giarda*.

Si ces traitements classiques sont suivis par un traitement supplémentaire, le taux d'élimination des virus entériques, des bactéries du genre *Salmonella* et *Giarda* sont proches de 100 % (Asano, 1998). Ces résultats montrent donc que l'abattement des microorganismes pathogènes au sein des eaux usées traitées est important, ce qui implique que ces eaux présentent une qualité microbiologique élevée, favorisant leur utilisation dans des dispositifs destinés à la production d'eau potable tels que les dispositifs de recharge.

Des résultats similaires sont obtenus dans le cadre de la qualité chimique des eaux usées traitées. L'analyse de 7 métaux traces et métalloïdes (*As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se*) au sein de stations d'épuration urbaines et mixtes (c-à-d. impliquant la présence d'industries, de quartiers résidentiels et/ou de zones agricoles) situées en ile de France (Baumont *et al.*, 2004) montre qu'en moyenne la concentration de ces métaux traces reste en dessous des normes fixées par la législation française (arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation) excepté dans le cas du *Ni* et du *Pb* dont les teneurs sont en moyenne légèrement plus élevée que les limites de qualité. Par exemple, les teneurs en *Pb* en sortie des stations d'épuration considérées peuvent atteindre jusqu'à 11 µg/l alors que la limite de qualité est de 10 µg/l. L'exemple du *Ni*, montre que ce contaminant trace a une teneur pouvant atteindre une valeur maximum égale à 35 µg/l.

Qui est supérieure de 15 µg/l à la limite de qualité. Les eaux de recharge présentent donc des teneurs en métaux traces et métalloïdes compatibles l'utilisation au sein de dispositifs de recharge pour la plupart des métaux. Les qualités chimique et microbiologique des eaux usées traitées peuvent encore être améliorées lorsque ces eaux sont employées dans des dispositifs de recharge impliquant une infiltration des eaux. En effet, la contamination des eaux par les métaux trace et les micros-organismes sont encore réduits, car ces dispositifs impliquent généralement l'immobilisation de ces contaminants dans la zone non saturée.

6. Quelques facteurs à considérer pour la recharge artificielle (O'Hare et al., 1986).

1. Disponibilité des eaux usées.
2. Quantité d'eau de source disponible.
3. Qualité de l'eau de source disponible.
4. Qualité de l'eau résultante (réactions avec l'eau native et les matériaux de l'aquifère).
5. Potentiel de colmatage.
6. Espace de stockage souterrain disponible.
7. Profondeur de l'espace de stockage souterrain.
8. Caractéristiques de la transmission.
9. Topographie — Méthodes applicables (injection ou infiltration).
10. Contraintes légales et institutionnelles.
11. Coûts.
12. Considérations culturelles et sociales.

6.1 Les factures de Recharge artificielle

Tous les aquifères ne peuvent pas être réalimentés artificiellement. Les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère, la nature de la nappe phréatique existante et les caractéristiques de l'eau de recharge peuvent avoir une influence majeure sur le résultat d'une opération de recharge (Spandre).

6.1.1 Facteurs géologiques

6.1.1.1 la porosité de l'aquifère

L'un des principaux facteurs affectant la recharge est la porosité de l'aquifère. La porosité doit être aussi élevée que possible. Et ce facteur dépend d'un coefficient d'uniformité, lorsque ce coefficient est faible, la porosité est élevée (Spandre).

6.1.1.2 Conductivité hydraulique d'un aquifère

La conductivité hydraulique est élevée, la recharge est très rapide. Les valeurs de conductivité hydraulique ont tendance à être élevées lorsque la granulométrie de l'aquifère est

importante. Cependant, une conductivité élevée signifie que la capacité d'un aquifère à nettoyer l'eau rechargée est faible. La recharge doit donc être effectuée avec de l'eau propre.

6.1.1.3 L'équilibre chimique dans l'aquifère est très important

Dans la plupart des cas, les matériaux de l'aquifère et les eaux souterraines sont en équilibre chimique. Et il faut veiller à ce que l'eau de recharge ne modifie pas cet équilibre (Spandre).

6.1.1.4 Les argiles ont tendance à être de bons échangeurs d'ions

Si l'eau de recharge a une teneur élevée en sodium, alors une floculation de l'argile peut se produire. Avec pour conséquence le blocage des pores. Il faut également noter que l'eau de recharge peut dissoudre les matériaux de l'aquifère, et qu'il faut faire particulièrement attention à la recharge dans les roches qui contiennent du carbone. Une attention particulière à la recharge dans les roches qui contiennent des carbonates (calcaire et dolomite), des sulfates (évaporites), des chlorures, des nitrates et des phosphates. (Évaporites), des chlorures et du fer (pyrite) en raison de leur forte solubilité dans l'eau (Spandre).

6.1.2 Facteurs hydrogéologiques

La recharge artificielle dépend des valeurs de transmissivité et de porosité, et l'uniformité de ces paramètres est très importante. L'aquifère récepteur doit être aussi homogène et isotrope que possible.

La vitesse de la recharge est directement proportionnelle à la transmissivité et au gradient hydraulique dans l'aquifère. Pour cette raison, la nappe phréatique ou la surface piézométrique doit être très bien définie. De sorte que la nappe phréatique ou la surface piézométrique de la dépression puisse être identifiée et utilisée pour optimiser les conditions de recharge (Spandre).

6.1.3 Facteurs physicochimiques

Les caractéristiques chimiques et physiques de l'eau souterraine et de l'eau de recharge ont un effet important sur les résultats de la recharge artificielle.

La compatibilité chimique, physique et biologique des deux types d'eau doit être étudiée car ces propriétés peuvent influencer grandement le colmatage de l'aquifère et donc le taux et la durée de la recharge.

6.1.3.1 Caractéristiques physiques

Les principales caractéristiques physiques à considérer :

- La température.
- Le PH.
- Matières solides dissoutes totales.
- Conductivité électrique.
- Couleur et odeur.

La température peut affecter la viscosité de l'eau, car ces deux propriétés sont inversement proportionnelles.

La conductivité hydraulique du sol est inversement proportionnelle à la viscosité de l'eau, cela signifie que l'eau froide s'écoule plus lentement dans l'aquifère que l'eau plus chaude. De plus, si la température diminue, la densité de l'eau augmente proportionnellement, ce qui entraîne une stratification thermique de l'eau dans l'aquifère. Cette stratification conduit à l'obstruction des pores et réduit l'infiltration de l'eau dans l'aquifère.

En raison de ces facteurs, il est toujours recommandé de réalimenter un aquifère avec une eau qui est plus chaude que l'eau souterraine ; les effets thermiques découlant de la recharge directe sont ainsi réduits, car l'eau de surface équilibre sa température avec celle de l'eau souterraine pendant l'infiltration dans la zone non saturée. Même la vie biologique (y compris les microorganismes et les bactéries) peut être affectée par les effets thermiques, aussi bien dans les zones non saturées et saturées([Spandre](#)).

6.1.3.2 Caractéristiques chimiques

Les principaux paramètres importants affectant la recharge artificielle sont le gaz dissout et les sels dissouts.

Le gaz dissout ou en suspension (air) a une double fonction chimique et physique à l'intérieur de l'aquifère.

La présence de petites bulles d'air à l'intérieur des pores peut provoquer le blocage de l'aquifère et réduire la percolation dans la zone non saturée.

L'oxygène présent dans l'air provoque des réactions d'oxydoréduction dans le sol qui peuvent précipiter chimiquement des composés qui bloquent l'aquifère, réduisant ainsi la qualité de l'eau.

L'oxydation peut détruire les organismes pathogènes, empêcher la lixiviation du fer et du manganèse et provoquer la précipitation des sels de fer dans les eaux souterraines.

Les réactions d'oxydoréduction augmentent la teneur en fer de l'eau en augmentant la solubilité du fer. Les différentes compositions chimiques et les niveaux de sels dissouts dans l'eau d'alimentation peuvent modifier l'équilibre géochimique, produisant des échanges d'ions avec la matrice aquifère et les eaux souterraines. Ces échanges d'ions précipitent des sels tels que des sulfures, des sulfates, des carbonates, et les hydrates. Ils peuvent provoquer un gonflement des argiles dû à l'échange entre le sodium et l'hydrogène, et la coagulation des particules d'argile en suspension dans l'eau. Ces processus réduisent généralement la porosité et diminuent la qualité de l'eau.

Une grande attention doit être portée à la concentration de microorganismes dans l'eau de recharge. Son contenu microbien est généralement plus élevé que celui de la nappe réceptrice. Ce qui peut entraîner une pollution de l'aquifère.

La capacité du sol à nettoyer l'eau de recharge est très élevée et est directement proportionnelle au temps de séjour de l'eau dans l'aquifère. Le temps de séjour, à son tour, est directement proportionnel à la distance d'écoulement souterrain et inversement proportionnel à la granulométrie de la matrice aquifère (Spandre).

7. Les avantages de la recharge artificiels (BIO fi678, 2843 advantages of artificial recharge while recharging rain and surface water)

- La recharge avec des eaux de surface moins salées ou des effluents traités améliore la qualité des aquifères salins, ce qui facilite l'utilisation de l'eau pour l'agriculture et l'élevage.
- La recharge des nappes phréatiques stocke l'eau pendant la saison des pluies pour l'utiliser pendant la saison sèche, lorsque la demande est la plus forte.
- Réduction de la vulnérabilité (sècheresse, variations des précipitations).
- La recharge peut augmenter le rendement durable en eau d'un aquifère dans de nombreux bassins fluviaux, le contrôle du ruissèlement des eaux de surface pour assurer la recharge des aquifères réduit les problèmes de sédimentation.
- Pendant la recharge, l'eau de pluie et l'eau de surface s'infiltrent dans le sol et percolent à travers les différentes formations géologiques et sont naturellement nettoyées.

- L'eau de l'aquifère peut être améliorée en la rechargeant avec de l'eau injectée de haute qualité.
- Certains projets de recharge artificielle peuvent proposer de capter les eaux de crue ou les eaux pluviales qui, autrement, s'accumuleraient dans des bassins peu profonds et seraient ensuite perdues par l'évaporation.
- Certains projets de recharge artificielle peuvent proposer de créer, ou gérer plus efficacement, des zones humides et des habitats. En construisant des bassins de collecte ou de rétention pour l'ode source, et en programmant les activités de recharge autour des périodes critiques, l'habitat, la faune peut être améliorée.

8. Les inconvénients de la recharge artificielle

En l'absence d'incitations financières, de lois ou d'autres réglementations visant à encourager les propriétaires fonciers à entretenir correctement les puits de drainage, ces derniers peuvent tomber en ruine et devenir, à terme, des sources de contamination des eaux souterraines (BIO fi678 , 2843 advantages of artificial recharge while recharging rain and surface water).

- À moins que des volumes importants soient injectés dans un aquifère, la recharge des eaux souterraines peut ne pas être économiquement réalisable.
- Il existe un potentiel de contamination des eaux souterraines par les eaux de ruissellement injectées, en particulier dans les champs agricoles et sur les routes. Dans la plupart des cas, l'eau de surface de ruissellement est prétraitée avant d'être injectée.
- La recharge peut dégrader l'aquifère si le contrôle de la qualité de l'eau injectée n'est pas adéquat.
- L'hydrogéologie d'un aquifère doit être étudiée et comprise avant la mise en œuvre de tout projet de recharge à grande échelle. Projet de recharge à grande échelle. En terrain karstique, les études par traceur colorant peuvent aider à acquérir cette connaissance.
- Pendant la construction des pièges à eau, les perturbations du sol et de la couverture végétale peuvent causer des dommages environnementaux dans la zone du projet.
- Dommages environnementaux dans la zone du projet.

9. Les objectifs de la recharge artificielle (Spandre).

- Le stockage saisonnier et la récupération de l'eau.

- Le stockage à long terme, ou la mise en réserve de l'eau.
- Le stockage d'urgence, ou réserve stratégique d'eau.
- Améliorer la production des champs de captage.
- Rétablir le niveau des eaux souterraines, remplacer le découvert.
- Augmenter les niveaux d'eau, réduire les coûts de pompage.
- Remplacer ou compléter les systèmes de distribution de surface ou système de distribution de surface ou part canalisation.
- Maintenir la pression et le débit du système de distribution.
- Augmenter la fiabilité du système pour la pression et le débit.
- Maintenir les lentilles flottantes d'eau douce.
- Reporter la construction ou l'expansion des installations d'eau.
- Arrêter ou réduire le taux d'affaissement de la surface du sol.
- Améliorer la qualité de l'eau souterraine en fonction des normes agricoles.
- Améliorer la qualité des eaux souterraines en fonction des municipales.
- Stockage de l'énergie thermique.
- Stabilisation des eaux agressives.
- Réduction des sous-produits de désinfection.
- Contrôle hydraulique des eaux contaminées.
- Réduction des nutriments dans les eaux de ruissèlement agricoles.
- Amélioration de la qualité des eaux de surface par le traitement du sol et de l'aquifère.
- Stockage des eaux recyclées pour leur réutilisation.
- Créer des barrières à l'intrusion d'eau salée pour arrêter, reverser ou empêcher l'intrusion.
- Compenser les pertes dues aux fuites de la barrière de salinité de surface.
- Réduire les effets environnementaux des détournements.
- Dérivations du débit des cours d'eau.
- Protection et restauration du débit des cours d'eau.
- Contrôle de la température de l'eau dans les écloséries.
- Contrôle des inondations.
- Mise en valeur des poissons et de la faune.
- Protection de l'habitat aquatique et riverain.

10. Conclusion

La recharge artificielle des eaux souterraines devrait augmenter dans le monde entier avec l'augmentation de la population. Les facteurs qui influent sur la disponibilité des ressources en eau sont les suivants l'augmentation de la demande d'eau alors que les ressources en eau restent limitées ; les changements climatiques potentiels ; le manque de sites de barrage adéquats pour le stockage de surface ; et la difficulté croissante de construire des barrages en raison d'objections sociales, environnementales, financières et autres. En outre, les barrages ne sont pas efficaces pour le stockage à long terme de l'eau en raison des pertes par évaporation.

La recharge artificielle, qui se traduit par l'utilisation conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines et le stockage souterrain à long terme ou la mise en réserve de l'eau, est préférable lorsque cela est possible. La recharge artificielle joue également un rôle important dans la réutilisation de l'eau, car elle offre des avantages en termes de qualité (traitement des sols et des aquifères) et des possibilités de stockage pour absorber les différences saisonnières entre l'offre et la demande d'effluents d'eaux usées récupérés. Lorsque les effluents d'eaux usées sont utilisés à des fins de consommation, la recharge et la récupération rompent le lien indésirable entre les toilettes et le robinet de la réutilisation de l'eau et permettent le mélange avec les eaux souterraines naturelles.

Cela améliore l'esthétique et l'acceptation par le public de la réutilisation de l'eau potable. La réutilisation de l'eau et le stockage des excédents d'eau en vue d'une utilisation en période de pénurie d'eau doivent également être de plus en plus utilisés pour faire face aux incertitudes climatiques futures et à leurs effets sur les réserves d'eau de surface et souterraine. La conception et la gestion des systèmes de recharge artificielle font intervenir des aspects géologiques, géochimiques, hydrologiques, biologiques et techniques.

En raison de l'hétérogénéité inhérente des sols et des formations souterraines, la planification, la conception et la construction de systèmes de recharge des eaux souterraines doivent se faire au coup par coup. D'eau souterraine doivent se faire au coup par coup, en testant d'abord les défauts fatals et la faisabilité générale, puis en procédant à des essais et à petite échelle jusqu'à ce que le système complet puisse être conçu et construit. Conçu et construit. Cette approche est particulièrement cette approche est particulièrement valable pour les grands systèmes, où les effets d'échelle sont généralement très importants et où de grandes sommes d'argent sont généralement impliquées. D'échelles sont généralement très

importants et que de grosses sommes d'argent sont généralement impliquées (Bouwer,2002).



Chapitre II :
Présentation de la
zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

1.1 Situation administrative

Gareat El Tarf est un bassin versant des hauts plateaux constantinois, fait partie des hautes plaines steppiques orientales, occupe une partie de superficie de deux wilayas Khenchela et Oum El Bouaghi, plus précisément dans cinq communes :

- ❖ Wilaya de Khenchela : Khenchela, El Hamma, Remila.
- ❖ Wilaya d'Oum El Bouaghi : Ain Zitoune, Oum El Bouaghi.

Administrativement, il se trouve également aux pieds de Djebel El Tarf qui culmine à 1.180 m au Nord-Ouest. À l'Est, il est limité par Bled El Meniri, au Sud par le douar de M'toussa, à l'Ouest par Henchir Goraï et au Nord par Djebel El Tarf et la plaine de Medfoune (DGFOB, 2005).

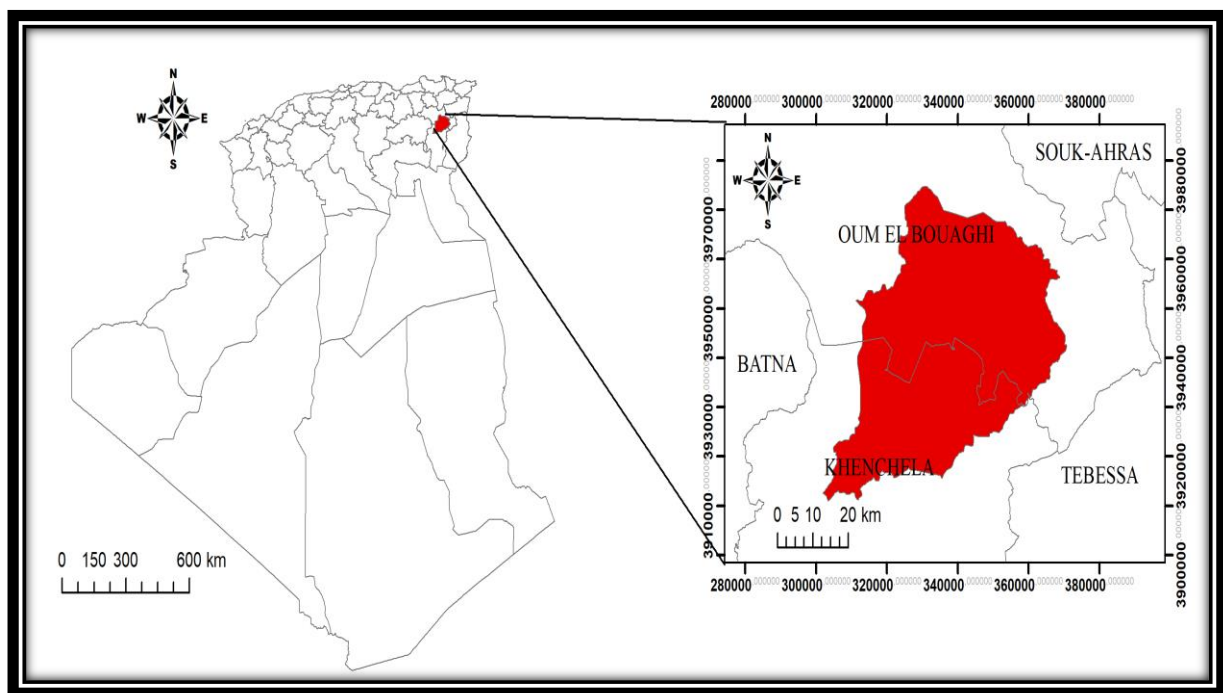


Fig. (14) : Situation administrative de la région d'étude.

1.2 Situation géographique

Le bassin de Gareat El Tarf est situé dans la partie nord-orientale de l'Algérie ; à l'extrême Est des hautes plaines steppiques entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud (massif des Aurès).

Le bassin est un large bassin qui s'étend sur 20 km de long et 15 km de large dont seulement le ¼ est en eau, une butte partage en deux le plan d'eau libre, peu important par rapport à l'encroutement de sel qui en occupe la plus grande partie (Dali, 2009).

Le bassin versant de Garaet El Tarf fait partie de l'ensemble des bassins versants des hauts plateaux constantinois. Il couvre une superficie de 2432 km². Il se situe entre les latitudes 35°22' et 35°56' N et les longitudes 6°49' et 7°34' E. le centre est jalonné par une dépression endoréique (Garaet) plus connue sous l'appellation de sebkha (lac salé) et qui couvre une superficie de 200 km² (Dali, 2009).

Les limites du bassin de ladite « Sebkhha » correspondent à :

- Au nord, la ligne de crête, de direction NW-NE des massifs de Sidi Reghis et Aamamet El Kebir.
- À l'Est, la ligne de crête, de direction NE-SW des massifs de DJ. Fedjidjet, Dj. Boutokhma, Tafrennt et Chettaia.
- Au Sud, la ligne de crête de direction SE-SW, des djebels Feraoun, Aurès, ail Aoud.
- À l'Ouest le talweg d'Oued Gueiss, DJ. Fedjoudj et DJ. Tarf (Dali, 2009).

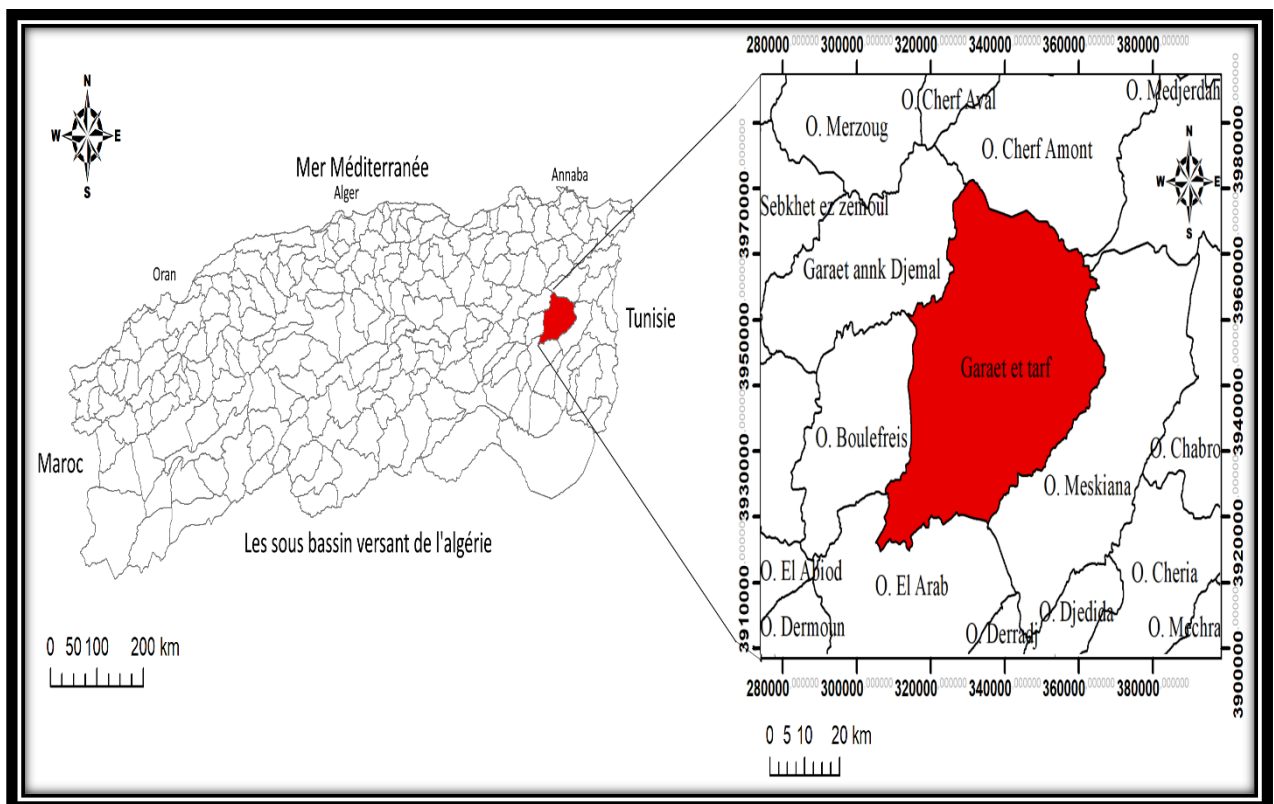


Fig. (15) : Situation géographique du bassin versant Garaet El Tarf.

2. Climat

Le climat est de type continental faisant partie de l'étage bioclimatique semi -aride à hiver froid avec une période de sécheresse de 5 à 6 mois, Il est transitoire, présentant un climat tempéré méditerranéen dans la partie nord, qui comprend le littoral et l'Atlas du Tell (étés chauds et secs, hivers humides et frais).

Tell Atlas (étés chauds et secs, hivers humides et frais); semi-aride avec des précipitations irrégulières et faibles sur un haut plateau dans le centre et aride désert avec des précipitations annuelles extrêmement faibles au-delà de l'Atlas saharien.

L'Atlas saharien. Les températures varient entre plus de 45 °C le jour et 5 °C la nuit (Chenaker et al.,2017).

3. Caractéristiques du réseau hydrographique

3.1 Hydrologie

Le site est alimenté par des eaux pluviales et de crues acheminées à travers des terrains agricoles. La sortie d'eau se fait uniquement par évaporation et d'une manière intense au cours de la saison chaude. Il est caractérisé par un chevelu hydrographique dense de chaâbets (ruisseaux) et d'oueds dont les plus importants. Ceux qui acheminent les eaux jusqu'au site sont les Pieds Faïd Souar, Faïd Medfoune, Nini, Isfer et Aïssour. Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime de ces cours d'eau, en particulier les précipitations qui agissent directement dans l'alimentation pluviale du bassin versant. Les eaux du site sont salées (DGFOB, 2005).

3.2 Réseaux hydrographiques

Le réseau hydrographique est peu dense, avec quelque cours d'eau permanent. Ils sont tous endoréiques et convergent vers Garaet El Tarf. En général, le Réseau hydrographique est représenté par :

- Oued Boulfreis : est un cours d'eau important dans le bassin versant. Il reçoit plusieurs oueds : Taarist, Melah, Meroui, Martoum et Taouzteni provenant du Flanc Nord de l'Aurès. Il est orienté SO-NE, il subit des déviations locales et passe par le chott El Maleh et se jette finalement dans le Garaet El Tarf (Dib,2018).

- Oued Gueiss : C'est un oued permanent qui ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il sort du Djebel Noughiss, il va se jeter dans la Garaet El Tarf sous le nom d'oued Marouf. Les affluents qui reçoivent dès l'Aurès sont nombreux.
- Oued El Hammam : sort du Kef El Biod (1815 m) par une étroite vallée sous le nom d'oued El Kissane, reçoit à quelques kilomètres de Khenchela la source chaude d'Aïn El Hammam, prend le nom d'oued El Hamma et débouche dans la Plaine par 1 m défilé de Foum Tfist près de la route de Khenchela et termine son parcours dans les chotts.
- Oued Baghai : prend source à Djebel Chellalaia, montagne isolée au sud-est de Khenchela après avoir servi travers la route Khenchela-Zoui-Tébessa, arrose la Plaine de Khenchela, Ksar Baghai et va se jeter dans la Garaet El Tarf ; il reçoit à gauche de petits affluents alimentés par des sources et qui sourdent du Djebel Chabor (1216 m).
- Oued Aimer, oued Aissaour, oued Nini et oued El Hassi, ces oueds prennent Sources successivement des massifs de Djebel Chettaia (1455 m), Djebel Knif (1224 m), Djebel Fedjidjet (1291 m) et Dj. Galaa (1135 m) et se déversent à Garaet El Tarf.

La partie nord du bassin versant est arrosée par des Faids (plaines inondées) : Faïd Abdalah Bou Lakhdar, Faïd El Madfoun, Faïd Tegouft et Faïd Somar (Dib,2018).

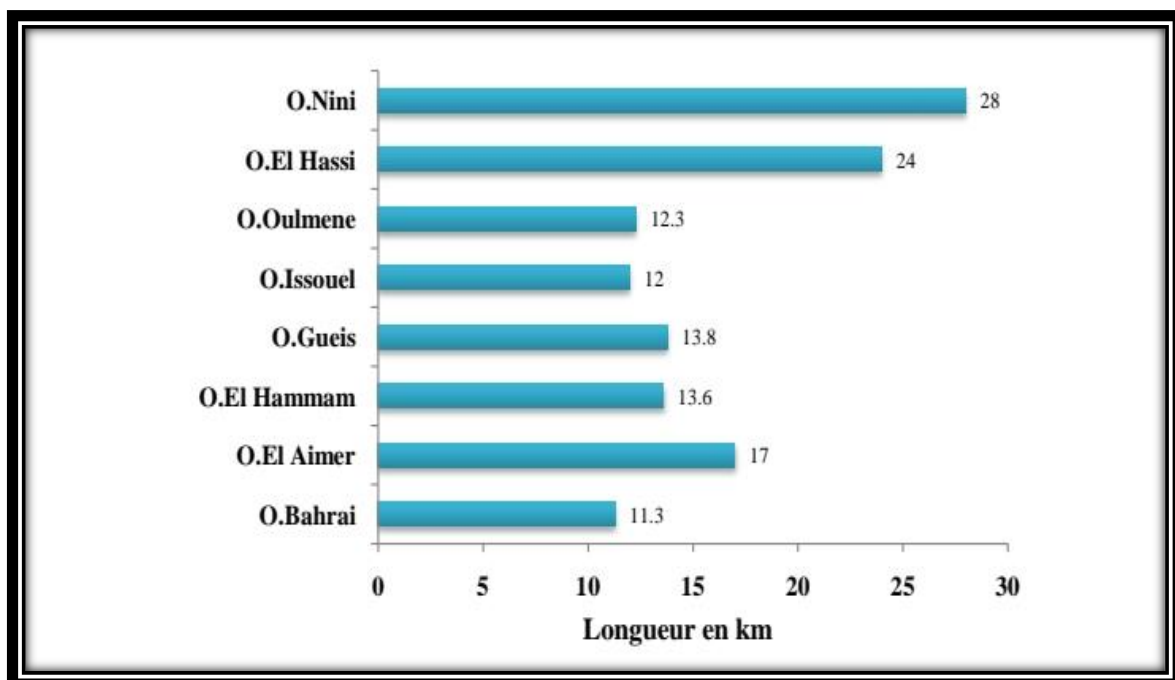


Fig. (16) : principaux oueds et leurs longueurs (ANRH).

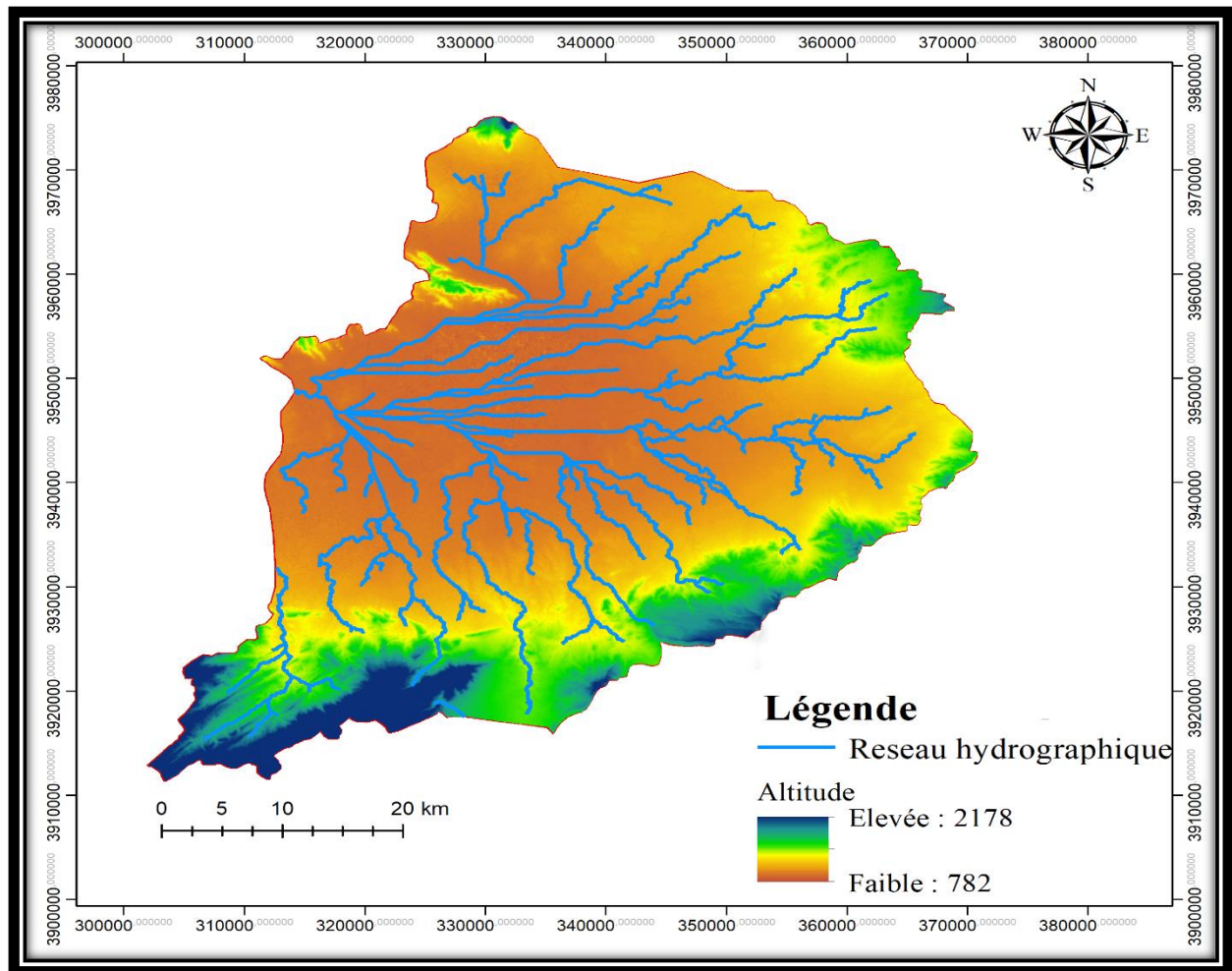


Fig. (17) : Réseau hydrologique de bassin versant Gareat El Tarf.

4. Le relief et le couvert végétal

4.1 Le couvert végétal

Cette zone est marquée généralement par le manque de diversité végétale à cause des conditions défavorables qui influencent la croissance des différentes herbes.

La végétation dans les plaines et les plateaux de basse altitude est de type steppique très clairsemé, en altitude, la région est boisée surtout de belles et de vastes forêts constituées essentiellement de chênes verts. De pin d'Alpes, genévriers, ifs, à partir de 1500 m des forêts de cèdres. Tout autour de la Sebka subsiste une végétation herbacée composée essentiellement d'Armoise Blanche et d'Atriplex (Dali,2009). La végétation ne trouve pas des conditions climatiques favorables pour sa croissance, la couverture végétale est xérophile (adaptée à

l'aridité), l'arbre est absent, seules les plantes steppiques comme le Diss (*Ampelodesma Mauritanica*). En revanche, les cultures de blé et de l'orge peuvent se faire sans irrigation sur ces vastes plaines.

4.2 Le relief

Bassin de Gareat El Tarf constitue une dépression endoréique très étendue et relativement élevée, environ 960 m, qui a reçu tous les apports d'érosion des reliefs environnants.

La géomorphologie du site est caractérisée par une topographie au sol plane sur l'ensemble de la plaine. Les bordures sud et nord du bassin sont marquées par des inclinaisons relativement importantes, conséquence d'une activité tectonique ayant affecté ces régions, permettent un écoulement superficiel plus important. Le massif des Aurès est la barrière montagneuse qui prolongeant les hauts plateaux de l'Atlas, marque brutalement sur sa surface sud, la zone saharienne grâce à sa haute position.

Trois grands ensembles géographiques caractérisent le relief de la zone d'étude :

- Les montagnes (35 % de la superficie de la wilaya) : à l'ouest de la wilaya se trouvent les plus hautes montagnes du massif des Aurès (avec le mont Chelia à 2328 m), dans la zone centrale les monts des Nememcha et, au Nord-Est les montagnes de Tafrent (Ain Touila).
- Les plaines : la plaine de Remila au Nord, les hautes plaines de Bouhmama et M'toussa à l'Ouest.
- Les parcours steppiques, sahariens et les chotts : au Sud, occupant près de la moitié de la superficie de la wilaya (49 %), ils sont constitués partis de terres sablonneuses avec, à l'extrême Sud, des dépressions (Chotts) et une zone dunaire.

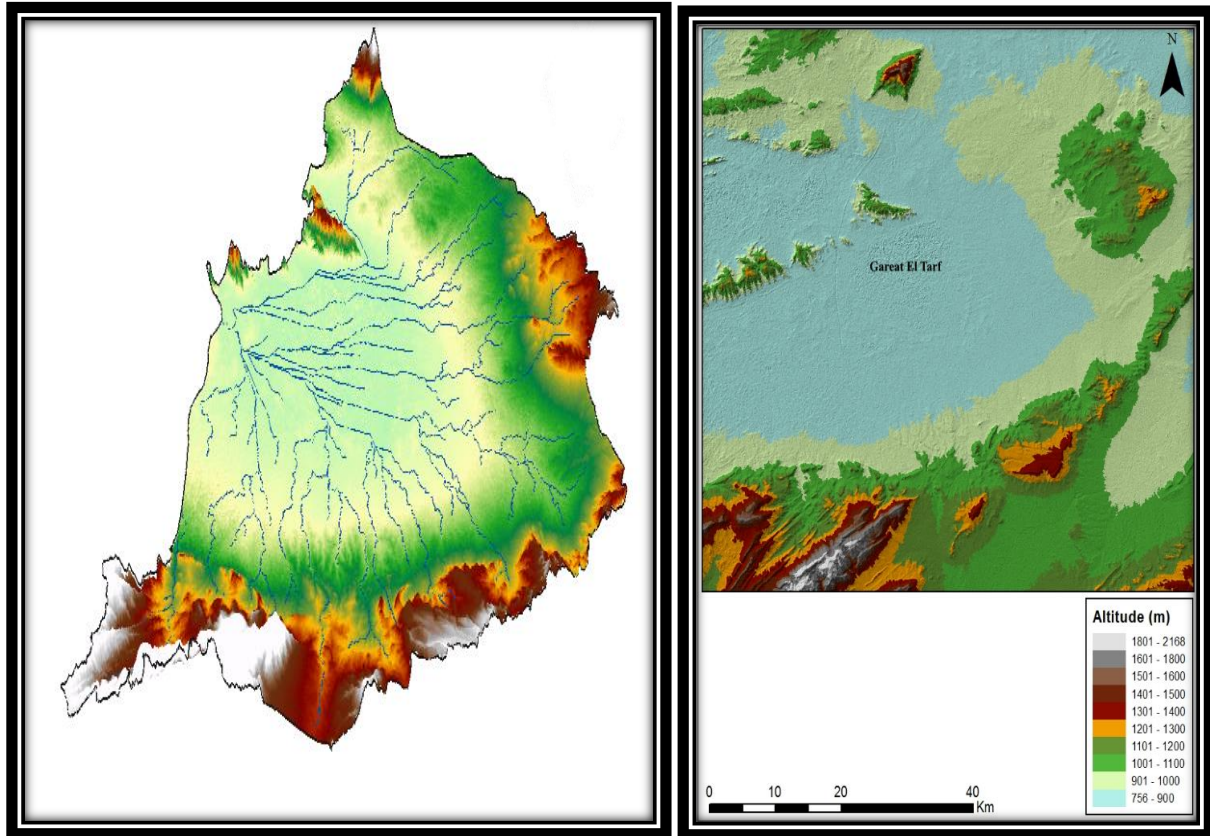


Fig. (18) : Le relief de bassin versant Gareat El Tarf.

5. Faune remarquable

Fournir des informations supplémentaires sur des espèces particulières et les raisons pour lesquelles elles sont remarquables (en complétant si nécessaire l'information fournie au point 12. Justifier l'application des Critères en indiquant, par exemple, les espèces/communautés qui sont uniques, rares, en danger ou importantes du point de vue biogéographique, etc., en fournissant des données de recensement. Ne pas ajouter ici de liste taxonomique des espèces présentes (DGFOB,2005).

Cette liste peut être fournie en tant qu'information complémentaire à la FDR. Dans le stade actuel des connaissances et en l'absence d'un inventaire exhaustif, les mammifères sont représentés par : (*Vulpes vulpes*, *Canis aureus*, *Lepus capensis* et *Rattus*, les amphibiens par *Bufo mauritanica* et *Bufo viridis*, les reptiles par *Acanthodactylus sp.* et *Emys orbicularis* et les

invertébrés par *Daphnia sp.*, *Artémia sp.*, et *Helix pyramidata*. Bien plus étudiée, l'avifaune est représentée par *Tadorna tadorna* et *Phoenicopterus ruber roseus* **tableau (1)**.

Plusieurs tentatives de nidification de flamant rose ont été signalées par les riverains, mais les œufs seraient prédatés.

Tableau. (1) : Dénombrement des oiseaux d'eau entre 1971 et 2004.

Espèce \ Année	71	75	77	78	79	82	89	2001	2003	2004
<i>Canard colvert (Anas platyrhynchos)</i>	23		5	2			80			
<i>Sarcelle d'hiver (Anas crecca)</i>	75			4						
<i>Canard chipeau (Anas strepera)</i>						1				
<i>Canard siffleur (Anas penelope)</i>	6.000			270			525			
<i>Canard pilet (Anas acuta)</i>	250		14	56			250			
<i>Canard souchet (Anas clypeata)</i>	250		69	28			320			
<i>Fuligule morillon (Aythya fuligula)</i>	20									
<i>Oie cendrée (Anser anser)</i>			22							
<i>Tadorne de Belon (Tadorna tadorna)</i>	4.500		348	2.520		1		57		10.000
<i>Foulque macroule (Fulica atra)</i>	1.000									
<i>Flamant rose (Phoenicopterus ruber)</i>	5.000		340	15			260	26	28.000	1.500
<i>Grue cendrée (Grus grus)</i>	950	180			412		21		7.000	
Total	17.818	180	798	2.895	412	2	1.456	83	35.000	11.500

(DGFOB,2005)



Fig. (19) : Quelques espèces d'oiseaux qui se trouvent dans la zone d'étude.

6. Cadre morphométrique

6.1 Les sous-bassins

Notre région elle appartient au quatre sous bassin, comportant leurs caractéristiques, telles que le périmètre, la superficie, la largeur, la longueur...

Comme le montre le tableau.2 ci-dessous :

Tableau .2 : les caractéristiques morphométriques de Bassin versant Gareat El Tarf.

Grand bassin versant	Code	Bassin versant	Sous bassin versant	Périmètre de bassin versant (ha)	Surface du bassin versant (ha)	Sup fortement sensible à l'érosion (ha)	Longueur de bassin versant (km)	Largeur du bassin versant (km)
Hauts Plateaux Constantinois	0707	Garaet El Tarf	Oued Faid Souar	62,38		2138,26	22,83	8,36
			Oued Faid Medfoun	47,7	8270		19,63	4,21
			Oued Isfer	81,74	24 193		33,69	7,18
			Oued Nini	107,78	50 275		41,89	12
Totale		65104,00	2138,26		165 104,00	2138,26	4942,00	4060,94

(DFOB 2017)

7. Aperçu socio-économique :

7.1 Démographie :

Dans son ensemble, le bassin possède un caractère rural prononcé : la densité moyenne est de 110 Habitants au km (ONS 2010). Le tiers de la population vit dans des communes rurales. Deux espaces s'opposent :

– Les limites Nord et Sud du bassin, qui comprennent les principales villes (Khenchela ;

Kais, Ain Beida et Oum El Bouaghi, constitue les agglomérations de taille importante

[> 100Hab/km²] et l'essentiel de l'industrialisation ; le reste de la partie intérieure du bassin, à dominante rurale.

7.2 Principales activités :

La population active au niveau du bassin de Gareat El Tarf est évaluée à 40 % de la population totale. Répartie comme suit : 41 % dans l'agriculture, 10 % dans l'industrie, 11 % dans les travaux de bâtiment, 38 % dans les services. La majorité de la population active des wilayas de Khenchela et Oum El Bouaghi travaille dans le domaine agricole.

Tableau . 03 : Distribution de la population par commune au niveau du bassin de Gareat El Tarf.

N	Wilaya	Commune	Type de Commune	Nombre d'habitants	Superficie [Km2]	Densité [hab/km2]
1	Khenchela	Khenchela	Urbaine	130 580	32	4081
2		Kais	Urbaine	34 560	56	617
3		Remila	Rurale	6710	243	28
4		Tamza	Rurale	9470	385	25
5		El Hamma	Urbaine	12 370	168	74
6		Ensigna	Rurale	9020	163	55
7		Baghai	Rurale	7110	136	52
8		M'toussa	Rurale	6290	118	53
9		Ain Touila	Rurale	16 590	302	55
10	O.E. Bouaghi	O.E. Bouaghi	Urbaine	68 841	390	177
11		Oued Nini	Rurale	5432	129	42
12		El Djazia	Rurale	2672	132	20
13		F'Kirina	Rurale	13 083	217	60
14		Zorg	Rurale	2025	130	16
15		Ain Beida	Urbaine	114 711	34	3374
16		Berriche	Rurale	6230	223	28
17		Ain Zitoun	Rurale	7275	493	15
Total				338 258	3351	106

(ONS 2010)

7.3 Agriculture :

Les principales spéculations des périmètres irrigués au niveau du bassin de Gareat El Tarf, sont les céréales, fourrage et culture maraichers. Le mode d'irrigation est soit gravitaire ou par aspersion soit goutte à goutte comme il est le cas dans le périmètre de Remila.

7.4 Industrie :

Le tissu industriel est pauvre concentré dans grandes agglomérations [Khenchela, Oum El Bouaghi et Ain Beida]. Les renseignements recueillis sont récapitulés dans le **tableau (04)**. Toutes ces unités ont traversé des périodes plus au moins difficiles.

Tableau.04: principales unités industrielles au niveau du bassin de Gareat El Tarf.

Wilaya	Commune	Caractéristiques	
		Nom	Nature/Type
Khenchela	Khenchela	Draperie de l'Est [Ex — ELATEX]	Tissage, finissage Laine et mélange
	Khenchela	SARL Ait Hadj Mhand	Fabrication carreaux granito
	Tamza	SONAREM	Production du ciment baryté
Oum El Bouaghi	Ain Beida	SARL EL KIMA	Production de boissons gazeuses
	Ain Beida	Limonaderie ZAZIA	Production de boissons gazeuses
	Ain Beida	UMP3	Transformation de bois
	Ain Beida	Complexe Filature Laine	Filature
	Oum El Bouaghi	ERIADB	Semoulerie, Minoterie

(Dali,2009)

7.5 Artisanat

De même manière que dans le reste de l'Algérie l'artisanat traditionnel a beaucoup perdu de son importance dans les wilayas de Khenchela et Oum El Bouaghi du fait de l'évolution du mode de vie [habillement, chaussures, objets et ustensiles ménagers]. Cependant, certaines professions ont gardé quelques activités, et sont même appelées à se développer sensiblement dans les années à venir (Dali, 2009).

- Fabrication des tapis : les tapis de Nemencha, en haute laine provenant des troupeaux ovins locaux, sont réputés pour la vivacité de leurs couleurs et la discipline de leurs dessins géométriques. Cette activité est localisée surtout dans la daïra d'Ain Touila (Dali, 2009).

- Bijouterie artisanale : la fabrication artisanale des bijoux comporte une certaine variété de Bijoux en or et en argent, de poids et de dimensions différents. Cette activité se trouve dans presque toutes les communes du bassin de Gareat El Tarf. Notant que la fabrication des bijoux en or progresse sensiblement plus vite que celle des bijoux en argent (Dali, 2009).
- La poterie en continu dans quelques familles, surtout dans les communes rurales. Cette Production est peu commercialisée (Dali, 2009).

7.6 Tourisme

Le bassin de Gareat El Tarf dispose d'un potentiel touristique naturel important et varié, une chaîne géologique exceptionnelle au Sud-est, des montagnes Auréssiennes, les forêts de cèdres considérées comme les plus belles du bassin méditerranéen.

Hamman Essalihine est situé dans la commune d'El Hamma, site touristique et thérapeutique, à 7 km du chef-lieu de la wilaya, la date de son exploitation remonte à l'époque Romaine. La station compte deux piscines en plein air, l'une rectangulaire mesurant 14 mètres de long sur 10 mètres de large et la seconde circulaire de cinq mètres de diamètres et plusieurs dizaines de chambres (Fig.20).

La température de ses eaux avoisine le 70 ° degré, sa composition chimique lui confère des propriétés thérapeutiques indiquées pour les maladies rhumatismales, respiratoires et dermatologiques. Elle dispose de 40 cabines pour bain thermal, de 5 piscines, elle enregistre jusqu'à 700 000 visiteurs, situé dans une région forestière au climat particulier, c'est un lieu de prédilection pour les nombreux touristes. Piscine romaine circulaire, vestige réhabilité. À ce merveilleux paysage naturel allié au vestige antique où se situe la station thermale de Hamman Essalihine, s'ajoutent d'innombrables structures d'accueil existantes ou programmées dans le cadre de projets d'investissement (Dali, 2009).



Fig. (20) : Les piscines de Hamman Essalihine.



***Chapitre III :
Cadre Géologique.***

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous donnons un bref aperçu du contexte géologique générale de la région de Garaet El Tarf et nous présentons l'importance de la géologie dans toute recherche hydrologique et Hydro chimique ; par conséquent, la pétrographie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle important dans la qualité de l'eau et la formation des sols en raison de l'érosion et de la dissolution des minéraux présents dans les roches et en quantités. L'eau s'écoule ou s'infiltré selon le type de terrain.

À partir de l'étude géologique du bassin de Garaet El Taref, nous pouvons connaître les formations et structures susceptibles de former des réservoirs et estimer leur importance et leurs capacités ainsi que la géométrie des niveaux aquifères.

La géologie de la zone d'étude est étudiée en référence à d'anciens ouvrages géologiques par de nombreux géologues tels que : (Laffitte, 1939), ces travaux sur Aurès, (CGG ,1969) uniquement des travaux de recherche géophysique. La plupart dans le delta de la Remila (Guiraud ,1973) étudie le bassin de Hodna et ses environs régions (Vila ,1977), (Betier ,1951), Algérie carte géologique 1/500 000,00 (Vila ,1977) et (1980) voir la carte Khenchela, la carte Douffana, la carte Garat et Taraf et la carte Boulehilet à l'échelle 1/50 000 publiées en (1977) et ces travaux sur les Alpes Algérie (Benazouz ,1984), Office (1986), ces travaux sont basés sur des sédiments successifs près de la partie nord du canal du Sahara (Houha ,1996).

2. Cadre général

Le bassin de Garaet El Tarf, situé au Nord est du territoire Algérien, occupe une partie importante de la superficie des deux wilayas : Oum El Bouaghi et Khenchela. Selon la nouvelle structuration des unités hydrologiques en Algérie, le sous-bassin appartient au bassin versant des hauts plateaux constantinois et au complexe du Constantinois-Seybouse-Mellègue.

Le sous bassin, est situé au contact du Tell et des Aurès, c'est une zone de transition entre la montagne (petits massifs montagneux isolés) et la plaine, il s'allonge du nord au pied du versant sud de djébel Sidi R'Ghis et djébel Tarf sous forme de collines constituées par des dépôts colluviaux qui descendent en pente atténuée vers la dépression.

Le sud du sous-bassin, au pied des contreforts du massif de l'Aurès, est dominé à l'Ouest par le mont de Ras Sardhoun et à l'Est par l'Oued Baghaï et la sédimentation tertiaire est essentiellement marneuse, probablement du créacé supérieur.

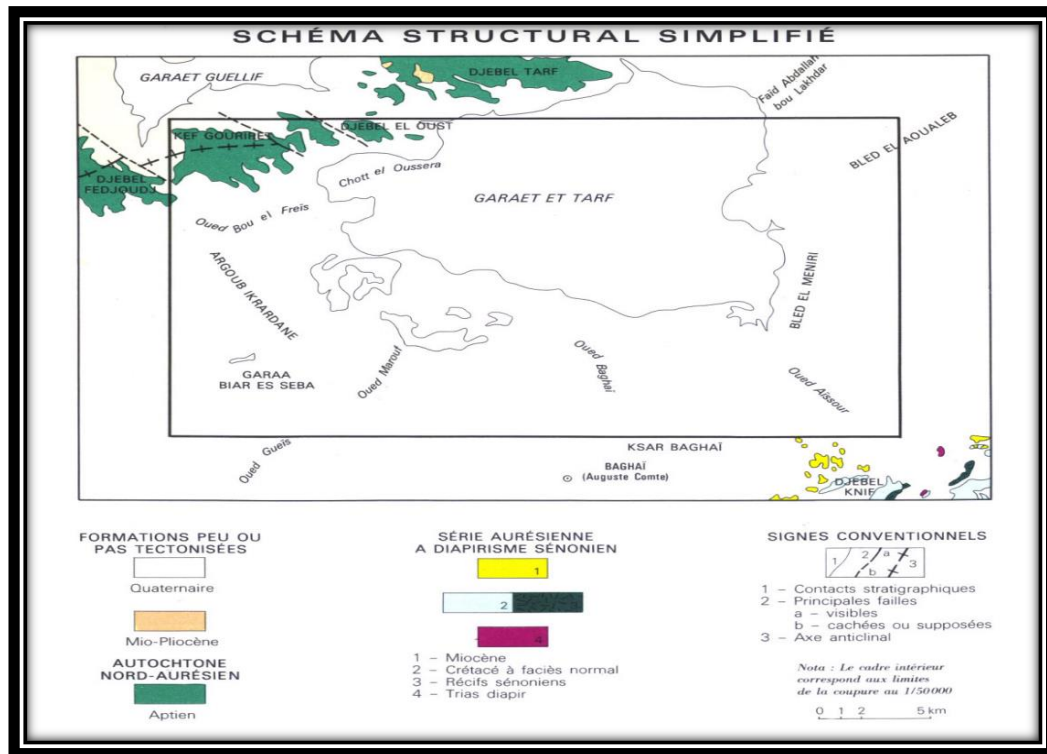


Fig. (21). Carte géologique de la zone Gareat El Tarf (d’après J. M. VILA).

2.1 La série stratigraphique

D’après les études antérieurement réalisées par plusieurs géologues dans la région (Laffitte ,1939 ; Herkat ,1982 ; Marmi, 1995 et Guiraud ,1997), l’inventaire stratigraphique dressé a révélé que les séries les plus anciennes affleurantes dans le secteur sont attribuées au Trias. Les dépôts les plus récents sont d’âge quaternaire.

La lithostratigraphie a été tirée pour l’essentiel, des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000 ; Khenchela, Gareat El Tarf, Oum El Bouaghi, Ain El Beida, F’kirina, Gareat El Tarf, Delâa et la carte géologique de Constantine 1/200 000, et des coupes géologiques.

2.1.1 Trias

Masse chaotique qui fait toujours saillie dans une position inhabituelle, on la retrouve sous forme de points ou d’arcs très localisés de part et d’autre des grands plis (Ghandriche, 1991). Le site affleurements rocheux du trias sont assez nombreux et très autochtones près de Khenchela où il est isolé de Miocène.

Du Crétacé, sur une bande de 4 à 5 km de long et de 300 à 400 m de large et, sur les Djebels El Krouma et Knif en contact inhabituel avec l'Albien, le Cénomaniens et le Sénonien. La chaîne du trias était probablement constituée initialement, de la racine au sommet : d'une épaisse formation évaporitique, notamment sous forme d'amalgames fortement plissés, le gypse représentant la preuve la plus sûre de la présence du trias. Le plâtre est le plus souvent rencontré, sous forme d'amas saccharoïdes durs et gris-blanc ou sous forme de gros cristaux (Laffitte, 1939 et Vila, 1977).

L'abondance de sel qui caractérise ce surplomb, se retrouve dans les diapirs de Khenchela et de Krouma, mais cela est dû, non pas aux particularités du trias précoce de cette zone, mais au fait que, comme ce point est le post-Miocène récent, le sel n'a pas le temps de se dissoudre, alors qu'en d'autres points, pré miocène, il a disparu depuis longtemps (Laffitte, 1939).

L'argilite nodulaire est de couleur pourpre et rouge, « lie-de-vin », rarement jaunâtre à verdâtre ; elle est liée à du sel et à du gypse fibreux. Formant les roches les plus abondantes dans les affleurements rocheux saillants, les passes calcaro dolomitiques, de couleur gris bleuté à légèrement noir, sont souvent nettement stratifiées et parfois avec quelques glissements morphologiques, souvent des paquets fermés dans des complexes de trias (Marmi, 1995).

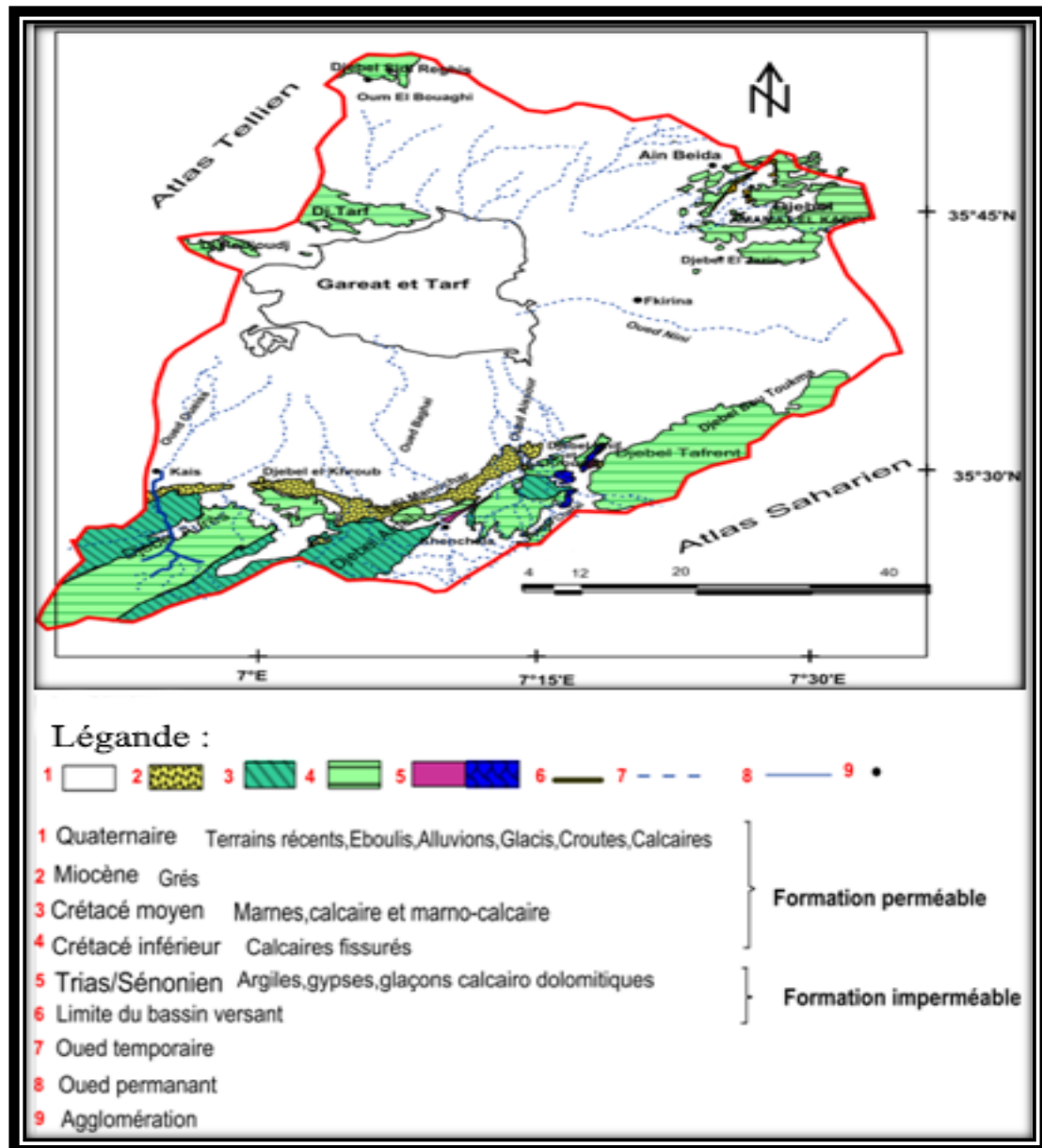


Figure. (22). Lithologie du bassin versant de Gareat El Tarf, à partir de (Vila,1977).

2.1.2. Crétacé

Les formations du Crétacé se sont largement développées dans la zone d'étude et ses environs. Elles constituent l'épine dorsale de la zone. Il correspond à une bande de direction

presque SW-NE, formée principalement de calcaires et de marnes. Laffitte a divisé le Crétacé en deux ensembles distincts, sur la base des critères faciologiques comme montrer le **tableau (05) : les deux catégories de crétacés.**

Crétacé inférieur	Crétacé supérieur
(Barrémien, néocomien, Aptien et Albien), correspond à une unité lithologique d'importance régionale. Il affleure au sud du bassin de Timgad à DJ. 30 Azreg des Aurès, à DJ. Chelia, à l'anticlinal de Khenchela. On le rencontre sur l'axe de DJ. Bouarif, Fedjoudj et Tarf au nord.	(Cénomaniens, turonien, Coniacien, Santonien, Campanien et Maestrichtien).

2.1.2.1 Crétacé inférieur

2.1.2.1.1 Barremien supérieur

Prédominance du grès il s'agit d'une série essentiellement composée de grès blanc fin, à ciment argileux carbonaté, à tendance quartzitique. Leur base n'est visible qu'au sud du Djébel Touzzeline.

2.1.2.1.2 Aptien

Affleure beaucoup plus dans les Aurès et dans l'avant-pays atlasique en général (Marmi, 1995). Il est caractérisé par deux ensembles lithologiques distincts :

- **L'aptien marneux (inférieur) :** Au sidi Reghis l'aptien marneux est représenté par environ 100 m de marne gris noir à débris schisteux et à mince intercalation de marneux calcaire gris à cassure noire.
- **L'aptien supérieur :** calcaire bien lité à orbitoline. Ces couches forment l'essentiel de la masse calcaire de djébel Sidi Reghis et de djébel Tarf. Au djébel sidi Reghis la série est épaisse d'environ 250 à 300 m.

Au niveau de la coupe géologique prise au Djébel El-Krouma, nous avons la séquence suivante : marnes gypsifères et calcaires sombres sur bancs métriques alternant avec des marnes

beiges de bas en haut. Son épaisseur dépasse les cinquante mètres. Seuls quelques bancs de grès quartzeux sont visibles sur le versant nord-ouest du Djebel Sidi Reghiss.

2.1.2.1.3 Albien (Crétacé moyen)

L'Albien est mieux représenté dans tous les anticlinaux de l'Aurès et du khenchela (marne, dolomie, grès) ; et de djébel Krouma. L'albien entoure l'anticlinale de khenchela en formant une ceinture au-dessous de l'aptien. Ces caractères impliquent des mouvements d'affaissement du fait du dépôt d'une sédimentation épaisse 300m dans un fond ne dépassant pas 200 m. Il se présente généralement sous un faciès gréseux ou alternent, à la base et au sommet, des marnes, des dolomies et des bios parités.

Au niveau de la coupe géologique prise à djébel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut :

- Marnes gypseuses.
- Calcaires sombres en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètres.

Sur le versant nord-ouest du djébel Sidi Reghiss, seuls quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles ([Vila, 1977](#)).

2.1.2.1.4 Crétacé supérieur

Au point de vue répartition géographique, le Crétacé supérieur affleure sur une grande aire dans le massif aurésien ([Marmi, 1995](#)).

2.1.2.1.5 Cénomaniens inférieurs (Woodbinian)

Il est présent dans tous les anticlinaux des Aurès, et essentiellement calcaire marneux. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs, mais peu épais, qui sont entrecoupés de marnes gris-bleu ou beige, d'épaisseur variable pouvant atteindre (500 à 600 m).

2.1. 2.1.6 Turoniens

Le Turonien occupe une grande partie de la zone dans les Aurès il est à noter que les généraux cénomaniens et turoniens sont très similaires ([Marmi, 1995](#)).

Il est à dominante marneuse avec des niveaux de calcaires marneux en plaquettes bitumineuses. La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marne calcaire

blanchâtres en plaquettes fines à cassure noirâtre. Au-dessus 200 m de marnes grises ou noires montrant des intercalations de marne calcaire blanchâtres (Vila, 1977).

2.1.2.1.7 Turonien (moyen et supérieur)

Il s'agit d'alternances de marnes gris-beige et de calcaires en bancs métriques.

La prédominance des intercalations de calcaires crée une barre très visible dans la morphologie.

2.1.2.1.8 Coniacien

Au djébel Knif, sous la discordance des formations brèchiques Santoniennes ; le coniacien est formé à la base par 90 m d'alternances de marnes beiges ou grises et de calcaire gris au-dessus au djébel Bardo (Ain Beida) des talwegs isolés montrent sur une centaine de mètres, des formations formation composée majoritairement de marnes grises alternant avec des calcaires noduleux beiges.

2.1.2.1.9 Santonien

Visible à proximité de JebelKnif. Il correspond à 250 m de marnes gris bleuâtre avec à la base et au sommet de la marne des bancs décimétriques riches en débris d'inocéram. Il repose en discordance sur les argiles multicolores du Trias et sur le Coniacien. Ces formations antoniennes contiennent des algues et des débris rudistes ainsi que des fragments d'hippurites. À la base des formations récifales contiennent une microfaune pélagique.

2.1.2.1.10 Campanien (marnes et calcaires crayeux)

Le Campanien est bien visible autour du djébel Chettaa et du djébel Knif. Et le synclinal du djébel Aurès le campanien correspond à 170 m de marnes noires et contient de rares intercalations de calcaires légèrement phosphatés. Au djébel Knif, à la base du Campanien, on trouve une séquence de calcaires de 12 m d'épaisseur. Ce sont des calcaires crayeux en bancs décimétriques avec des éléments triasiques remaniés (argiles varicolores). Au-dessus les marnes noires ne dépassent pas 80 m d'épaisseur (Vila, 1977).

2.1.2.1.1.1 Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé en

Maestrichtien inférieur à dominante marneuse ce sont des formations atteignant une épaisseur estimable à 40 m. se sont des marnes de teinte gris-beige à débris de mollusque, alternant avec des calcaires ocre, beige en bancs décimétriques à débris de lamellibranches, d'échinides et de brachiopodes, Inocéramesrégularis (Vila, 1977).

Maestrichtien supérieur (calcaire à Inocerames) ce sont des formations calcaires, massives blanchâtres, granuleuses, en berges décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique près du djébel Knif, la cassure des calcaires est un peu plus foncée de teinte grise, bleue, au contraire du djébel Bardo et du djébel Boutoukhma, les formations d'une centaine de mètres, ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à plurimétriques avec une cassure blanchâtre passée noduleuses et à rognons de silex. Ces formations contiennent des fragments d'inocérâmes. L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m (Vila, 1977).

2.1.3 Éocène

2.1.3.1 Yprésien et Thanetien

Ces formations sont d'épaisseur approximative à 85m présente une séquence marneuse gris beige à la base et une séquence carbonatée au sommet. Les roches sont bitumineuses elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés (Vila, 1977).

2.1.3.2 Montien

Formation d'une épaisseur de 70 m. Présentant des marnes gris verdâtre. En concordance sur le maestrichtien (Vila, 1977).

2.1.4 Miocène

Du point de vue lithologique la chaîne du Miocène est composée

2.1.4.1 Miocène supérieur

2.1.4.1.1 Tortonien gréseux blanc

Il se dispose en chenaux hectométriques et cette formation est composée des grès blancs grossiers en bancs plurimétriques à abondantes dragées de quartz (leur diamètre atteint 2 cm) et rares intercalations argileuses.

2.1.4.1.2 Tortonien supérieur continental

Une épaisseur d'environ 150 mètres, elle est représentée par des argiles limoneuses beiges et rouges, du grès cette formation affleure autour de Baghai (compte d'aout) sont visibles ici (August compte) sont ici visible.

2.2.4.2 Miocène inférieur

2.2.4.2.1 Aquitano-Burdigalien (conglomérats rouges)

L'épaisseur ne dépasse pas 60 à 80 m il s'agit que cette série se développe surtout au sud d'Ain Hammam. Quelques minuscules affleurements de cette formation ont été repérés sur le versant sud du Djébel Guellif. C'est une formation continentale rouge, formée de conglomérats, d'argiles rouges, de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires, d'argiles silteuses rouges et de rares marnes.

2.1.4.2.2 Langhien-Serravalien

C'est le terme moyen, correspond à une formation marine à niveaux biomicritiques et biomicrosparite et grés blancs et complexes et discordants est visible au sud de djébel Knif et à l'Est de djébel Chettaa ou il repose directement en transgression sur le trias et surtout au nord du Kef Tifkressa et du Ras Serdoun l'épaisseur de cet ensemble est de 36 m.

2.1.5 Le Mio-pliocène

Il s'agit d'un remplissage des paléoreliefs. Au sud de djébel sidi Rhélis se rencontre l'une des rares formations moi-pliocène connu dans la région. Elle est connue au niveau de Argoub Kemellal et elle est représentée de bas en haut par :

- Des sables jaunes avec des passées argileuses.
- Des calcaires lacustres en barres métriques qui se suivent jusqu'à Ain Beida.
- Des argiles varient colorent de plus de 10 m d'épaisseur.

2.1.6 Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont la couverture blanche dans la région d'étude. Ces formations sont d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces. Ils se sont développés essentiellement dans les parties bordant les massifs montagneux.

On y rencontre des éboulis à blocs, éboulements et glacis polygéniques. Dans les zones basses telles les vallées et les sebkhas. Si l'épaisseur générale ne dépasse pas la moyenne des quelques mètres, le quaternaire est connu sous différents aspects en fonction du lieu de gisement de la formation. (Villa ,1977).

Il couvre la quasi-totalité de la plaine et est présenté par :

➤ **Sebkha de Gareat El Tarf**

La lithologie est singulièrement marquée par d'importants affleurements triasiques, des formations calcaires résultant du Quaternaire et du Maastrichtien supérieur et de conglomérat du Miocène. Le sol, constitué par des limons et des argiles, est déstabilisé par la présence de sel qui disperse ses éléments de sorte qu'il perd totalement sa structure initiale pour donner des structures à faible perméabilité. La sebkha n'est recouverte qu'épisodiquement, après des périodes pluvieuses, par une faible tranche d'eau (quelques mètres au maximum dans les secteurs les plus déprimés) qui subsiste quelques semaines ou quelques mois. Dès l'assèchement de la cuvette, les sédiments fraîchement déposés sont emportés par le vent (phénomène de déflation) ou recouverts par une mince pellicule saline résultant de l'évaporation des eaux superficielles ou souterraines (Vila, 1977).

➤ **Formations dunaires lunette (Qd)**

C'est un agglomérat sableux de poussière et de petits débris qu'on trouve au côté nord-est de Gareat et Tarf (Vila, 1977).

Il s'agit d'accumulation peu élevée de poussières, de sables fins et de petits débris coquillers. Ces dunes sont anciennes, car elles sont actuellement ravinées ou fouées par une maigre végétation herbacée.

➤ **Sols salés**

Se rencontrent aux alentours des chotts sous forme de vastes espaces plats surélevés exceptionnellement inondés. S'y développent des croutes de sels épisodiques. Ce sont d'anciens sols hydromorphes salés.

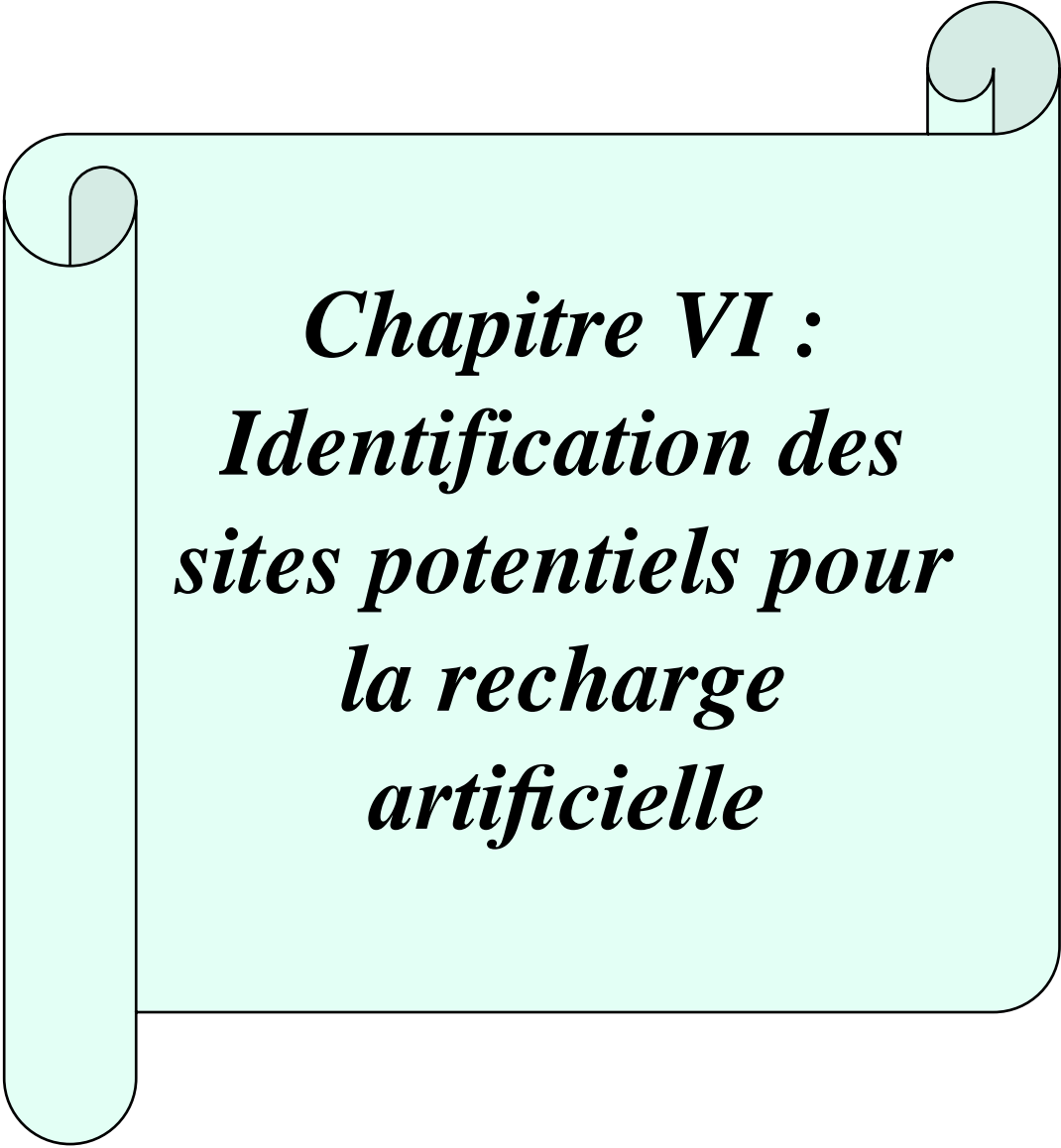
Tableau. (06) : Log hydrogéologique du bassin versant de Gareat El Tarf (DALI. N., 2009).

Ère	Système et sous-système		Étage et sous-étage	Lithologie	Épaisseur (m)	Lithologie	Hydrologie	Type de réservoir
Quaternaire	Quaternaire		Récent	Limons et graviers	2 -30		Perméable	Réservoir du Mio-quaternaire
			Ancien	Galets graviers et sables	20 -50		Perméable	
Tertiaire	Miocène	Sup	Tortonien sup	Argile et grés	150		Perméable	Substratum
			Tortonieninf	Grés grossiers	300		Perméable	
		Inf	Langhienserravalien	Marne	36		Perméable	
			Aquitano-burdigalien	Argile silteuse	60 - 80		Imperméable	
	Éocène		Thanétien à yprésien	Marne à la base et carbonate au sommet	146		Imperméable	
	Montien			Marne	70		Imperméable	
Secondaire	Crétacé	Sup	Maastrichtien sup	Calcaire à cassure	150		Perméable	Réservoir du Maastrichtien sup
			Maastrichtien inf	Marne	40		Imperméable	Substratum
			Campanien	Marne et calcaire	92		Semi — perméable	Réservoir du Campanien
			Santonien	Marne	250		Imperméable	Substratum
			Coniacien	Marne et calcaire	150		Semi — perméable	Réservoir du Coniacien
			Turonien moy et sup	Marne et calcaire	50		Imperméable	Substratum
			Turonien basal	Marno — calcaire À cassure	200		Imperméable	
		Moy	Cénomannien inf	Marne	500-600		Imperméable	
			Albien	Marne et calcaire	80		Semi-perméable	Réservoir d'albien
		Inf	Aptien sup	Calcaire à orbitoline	50		Imperméable	Substratum
			Aptien inf	Marne	100		Imperméable	
Trias			Dolomie ; gypse ; marne	30		Imperméable		

3. Conclusion

Nos connaissances géologiques sur la zone d'étude sont largement inspirées des travaux et études et synthèses régionales sur le massif des Aurès, sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont porté sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structuraux (Laffitte, 1939 ; Guiraud, 1973 ; C.G.G, 1969 ; Vila, 1977 ; Houha, 1996 et 2007) et nous ont donc permis d'obtenir des résultats sur la formation géologique diversifiée du bassin versant de Gareat El Tarf et nous pouvons dire que la zone d'étude est essentiellement constituée par :

- **Quaternaire** : Le quaternaire est connu sous différents aspects en fonction du lieu de gisement de la formation (les zones basses telles les vallées et les sebkhas). Ces formations occupent d'importantes surfaces de la plaine (agrégats, poussières, sables fins et de petits débris, limons, des graviers et des galets). Ces horizons perméables.
- **Le crétacé inférieur** : Leur base n'est visible qu'au sud du Djebel Touzzeline (Nord de la plaine) avec une dominante gréseuse et une série essentiellement composée de grès blanc fin, à ciment argilo carbonaté, à tendance quartzite.
- **Le Miocène** : Il est constitué de trois faciès différents : le miocène inférieur ou moyen à biomicroites gréseuses ou glauconieuses organogènes puis le miocène marin composé de couches rougeâtres à débris d'Ostréidés du djébel Guellif et le Tortonien composé de grès blancs grossiers en bancs avec rares intercalations argileuses ; cette formation affleure aux alentours de Baghai ; il est perméable.
- **Crétacé supérieur** : Maastrichtien supérieur : calcaire à inocérame constitue l'élément essentiel de la partie sud et ouest de la région : formations calcaires massives blanchâtres et granuleuses en bancs centimétriques et décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique près du Djébel Knif. (calcaire, massif blanchâtre, granulaire) ; la cassure des calcaires est un peu plus foncée de teinte grise, bleue, au contraire du Djébel Bardo et du Djébel Boutoukhma, ce niveau assez épais (d'une centaine de mètres), ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à plurimétriques avec une cassure blanchâtre passé nodulaire et avec des rognons de silex ces formations contiennent des fragments d'inocérames, l'épaisseur de ces formations ne dépasse pas 95 m. (perméable pour les calcaires à cassure).



Chapitre VI :
Identification des
sites potentiels pour
la recharge
artificielle

1 . Introduction

L'eau souterraine est une ressource naturelle vitale ; elle est considérée comme un facteur majeur dans le développement des régions urbaines, industrielles et rurales dont la demande ne cesse de croître. Les eaux souterraines représentent environ 34% de la totalité de la source d'eau douce annuelle dans le monde (Boufekane et al.,2019) Ils ont la principale source d'eau potable pour près de deux milliards de personnes. (Gleason et al., 2010).

Ces dernières années, la demande en eau a augmenté de manière intensive, principalement dans les régions arides et semi-arides du monde, notamment au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, entraînant un déficit de ces importantes ressources naturelles. La diminution du niveau de l'eau (surexploitation) due à l'activité humaine (activités industrielles et agricoles, urbanisation) et au changement climatique augmentent la demande sur les ressources en eau souterraine (Tiwari et al.,2017).

Le bassin versant de Garaet El Tarf situé à l'est des hauts plateaux constantinois présente des conditions typiquement semi-arides où les précipitations n'atteignent pas les 400 mm/ans. Par conséquent, une grave pénurie d'eau est observée au cours des dernières années sous la surexploitation des nappes d'eaux souterraines afin de satisfaire les besoins en eaux destinés à l'AEP et à l'irrigation. Par conséquent, la recharge artificielle des eaux souterraines est devenue une considération cruciale pour la région.

Cette étude visait à développer une méthode d'évaluation multicritères basée sur le SIG pour cartographier les sites potentiels de recharge des eaux souterraines dans le bassin versant de Garaet El Tarf. La méthode d'évaluation multicritères tient compte des conditions de la source d'eau, de l'infiltration ; de la recharge ; des conditions de stockage de l'aquifère ; les conditions environnementales et des facteurs tels que la lithologie, la densité de drainage, la pente, la texture du sol, la profondeur d'eau et l'occupation du sol.

2. La méthodologie

Une méthodologie a été proposée dans la présente étude pour la délimitation des zones de recharge artificielle et l'identification de sites possibles pour la recharge artificielle dans le bassin versant de Garaet El Tarf en utilisant des techniques de télédétection, SIG et les techniques de prise de décision multicritères (MCDM). Cette méthodologie proposée pourrait être utile aux décideurs concernés et aux hydrogéologues praticiens dans la planification et la gestion efficaces des ressources vitales en eaux souterraines.

Afin de délimiter les zones de recharge artificielle dans la zone d'étude un ensemble de données multiparamétriques issues de plusieurs sources ; Carte géologique (Khenchela Oum El Bouaghi), carte des sols de l'est algériens, MNT de 30 M de résolution (earthexplorer.usgs.gov) et logs stratigraphiques des forages couvrant la zone d'études et les données climatologiques ont été utilisés. En outre, afin de réaliser les cartes thématiques des différentes zones d'étude et la carte finale l'environnement SIG ArcGis 10.3 (ESRI Inc) a été utilisé.

2.1 Paramètres influençant la recharge artificielle

Sept couches thématiques ; Lithologie (L), Densité de drainage (D) ; précipitation (R) ; texture du sol (S) ; la pente (Sp) ; profondeur d'eau (P) et occupation du sol (Os) ont été considérés pour la délimitation des zones de recharge artificielle.

La carte de recharge potentielle des eaux souterraines est le résultat de la superposition de ces sept paramètres en fonction de leur importance et de leur impact sur l'infiltration des eaux. L'indice de recharge potentielle des eaux souterraines (indice partiel) est calculé en multipliant l'influence de notation et poids de chaque paramètre selon l'équation suivante : proches méthodologique :

Indice partiel = poids × notation

$$\text{Indice partiel} = (L_p \times L_n) + (D_p \times D_n) + (R_p \times R_n) + (S_p \times S_n) + (S_{pp} \times S_{pn}) + (P_p \times P_n) + (O_{sp} \times O_{sn}).$$

Où :

- L, D, R, S, Sp, P, Os** se sont les sept paramètres.
- P** = Poid.
- n** = Notation.

- Cette approche est basée sur une technique de prise de décision multicritères, développée à l'origine par (Saaty,1987).

2.2 Attribution des pondérations

Pour délimiter la carte des zones de potentiel des eaux souterraines de la zone d'étude, les cartes des sept couches thématiques ont été reclassées et superposées avec une superposition pondérée dans le logiciel ArcGIS 10.3. Le poids de chaque paramètre a été calculé sur la base de poids normalisé en utilisant la matrice de corrélation par paire selon (Igwe *et al.*, 2020). Les poids PRindex sont assignés de 1 à 5 selon l'importance des couches thématiques. Les poids normalisés et attribués sont présentés dans **le tableau7**.

Tableau. 7 : Paramètres de poids de la recharge potentielle des eaux souterraines.

Symbole	Paramètre	Poids
L	Lithologie	5
D	Densité de drainage (Km/Km ²)	4
R	Précipitation (mm)	3
S	Texture du sol	3
Sp	La pente (%)	2
Os	Profondeur d'eau (m)	2
W	Occupation des sols	1

Tableau .8 : Attribution des notes pour les paramètres utilisés pour les zones potentielles de recharges artificielle.

Symboles	Paramètres	Poids	Classe individuel/fonctionnalités	Notation	Notation Poids
Sp	La pente (%)	2	10-12	1	2
			7-10	3	6
			4-7	5	10
			2-4	7	14
			0-2	9	18
W	Profondeur d'eau (m)	1	>10	3	3
			7-10	6	6
			5-7	7	7
			2-5	8	8
R	Précipitation (mm)	3	300-400	4	12
			400-500	5	15
			500-600	7	21
L	Lithologie	5	Argile	1	5
			Mano-calcaire	2	10
			Argile conglomérat	3	15
			Calcaire fissurée	8	40
			Grés	6	30
Os	Occupation des sols	2	Zone bâties	1	2
			Zone d'élevage et nue	3	6
			Arbres et végétation	5	10
			Zone irriguée	7	14
			Surface d'eaux	9	18
D	Densité de Drainage (Km/Km2)	4	>2	2	8
			1,5-2	4	16
			1-1,5	6	24
			0,5-1	8	32
			0-0,5	10	40
S	Sol	3	Sol salin	1	3
			Roche mère	2	6
			Sol calcaire	3	9
			Sol alluviaux basique	5	15
			Sol calcique	7	21

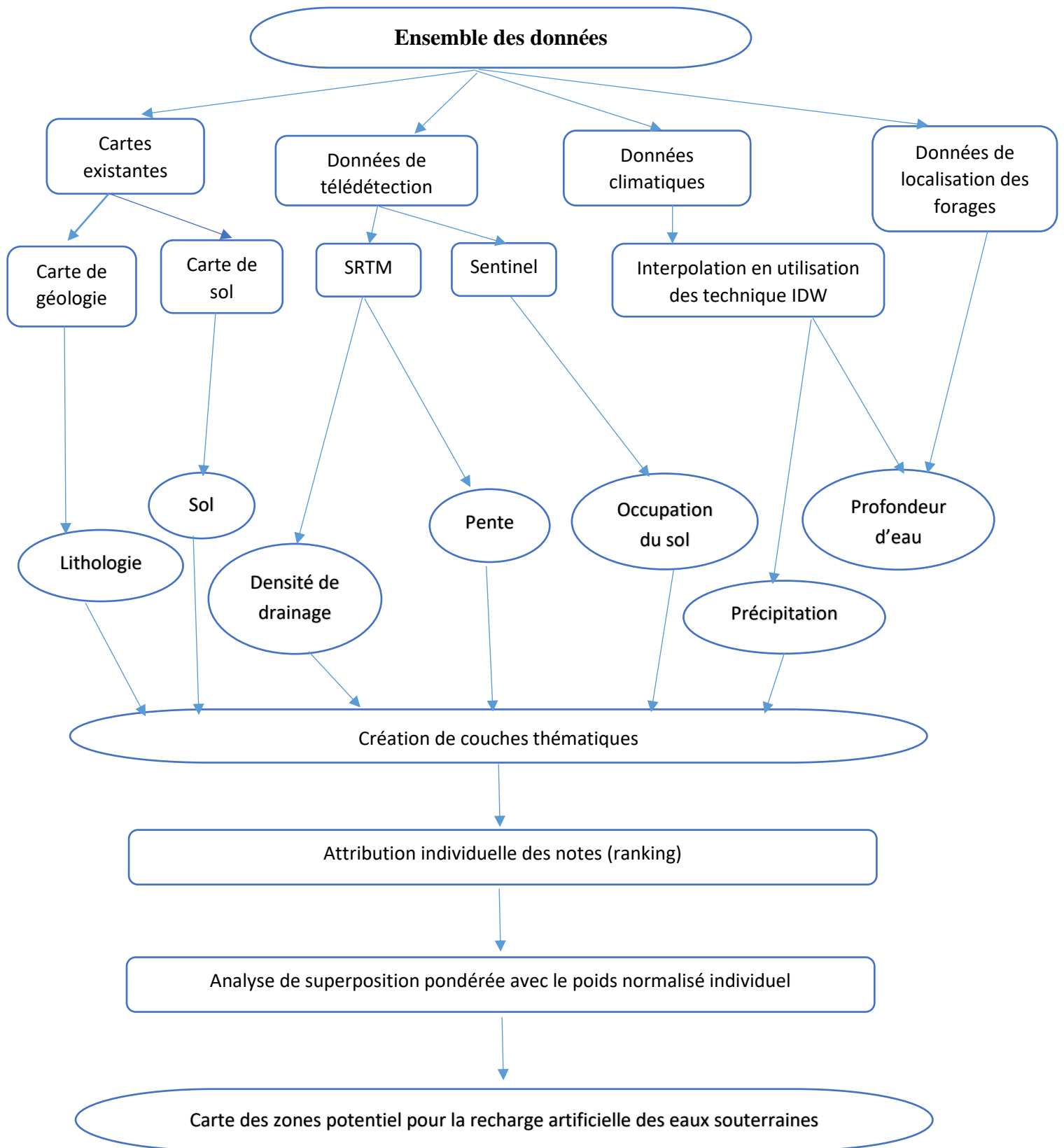


Figure (23) : Organigramme des principales étapes de traitement pour l'identification des zones potentielles de recharge artificielle.

Tableau .9 : Type, sources des données et mode de traitement de chaque paramètre

Paramètre	Symboles	Type de données	Mode de traitement	Sources des données
Lithologie	L	Polygone	Digitalisation	Carte géologique 1.50000 d'Oum el Bouaghi, Ain Beida, Garaet Tarf, F'Kirina, Khenchela et Dalaa
Texture du sol	S	Polygone	Digitalisation	Carte des sols d'Algérie (Tébessa 1 :500 000)
Profondeur d'eau (m)	P	Ligne	Interpolation (IDW)	Niveaux statiques des forages (DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE Oum El Bouaghi)
Précipitation (mm)	R	Polyligne	Interpolation	Données pluviométriques Khenchela Oum El Bouaghi (ONM)
Occupation des sols	Os	Point, Polygone Polyligne.	Digitalisation	CCI LAND COVER – sentinel S2 prototype land cover 20m map of Africa 2016 (esa)
Densité de Drainage (Km/Km2)	D	Polyligne	Digitalisation	Modèle numérique de terrain (SRTM) Télécharger MNT (30 m) (https://earthexplorer.usgs.gov/)
La pente (%)	Sp	Polyligne	Digitalisation	Modèle numérique de terrain (SRTM) Télécharger MNT (28 m) (https://earthexplorer.usgs.gov/)

3. Résultats et discussion

Cartographie des zones potentielles de recharge des eaux souterraines Génération de cartes thématiques :

3.1 La profondeur de l'eau (P)

La profondeur des eaux souterraines est la distance entre le sol et la nappe phréatique (Chitsazan et Akhtari, 2009),(Hammouri et al. ,2013) et Blancada (2014) ont utilisé la profondeur des eaux souterraines comme indicateur du stockage des eaux souterraines. Elle dépend des caractéristiques géologiques et hydrologiques de la zone (Boufekane et al. , 2020), et l'un des facteurs de la mise en œuvre de la recharge artificielle. En effet, elle a un impact sur le stockage de l'eau dans la zone non saturée, l'arrivée de l'eau dans la zone saturée..., Une faible épaisseur de la zone non saturée provoque l'évaporation de l'eau injectée et une forte épaisseur de la zone non saturée provoque la rétention d'une quantité importante d'eau injectée.

Notre carte de profondeur de la nappe d'eau a été établie par la méthode d'interpolation des niveaux piézométriques relevés sur 38 puits, par la méthode des inverses des distances (IDW) (Invers Distance Weighted), pour obtenir des courbes d'iso profondeurs. Par la suite, on a utilisé la méthode de triangulation pour transformer ces courbes en un MNT de profondeur de la nappe. La profondeur des eaux souterraines dans la zone d'étude variée de 2 mètres comme minimum pour atteindre une profondeur supérieure à 10 mètres.

✚ **N.B** : les données utilisées dans l'établissement de la carte de profondeurs des eaux souterraines sont anciennes (entre 1995 et 2000)

La carte des profondeurs de la nappe montre quatre classes (Fig.24) :

- Classe (1) : 2-5 m ; cette classe représente les valeurs plus faible localisée aux bordures Nord-ouest et Sud-ouest et le Centre de la zone d'étude une note de 8 a été attribué.
- Classe (2) : 5-7 m ; cette classe de profondeurs occupe la partie centrale de la zone d'étude avec une petite zone localisée aux bordures nord-ouest alentour de classe (3) et (1) au même temps une note de 7 est attribuée.
- Classe (3) :7-10 ; cette classe de profondeurs est localisée presque aux alentours de la première classe (1), avec une note de 6.
- Classe (4) :>10m ; c'est la classe des eaux les plus profondes et donc les mieux protégés représente la majeure partie de la zone d'étude et entoure la troisième classe (3) sur les côtés est, nord et aussi sud . Avec une note de 3.

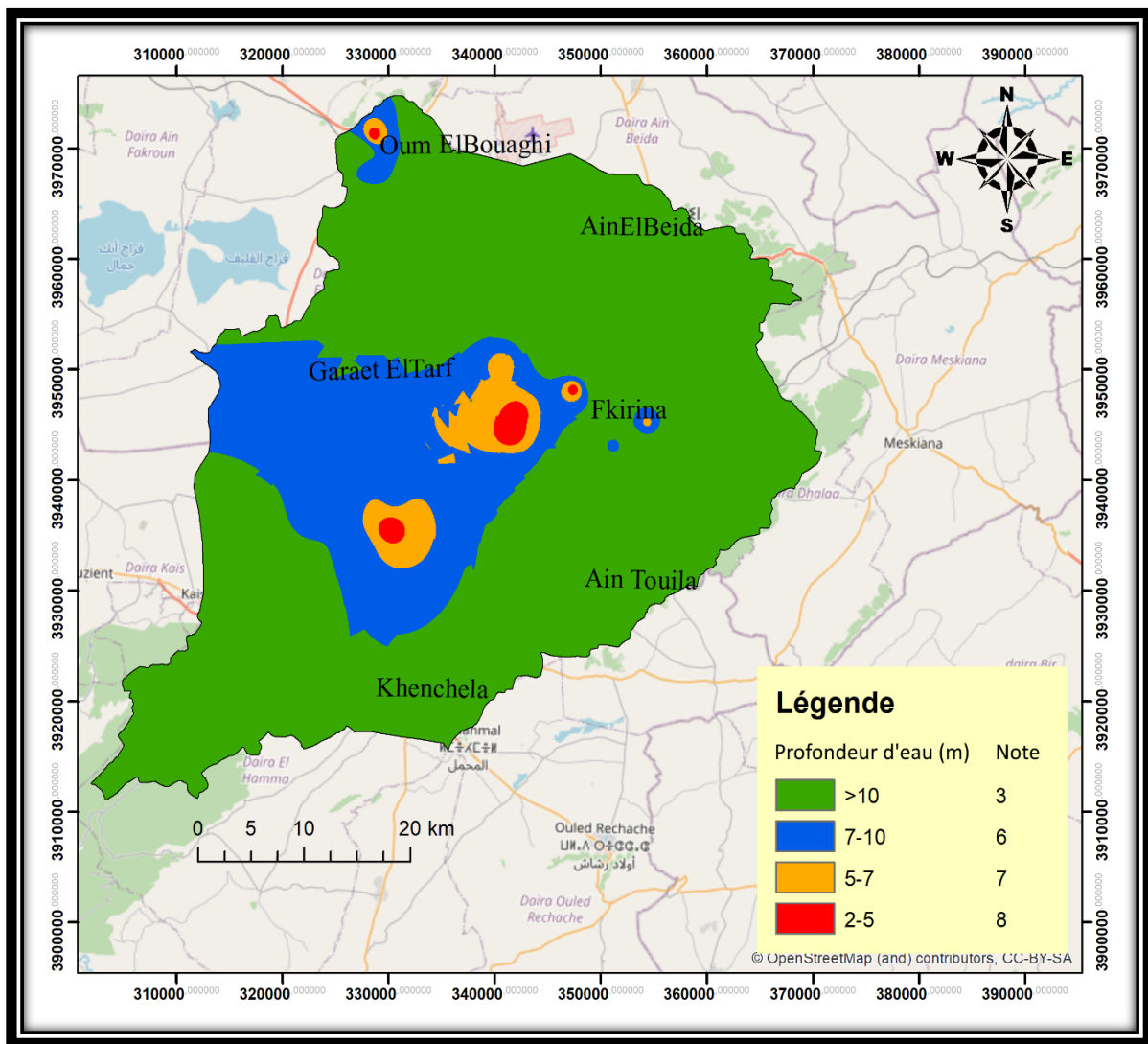


Fig. (24) : Carte du Profondeur de la nappe de la zone d'étude.

3.2 La Texture de Sol (S)

Le sol est généralement un paramètre important qui affecte l'occurrence et la distribution des eaux souterraines et joue un rôle important dans l'infiltration de l'eau, donc elle affecte la recharge des eaux souterraines (Das, 2017 ; Ibrahim-Bathis et Ahmed, 2016).

La texture du sol est un critère clé pour évaluation des caractéristiques physiques du sol et est directement liés à la structure, la porosité, l'adhérence et cohérence des propriétés du sol (McGarry, 2006).et considérée comme la zone supérieure altérée de la terre et ses

caractéristiques contrôlent invariablement la pénétration des eaux de surface dans un système aquifère. Elle a un impact significatif sur la quantité d'eau de recharge qui peut s'infiltrer dans le sol car est un facteur important pour délimiter les zones potentielles de recharge des eaux souterraines via l'étude des données pédologiques (inventaire des ressources pédologiques, inventaire des sols, etc. l'étude des données pédologiques (inventaire des ressources en sol, carte des sols, profils pédologiques). Et elle est directement liée au taux d'infiltration, de percolation et de perméabilité puisque les sols à grains fins limitent l'infiltration en raison de leur faible perméabilité, à l'inverse, les matériaux pédologiques à grains grossiers favorisent l'infiltration (Fashae et al,2014).

La carte de sol dans notre étude a été établie sur la base de la carte de sol de Tébessa Feuille N.I. 32-N. O au 1/500 000. De 1938 (R.J Bellon) Cette fiche a été extraite du Centre Européen de Données du Sol [ESDAC 2016], l'analyse et la classification du sol est faite selon l'étude des sols des hauts plateaux de Constantine (Zouaoui ,2008).

La carte des sols de la zone d'étude est divisée en cinq grands catégories (**Fig. 25**) :

- sol calcique avec une note de (7) réparties sur une large bande bordant le bassin versant (Ces sols sont caractéristiques des zones semi-arides et s'étendent sur une importante superficie estimée à environ 51,3 %).
- sol alluviaux basiques avec une note de (5).
- sol calcaires avec une note de (3).
- sols salins (solontchak) avec une note de (1) se localisent au centre du bassin et la roche mère avec une note de (2). La porosité et la perméabilité sont modérées à élevée dans les sols calciques, alluviaux basiques, calcaire ; les sol salins (les colloïdes dans certains sols salins sont très flocculés et ainsi donnent une structure favorable et une bonne perméabilité). Mais il est beaucoup plus bas dans le cas de la roche mère .

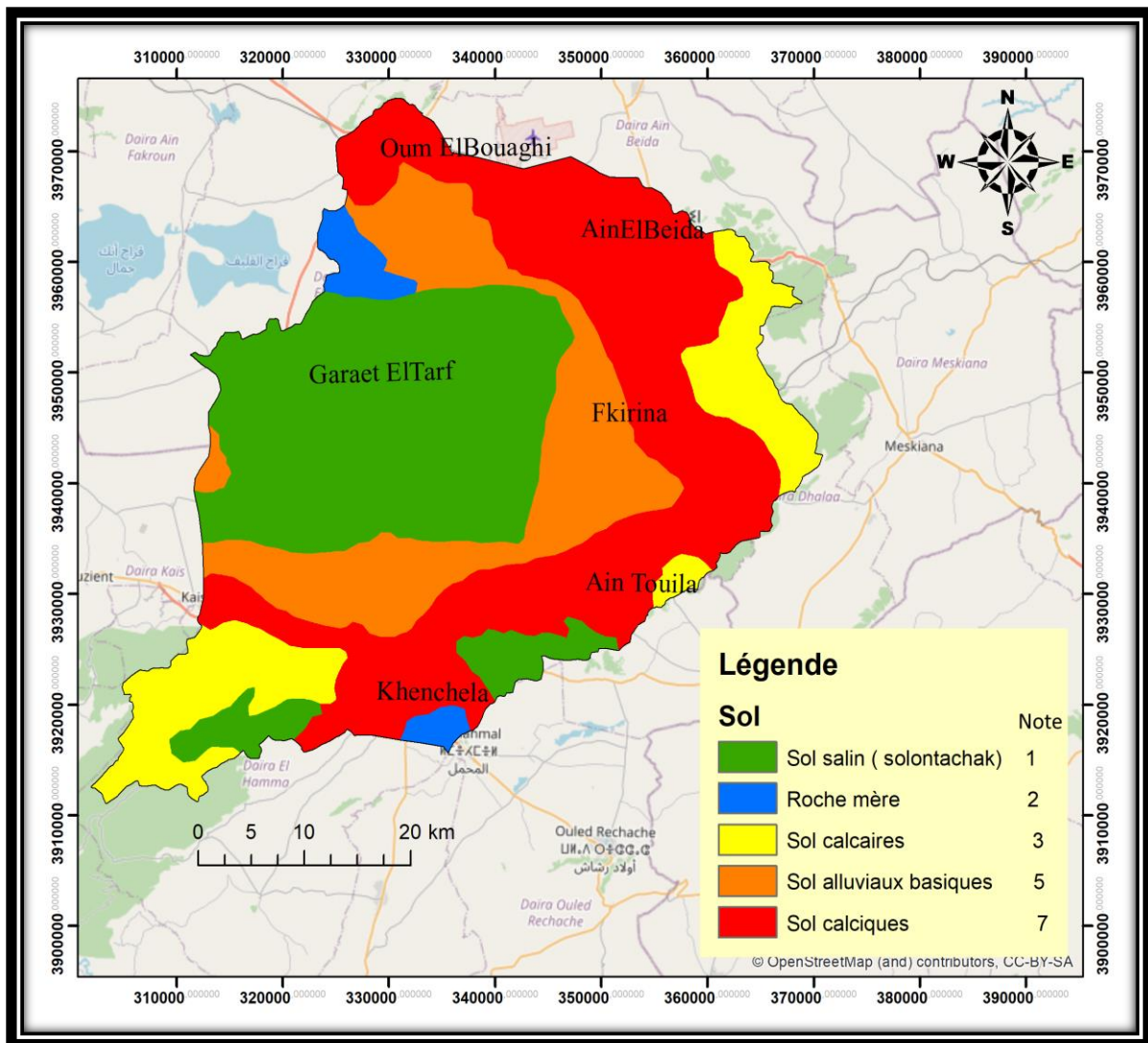


Fig. (25) : Carte de texture du sol.

3.3 Lithologie (L)

La lithologie des formations géologiques est le paramètre le plus important pour la délimitation des zones potentielles de recharge des eaux souterraines. Or, la conductivité hydraulique de ces formations géologiques influence directement l'infiltration. En outre, la recharge de l'aquifère a été influencée par la lithologie et ce, en régissant la purification de flux d'eau (El-Baz et Himida,1995). Joue un rôle majeur dans la disponibilité et la présence des eaux souterraines. Le type de lithologie présente affecte la recharge des eaux souterraines (Shaban et al., 2006) car elle contrôle la percolation (El-Baz et Himida,1995). Le potentiel des eaux souterraines est significativement dominé par la lithologie (Das et Pal, 2019). Et le stockage de l'eau dépend de type et la porosité de la formation rocheuse. La zone d'étude est connue par

Une série stratigraphique des roches allant du quaternaire jusqu'au Trias. Le quaternaire (Gravier et alluvions) qui couvre la majeure partie de la zone d'étude aurait un rang élevé en termes de capacité de stockage des eaux souterraines suivie par les grés et les calcaires fissurée puis les argiles conglomérat ; les mano- calcaire, les argiles. (Une note de 9, 6, 8 ,3,2,1 est attribuées respectivement).

De point de vue perméabilité en peut les classées en trois catégories (Fig.26) :

- Très perméable : Gravier et alluvions.
- Perméable : les grés et les calcaires fissurée et argile conglomérat.
- imperméable : Mano-calcaire, argiles.

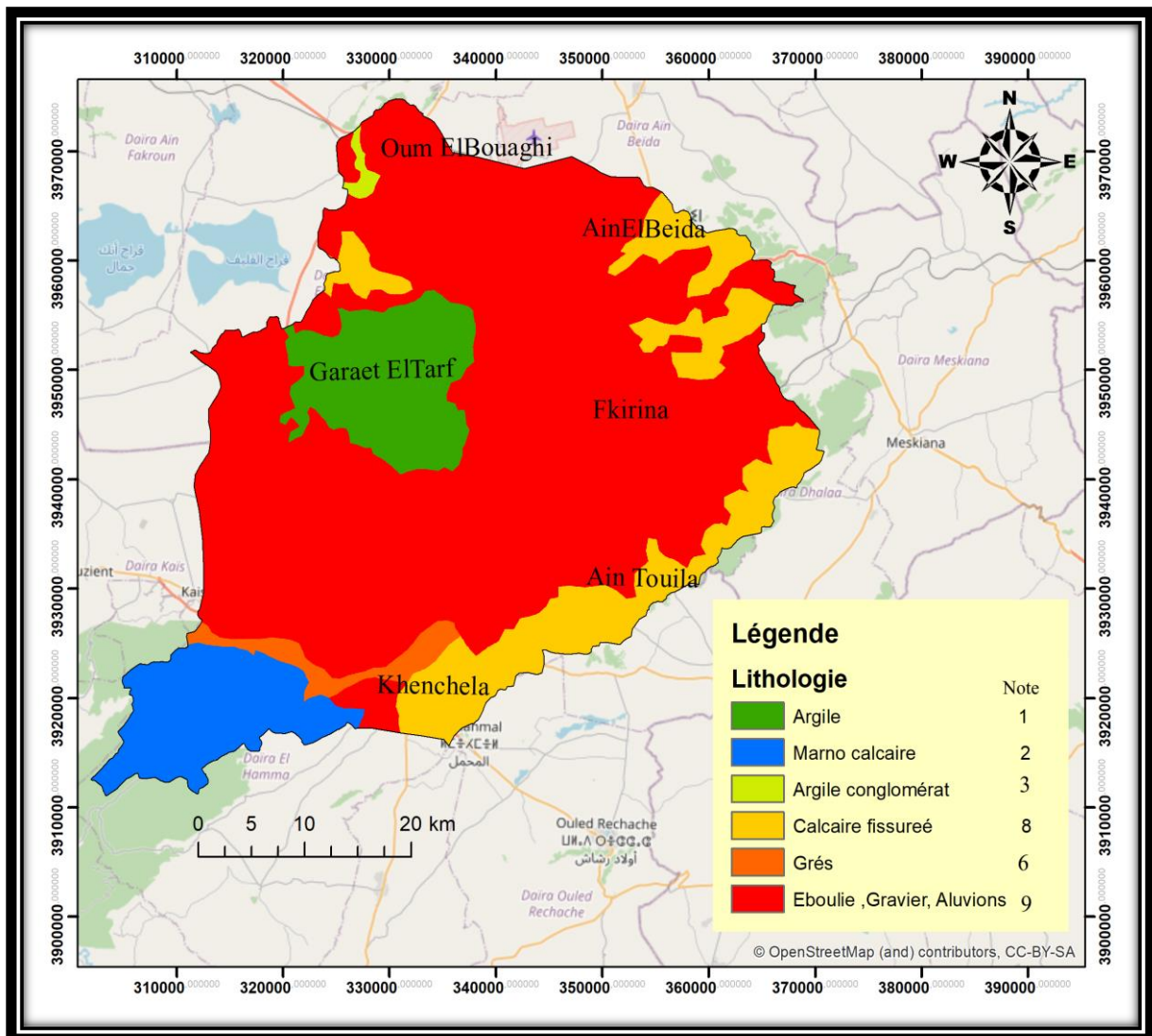


Fig. (26) : Carte de la lithologie de la zone d'étude

3.4 La Pente (%) :

La pente est définie comme l'inclinaison de la surface terrestre de la zone. Elle dépend de trois facteurs importants tels que la nature de la formation rocheuse, les conditions climatiques et le cadre tectonique de la région. Elle permet d'étudier la perméabilité ainsi que les conditions d'infiltration de la zone car elle contrôle la vitesse de l'eau; Le terrain précipité provoque un ruissellement rapide et ne stocke pas facilement l'eau. L'intensité des pentes est exprimé en pourcentage (%) ou en degré

($^{\circ}$), indiquant la capacité des eaux de surface à s'écouler et à atteindre le réservoir d'eau souterraine. Ce facteur est extrêmement nécessaire pour l'identification de sites favorables de recharge des eaux souterraines, car il affecte directement l'intensité du ruissellement, l'infiltration des eaux de surface et la recharge (Nouayti et al., 2017). La pente est un indicateur dans la prospection d'eau souterraine (Klaus, 2013).

Le pourcentage élevé de la pente entraîne un écoulement rapide de l'eau de surface vers le bas et par conséquent le temps d'infiltration est faible, ce qui indique un faible niveau de recharge. Cependant, le faible degré de pente tend à augmenter la recharge en raison de la rétention accrue des eaux de surface (Nouayti et al., 2019).

La carte des pentes (**Fig.27**) du bassin versant de notre zone d'étude est divisée en cinq Classes :

- pente légère (0%-2%). une note de 9 est attribuée.
- pente modérée (2%-4%). une note de 7 est attribuée.
- forte pente (4%-7%).. une note de 5 est attribuée.
- très forte pente (7%-10%). une note de 3 est attribuée.
- Pente très raide (10%-12%) une note de 1 est attribuée.

Les zones avec une pente plus raide provoquent un ruissellement très élevées et une faible infiltration, et sont donc catégorisées comme étant pauvres et présentent une moindre accumulation d'eau souterraine (Jha et al., 2010).

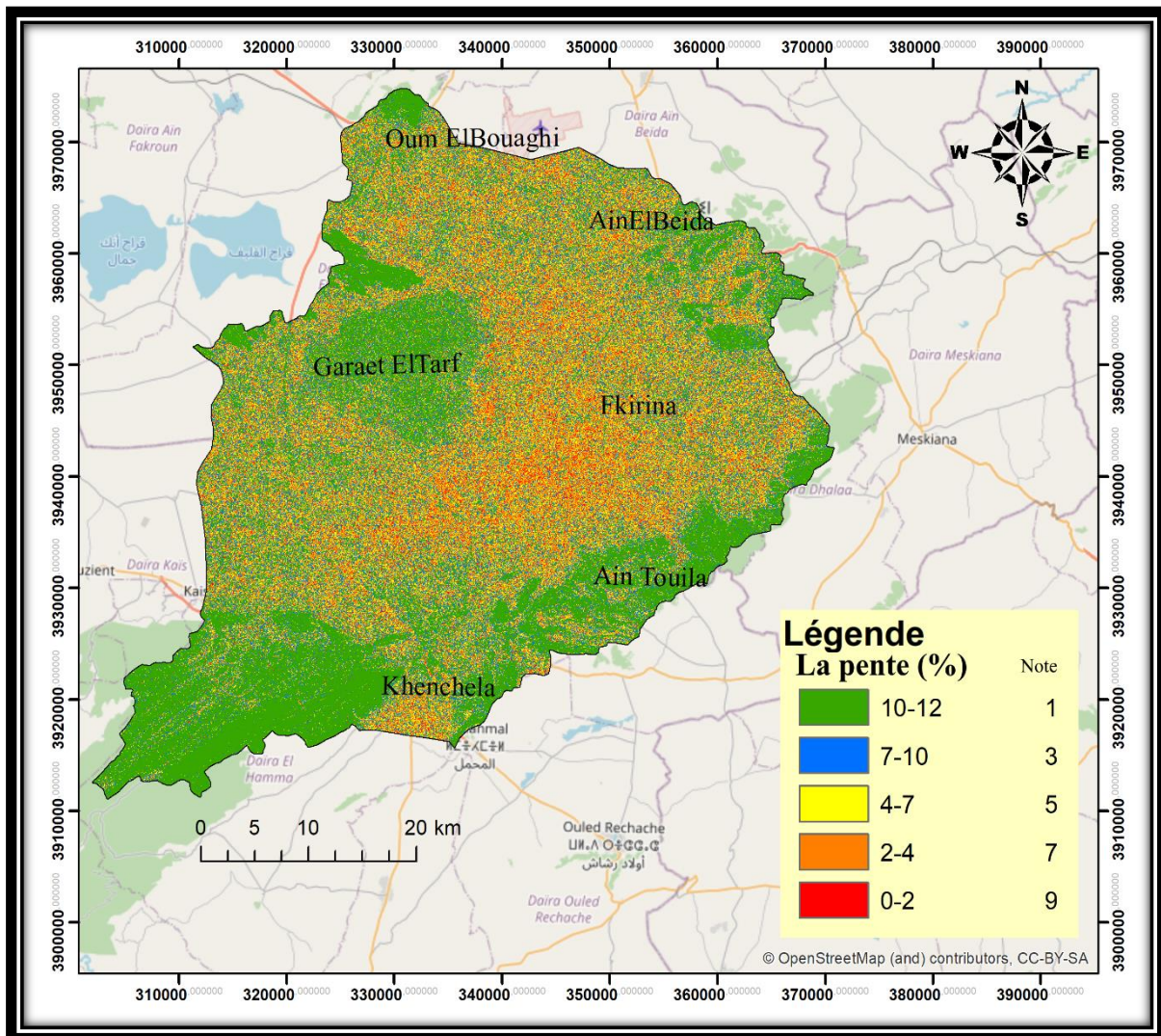


Fig. (27) : Carte des pentes de la zone d'étude.

3.5 Densité de drainage

la densité de drainage est considérée comme un paramètre important pour la recharge de l'aquifère, car elle est directement liée au ruissellement et à l'infiltration (Boughariou et al.,2014) . Il s'agit de la longueur totale de l'ensemble des cours d'eau existant dans un bassin de décharge (en km) divisé par la surface du bassin de décharge (en km²). L'analyse thématique d'un réseau de drainage valorise les caractéristiques d'une zone de recharge des eaux souterraines.

Elle est fortement liée au débit maximal du bassin et est calculée par la formule suivante :

$$\mu = \frac{\sum Li}{A} \text{ (km/km}^2\text{)}$$

Où L est la longueur de chaque segment de canal et A est la superficie du bassin. Il existe une relation inverse entre la densité de drainage et la perméabilité. Moins la formation est perméable, moins l'infiltration des précipitations est importante.

Cela donne lieu à un système de drainage fin et bien développé. Par conséquent, la densité de drainage peut être considérée comme un indicateur indirect de l'aptitude d'une zone à la recharge artificielle des eaux souterraines (Nasiri et al.,2012).

La densité de drainage est contrôlée par la perméabilité des sols, l'érodabilité des surfaces des matériaux, la végétation, la pente et le temps. La mesure de la densité de drainage est une donnée numérique utile (Chorley, 1969). Et aide à évaluer et à comprendre les caractéristiques de ruissellement et d'infiltration des eaux souterraines dans cette région. Les valeurs ont été calculées en utilisant la méthode de la rupture naturelle (Jenks, 1967) et l'extension Focal statistics dans ArcToolBox. La densité de drainage de la zone d'étude est de l'ordre de **0,37 km/km²** classée en cinq classes :

- Classe 1 :très faible (0- 0.5 km / km²) ; une note de 10 est attribuée.
- Classe 2 : faible (0,5-1 Km /Km²) ; une note de 8 est attribuée.
- Classe 3 : moyen (1-1.5 km / km²) ; une note de 6 est attribuée.
- Classe 4: élevée (1.5- 2 km / km²) ; une note de 4 est attribuée.
- Classe 5: très élevée (>2 km / km²) ; une note de 2 est attribuée.

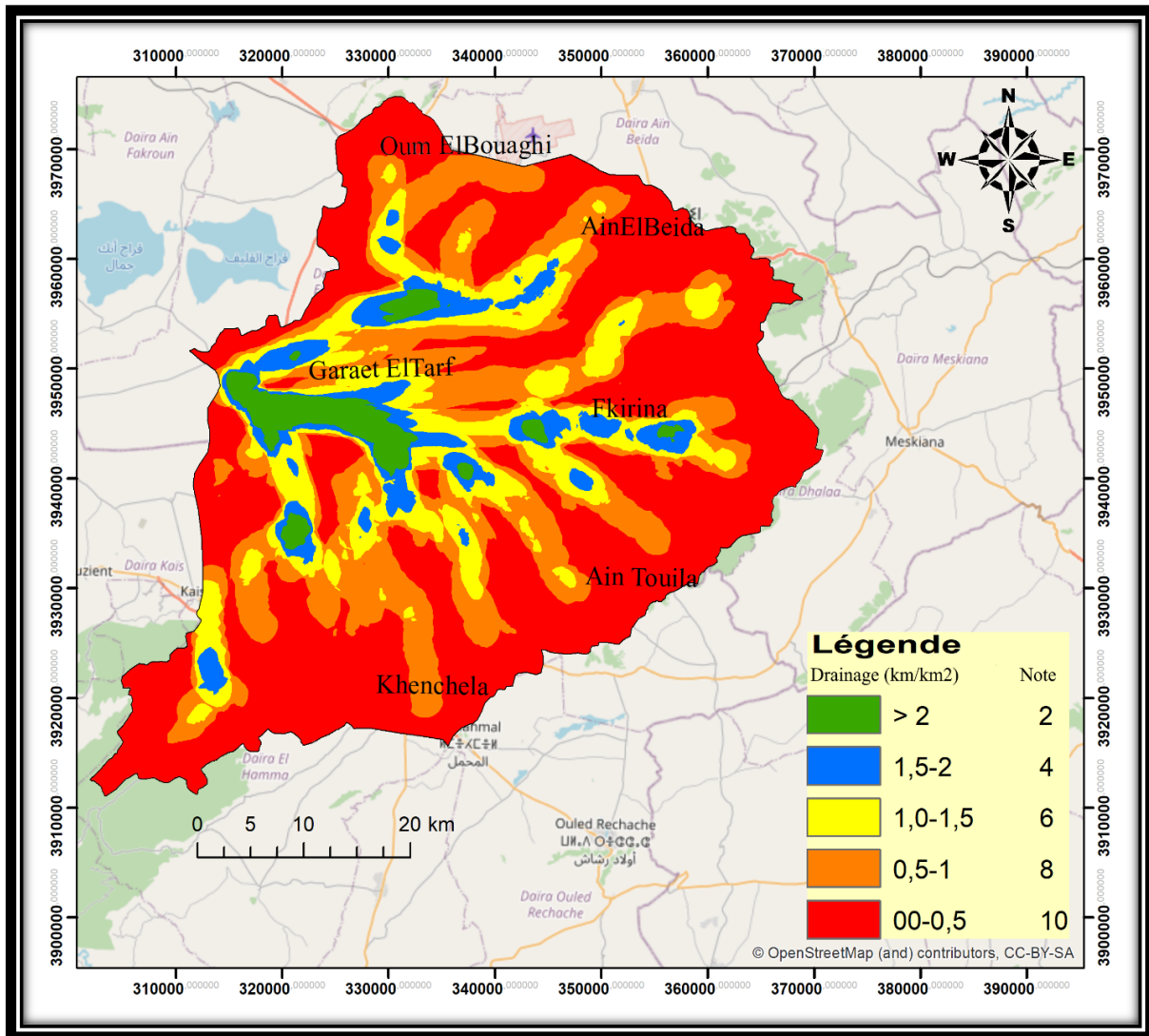


Fig. (28-A-) : Carte de classification de densité de drainage.

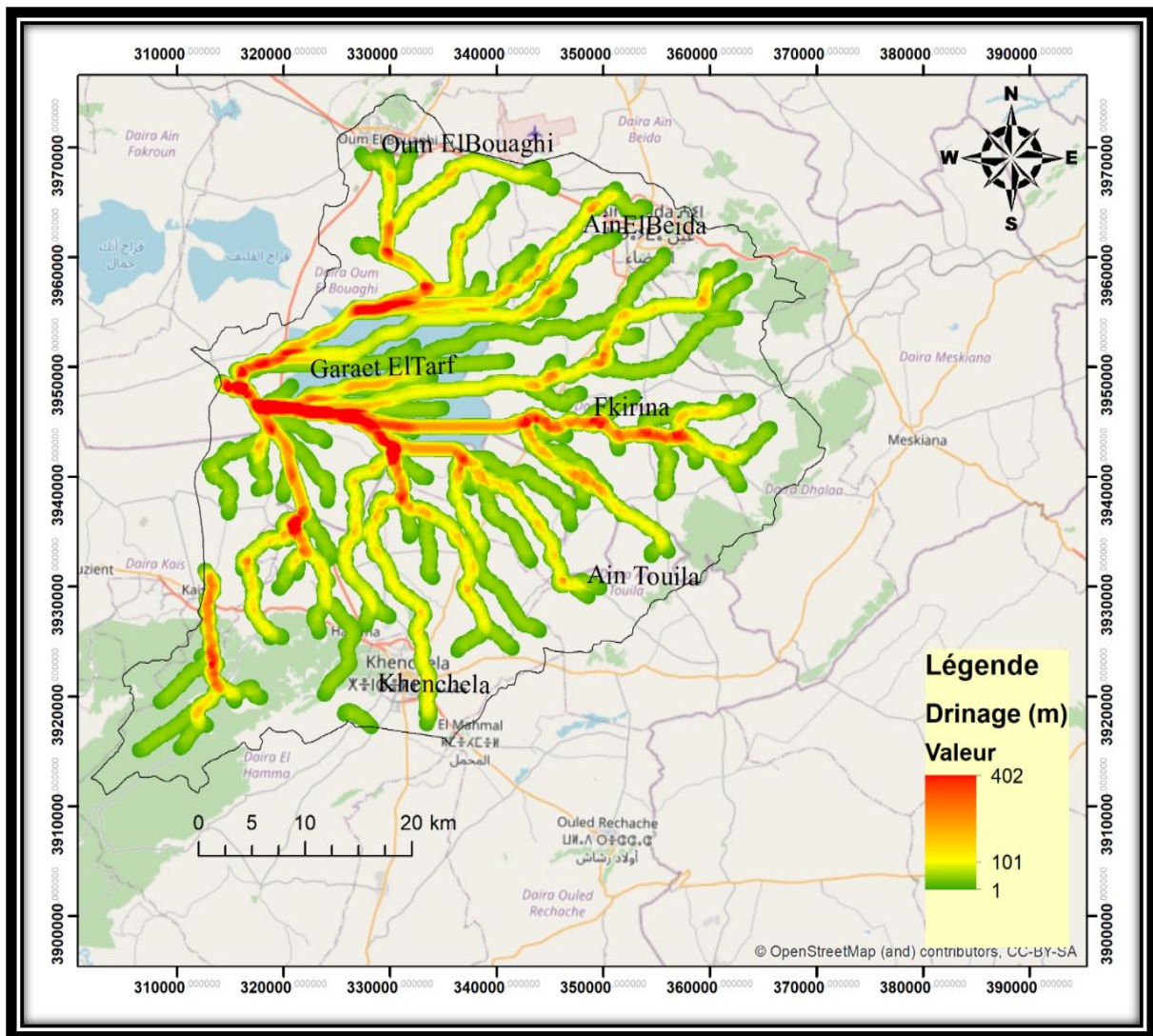


Fig. (28-B) : Carte de densité de drainage générée par l’outil Focal Statistics.

3.6 Occupation de sol / L'utilisation des sols (Os)

L'utilisation des sols d'une région joue un rôle important dans le ruissellement, l'infiltration et la recharge des aquifères. De nos jours, la haute résolution spatiale des images satellite indique de très petits détails dans les zones urbaines ou agricoles (Jin et Davis, 2005).

La carte d’occupation/utilisation des sols a été obtenue à partir de la carte globale de l’afrique (fournie par les données du satellite européenne sentinel 2A ,2016).

Les caractéristiques de l'occupation des sols contrôlent la présence des eaux souterraines et sont également à l'origine de l'infiltration et de la recharge.

Les données de télédétection et les techniques SIG fournissent des informations de base fiables et précises pour la cartographie de l'occupation des sols, qui joue un rôle vital dans la

détermination du modèle d'utilisation des terres et de ses changements à différents moments. L'effet de l'occupation des sols se manifeste soit en réduisant le ruissellement et en le facilitant, soit en piégeant l'eau sur leurs feuilles. La carte d'occupation/utilisation des sols fournissent des informations sur l'infiltration et le ruissellement, qui sont contrôlés par la nature du matériau de surface.

L'utilisation des terres décrit les activités humaines telles que l'agriculture, l'urbanisation et l'industrie liées à la terre, tandis que la couverture terrestre se rapporte à des éléments tels que les lacs, les montagnes, la végétation et les roches à la surface de la terre. Différents types de modes d'utilisation des sols sont identifiés dans la zone d'étude qui comprend, les zones irriguée (Avec une note de 7) qui joue un role important dans l'infiltration et à la recharge des eaux souterraines. les zones d'élevage et nue (Avec une note de 3) qui couvrent la majorité de la zone d'étude. La végétation et les arbres couvrent le sud du bassin (Avec une note de 5).

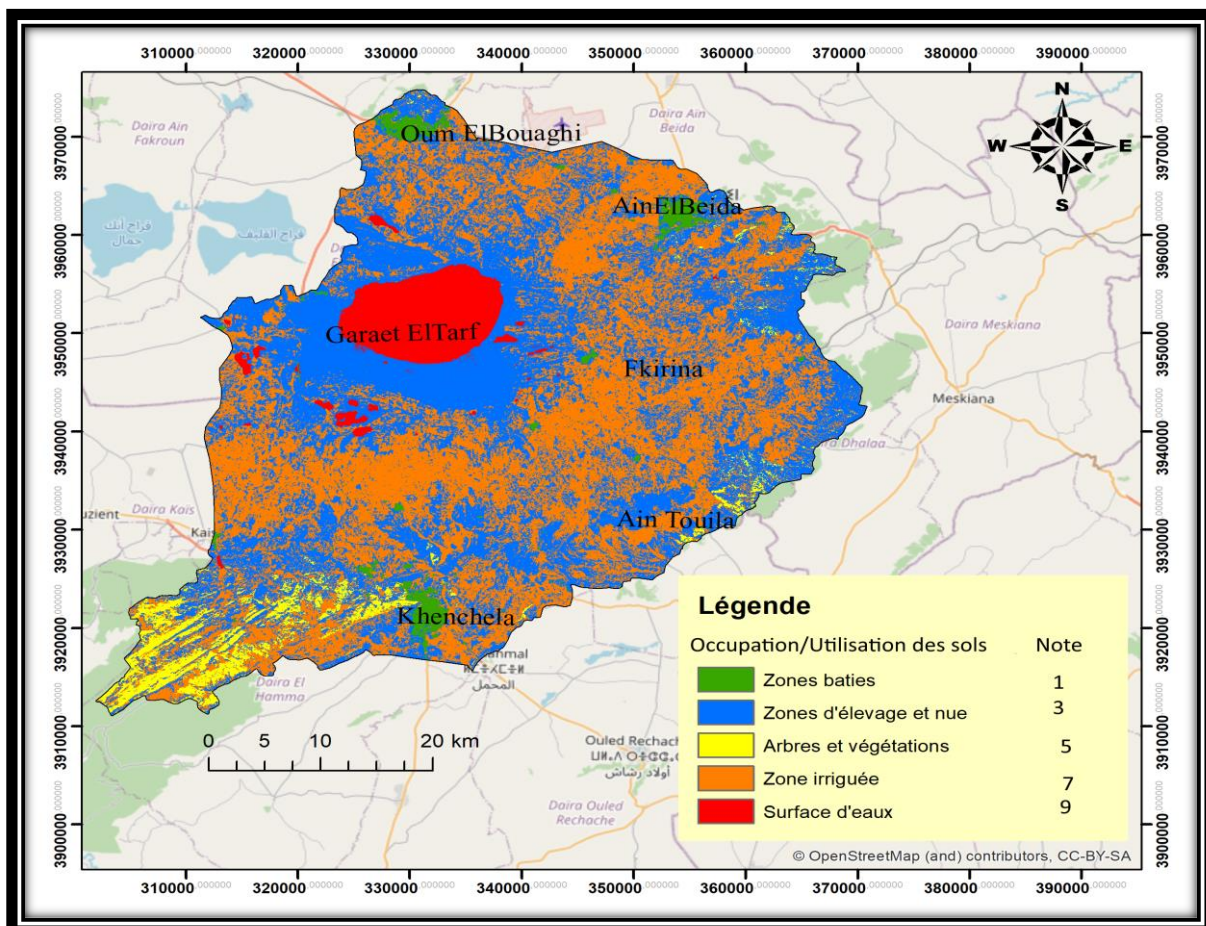


Fig. (29) : Carte d'occupation de sol / L'utilisation des sols.

3.7 Les précipitations (R)

Les précipitations sont le paramètre d'influence le plus important dans la potentialité des eaux souterraines de n'importe quelle zone car la recharge des eaux souterraines augmente avec la quantité d'eau des précipitations (Ibrahim-Bathis et Ahmed,2016).

Des précipitations plus importantes dans une région donnée indique une recharge potentielle des eaux souterraines plus élevée (Machiwal et al., 2011). L'intensité et la durée des précipitations affectent de manière significative la recharge et le potentiel des eaux souterraines (Wondifraw et al., 2019). Il détermine la quantité d'eau qui serait disponible pour percoler dans le système aquifère ; par conséquent, les précipitations sont un élément hydrologique important considéré dans cette étude. La zone d'étude reçoit des précipitations provenant principalement de perturbations du nord (mer Méditerranée). Les données de précipitations des deux stations (Khenchela et Oum El Bouaghi) ont été collectées. Selon l'importance des précipitations la carte obtenue (**Figure.30**) montre trois grandes catégories :

- Précipitation de 300-400 mm/ans (Avec une note de 4).
- Précipitation 400-500mm/an (Avec une note de 5).
- Précipitation 600 -700 mm/ans (Avec une note de 7).

Sur la base de cette carte (**Fig.28**), les précipitations les plus élevées sont observées dans la partie sud-ouest de la zone d'étude ; et les faibles précipitations dans le nord qui couvrent la major partie vers le nord.

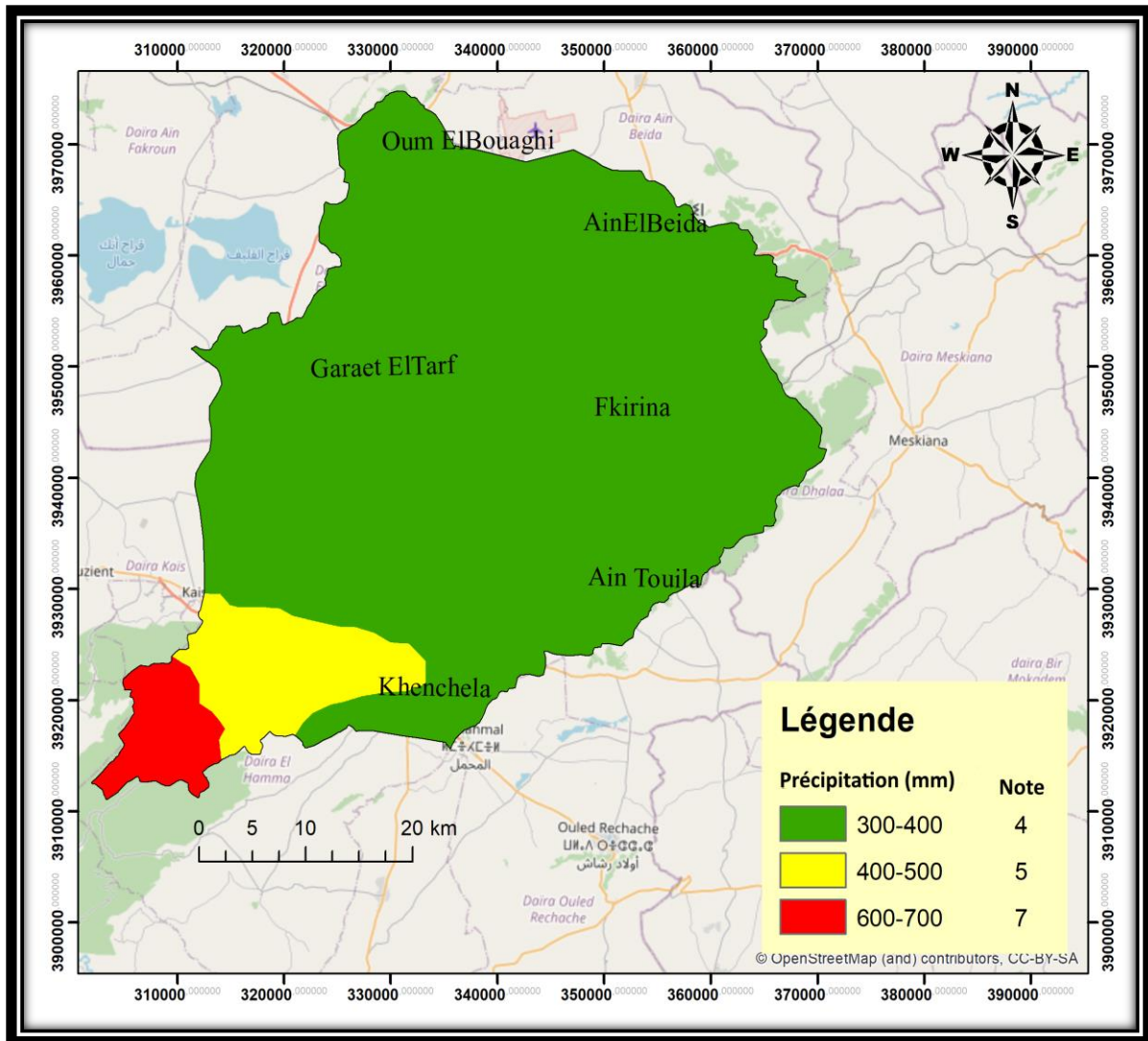


Fig. (30) : Carte des précipitations.

4. Délimitation des zones potentielles de recharge artificielle des eaux souterraines :

La carte de recharge artificielle potentielle (Figure 32) a été préparée en compilant et en intégrant les septes cartes thématiques pour les différents facteurs individuels en utilisant l'équation (1). Elle est définie comme une carte estimant la probabilité de la présence d'eau souterraine dans une zone d'étude (Kim et al., 2018). La pondération des cartes thématiques obtenue dans un environnement SIG (ArcGis 10.3) Fig. (31) a permis de cartographier des zones de potentiel des eaux souterraines et par conséquent les zones de recharge artificielle.

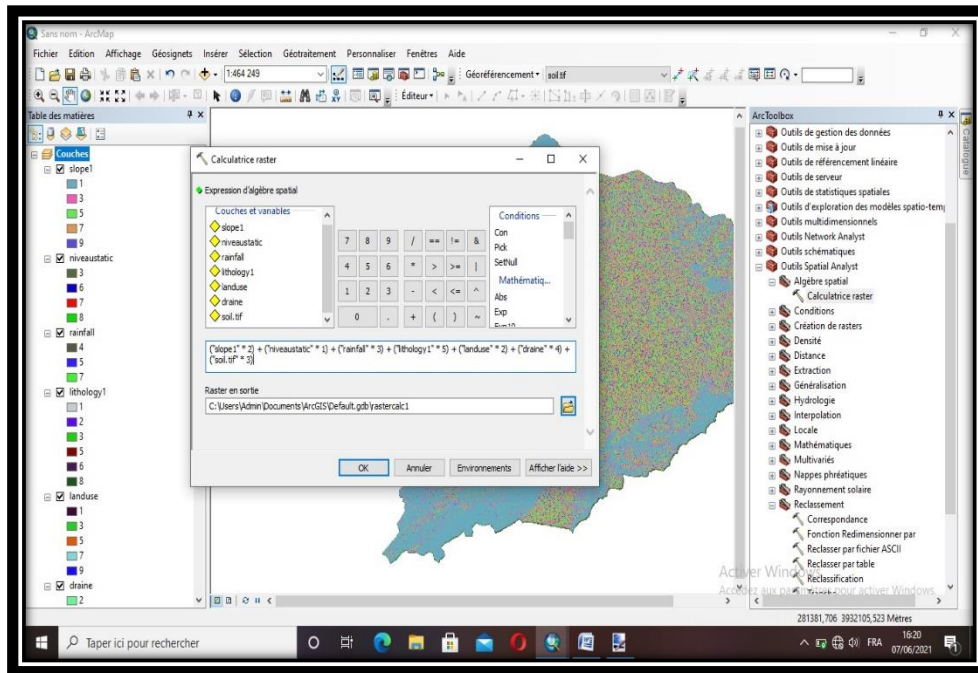


Fig. (31) : Calcul de l'indice partiel.

La carte des zones de recharge artificielle des eaux souterraines de la zone d'étude obtenue montre trois zones de recharge :

- 53,02 % de la zone d'étude est considérée comme adapté pour la recharge artificielle, elle occupe la partie centrale de la plaine et elle coïncide avec la lithologie favorable a l'infiltration des eaux des précipitation (Bonne perméabilité) .
- 35,21 % de la zone d'étude est modérément adapté à la recharge artificielle ,elle coïncide avec la texture du sol peut perméable et la pente très forte.
- 11,77 % de la zone d'étude est considéré comme inadapté à la recharge artificielle et elle coïncide avec des sols imperméable (argileuse) et une forte densité de drainage $> 2 \text{ km}^2$.

Les résultats de cette étude sont très utiles pour la formulation d'un plan de gestion efficace des eaux souterraines pour la zone d'étude, et ainsi aider les décideurs concernés et les hydrogéologues en exercice à assurer une gestion durable des ressources rares en eaux souterraines.

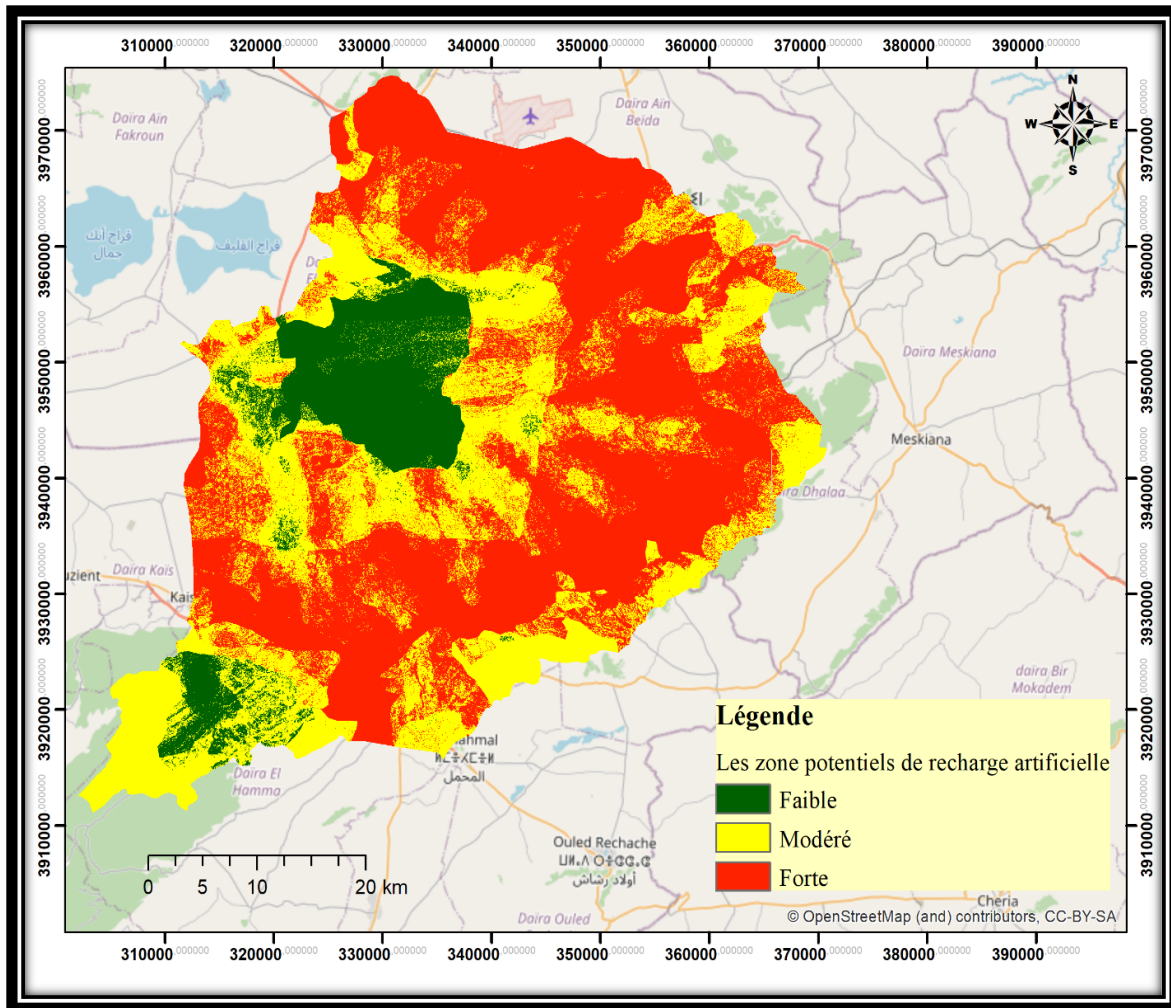
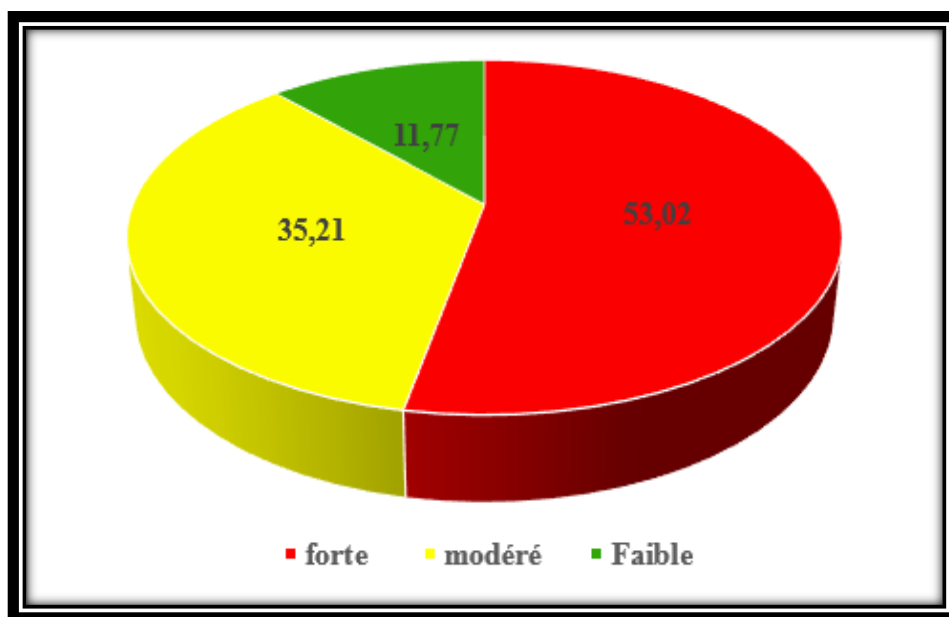


Fig. (32) : Carte de délimitation des zones potentielles de recharge artificielle des eaux souterraines.



5. Sites de recharge artificielle appropriés :

La carte générée en superposant la carte des zones de recharge artificielle, la carte de drainage des cours d'eau de deuxième et troisième ordre à aider de localiser les sites favorables pour la recharge artificielle **Fig. (33)**.

En ce qui concerne les structures de recharge artificielle, principalement des barrages de retenue (de type permanent ou semi permanent) est recommander sur les sites identifiés pour la recharge artificielle dans la zone d'étude. Ces structures sont de petite taille qui peuvent être construites sur des cours d'eau d'ordre inférieur (deuxième et troisième ordre) afin d'améliorer l'infiltration dans les formations souterraines (c'est-à-dire les aquifères).

Il est prévu que les barrages de retenue empêcheraient l'eau de descendre pour rejoindre les cours d'eau d'ordre supérieur, et permettent plutôt à l'eau d'étaler les cours d'eau d'ordre inférieur et recharger l'aquifère sous-jacent. D'autres structures de recharge, telles que les bassins/réservoirs de percolation et les réservoirs à la ferme, peuvent également être construites lorsque cela est possible, surtout dans les pentes modérées, afin de ralentir le ruissellement et d'améliorer l'infiltration. En outre, les méthodes de recharge souterraine, telles que les puits de recharge et puits d'injection ([Asano, 1985](#)), peuvent aussi être également être utilisées lorsque cela est possible dans la zone d'étude.

Cependant, l'emplacement exact et la faisabilité technico-économique de tels structures de recharge doivent être déterminées par des enquêtes de terrain détaillées.

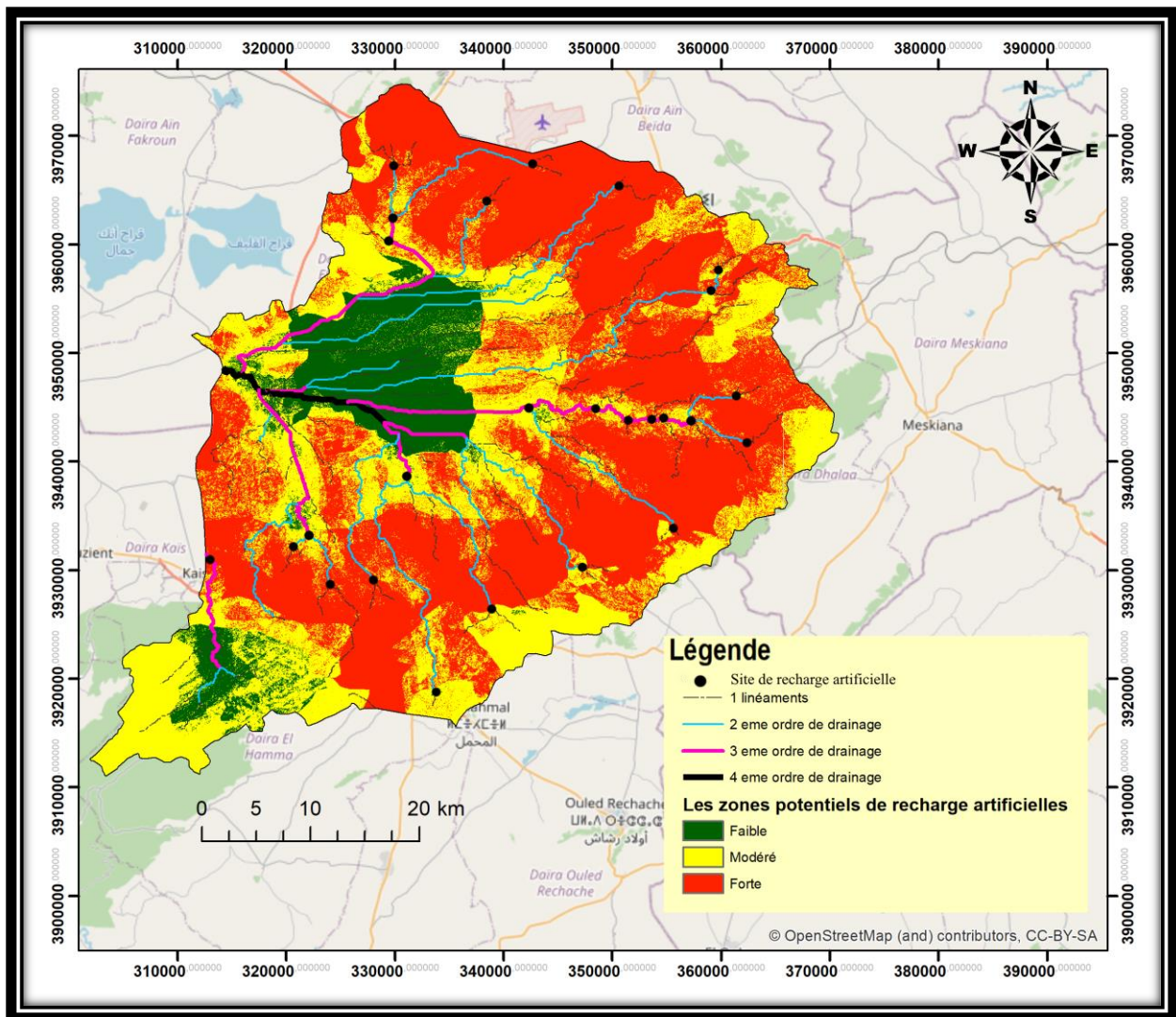


Fig. (33) : Emplacement proposé pour les sites de recharge artificielle des eaux souterraines.

6. Conclusion :

Le bassin versant de Garaet El Tarf localiser à l'est des hauts plateaux constantinois souffre d'une pénurie d'eau croissante depuis quelques années. La surexploitation des eaux souterraines a entraîné un abaissement de la nappe phréatique dans différentes parties de la zone d'étude, aggravant ainsi le problème de l'eau. Il y a un besoin urgent d'augmenter les ressources en eau souterraine dans la région par des techniques de recharge artificielle appropriées techniques appropriées. Cette étude a été réalisée dans le but de proposer une méthodologie pour délimiter les zones de recharge artificielle et l'identification des sites de recharge possibles dans le bassin versant de Garaet El Tarf en utilisant la télédétection, et les SIG.

Sept paramètres utilisés afin de réaliser la carte des zones favorable à la recharge artificielle ; Lithologie (**L**), Densité de drainage (**D**) ; précipitation (**R**) ; texture du sol (**S**) ; la pente (**Sp**) ; profondeur d'eau (**P**) et occupation du sol (**Os**). Les couches thématiques ont été ensuite intégrées dans l'environnement **SIG** afin de préparer la carte de la zone de recharge artificielle de la zone d'étude.

Selon la carte de la zone de recharge, la zone d'étude est divisée en trois zones différentes : Appropriée occupent **53,02 %** de la surface totale, Modérément Appropriée occupent **35,21 %** de la surface totale et Inappropriée occupent **11,77 %** de la surface totale. Sur la base des informations disponibles sur le terrain, les barrages de retenue sont les structures de recharge les plus prometteuses dans la zone d'étude.

Les résultats de la présente étude peuvent servir de lignes directrices pour la planification de futurs projets de recharge artificielle dans la zone d'étude afin de garantir un approvisionnement en eau fiable et une utilisation durable des eaux souterraines à long terme.



***Conclusion Générale
et Recommandations***

Conclusion générale :

Le bassin versant de Gareat El Tarf fait parti de l'ensemble des bassins versants des hauts Plateaux constantinois et est une entité hydrographique située au nord-est de l'Algérie (9578 km²).

Le sou bassin de Gareat el Tarf, se caractérise par deux types de climat Le Sud, trop influencé par les courants d'air froid et humides en provenance des Aurès ou l'altitude dépasse les 1200 m, jouit d'un climat tempéré. Le Nord, qui est une vaste plaine ou l'altitude décent jusqu'à moins de 850 m est couvert par un climat semi aride.

Le contexte hydrogéologique de la région d'étude est caractérisé par un réseau hydrographique bien développé où la totalité des oueds ont un écoulement temporaire : Oued Boulefraï à l'Ouest, Oued Baghai à l'Est, traversent la plaine et aboutissent dans la dépression salée, et Oued Marouf, Oued Gueiss qui coupent la zone d'étude du Sud au Nord.

La géologie du bassin est caractérisée par : des massifs essentiellement des Crétacés les formations s'étagent du crétacé Moyen (Aptien) au Crétacé supérieur (Cénomaniens, Turonien et Sénonien). Dans le synclinal sud est venu se déposer le Miocène marin marno-gréseux (Burdigalien) en discordance sur le Crétacé, et les marnes rouges du Pontien. L'ensemble de la plaine est partiellement recouvert Par des dépôts de Quaternaire d'épaisseur variable.

Le but de la présente étude de proposer une méthodologie pour délimiter les zones de recharge artificielle et l'identification des sites de recharge possibles dans le bassin versant de Gareat ElTarf en utilisant la télédétection, et les SIG. Sept paramètres utilisés afin de réaliser la carte des zones favorable à la recharge artificielle ; Lithologie (**L**), Densité de drainage (**D**) ; précipitation (**R**) ; texture du sol (**S**) ; la pente (**Sp**) ; profondeur d'eau (**P**) et occupation du sol (**Os**). Les couches thématiques ont été ensuite intégrées dans l'environnement **SIG**, (il s'agit du logiciel **ArcGIS (10.3)**) afin de préparer la carte de la zone de recharge artificielle de la zone d'étude.

Selon la carte de la zone de recharge, la zone d'étude est divisée en trois zones différente : Appropriée occupent 53,02 % de la surface totale, Modérément Appropriée occupent 35,21 % de la surface totale et Inappropriée occupent 11,77 % de la surface totale. Sur la base des informations disponibles sur le terrain, les barrages de retenue sont les structures de recharge les plus prometteuses dans la zone d'étude.

Dans l'ensemble, on peut conclure que la nature interdisciplinaire de l'étude des eaux souterraines nécessite l'analyse et l'intégration d'un grand volume de données, multidisciplinaires, les décisions concernant les zones de recharge, les sites et les structures de recharge appropriés nécessitent énormément de temps, de travail et d'argent. L'approche multicritère utilisant les techniques de télédétection et SIG peut considérablement minimiser le temps, le travail et l'argent et permettent ainsi une prise de décision rapide pour une gestion efficace des ressources en eau.

Recommandations :

A l'avenir, la gestion active des ressources en eau en Algérie est appelée à se développer avec l'intensification des pressions à prévoir sur les ressources liées notamment au changement climatique, voire au changement global en cours. Dans le bassin de Garaet El Tarf, on prévoit en effet que la recharge de nappes diminuera et que les niveaux piézométriques baisseront. Il faudra donc s'adapter et trouver des moyens pour optimiser ces ressources. En plus des solutions classiques restant à mettre en œuvre (lutte contre les gaspillages, amélioration des rendements des réseaux, etc.), une hydrogéologie « innovatrice » avec une action directe ou indirecte sur les hydro-systèmes fera assurément partie des réponses à apporter.

BIBLIOGRAPHIES

A

- Abdalla, F., (2012). Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 70, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2012.05.003>.
- Aberkane, M., (2014). *Écologie De La Sarcelle Marbrée Marmaronetta Angustirostris Dans Les Zones Humides De L'est Algérien*. Thèse Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba, 149p.
- Agence nationale des ressources hydraulique. (2007). *Étude de modélisation de la plaine de remila*.
- Ait el mekki, O., laftouhi, N. E., (2016). Combination of a geographical information system and remote sensing data to map groundwater recharge potential in arid to semi-arid areas: the haouz plain, morocco. *Earth science informatics* 9, 465–479.
- Aouidane, L., (2017). *Origines De La Salinisation Des Eaux Et Des Sols D'une Zone A Climat Semi-Aride, Cas De Remila (W. Khenchela)*. Thèse Doctorat. Université Mohamed Khider Biskra, 215p.
- Asano, T. *Artificial Recharge of Groundwater*; Butterworth Publishers: Oxford, UK; United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya, 1985., P 767.
- Asano, T., , A.D., (1998) *Wastewater Reclamation, Recycling, And Reuse: An Introduction*. In: Asano, T., (Ed) *Wastewater Reclamation and Reuse*. Technomic, Lancaster, Pennsylvania, P 1–56.

B

- Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., Franconi, A., (2004) *Réutilisation Des Eaux Usées Epurées : Considérations Sanitaires Et Intérêts Pour L'île-De-France*. 222 P.
- Beckman, W.J., and Avenet, R.J. "Correlation of Advanced Wastewater Treatment and Ground Water Recharge." Project No. R-801478, Office of Research and Monitoring, U.S. Environmental Protection Agency (1973). 25.
- Prince, K. "Stream Augmentation at Fosters Brook, Long Island, New York- A Hydraulic Feasibility Study." U.S. Geological Survey Water-Supply Paper No. 2208, 1982.
- Benazzouz, M.T., (1984). *Recherches Géomorphologiques Dans Les Hautes Plaines De L'est Algérien : La Sebket Tarf (Algérie)*. 1984, 294 Pages.
- Betier, M. G., (1951-1952). *Carte Géologique De L'algérie Echelle 1/500.000*.
- Blancada, S., *Identifying Potential Artificial Groundwater Recharge Sites in Metro Manila for Stormwater Disposal Using Gis Techniques*. Bachelor's Thesis, University of The Philippines Diliman, Quezon City, Philippines, (2014).

- Bouaicha ,F., (2009). Étude Géophysique Et Hydrogéologiques Dans La Région De Khenchela, Cas De Kheirane Et Taouzient, Impact Socio-Economique. Thèse Magister.165p.
- Boufekane, A., Saibi,H., Benlaoukli, B, & Saighi, O., (2019) Scenario Modeling of The Groundwater in A Coastal Aquifer (Jijel Plain Area, Algeria). Arabian Journal of Geosciences 12, 799.
- Boughariou, E., Saidi, S., Barkaoui, A. E., Khanfir, H., Zarehloul,Y., & Bouri. S., (2014). Mapping Recharge Potential Zones and Natural Recharge Calculation: Study Case in Sfax Region. Arabian Journal of Geosciences 8, 5203–5221.
- Boukhechem,R., (2010). PROJET MAGHREBIN DE COOPERATION AVEC LE CRDI /CANADA. Expérimentation Participative et Adaptative de Modèles de Gestion des Ressources Forestières dans la Chaîne Montagneuse de l’Atlas (Algérie, Maroc, Tunisie): PARTIE ALGERIE: ZONES FORESTIERES DE BOUHMAMA ET M’SARA WILAYA DE KHENCHELA. VOLET: PROFIL DES AGROPASTEURS. NRf. P- 39
- Bouwer, H., Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering. Hydrogeol. J. 2002, 10, 121–142.
- Bouzekri, A., (2015). Évaluation Multicritère Des Situations Critiques Au Risque De La Désertification Dans Les Aurès (Algérie). Thèse Doctorat. Université El Hadj Lakhdar Batna ,225p.
- Brya, Christian., Paul, Hoflackb., Courrier De L’environnement De L’inra N°52, Septembre 2004. Une Illustration Des Problemes Poses Par La Gestion Quantitative De L’eau. Le Bassin Versant De La Charente.

C

- Casanova, J., Cagnimel, M., Devau, N., Pettenati ,M., Stollsteiner, Ph., (2012). Recharge Artificielle Des Eaux Souterraines : Etat De L’art Et Perspectives. Rapport Final. BRGM/RP-61821- FR. 99 P, 16 Ill., 18 Ann.
- Canter, L. W., & Fairchild, D. M. (1986). POST-EIS ENVIRONMENTAL MONITORING. Impact Assessment, 4(3-4), 263-285. <https://doi.org/10.1080/07349165.1986.9725787>
- C.G.G, (1969). Étude Par Prospection Géophysique Dans La Plaine De Gadaine, De Zana Et D’el Madher. Ministère De L’hydraulique, Dhw De Batna, Algérie, 39 P.
- Chenaker,H Et Houha,B Et Valles,V.,Hydrogeochemistry And Geothermometry Of Thermal Water From North-Eastern Algérie. In :Geothermics[En Ligne],2017,P 137-145 .Disponible Sur :Http :Doit.Org/10.1016/J-Geothermics :(Consulte Le 09/04/2018).J.
- Chitsazan, M., & Akhtari, Y., (2009). A GIS-Based DRASTIC Model For Assessing Aquifer Vulnerability In Kherran Plain, Khuzestan, Iran. Water Resources Management, 23(6), 1137–1155. <https://doi.org/10.1007/S11269-008-9319-8>.
- Chorley, R. J., (1969). Introduction To Physical Hydrology (Pp. 211). Suffolk: Methuen And Co. Ltd.

D

- Dali,N., (2009). Ressources Et Gestion Intégrée Des Eaux Du Bassin De Gareat El Tarf (W. Khenchela). Thèse Magister. Université De Annaba,155p.
- Das,S., Gupta, A., Ghosh ,S., (2017). Exploring Groundwater Potential Zones Using MIF Technique In Semi-Arid Region: A Case Study Of Hingoli District, Maharashtra. *Spat Inf Res*,25(6), 749–756. <https://doi.org/10.1007/S41324-017-0144-0>.
- Das, B., Pal, S.C., (2019). Combination Of GIS And Fuzzy-AHP For Delineating Groundwater Recharge Potential Zones In The Critical Goghat-II Block Of West Bengal, India. *Hydroresearch*, 2: 21-30.
- Demmak, A., (2008) Impact Sur Les Ressources En Eau Et Stratégie De Lutte Des Années 1975–2000 (Impact On Water Resources And Control Strategy Drought In Algeria 1975–2000). In 2nd MEDA Water Regional Event, 28–30 April 2008, Marrakech, Morocco.
- Dib,D., (2018). Origine Et Caractérisation De La Pollution Des Eaux Dans Le Bassin De Tarf (Ne-Algérien). Thèse Doctorat.Université Larbi Ben M'hidi Oum El Boughi,201p.
- Direction Générale Des Forêts, 2005.Fiche Descriptive Sur Les Zones Humides Ramsar Gareat El Tarf (W. Oum El Bouaghi).8p.

E

- El-Baz,F., & Haidari., (1995). Groundwater Potential of The Sinai Peninsula, Egypt, US Agency for International Development, Cairo, Egypt.
- Esdac ., (2016). Carte Des Sols D'algerie. Tébessa [Card of The Algerian Soils. Tébessa] [Online]. Feuille N.I. 32- N.O. European Soil Data Centre. [Access 17.01.2016]. Available At :<http://Esdac.Jrc.Ec.Europa.Eu/Content/Carte-Des-Sols-Dalg%C3%A9rie-T%C3%A9bessa-Feuille-Ni32-No>.

F

- Faby,J.A., Et Brissaud, F ., (1997). L'utilisation Des Eaux Usées Epurées En Irrigation. *Compte Rendu D'étude De L'office International De L'eau*, Mai 1997, 82 P.
- Famiglietti, J. S., (2014), The Global Groundwater Crisis. *Nature Climate Change* 4 (11), 945–948.
- Fashae, O. A., Tijani,M. N., Talabi,A. O., & Adeleji,O., (2014) Delineation of Groundwater Potential Zones in The Crystalline Basement Terrain of Sw Nigeria: An Integrated Gis And Remote Sensing Approach. *Applied Water Science* 4, 19–38.
- Fetter,C. W., (2001). *Applied Hydrogeology*. 4th. Supplemental Website <http://www.appliedhydrogeology.info>. Upper Saddle River, Nj: Prentice Hall, 598.
- Flint, A., Flint, L., Kwicklis, E., Fabryka-Martin, J., Bodvarsson, G., (2002). Estimating Recharge at Yucca Mountain, Nevada, Usa: Comparison of Methods. *Hydrogeology Journal*, (10), 180±204. [Doi :10.1007/S10040-001-0169-1](https://doi.org/10.1007/S10040-001-0169-1).

G

- Gabel. D, (2010). Groundwater Vulnerability. [Http://Www.Enn.Com/Top_Stories/Article/41145](http://Www.Enn.Com/Top_Stories/Article/41145), Accessed Date: 22 December 2017.
- Gérard.M., (2002-2003). Fait Au Nom De l'Office Parlementaire D'évaluation Des Choix Scient. N°2152.
- Gleeson. T, Vandersteen. J, Sophocleous. M.A, Taniguchi. M, Alley. W. M, And Zhou. Y, (2010). "Groundwater Sustainability Strategies." *Nat. Geosci.*, 378-379.
- Ghandriche, H., (1991) - Modalités De La Superposition De Structures De Plissement Chevauchement D'âge Alpin Dans Les Aurès (Algérie). Thèse De l'Univ. De Paris-Sud, Centre d'Orsay, 189 P., 68 Fig., 6 Pl. H. -T.
- Guiraud. R., (1973). Evolution Post-Triasique De L'avant Pays De La Chaîne Alpine En Algérie D'après L'étude Du Bassin Du Hodna Et Des Régions Voisines [Post-Triassic Evolution Of The Before-Country Of The Al-Pine Chain In Algeria Based On The Study Of The Hodna Basin And Neighboring Regions]. Phd Thesis. Univ. Nice Pp. 27.
- Guiraud, R., Bellion, Y., Benkhelil,J., Moreau, C., (1987). Post-Hercynian Tectonics In Northern And Western Africa. In: Bowden, P., Kinnaird, J.A. (Eds.), *African Geology Reviews*. *Geological Journal* 22, 433–466.

H

- Hammouri, N., Al-Amoush, H., Al-Raggad,M., & Harahsheh. H., (2013). Groundwater Recharge Zones Mapping Using Gis: A Case Study in Southern Part of Jordan Valley. *Jordan Arabian Journal of Geosciences: Saudi Society for Geosciences*, 7(7), 2815-2829.
- Hashemi.H, Natural Vs. Artificial Groundwater Recharge, Quantification Through Inverse Modeling. In : *Agriculture [En Ligne]*,2012, P1-14. Disponible Sur : [Http : Www.Hydrol-Earth -Sci.Net](http://Www.Hydrol-Earth-Sci.Net) : (Consulté Le 11/02/2013).
- Helweg, O.J., and Smith, G. "Appropriate Technology for Artificial Aquifers." *Ground Water* 16(3):144-148 (1978).
- Herkat. M, (1982). Lithostratigraphic Et Sédimentologic Des Formations Carbonatées Du Jurassique Supérieur Des Monts Des Ouled Naïl Et De La Terminaison Orientale Du Djebel Amour, (Atlas Saharien). Thèse 3ème cycle, U- Niv. Pau. 387p.
- Houha. B, (1996). Quantité Et Qualité Des Eaux Souterraines De La Région De Khenchela (Garât Tarf). Magister, F.S.T Annaba, Algérie, 114p.
- Houha. B, (2007). Etude Du Fonctionnement Hydrogéologique Et Salin D'un Bassin Semi-Aride. Rémila – Khenchela. Thèse Doc., Université Badji Mokhtar Annaba. ,2007.

I

-Ibrahim-Bathis. K, & Ahmed. S. A, (2016). Geospatial Technology for Delineating Groundwater Potential Zones in Doddahalla Watershed of Chitra Durga District, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 19, 223–234.

-Igwe. O, Ifediegwu. S. I, & Onwuka.O. S, (2020) Determining the Occurrence of Potential Groundwater Zones Using Integrated Hydro-Geomorphic Parameters, Gis and Remote Sensing in Enugu State, Southeastern, Nigeria. *Sustainable Water Resources Management* 6, 39.

-International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation the Hague, The Netherlands. (1986). *Artificial Groundwater Recharge for Water Supply of Medium-Size Communities in Developing Countries*.

J

-Jenks.G. F, (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping, *International Year Book Of Cartography*. 7, 186-190.

-Jha. Mk, Chowdary. Vm, Chowdhury. A, (2010). Groundwater Assessment in Salboni Block, West Bengal (India) Using Remote Sensing, Geographical Information System and Multicriteria Decision Analysis Techniques. *Hydrogeology Journal*, 18(7): 1713-1728.

<https://doi.org/10.1007/s10040-010-0631-z>.

-Jin. X, & Davis. C. H, (2005). An Integrated System for Automatic Road Mapping from High-Resolution Multispectral Satellite Imagery by Information Fusion. *International Journal Of Information Fusion* 6, 257–273.

-Jothibas. A, & Anbazhagan. S, (2017). Spatial Mapping of Groundwater Potential In Ponnaiyar River Basin Using Probabilistic-Based Frequency Ratio Model. *Modeling Earth Systems and Environment* 3 (1), 33.

K

-Kahal.A, (2019). *Hydrogéologie De L'aquifère Dans La Plaine De F'kirina (Oum El Bouaghi, Nord-Est Algérien) Et Evaluation Des Ressources En Eaux Mobilisables*. Thèse De Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.138p.

-Kim. J. C, Jung. H. S, & Lee.S, (2018). Groundwater Productivity Potential Mapping Using Frequency Ratio and Evidential Belief Function and Artificial Neural Network Models: Focus on Topographic Factors. *Journal Of Hydro Informatics* 20 (6), 1436–1451.

-Kimrey.J, (1989). *Artificial Recharge of Groundwater and Its Role in Water Management*. Amestrdam.N°72 :135-147.

-Klaus. GD, (2013). Implementing The Analytic Hierarchy Process as A Standard Method for Multi-Criteria Decision Making in Corporate Enterprises-A New AHP Excel Template with Multiple Inputs. *Proceedings Of the International Symposium on The Analytic Hierarchy Process*: 1-10.

L

- Laffitie. R, (1939a). - Étude Géologique De l'Aurès. Thèse Sciences Paris. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, (2), Stratigraphie, Bull. N° 15, 484 P., 26 Fig., 1 Carte 1/200.000e H.T.
- Lafitte. Robert, (1939). Structure Et Relief De l'Aurès (Algérie). In : Bulletin De l'Association De Géographes Français, N°119, 16e Année, Février 1939. 34-40p.
- Latreche.S, Et Bahlouli.N, (2020). Établissement De Log Litho-Stratigraphique A Partir Du Suivi De Réalisation D'un Forage, Apport De La Géologie De Sub-Surface De La Plaine d'Oum El Bouaghi (W. Oum El Bouaghi). Mémoire De Master. Université Larbi Ben M'Hidi.89p.
- Lee. S, Hong. S. M, & Jung. H. S, (2018). Gis-Based Groundwater Potential Mapping Using Artificial Neural Network and Support Vector Machine Models: The Case of Boryeong City in Korea. Geocarto International 33 (8), 847–861.
- Le Guern. P, Lachassagne.Y, Noël. F, Persin Et I. De Buyscher, (2003) : Dessalement Et Recharge Artificielle : Synthèse Technico-Economique, Rapport BRGM/RP-52262-FR, 80 P.
- Louise. R, (2007). L'eau, Source De Conflits. Lex Electronica, Vol. 12 N°2.

M

- Machiwal. D, Jha. Mk, Mal. Bc, (2011). Assessment Of Groundwater Potential in Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, Gis and Mcdm Techniques. Water Resources Management, 25(5): 1359-1386.
- Magesh. N. S, Chandrasekar. N, & Soundranayagam. J. P, (2012) Delineation of Groundwater Potential Zones in Theni District, Tamil Nadu, Using Remote Sensing, Gis and Mif Techniques. Geoscience Frontiers 3, 189–196.
- Mahmoud. S. H, Alazba. A. A, & Amin. M. T, (2014) Identification of Potential Sites for Groundwater Recharge Using a Gis-Based Decision Support System in Jazan Region-Saudi Arabia. Water Resources Management 28, 3319–3340.
- Mandal. U, Sahoo. S, Munusamy. S. B, Dhar. A, Panda. S. N, Kar. A, & Mishra. P. K, (2016). Delineation Of Groundwater Potential Zones of Coastal Groundwater Basin Using Multicriteria Decision Making Technique. Water Resources Management 30, 4293–4310.
- Marmi. R, (1995). Les Bassins Continentaux De L'avant-Pays De La Chaîne Alpine D'Algérie Nordorientale : Étude Stratigraphique, Sédimentaire, Structurale Et Géochimique. Thèse, University Nancy I, France, 253p.
- McGarry. D, (2006). A Methodology of Visual-Soil Field Assessment Tool to Support, Enhance, And Contribute to The Lada Program. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Meddi. M, & Hubert. P, (2003) Impact of The Modification of The Rainfall Regime on The Water Resources of North-West Algeria. International Association of Hydrological Sciences 278, 1–7. (In French).
- Modélisation hydrogéologique de la plaine de Rémila-Khenchela (Mémoire). (2017). Agence Nationale Des Ressources Hydraulique. <https://ds.univ>

- Mohebzadeh. H, Fathi. A, Navabi. S, Parisouj. P, & Nazari. A, (2012), A Gis-Based Modelling for Identifying High Priority Areas for Groundwater Recharge. *Journal Of Earth Science and Engineering* 8, 93–102.
- Mousavi. S. M, Golkarian. A, Naghibi. S. A, Kalantar. B, & Pradhan. B, (2017). Gis-Based Groundwater Spring Potential Mapping Using Data Mining Boosted Regression Tree and Probabilistic Frequency Ratio Models in Iran. *Aims Geosciences* 3 (1), 91–115.
- Muckel, D.C. "Replenishment of Ground Water Supplies by Artificial Means," U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1195 (1959).
- Mutin. G, (2009). *Le Monde Arabe Face Au Défi De L'eau Enjeux Et Conflits*. Hal- Version 2, November 2009.
- Ministry Of Water Ressources, Central Ground Water Board, (2007). *Manual Or Artificial Recharge of Ground Water*. 198p.

N

- Nasiri.H, Bolorani.A. D Et Sabokbar.H. A Et Jafari.H. R Et Hamzeh.M Et Rafii.Y.(2012). Determining The Most Suitable Areas for Artificial Ground Water Recharge Via an Integrated Promethee. *Ii.Ahp Method*, *Irom* .13(1),707-718.
- National Research Council. 1994. *Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/4780> [Accessed: 27/05/2015].
- Nayantra.N. K Et Niranjana.A. Artificial Recharge Of Groundwater, Soil And Groundwater Pollution. In : *Environmental Quality Council [En Ligne]*,1997, P1-9, Disponible Sur : <http://Ewr.Cee.Vt.Edu/Environmental /Teach/Gw Primer/Recharge/Recharge.Html> : (Consulté Le 08/6/2021).
- Nouayti. N, Khattach. D, Hilali. M, (2017). Potential Areas Mapping for The Groundwater Storage in The High Ziz Basin (Morocco): Contribution of Remote Sensing and Geographic Information System. *Bulletin De L'institut Scientifique, Rabat, Section Sciences De La Terre*, 39 : 45- 57.
- Nouayti. A, Khattach. D, Hilali. M, et al. (2019). Mapping Potential Areas for Groundwater Storage in The High Guir Basin (Morocco): Contribution of Remote Sensing and Geographic Information System. *Journal Of Groundwater Science and Engineering*, 7(4): 309-322.

O

- O'Hare .M. P., Fairchild .D. M., . Hajali P. A and L. W. Canter, "Artificial Recharge of Groundwater: Status and Potential in the Contiguous United States," Lewis Publishers, Chelsea, 1986.
- Olivia.H, (2016). *Artificial Recharge of Groundwater with Recycled Municipal Waste Water in The Pajaro Valley*. Master Thesis. University Of San Francisco, 68p.

-Ozdemir. A, (2011) Using A Binary Logistic Regression Method and GIS for Evaluating and Mapping the Groundwater Spring Potential in The Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal Of Hydrology* 405 (1–2), 123–136.

P

-Projet Maghrébine De Coopération Avec Le CRDI/Canada, (2010), Expérimentation Participative Et Adaptative De Modèles De Gestion Des Ressources Forestières Dans La Chaîne Montagneuse De l'Atlas (Algérie, Maroc, Tunisie). Zones Forestières De Bouhmama Et M'Sara (W. Khenchela). Rapport Finale.39p.

-Peters, H. J. (1986). Artificial Recharge of Groundwater Symposium. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 67(8), 92. <https://doi.org/10.1029/eo067i008p00092-04>

-Pettyjohn, W.A. Introduction to Artificial Ground Water Recharge. Wor- thington, Ohio: National Well Water Association, 1981.

-Pourghasemi. H. R, & Beheshtirad, M2015 Assessment of a Data Driven Evidential Belief Function Model and GIS for Groundwater Potential Mapping in The Koohrang Watershed, Iran. *Geocarto International* 30 (6), 662–685.

-Pyne, R. David G., 2005. Aquifer Storage Recovery: A Guide to Groundwater Recharge Through Wells, ASR Press, 640 P.

R

-Rafter, G.W. "Sewage Irrigation." U.S. Geological Survey Water-Supply Paper No. 3 (1897).

-Rahmati. O, Nazari Samani. A, Mahdavi. M, Pourghasemi. H. R, & Zeinivand, H. (2015). Groundwater Potential Mapping at Kurdistan Region of Iran Using Analytic Hierarchy Process and Gis. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 7059-7071.

-Rahmoune.N Et Chermate.M, (2019). Risque De Pollution Agricole Sur Les Eaux Souterraines, Cas Du Bassin Versant De Gareat El Tarf. Thèse Master .96p.

-Rapport BRGM/ONEMA « Recharge Artificielle Des Eaux Souterraines : Etats De L'art Et Perspectives » RP-61821-FR : [Http://Infoterre.Brgm.Fr/Rapports/RP-61821-FR.Pdf](http://infoterre.brgm.fr/Rapports/RP-61821-FR.Pdf)

-Ratnoprakhi, T.G. "Underground Bunds for Artificial Recharge." In: R.N. Athavale (Ed). Proceedings of Indo-German Workshop. Padmanagar, Secun- derabad, India: National Geophysical Research Institute, 1978, pp. 351-358. 45.

S

-Sandoval, J.A., Tiburan, C.L., Jr. Identification of Potential Artificial Groundwater Recharge Sites in Mount Makiling Forest Reserve, Philippines Using Gis and Analytical Hierarchy Process. *Appl. Geogr.* 2019, 105, 73–85.

- Saidi, S, Hosni, S, Mannai, H, Jelassi, F, Bouri, S, & Anselme, B, (2017) Gis-Based Multi-Criteria Analysis and Vulnerability Method for The Potential Groundwater Recharge Delineation, Case Study of Manouba Phreatic Aquifer, Ne Tunisia.
- Saoudi, A., (2017). Spécificités Géologiques Et Hydrologique De La Région Des Lacs Et De La Plaine De Remila Et Son Impact Sur Le Tracé Routier Oum El Boughi. Khenchela. Thèse De Master. Université Larbi Ben M'hidi Oum El Boughi, 87p.
- Shaban, A., Khawlie, M, & Abdallah, C, (2006) Use of Remote Sensing and Gis to Determine Recharge Potential Zones: The Case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal* 14, 433–443.
- Shiklomanov, I., (1993). World Freshwater Resources, In Gleick, P. (Ed.), *Water in Crisis*, Oxford, Oxford University Press, 1-24.
- Silvie, H., Et Marian, M., Et Jitka, L., Et Miroslav, K., Et Michal, K., Artificial Groundwater Recharge With Surface Water. In : *Géologue* [En Ligne], 2016. Disponible Sur : [Http : Iopscience.Iop.Org](http://iopscience.iop.org) : (Consulté Le 20/06/2021).
- Singh, S.K., Zeddies, M., Shankar, U., Griffiths, G.A., Potential Groundwater Recharge Zones Within New Zealand. *Geosci. Front.* 2019, 10, 1065–1072.
- Sinha, R., Milu, M. TP40_6_ Artificial recharge. <https://www.samsamwater.com>. p 28.
- Sokeng, V. J., Kouame, F., Ngatcha, B. N., N'da, H. D., You Akpa, L., & Rirabe, D., (2016). Delineating Groundwater Potential Zones in Western Cameroon Highlands Using Gis Based Artificial Neural Networks Model and Remote Sensing Data. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 15 (4), 747–759.
- Solomon, S., Quiel, F., (2006). Groundwater Study Using Remote Sensing and Geographic Information Systems (Gis) In the Central Highlands of Eritrea. *Hydrogeol J* 14 :729–741.
- Spandre, R. University of Pisa, Italy. Artificial Groundwater Recharge, *Encyclopedia of Life Support System*, Vol-3, 1-9. <http://www.eolss.net/Eolss-sampleAllChapter.aspx>.
- Staifl L. (2017). Modélisation hydrogéologique de la plaine de Rémila-Khenchela (Mémoire). Agence Nationale Des Ressources Hydraulique. <https://ds.univ-oran2.dz:8443/bitstream/123456789/2133/1/modelisation%20de%20la%20plaine%20de%20remila%203.pdf>

T

- Tahmassebpour, N., Rahmati, O., Noormohamadi, F., & Lee, S., (2016) Spatial Analysis of Groundwater Potential Using Weights Of-Evidence and Evidential Belief Function Models and Remote Sensing. *Arabian Journal of Geosciences* 9, 79.
- Tiwari, A. K., Lavy, M., Amanzio, G., De Maio, M., Singh, P. K., & Mahato, M. K., (2017) Identification of Artificial Groundwater Recharging Zone Using A GIS-Based Fuzzy Logic Approach: A Case Study in A Coal Mine Area of The Damodar Valley, India. *Applied Water Science* 7, 4513–4524.

-Todd, D.K., Mays, L.W., Groundwater Hydrology, 3rd Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2005; Available Online: <https://www.wiley.com/en-us/Groundwater+Hydrology%2C+3rd+Edition-P-9780471059370> (Accessed On 1 Mai 2021).

U

-United Nation Environment Programme (UNEP). Artificial Recharge Of Groundwater. Alternative Technologies For Freshwater Augmentation In Some Countries In Asia. 2011. Available Online: <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/techpub-8e/artificial.asp> (Accessed On 6/5/2021).

-U. S. Geological Survey (USGS), (2016). How Much Water Is There On, In, And Above the Earth? <https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>, Accessed Date: 23 Mai 2021.

V

-Vila J.M, (1977) - Carte Géologique De l'Algérie Au 1/50.000, Feuille N° 175, Garet Et Tarf (1ère Edition) Avec Notice Explicative Détaillée (Levés De S. Guellal). Serv. Carte Géol. Algérie / SONATRACH, (Div. Hydrocarbures, Dir. Explor).

-Villa. J.M, (1980), La Chaîne Alpine D'algérie Orientale Et Des Confins Algéro- Tunisiens. Thèse Docteurs Sciences. Université De Pierre Et Marie Curie Paris Vi, France.

-Veeranna, J. (2020, 27 octobre). Groundwater Recharges Technology for Water Resource Management : A Case Study. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/online-first/groundwater-recharges-technology-for-water-resource-management-a-case-study>

W

-Wondifraw, N., Binyam .TH., Tilahun. A., (2019). Mapping Of Groundwater Potential Zones Using Sentinel Satellites (-1 SAR And -2A MSI) Images and Analytical Hierarchy Process in Ketar Watershed, Main Ethiopian Rift. Journal Of African Earth Sciences, 160: 1-17.

Y

-Yeh, H. F., Cheng, Y. S., Lin, H. I., & Lee, C. H., 2016 Mapping Groundwater Recharge Potential Zone Using A GIS Approach in Hualian River, Taiwan. Sustainable Environment Research 26, 33-43.

-Younssi, H., (2009). Epuisement De La Nappe Aquifère De La Région De F'kirina (W. Oum El Bouaghi), Et Ces Répercussions Sur La Gestion Des Ressources En Eau. Thèse De Magister. Université De Annaba. 124p.

Z

-Zabihi, M., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., & Behzadfar, M., 2016 Gis-Based Multivariate Adaptive Regression Spline and Random Forest Models for Groundwater Potential Mapping in Iran. *Environmental Earth Sciences* 75, 665.

-Zouaoui, A., 2008. Evaluation De L'aptitude Culturelle Pour Le Blé Dur (*Triticum Durum* Desf. Var Mbb) Et L'orge (*Hordeum Vulgare* L. Var. Saida) Des Terres Des Hautes Plaines Constantinoises [Evaluation Of The Cultural Suit-Ability For Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf. Var Mbb) And Barley (*Hordeum Vulgare* L. Var Saida) In the High Constantine Plains]. Phd Thesis. Algiers. National Institute of Agronomy El Harrach Pp. 322.

Les sites web :

1. Artificial Ground Water Recharge. (1967). *Journal - American Water Works Association*, 59(1), 103-113. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1967.tb03339.x>
2. C. (2018, 10 décembre). Percolation Tanks – A Component for Ground Water Recharging. RainWater Harvesting Filters, Products & Consultancy Services. <http://www.chaitanyaproducts.com/blog/percolation-tanks-a-component-for-ground-water-recharging/>
3. coursehero.com: [2843 Advantages of artificial recharge While recharging rain and surface water | Course Hero](https://www.coursehero.com/2843-Advantages-of-artificial-recharge-While-recharging-rain-and-surface-water-Course-Hero/)
4. Garaet El Taref | Service d'information sur les Sites Ramsar. (2004). Service d'information sur les sites Ramsar. <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/1421?language=fr>
5. Groundwater Recharges Technology for Water Resource Management: A Case Study: <https://www.intechopen.com/online-first/groundwater-recharges-technology-for-water-resource-management-a-case-study>. Consulté le 8/6/2021.
6. Hammam Essalihin Wikipédia : https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Hammam_Essalihine&ved=2ahUKEwiNvcyfsszxAhWNlhQKHYqYA vQQFjA MegQIIxAC&usg=AOvVaw2RjiYiHoGMrW7qXKy7_EZs.
7. Nessahra .net : <https://nessahra.net> consulté le 25/5/2021.

8. Service d'information sur les sites Ramsar :

<https://rsis.ramsar.org/fr/ris/1421?language=fr> (Consulté Mai 2021).

Veeranna, J. (2020, 27 octobre). Groundwater Recharges Technology for Water Resource Management: A Case Study. IntechOpen.

<https://www.intechopen.com/online-first/groundwater-recharges-technology-for-water-resource-management-a-case-study>

Résumé :

Cette étude propose une méthodologie pour délimiter les zones de recharge artificielle favorables à l'aide de la télédétection intégrée (RS), du système d'information géographique (SIG) et des techniques de la prise de décision multicritère pour augmenter les ressources en eau souterraine dans le bassin versant de Garaet El Tarf au nord-est de l'Algérie, qui connaît des problèmes de pénurie d'eau depuis quelques années. Les couches thématiques considérées dans cette étude sont : Lithologie (L), Densité de drainage (D) ; précipitation (R) ; texture du sol (S) ; la pente (Sp) ; profondeur d'eau (P) et occupation du sol (Os). Différents thèmes et leurs caractéristiques correspondantes ont reçu des poids appropriés en fonction de leur contribution relative à la recharge des eaux souterraines dans la région, et des poids normalisés ont été calculés à l'aide du processus de hiérarchie analytique de Saaty (PHA).

Ces couches thématiques ont ensuite été intégrées dans l'environnement SIG pour délimiter des zones de recharge artificielle dans la zone d'étude. La carte de recharge artificielle ainsi obtenue divise la zone d'étude en trois zones. Il a été constaté qu'environ 53 % de la zone d'étude relève de la zone « appropriée », tandis que 35 % relève de la zone « modérément appropriée ». La partie nord de la zone d'étude s'est avérée impropre à la recharge artificielle.

Sur la base des informations disponibles sur le terrain, les barrages de retenue sont suggérés comme des structures de recharge artificielle prometteuses.

Mots Clés : Recharge artificielle, SIG, Télédétection, eau souterraines, barrage de retenue, Garaet El Tarf, Algérie.

Abstract:

This study proposes a methodology to delineate favorable artificial recharge areas using integrated remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and multi-criteria decision making (MCDM) techniques to increase groundwater resources in the Garaet El Tarf watershed in northeastern Algeria, which has been experiencing water scarcity problems for the past few years. The thematic layers considered in this study are: Lithology (L), Drainage density (D); precipitation (R); soil texture (S); the slope (Sp); water depth (P) and land use (Os). Different themes and their corresponding features were given appropriate weights based on their relative contribution to groundwater recharge in the region, and normalized weights were calculated using the Saaty Analytical Hierarchy Process (AHP).

These thematic layers were then integrated into the GIS environment to delineate areas of artificial recharge in the study area. The resulting artificial recharge map divides the study area into three zones. It was found that approximately 53% of the study area falls into the "suitable" zone, while 35% falls into the "moderately suitable" zone. The northern portion of the study area was found to be unsuitable for artificial recharge.

Based on the available field information, check dams are suggested as promising artificial recharge structures.

Keywords: Artificial recharge, GIS, Remote sensing, groundwater, check dam, Garaet El Tarf, Algeria.

ملخص:

تقترح هذه الدراسة منهجية لتحديد مناطق التغذية الاصطناعية الملائمة باستخدام الاستشعار عن بعد المتكامل، ونظام المعلومات الجغرافية وتقنيات صنع القرار متعددة المعايير لزيادة الموارد في المياه الجوفية في مستجمعات مياه قرعة الطرف في شمال شرق الجزائر، والتي تعاني من مشاكل ندرة المياه لعدة سنوات.

الطبقات الموضوعية التي تم تناولها في هذه الدراسة هي: علم الصخور، كثافة الصرف، هطول الأمطار؛ نسيج التربة؛ المنحدر؛ عمق المياه واستخدام الأرض. تم إعطاء هذه الموضوعات المختلفة وخصائصها المقابلة أوزاناً مناسبة بناءً على مساهمتها النسبية في تغذية المياه الجوفية في المنطقة، وتم حساب الأوزان القياسية باستخدام عملية التحليل الهرمي. ثم تم دمج هذه الطبقات الموضوعية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لتحديد مناطق التغذية الاصطناعية في منطقة الدراسة. وبالتالي، فإن خريطة التغذية الاصطناعية التي تم الحصول عليها تقسم منطقة الدراسة إلى ثلاث مناطق. فقد وجد أن ما يقرب من 53٪ من منطقة الدراسة تقع ضمن المنطقة "المناسبة"، بينما تقع 35٪ منها ضمن المنطقة "المناسبة إلى حد ما". وتبين أن الجزء الشمالي من منطقة الدراسة غير مناسب للتغذية الاصطناعية.

بناءً على المعلومات المتوفرة في هذا المجال، يُقترح السدود على أنها هياكل إعادة تغذية صناعية واعدة.

الكلمات المفتاحية: التغذية الاصطناعية، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، المياه الجوفية، سد الاحتباس، قرعة الطرف، الجزائر.