

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire



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

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

Filière: "Géologie"

Spécialité: "Hydrogéologie et Environnement"

**Thème :**

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET  
IDENTIFICATION DU SYSTÈME D'IRRIGATION DE FOGGARA DANS  
LA RÉGION D'ADRAR**

Présentés et soutenus publiquement par :

1- LAKHAL Fatima Zohra

2- SASSEFA Souad

**JURY:**

**-Président:** BOUCHENTOUF Khaled, Maitre assistant A

**-Promoteur:** KHELFAOUI Hakim, Maitre de conférences B

**-Examineur:** ZERARKA Abdelkader, Maitre de conférences A

Année universitaire: 2014 -2015

## ملخص

الفقارة هي نظام تقليدي لاحتواء المياه الجوفية يميز منطقة ادرارو يشتهر أساسا في منطقة توات، قورارة و تيديكلت، يقوم على نظام أروقة تحت الأرض ذات ميل ضعيف يتم فيه تصريف هذه المياه إلى غاية شبكة سقي تابع للواحة. المياه الجوفية للمتداخل القاري والتي تم استغلالها عن طريق الفقارة و الآبار ذات العمق المتوسط تظهر بصفة عامة نوعية متوسطة مقارنة بالضوابط التي توصي بها منظمة الصحة العالمية، هذه الحالة مرتبطة أساسا بالطبقات الجيولوجية التي تميز المنطقة.

في هذه الدراسة سوف نقوم بتحديد مختلف الأماكن التي تم فيها تجاوز هذه الضوابط و تحديد العوامل المسؤولة على ذلك.

**الكلمات المفتاحية :** فقارة، المتداخل القاري، ادرار، المياه الجوفية، التركيز.

## **Abstract**

The foggara is a traditional water capturing system that characterizes the Region of Adrar, developed mainly in the Touat region Gourara and Tidikelt, is to Capture water by a slightly inclined tunnel system to drain until then irrigation Network of the palm Grove. Ground waters captured by the system and by medium Drilling depths of the Water table located in the “Intercalary Continental” generally Has a poor quality Compare with the standards potability of water set by the World Health Organization; this state is due mainly to the lithology of the aquifer horizon That contains them.

In This study, we just determine the different places where these standards are Exceeded, and determine the factors responsible for this deterioration.

***Key words:*** *Foggara, Intercalary Continental, Adrar, Ground waters, concentration.*

## Résumé

La foggara est un système traditionnel de captage des eaux qui caractérise la région D'Adrar, développée principalement dans la région du Touat, Gourara et de Tidikelt, consiste À capter les eaux par un système de galeries faiblement inclinées pour les drainer ensuite Jusqu'au réseau d'irrigation de la palmeraie. Les eaux souterraines captées par ce système Ainsi que par des forages de moyennes profondeurs localisées dans la nappe libre du Continental Intercalaire possèdent généralement une médiocre qualité par rapport aux normes De potabilité des eaux fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé, cet état est dû Principalement à la nature lithologique de l'horizon aquifère qui les renferme. Dans cette étude, on vient de déterminer les différents endroits où ces normes sont dépassées, Ainsi les Facteurs responsables à cette détérioration.

**Mots clés :** *Foggara, Continental Intercalaire, Adrar, eaux souterraines, concentrations.*

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail*

*À la mémoire de mon cher oncle "Adda"*

*À mes chers grands parents que dieu les garde*

*À mes chers parents pour leurs soutiens et  
encouragements*

*À mes frères, Ayoub, Ilias, Zakaria, Younes*

*À mes sœurs, Houda, Yasmine*

*À mon cher oncle et leur famille*

*À ma tante et leurs enfants*

*À mon cousin amine et sa mère*

***Lakhal Fatima***

***Zohra***

## **Dédicace**

*Je dédie ce mémoire À mes chers parents.*

*À ma grand-mère.*

*À mes frères : Oudheh, Abed, Abdelhak et Ahmed.*

*À mes sœurs : Samira, Fadhila, Mokhtaria et Ikram.*

*À mon petit ange « Aya Ahlem ».*

*À mes amis : Rekia, Souad, Khadidja, et Noria.*

*À mes oncles et mes tantes.*

**Sassefa Souad**

## ***Remerciements***

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude, avant tout à DIEU tout puissant qui nous a aidé et donné le courage pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement monsieur Khelfaoui Hakim pour avoir dirigé ce travail et pour sa patience et sa gentillesse, qu'il trouve ici notre respects.

Notre gratitude s'adresse à monsieur Bouchentouf Khaled et monsieur Zerarka AEK pour avoir présidé et examiné ce travail.

Notre vifs remerciements et notre respects les plus distingués vont à Monsieur Mouchara Nabil pour leurs aides et leur conseilles.

A nos enseignants de l'université Ibn Khaldoun Tiaret.

A toute la promotion licence, master 2010-2015.

Un remerciement particulier à monsieur Benhamza Messaoud et monsieur Nacéri Behous, pour leurs aides et collaboration.

Egalement à tous les gens de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Adrar.

## Table des Matières

N°		Page
	ملخص.....	I
	Abstract.....	II
	Résumé.....	III
	Dédicace.....	IV
	Remerciements.....	VI
	Table des matières.....	VII
	Liste des figures.....	X
	Liste des tableaux.....	XII
	Liste des abréviations.....	XIII
	<b>Introduction Générale</b>	01
	<b>Chapitre I : Présentation de la zone d'étude</b>	
I.1.	Situation géographique.....	03
I.2.	Aspect géomorphologique et topographique.....	04
I.2.1.	Les ergs.....	04
I.2.2.	Les regs.....	04
I.2.3.	La dépression.....	04
I.2.4.	Le plateau.....	04
I.2.5.	Réseau hydrographique.....	04
I.3	Aspect socio-économique.....	04
I.3.1.	La démographie.....	04
I.3.2.	L'agriculture.....	04
I.3.3.	L'industrie.....	04
I.4.	Le climat.....	04
	<b>Chapitre II : Géologie de la région</b>	
II.1.	Introduction.....	06
II.2.	Géologie régionale.....	06
II.2.1.	Le précambrien.....	06
II.2.2.	Le paléozoïque.....	06
II.2.2.1.	Le cambrien.....	06
II.2.2.2.	L'ordovicien.....	06
II.2.2.3.	Le silurien.....	06
II.2.2.4.	Le dévonien.....	06
a)	Le dévonien inférieur.....	06
b)	Le dévonien moyen.....	06
c)	Le dévonien supérieur.....	06
II.2.2.5.	Le carbonifère.....	07
a)	Le namurien.....	07
b)	Le viséen supérieur et inférieur.....	07
c)	Le tournaisien.....	07
II.2.3.	Le mésozoïque.....	07
II.2.3.1.	Le trias.....	07
II.2.3.2.	Le jurassique.....	07
a)	Le jurassique inférieur et moyen (lias-dogger).....	07
b)	Le jurassique supérieur.....	07
II.2.3.3.	Le crétacé.....	07
a)	Le crétacé inférieur.....	07

-	Le néocomien.....	07
-	Le barrémien .....	07
-	L'aptien .....	07
-	L'albien.....	07
b)	Le crétacé supérieur.....	07
-	Le céno manien .....	07
-	Le turonien.....	07
-	Le sénonien .....	07
II.2.4.	Le cénozoïque.....	08
II.2.4.1.	Le tertiaire .....	08
II.2.4.1.1.	L'éocène .....	08
a)	L'éocène inférieure.....	08
b)	L'éocène supérieure.....	08
II.2.4.1.2.	Le mio-pliocène .....	08
II.2.4.2.	Le quaternaire .....	08
	Conclusion.....	08
<b>Chapitre III : caractéristiques hydrogéologiques</b>		
III.1.	Introduction .....	11
III.2.	Délimitation des aquifères.....	11
III.2.1.	L'épaisseur du continentale intercalaire.....	13
III.2.2.	La lithologie de la nappe du continentale intercalaire .....	14
III.3.	Piézométrie .....	17
III.4.	Age des eaux du continentale intercalaire .....	19
III.5.	L'alimentation du continentale intercalaire .....	20
	Conclusion.....	21
<b>Chapitre IV : Description du système d'irrigation par la foggara</b>		
IV.1.	Introduction.....	23
IV.2.	Définition de la foggara.....	23
IV.3.	Les éléments d'une Foggara.....	23
IV.3.1.	Le captage.....	23
IV.3.1.1.	La galerie.....	23
IV.3.1.2.	Les puits .....	24
IV.3.2.	La distribution.....	24
a)	Peigne répartiteur « Kasria » .....	24
b)	Le Madjen.....	25
c)	Les Seguias .....	25
IV.4.	Situation géographique des Foggaras.....	26
IV.5.	Fonctionnement de la Foggara.....	26
IV.6.	Mesure et partage du débit de la Foggara .....	27
IV.6.1.	Outil et l'unité de mesure de débit.....	27
IV.6.2.	Mesure de débit .....	28
IV.6.3.	Partage du débit.....	28
IV.7.	Types de la Foggara .....	29
IV.7.1.	La Foggara de l'Albien .....	29
IV.7.2.	La Foggara de l'Erg .....	29
IV.7.3.	La Foggara de jardin .....	29
IV.7.4.	La Foggara se source .....	29
IV.7.5.	Foggara de la montagne .....	30
IV.7.6.	Foggara des Oueds .....	30

IV.7.7.	Foggara des crues .....	30
IV.8.	Facteurs de dégradation de la Foggara .....	31
IV.8.1.	Influence des forages d'eau sur la Foggara.....	31
IV.8.2.	Nature de la nappe aquifère exploitée .....	31
IV.8.3.	Effondrement des Foggaras .....	31
IV.8.4.	Ensablement des Foggaras .....	31
IV.8.5.	Pollution des eaux de Foggaras .....	31
IV.8.6.	Problème d'entretien des Foggaras .....	31
	Conclusion.....	32

## **Chapitre V : Hydrochimie**

V.1.	Introduction.....	34
V.2.	Matériel et méthode.....	34
V.3.	Interprétation des données.....	36
V.3.1.	Le potentiel hydrogène (pH).....	36
V.3.2.	La conductivité électrique.....	36
V.3.3.	Le Résidu sec.....	37
V.3.4.	La Dureté ou titre hydrotimétrique (TH).....	38
V.3.5.	Les cations.....	38
V.3.5.1.	Le calcium.....	38
V.3.5.2.	Le magnésium.....	39
V.3.5.3.	Le sodium.....	40
V.3.5.4.	Le Potassium.....	41
V.3.6.	Les anions.....	41
V.3.6.1.	Les chlorures.....	41
V.3.6.2.	Les bicarbonates.....	42
V.3.6.3.	Les Sulfates.....	43
V.3.6.4.	Les nitrates.....	43
V.3.6.5.	Les nitrites.....	44
V.3.7.	Les faciès chimiques.....	45
	Conclusion.....	48
	<b>Conclusion Générale et Recommandations.....</b>	<b>49</b>
	Bibliographie	

## Liste des figures

N°	Titre des figures	page
<b>Figure n°1 :</b>	Carte de situation géographique de la zone d'étude (région d'Adrar).....	03
<b>Figure n°2 :</b>	Carte géologique de région d'Adrar d'après l'agence nationale des ressources hydraulique (ANRH), antenne régional sud-ouest.....	09
<b>Figure n°3 :</b>	Carte géologique du Système Aquifère du Sahara Septentrional " SASS " (OSS, 2003).....	11
<b>Figure n°4 :</b>	Limite géographique des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminale.....	12
<b>Figure n°5 :</b>	Carte Hydrogéologique du Sahara Nord Occidentale.....	13
<b>Figure n°6 :</b>	Carte des épaisseurs du Continentale Intercalaire (OSS, 2003b).....	14
<b>Figure n°7 :</b>	Carte d'inventaire des piézomètres, des forages et des profils hydrogéologique.....	15
<b>Figure n°8 :</b>	Coupe hydrogéologique schématique suivant le profil I (N-S).	16
<b>Figure n°9 :</b>	Coupe hydrogéologique schématique suivant le profil II (OSO-ENE).....	17
<b>Figure n°10 :</b>	Carte piézométrique de la zone d'étude (mai 2014).....	19
<b>Figure n°11 :</b>	Age des eaux du Continental Intercalaire d'après le teneur en <sup>14</sup> C (OSS, 2004).....	20
<b>Figure n°12 :</b>	Kasria de Foggara Armoul, Tamentit.....	24
<b>Figure n°13 :</b>	Le Madjen de Foggara Armoul, Tamentit.....	25
<b>Figure n°14 :</b>	Seguia en terre, Tamentit.....	25
<b>Figure n°15 :</b>	Seguia en ciment, Tamentit.....	25
<b>Figure n°16 :</b>	Schéma de fonctionnement de la Foggara.....	26
<b>Figure n°17 :</b>	"Chegfa" Outil de mesure du débit.....	27
<b>Figure n°18 :</b>	Évolution des débits des Foggaras par commune (1998, 2011).....	29
<b>Figure n°19 :</b>	Répartition des différentes foggaras Algériennes.....	30
<b>Figure n°20 :</b>	Carte d'inventaire des forages et des Foggaras.....	35
<b>Figure n°21 :</b>	Catre de distribution spatiale de pH pour les forages.....	36
<b>Figure n°22 :</b>	Catre de distribution spatiale de pH pour les Foggaras.....	36
<b>Figure n°23 :</b>	Catre de distribution spatiale de la conductivité électrique pour les Forages.....	37

<b>Figure n°24 :</b>	Catre de distribution spatiale de la conductivité électrique pour les Foggaras.....	37
<b>Figure n°25 :</b>	Carte de distribution spatiale du résidu sec pour les forages...	37
<b>Figure n°26 :</b>	Carte de distribution spatiale du résidu sec pour les foggaras.	37
<b>Figure n°27 :</b>	Carte de distribution spatiale de la durezza pour les forages.....	38
<b>Figure n°28 :</b>	Carte de distribution spatiale de la durezza pour les foggaras....	38
<b>Figure n°29 :</b>	Carte de distribution spatiale du calcium pour les forages...	39
<b>Figure n°30 :</b>	Carte de distribution spatiale du calcium pour les foggaras.....	39
<b>Figure n°31 :</b>	Carte de distribution spatiale de magnésium pour les forages..	40
<b>Figure n°32 :</b>	Carte de distribution spatiale de magnésium pour les foggaras.....	40
<b>Figure n°33 :</b>	Carte de distribution spatiale Du sodium pour les forages.....	40
<b>Figure n°34 :</b>	Carte de distribution spatiale Du sodium pour les foggaras....	40
<b>Figure n°35 :</b>	Carte de distribution spatiale du potassium pour les forages...	41
<b>Figure n°36 :</b>	Carte de distribution spatiale du potassium pour les foggaras..	41
<b>Figure n°37 :</b>	Carte de distribution spatiale du chlorure pour les forages.....	42
<b>Figure n°38 :</b>	Carte de distribution spatiale du chlorure pour les foggaras....	42
<b>Figure n°39 :</b>	Carte de distribution spatiale du bicarbonate pour les forages..	42
<b>Figure n°40 :</b>	Carte de distribution spatiale du bicarbonate pour les foggaras	42
<b>Figure n°41 :</b>	Carte de distribution spatiale des sulfates pour les forages.....	43
<b>Figure n°42 :</b>	Carte de distribution spatiale des sulfates pour les foggaras....	43
<b>Figure n°43 :</b>	Carte de distribution spatiale des nitrates pour les forages.....	44
<b>Figure n°44 :</b>	Carte de distribution spatiale des nitrates pour les foggaras....	44
<b>Figure n°45 :</b>	Carte de distribution spatiale des nitrites pour les forages.....	45
<b>Figure n°46 :</b>	Carte de distribution spatiale des nitrites pour les foggaras....	45
<b>Figure n°47 :</b>	Détermination des faciès des eaux souterraines des Foggaras par le diagramme de Piper.....	46
<b>Figure n°48 :</b>	Détermination des faciès des eaux souterraines des forages par le diagramme de Piper.....	47

## Liste des Tableaux

<b>N° de Tab</b>	<b>Titre de tableau</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 01 :</b>	Caractéristiques des forages implantés dans la zone d'étude.	15
<b>Tableau 02 :</b>	Mesure du gradient hydraulique d'après la piézométrie du mois de mai 2014.....	18
<b>Tableau 03 :</b>	Tableau des sous multiples de Habba.....	27
<b>Tableau 04 :</b>	Tableau des sous multiples de Kirat.....	28
<b>Tableau 05 :</b>	Tableau récapitulatif des Foggaras de la zone d'étude.....	28
<b>Tableau 06 :</b>	Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable (2011).....	35
<b>Tableau 07 :</b>	Qualité des eaux en fonction de leur dureté.....	38

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**CI** : Continental Intercalaire.

**CT** : Complexe Terminal.

**MTU** : Mercator transverse universelle.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**OSS** : Observatoire du Sahara et du Sahel.

**SASS** : Système aquifère du Sahara septentrional.

## INTRODUCTION GENERALE

La wilaya d'Adrar présente un potentiel hydraulique intense, il s'agit de la nappe du continental intercalaire, depuis des siècles et à cause des conditions climatiques difficiles, les oasis cherchent à restituer l'eau par un système traditionnel appelé "foggara" connus dans le monde sous différentes appellations.

La foggara consiste de ramener l'eau à la surface du sol sous l'effet de la gravité depuis la zone aquifère en direction de la palmeraie. Pour une multitude de causes, cette technique traditionnelle est en nette régression depuis des années et par conséquent la régression de système oasisien.

Cette étude a pour objectif d'étudier ce système de Foggara et l'horizon aquifère capté lui-même par des forages implantés dans la région représenté par la nappe libre du Continental Intercalaire qui occupe la partie sud-ouest du Système Aquifère du Sahara Septentrional "SASS", (OSS, 2003), (OSS, 2004), (Benhamza M., 2013), et de suggérer quelques recommandations pour la préservation et le maintien de ce système.

Pour mieux décrire ces différentes propriétés, on a bien détaillé ce travail en cinq chapitres :

- ❖ Le premier chapitre pour présenter la zone d'étude (situation géographique, géomorphologie,...etc.).
- ❖ Le deuxième chapitre : description géologique de la région, stratigraphie et faciès des couches.
- ❖ Le troisième chapitre consacré à l'étude l'hydrogéologique de la région (les ressources en eau souterraine disponible, la lithologie de leur réservoir, la piézométrie, ... etc.).
- ❖ Le quatrième chapitre pour l'identification et la description du système traditionnel de captage des eaux de la région matérialisé par les Foggaras et les contraintes qui agissent sur leur fonctionnement.
- ❖ Le cinquième chapitre est consacré à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe libre du Continental Intercalaire et la détermination de différents faciès chimiques des eaux des forages et des foggaras.

Chapitre I

---

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

## I.1. Situation géographique

La zone d'étude fait partie de la wilaya d'Adrar, située entre les latitudes 27°30'N et 28°00'N et les longitudes 0°00'O et 0°30'O, elle s'étend de la ville d'Adrar jusqu'à la commune de Tamest sur une distance de 46 Km (Fig.1), elle englobe du nord au sud les cinq communes suivantes : Adrar, Bouda, Timmi, Tamentit, Fenoughil.

Cette zone est limitée :

- Au nord par le Grand Erg Occidental.
- A l'ouest par Erg Chech.
- Au sud par la commune de Tamest.
- A l'est par le plateau de Tademaït.

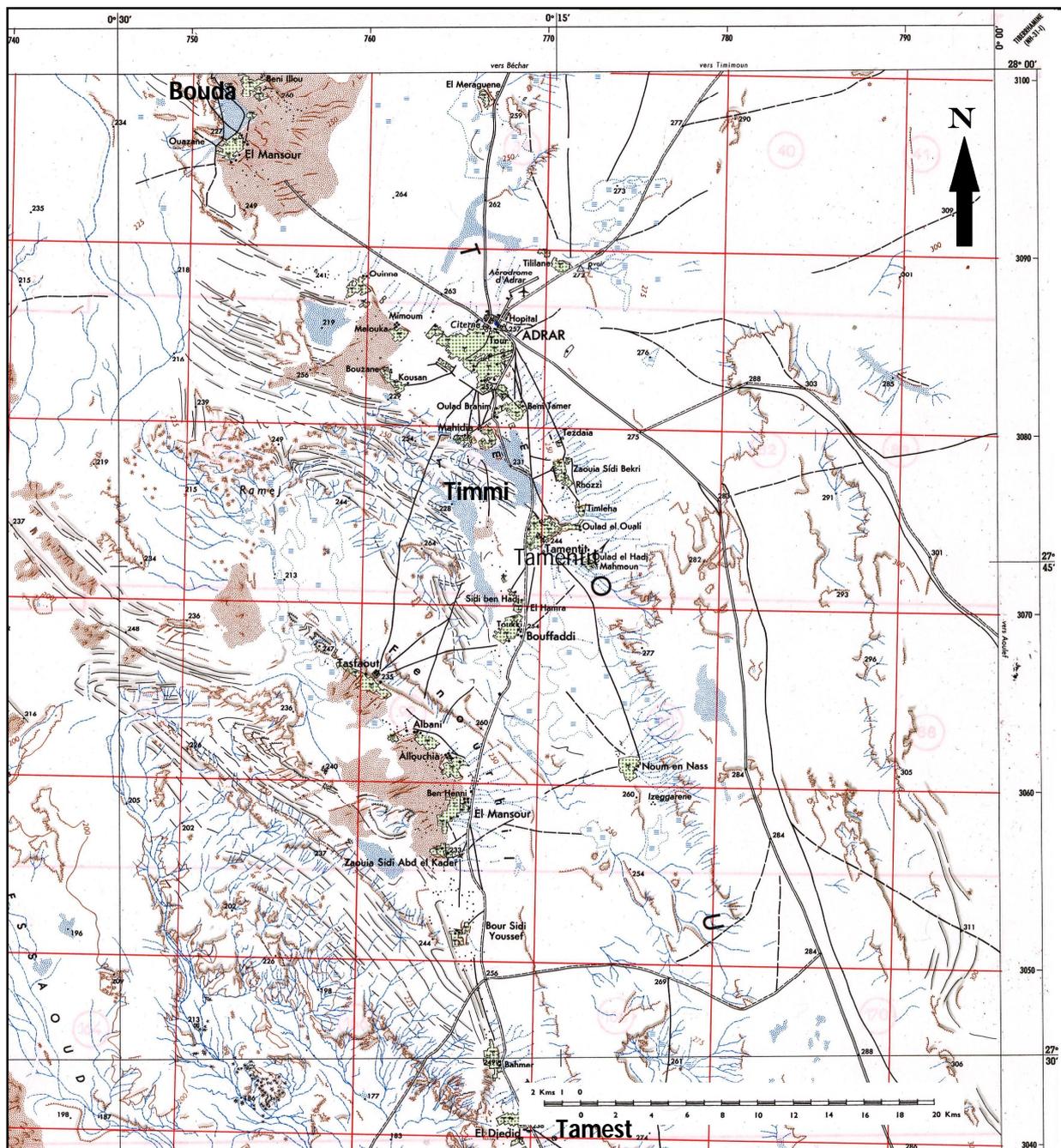


Figure 1- Carte de situation géographique de la zone d'étude (région d'Adrar)

## **I.2. Aspect géomorphologique et topographique**

**I.2.1. Les ergs :** les ergs sont des massifs dunaires du sable, ils sont représenté par Erg Chech à l'ouest de la région et le Grand Erg Occidental au nord.

**I.2.2. Les regs :** les regs forment des surfaces planes de graviers ou de débris de roches, ils se trouvent à l'est de la région d'étude.

**I.2.3. La dépression :** elle se localise en aval de la palmeraie, elle est représentée par une sebkha où les efflorescences salines interdisent toute végétation et qui évolue dans le cadre du système endoréique. Elle s'étale tout le long de la partie ouest de la zone d'étude.

**I.2.4. Le Plateau :** il limite la zone d'étude à l'est (plateau de Tademaït) avec une structure tabulaire rocheuse.

**I.2.5. Réseau hydrographique :** la région d'Adrar appartient à l'unité du bassin occidental du Sahara Septentrional. En raison des faibles précipitations, le réseau hydrographique est peu développé seul l'Oued Messaoud existe, il est temporaire et sec depuis quelques années.

## **I.3. Aspect socio-économique**

**I.3.1. La Démographie :** la wilaya est d'une superficie de 427 368 km<sup>2</sup> et regroupe 432 193 habitants (estimation de 2011).

**I.3.2. L'agriculture :** la wilaya d'Adrar est connue par les palmeraies, plusieurs variétés de cultures sont produites, de très faible rendement à cause, des faibles superficies agricoles disponible et les méthodes d'irrigation traditionnelles utilisées.

**I.3.3. L'industrie :** avec la découverte des gisements de gaz et du pétrole qui a conduit à l'installation de la raffinerie de Sbaâ, Adrar est devenue un pôle industriel important pour le pays.

**I.4. le climat :** Adrar à un climat désertique chaud , très sec avec la rareté des précipitations qui rend les terres très hostiles.

Chapitre II

---

GÉOLOGIE DE LA RÉGION

## II.1. Introduction

L'étude géologique est un outil indispensable pour toute étude hydrogéologique, elle révèle une idée sur les différents événements et accidents tectoniques qu'a subis une telle région, ainsi que d'éclaircir les variations de la lithologie à travers les différentes couches géologiques. Pour notre région, on vient de décrire les propriétés de ces horizons pour déduire plus tard ceux qui possèdent un éventuel horizon aquifère et leur impact sur la qualité des eaux souterraines.

## II.2. Géologie régionale

Sur le plan géologique les séries qui affleurent dans l'ensemble de la région (Fig.2) appartiennent à différents âges. L'analyse des cartes géologiques (1/500000 et 1/200000) et les logs stratigraphiques de (forage, foggara) ; montre que les formations géologiques de bas en haut sont :

### II.2.1. Le précambrien

Il est représenté par un matériel volcano-détritique dit « série verte » composé d'une alternance de grauwackes à débris de roches et conglomérat à galets de socle (quartzite, Gneiss, granite), il affleure à Mahidia et Bour sidi Youssef à l'ouest de la zone d'étude.

### II.2.2. Le paléozoïque

#### II.2.2.1. Le cambrien

Il est représenté par une série d'alternances de grès quartzitiques et des conglomérats (Thakherist D., 1990).

#### II.2.2.2. L'ordovicien

Il représente le début de la véritable transgression généralisée du protérozoïque (Thakherist D., 1990).

Les formations d'âge ordoviciennes affleurent au près du village de Tasfaout par des formations de grès à stratifications oblique, grès rouge ou vert, silts et argiles.

#### II.2.2.3. Le silurien

Le silurien saharien est constitué essentiellement par une sédimentation terrigène fine, argileuse surtout, déposée en milieu marin (argiles à graptolites ; la témoigne de l'importante transgression qui affecte l'ensemble de la plate-forme saharienne) (Thakherist D., 1990; Akkouche M., 2007).

#### II.2.2.4. Le dévonien

- a) **Le dévonien inférieur** : la lithologie est essentiellement gréseuse à faciès fins et argile à stratification horizontale avec intercalation de calcaire.
- b) **Le dévonien moyen** : il est constitué principalement de calcaires et d'argiles. Il est relativement peu épais (100 à 300 m) (Thakherist D., 1990).
- c) **Le dévonien supérieur** : caractérisé par des argiles schisteuses et grès fins.

### II.2.2.5. Le carbonifère

- a) **Le namurien** : caractérisé par des formations de calcaire ; argile et gypse.
- b) **Le viséen supérieur et inférieur** : formé par un terrain de nature calcaire et argile.
- c) **Le tournaisien** : caractérisé par des formations de grés et argile.

### II.2.3. Le mésozoïque

#### II.2.3.1. Le trias

Busson (1970) souligne la grande variabilité du trias, il est divisé en grande unité lithologique distinct qui peut être : salifère, argileuses, argilo-gréseuses ou carbonatées.

#### II.2.3.2. Le jurassique

- a) **Le jurassique inférieur et moyen (lias-dogger)** : représenté des couches évaporitiques (sel et d'anhydrite) (Ould baba sy M., 2005).
- b) **Le jurassique supérieur** : constitué par des intercalations d'argile, d'argile sableuse et calcaire dolomitique.

#### II.2.3.3. Le crétacé

- a) **Le crétacé inférieur** : il s'agit des formations du continental intercalaire, ils sont constituées d'argile gréseuse, grés à débris de reptiles et grés quartzite. Le continental intercalaire recouvre toute la partie centrale de notre zone d'étude allant du nord au sud.
  - **Le néocomien** : représenté à la base par des argiles vertes et rouges avec anhydrites en bancs massifs plus fréquents surmontant par des alternances des dolomies et d'argiles (Ould baba sy M., 2005).
  - **Le barrémien** : constitué par des grés fins à grossiers et des sables.
  - **L'aptien** : formé par un facies argilo-dolomitiques ou marneux ou calcaro-dolomitique appelé la " barre aptienne ", cette barre argilo-dolomitique est caractérisée par une épaisseur uniforme sur l'ensemble de la plate-forme saharienne (20 à 30 m) (Ould baba sy M., 2005).
  - **L'albien** : c'est le retour de la sédimentation terrigène qui regroupe la masse de sable et d'argile (Ould baba sy M., 2005).
- b) **Le crétacé supérieur** :
  - **Le céno-manien** : comprend un premier terme argilo-gypsifère avec quelques intercalations carbonaté ou anhydritique, surmonté par une série carbonaté, associée à des anhydrites, parfois du sel et des argiles, l'épaisseur est assez homogène au niveau de la plate-forme (100 à 150 m) (Thakherist D., 1990).
  - **Le turonien** : représenté par des calcaires et des dolomies, son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m, elle augmente dans la région de cottes où elle dépasse (300 m) (Bel et Cuche, 1969).
  - **Le sénonien** : composé de sénonien inférieur à sédimentation lagunaire caractérisé par des formations argileuses et salifère à anhydrite et sel gemme ; il est très peu

perméable (Busson, 1970), et sénonien carbonaté (supérieur) caractérisé par une formation carbonaté perméable.

## **II.2.4. Le cénozoïque**

### **II.2.4.1. Le tertiaire**

#### **II.2.4.1.1. L'éocène**

a) **L'éocène inférieure** ou **l'éocène carbonaté** est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argile et d'anhydrite.

b) **L'éocène supérieure** ou évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marne.

L'éocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien (Busson, 1970).

#### **II.2.4.1.2. Le mio-pliocène**

Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse qui forme une ceinture au piémont du plateau du Tademaït (Benhamza M., 2013).

### **II.2.4.2. Le quaternaire**

Constitué de sable éolien et sable argileux représenté à l'ouest de la région par les dunes de l'Erg Chech et au nord par les dunes de Grand Erg Occidental.

## **Conclusion**

D'après l'étude de la carte géologique de la région, on révèle l'affleurement de différents horizons lithologiques (sédimentaires et magmatiques). La série sédimentaire qui contient le potentiel le plus important des eaux souterraines matérialisée en un certain niveau par la nappe du Continental Intercalaire d'âge crétacé inférieur (sédiments continentaux grés-argileuses). Cette série débute par des formations de précambrien formée par du matériel volcano-détritique surmontée par des formations du paléozoïques (grès, argile, calcaire,...). Les formations du tertiaire sont beaucoup plus de type évaporitique, alors que le quaternaire est essentiellement constitué de sable dunaire et des alluvions.

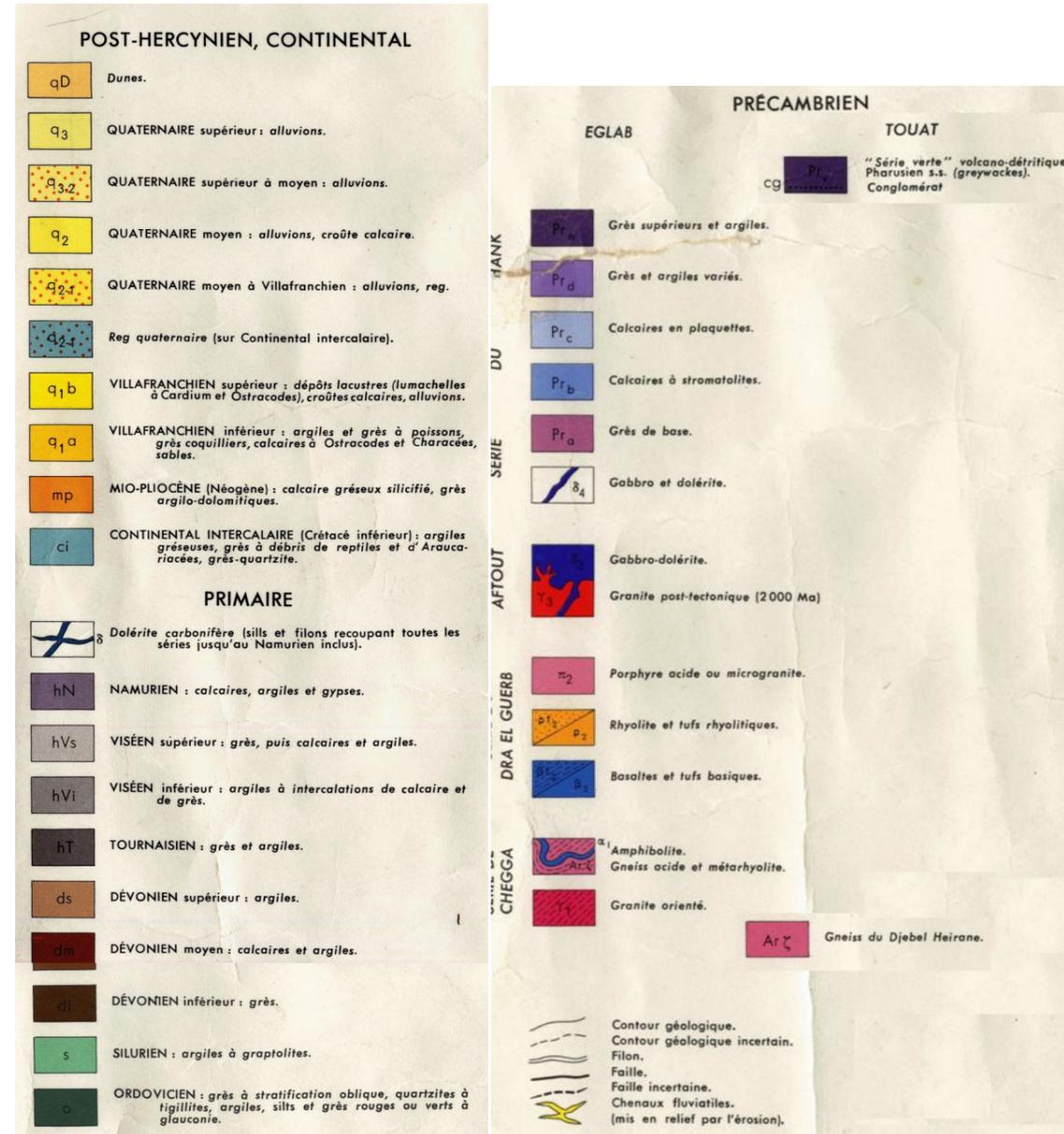
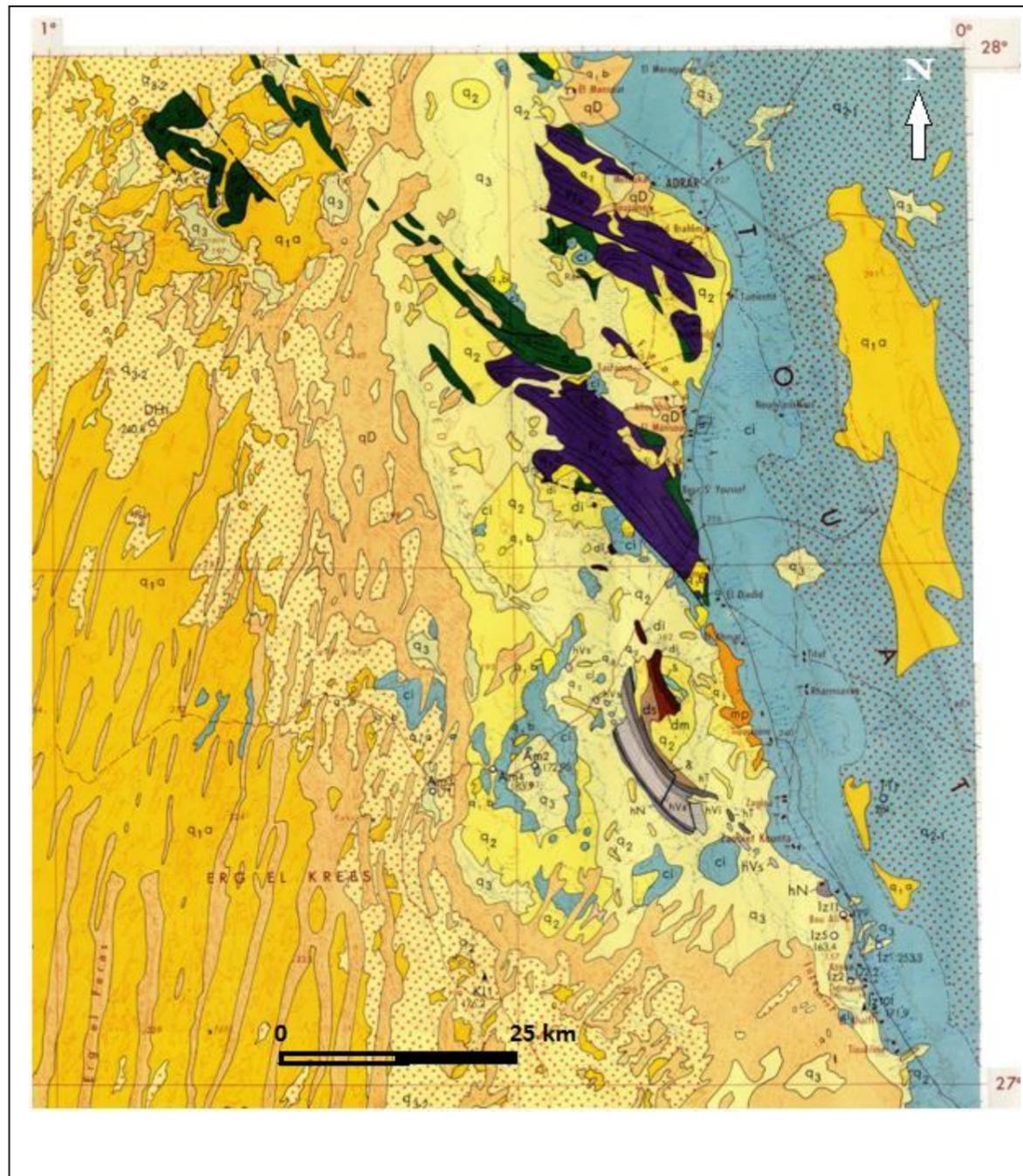


Figure 2- Carte géologique de région d'Adrar, d'après l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), antenne régional sud-ouest.

*Chapitre III*

---

CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES

### III.1. Introduction

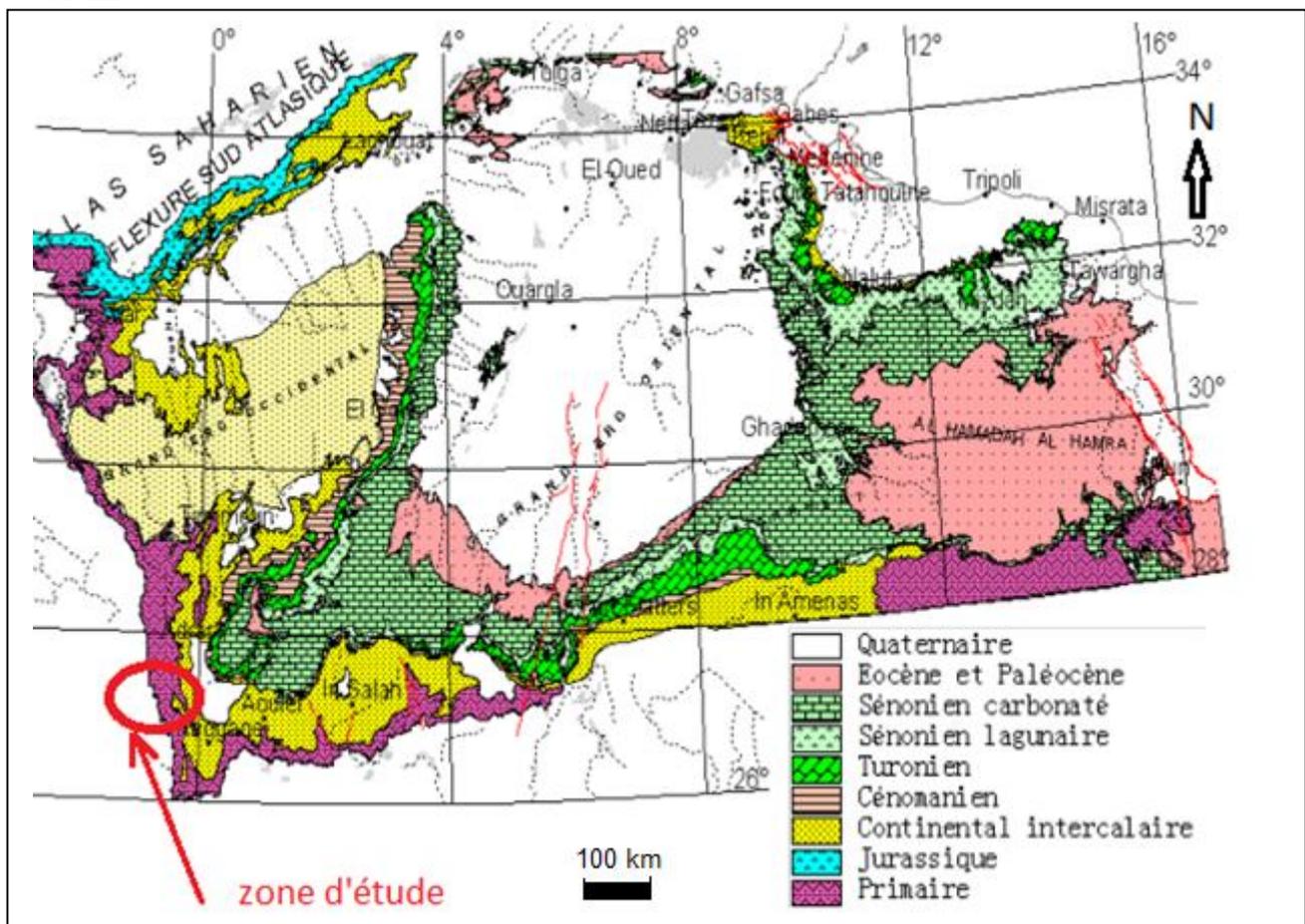
Pour identifier et localiser les systèmes aquifères de la région, on s'intéressera à la délimitation et aux comportements de ces horizons, on définira les relations qui existent entre les différentes nappes et on déterminera l'évolution et les propriétés du niveau piézométrique.

### III.2. Délimitation des aquifères

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (OSS, 2003) couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km<sup>2</sup> repartie entre L'Algérie (700 000 km<sup>2</sup>), la Tunisie (80 000 km<sup>2</sup>) et la Libye (220 000 km<sup>2</sup>) (Fig.3).il s'étend du nord au sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

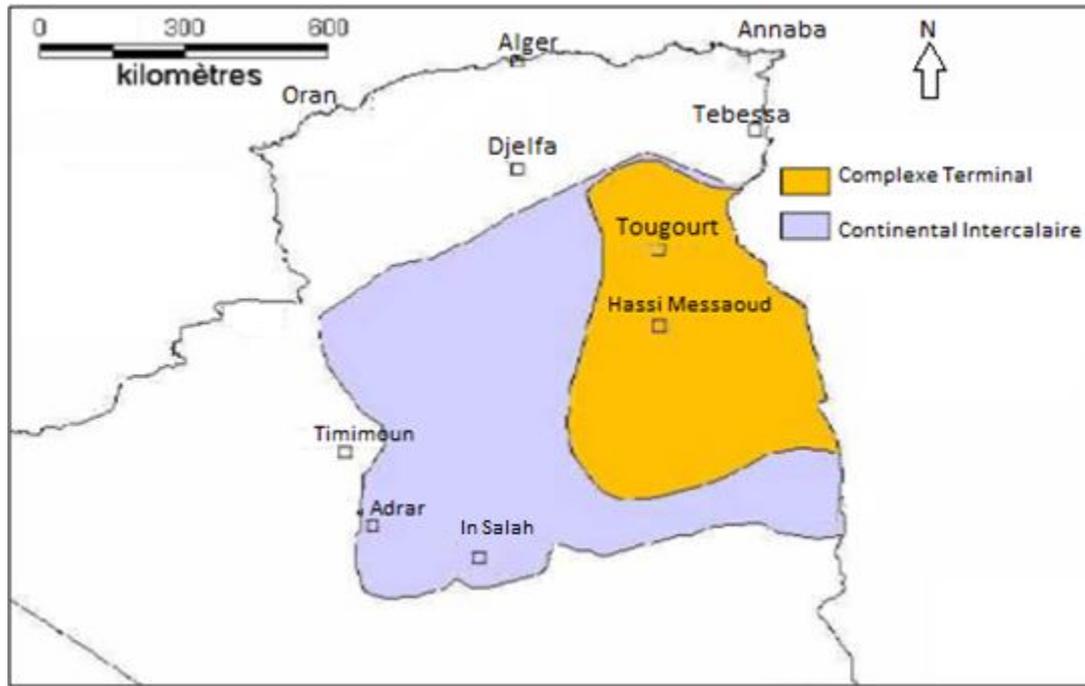
Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (Fig.4).

Le bassin SASS se subdivise en trois sous-bassins : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées « chotts et sebkhas », et le plateau de la Hamada EL Hamra.



**Figure 3-** Carte géologique du Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (OSS, 2003).

Notre zone d'étude fait partie du bassin du Grand Erg Occidental qui englobe dans sa majeure partie la nappe du Continental Intercalaire (CI), le Continental Intercalaire est l'un des aquifères les plus étendu de la planète dont l'une des particularités est de constituer une ressource en eau souterraine fossile puisqu'il est très peu alimenté avec les conditions climatiques actuelles par rapport au volume d'eau qu'il contient.



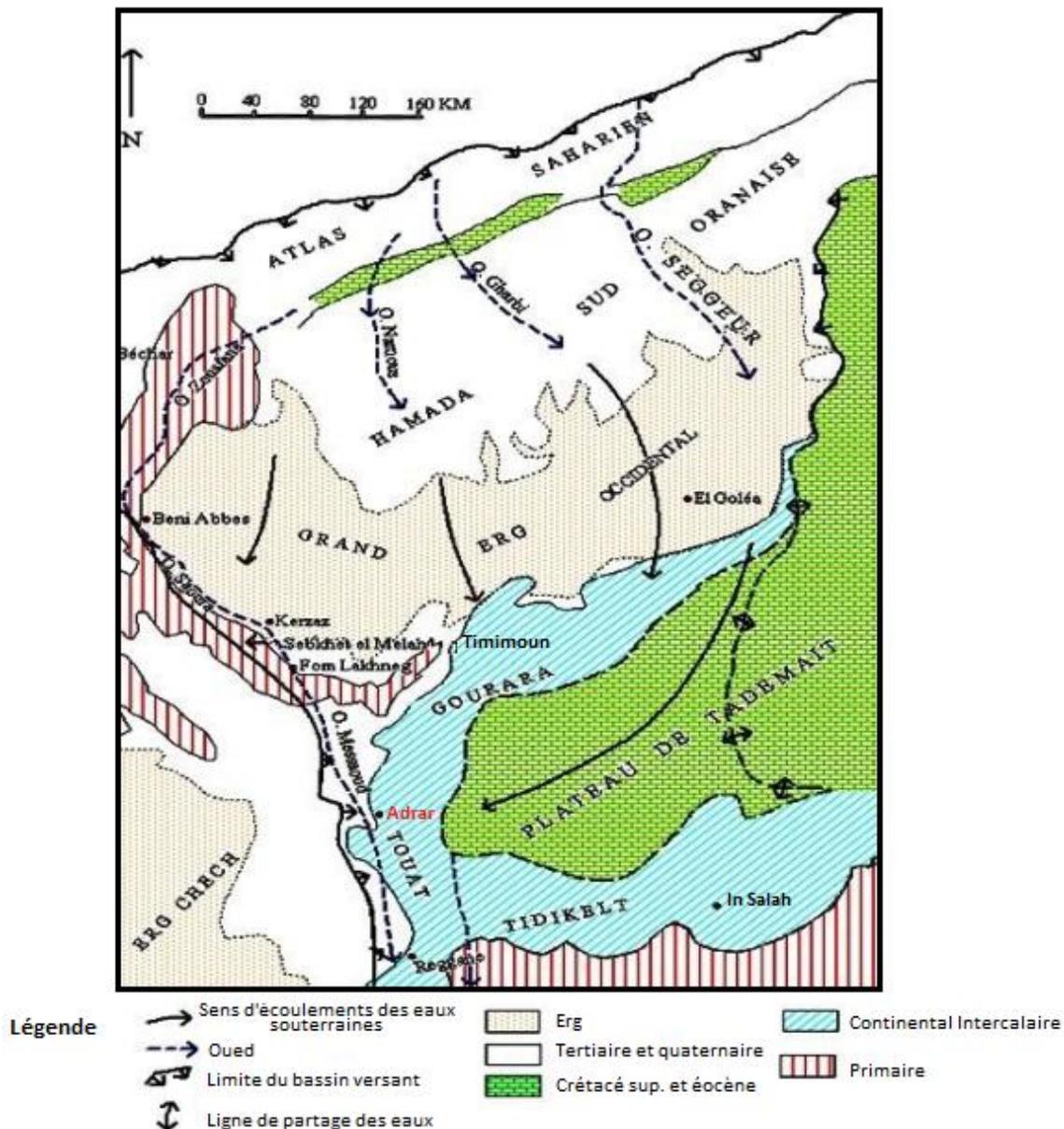
**Figure 4-** Limites géographiques des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal.

Le terme « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins (Kilian C., 1931) :

- \* A la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne ;
- \* Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

Le Complexe Terminal est, quant à lui, un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du crétacé supérieur et des épisodes détritiques du tertiaire, principalement du miocène, (Busson G., 1970 et Fabre J., 1976).

Parmi les deux nappes du continental intercalaire et complexe terminal, une seule nappe existe dans notre zone d'étude c'est du Continental Intercalaire, elle affleure tout le long de l'axe reliant Timimoun à In Salah (Fig.5), elle représente la partie à surface libre du système aquifère du Sahara Septentrional dans sa partie sud-ouest. Le niveau statique est de l'ordre de 6 à 30 m par rapport au sol avec des débits des forages de l'ordre de 20 à 50 l/s.



**Figure 5-** Carte Hydrogéologique du Sahara Nord Occidental.

### III.2.1. L'épaisseur du continental intercalaire

D'après la carte des épaisseurs du Continental Intercalaire (OSS, 2003b) les variations de l'épaisseur de la nappe du Continental Intercalaire sont remarquables de l'est vers l'ouest et du nord vers le sud, il est de l'ordre de 1000 m dans sa partie ouest et diminue progressivement jusqu'au 50 m dans sa partie sud-est.

Le Continental Intercalaire dans la zone d'étude est peu épais, allant d'Adrar à Reggane cette épaisseur varie entre 100 et 200 m (Fig.6).

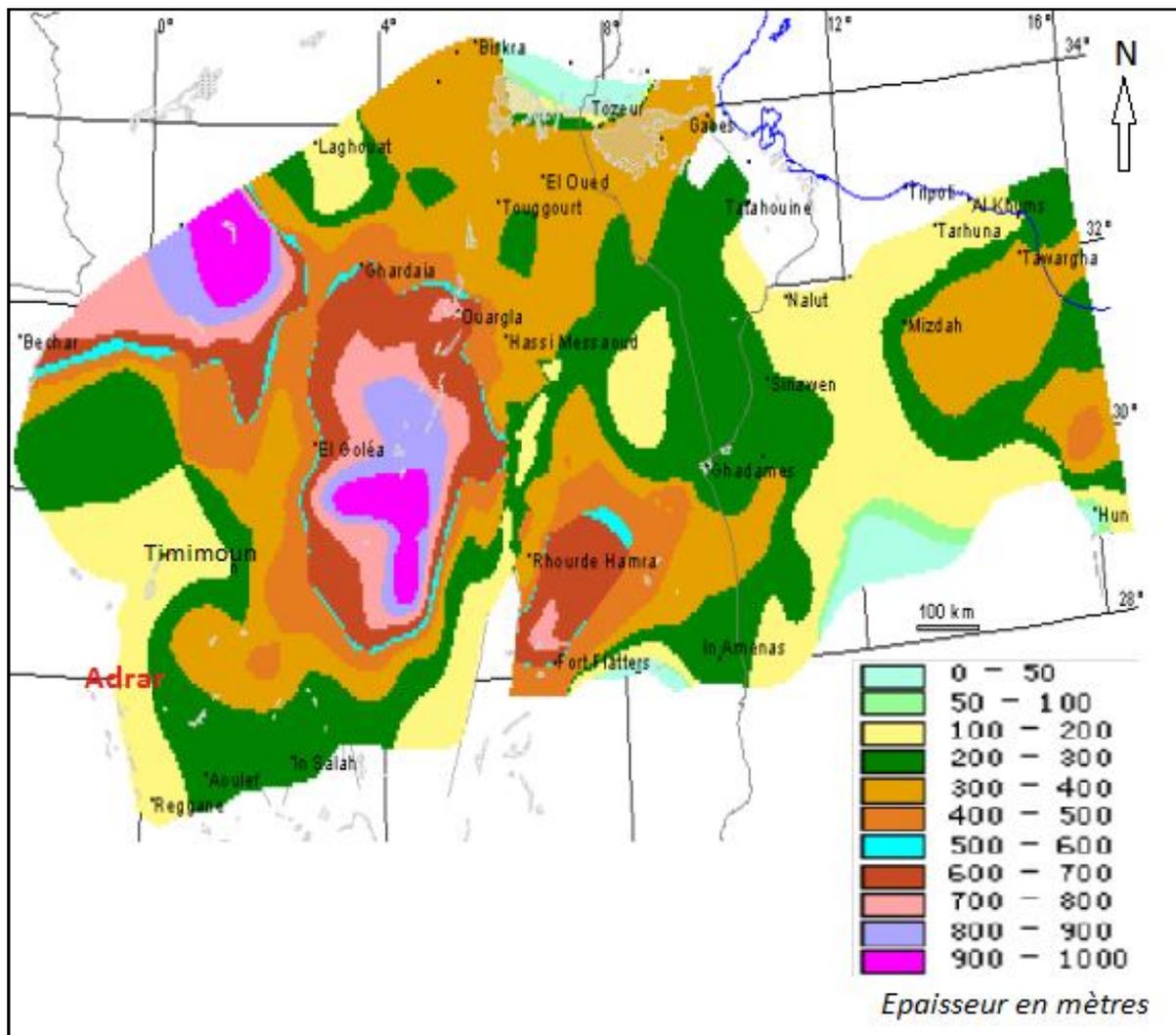


Figure 6- Carte des épaisseurs du Continental Intercalaire (OSS, 2003b).

### III.2.2. La lithologie de la nappe du continental intercalaire

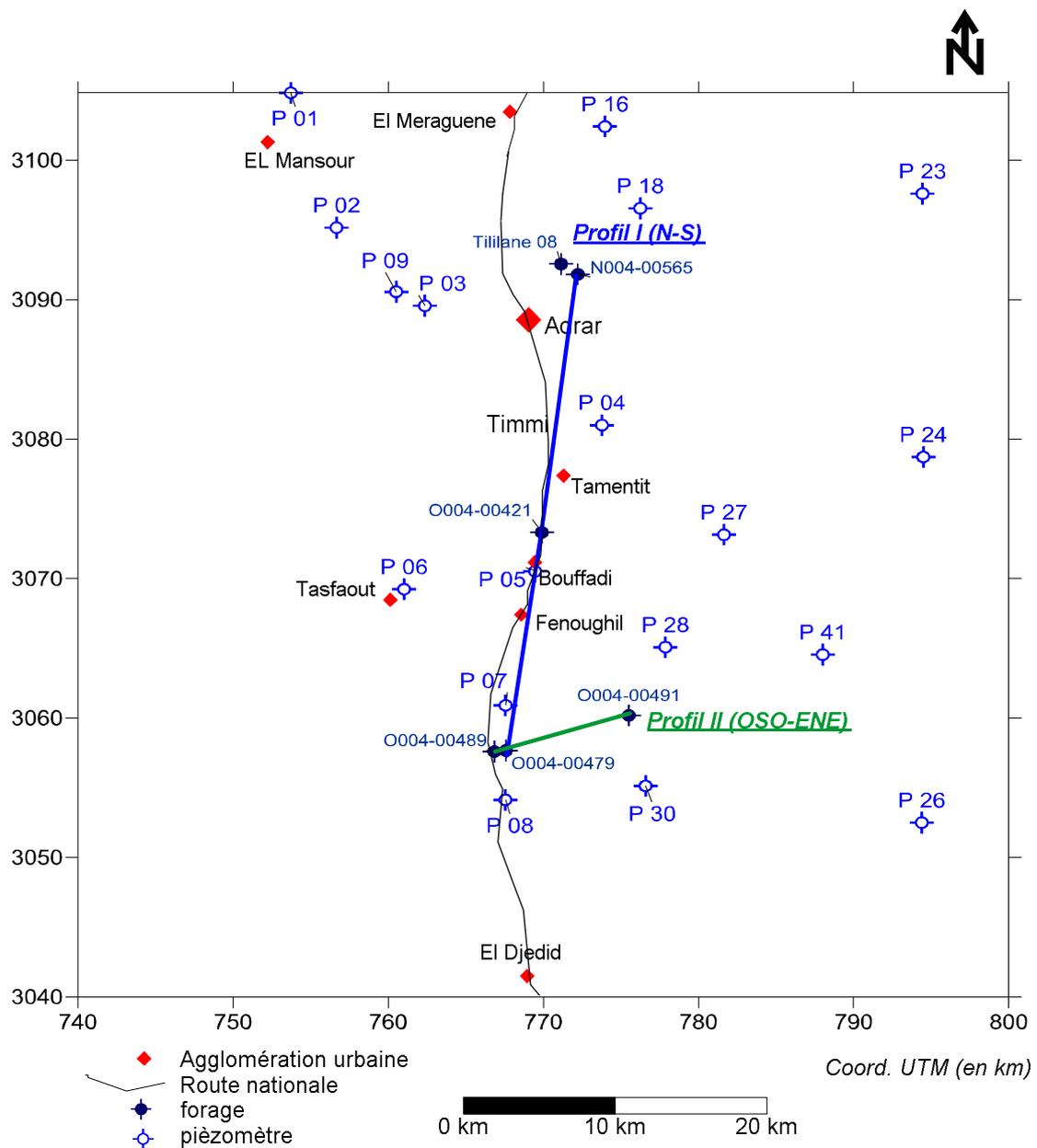
A partir des coupes hydrogéologiques et des colonnes stratigraphiques des forages et des piézomètres implantés dans notre zone d'étude (tableau 01).

On a pu établir à l'aide de logiciel Surfer deux coupes hydrogéologiques suivant deux profils :

- Le premier profil hydrogéologique de direction nord-sud, passant par les forages N004-00565, O004-00421 et O004-00479, (Fig.7).
- Le deuxième profil hydrogéologique de direction OSO-ENE, passant par les forages O004-00489 et O004-00491, (Fig.7).

**Tableau 01** - Caractéristiques des forages implantés dans la zone d'étude.

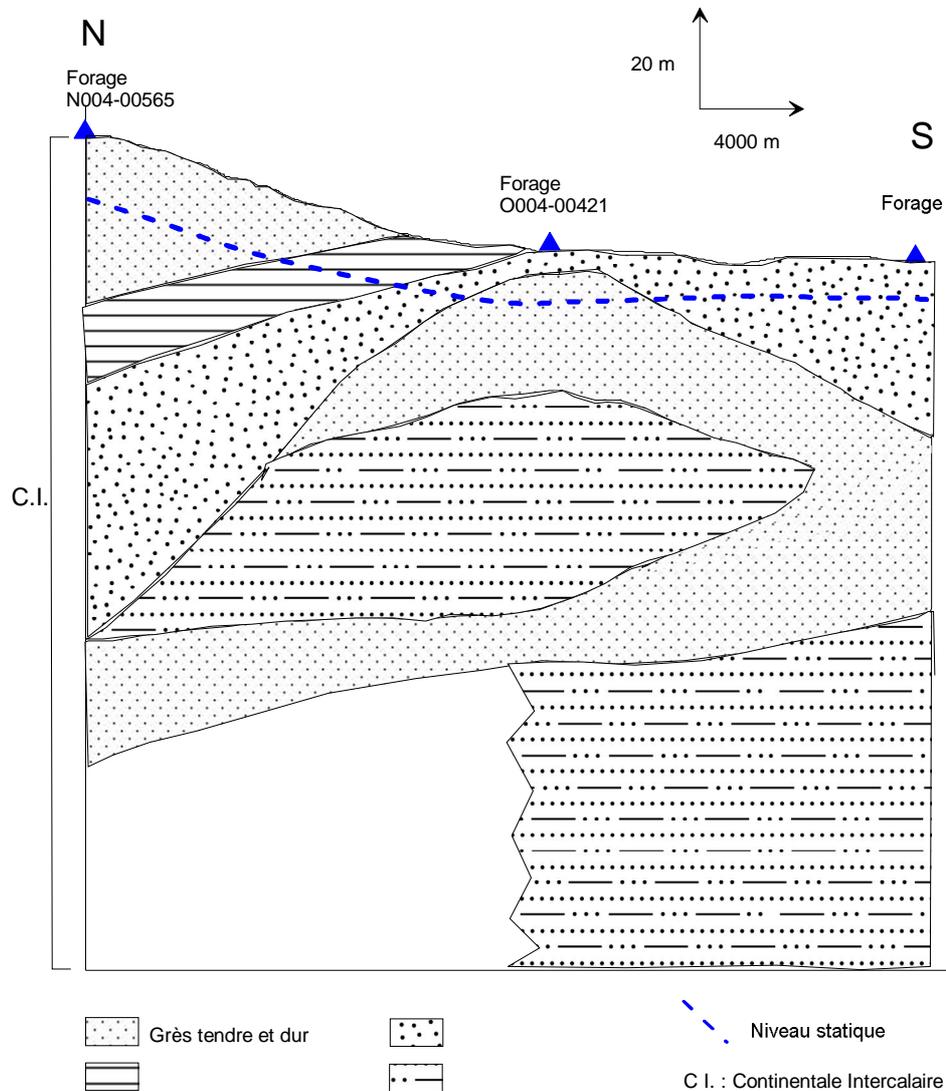
Forages	Coord. UTM		Z (m)	Profondeur (m)	Débit exploitable (l/s)
	X (km)	Y (km)			
<b>N004-00565</b>	772,22	3091,83	265	120	32
<b>O004-00421</b>	769,90	3073,32	243	150	20
<b>O004-00479</b>	767,58	3057,68	241	132	7.65
<b>O004-00489</b>	766,84	3057,60	238	150	50
<b>O004-00491</b>	775,51	3060,20	256	150	50



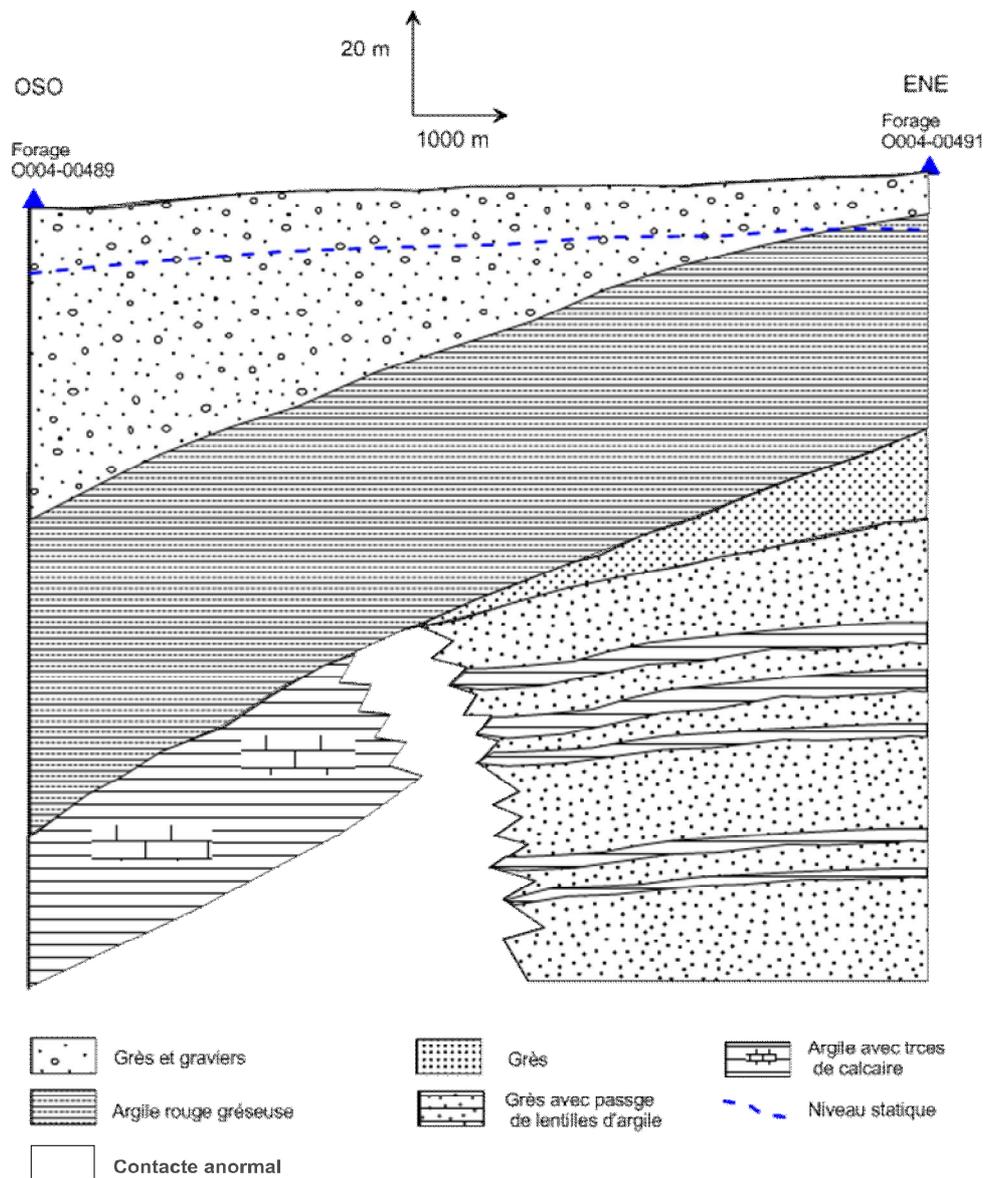
**Figure 7** – Carte d’inventaire des piézomètres, des forages et des profils hydrogéologiques.

La lithologie de la nappe du Continental Intercalaire est sous la forme d'une succession de couches de grès quartzitique, de bancs gréseux, de sables, de gravier avec quelques passages en lentilles de niveaux argileux et du calcaire ou de calcaire dolomitique.

Les grès sont tendres, friables, souvent mal cimentés. Les argiles sont rouges, brunes ou vertes sableuses ou gréseuses (Fig.8 et 9).



**Figure 08** – Coupe hydrogéologique schématique suivant le profil I (N-S).



**Figure 09** – Coupe hydrogéologique schématique suivant le profil II (OSO-ENE).

### III.3. Piézométrie

L'étude de la circulation des eaux souterraines est basée sur l'analyse de la surface piézométrique. La carte piézométrique permet de déterminer la profondeur de la nappe, le sens et la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique ainsi que les zones d'alimentation et d'accumulation des eaux souterraines.

L'observation de la carte réalisée à partir des mesures du niveau piézométrique du mois de mai 2014, montre qu'elle présente un sens globale d'écoulement des eaux souterraines qui se fait de l'est vers l'ouest puis vers le centre de la zone d'étude avec l'individualisation d'une ligne de partage des eaux à l'est de la région (Fig.10).

## Le gradient hydraulique

Il est calculé d'après la formule suivante :

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

Tel que :  $i$  : gradient hydraulique.

$h_1$  : la charge en amont (m).

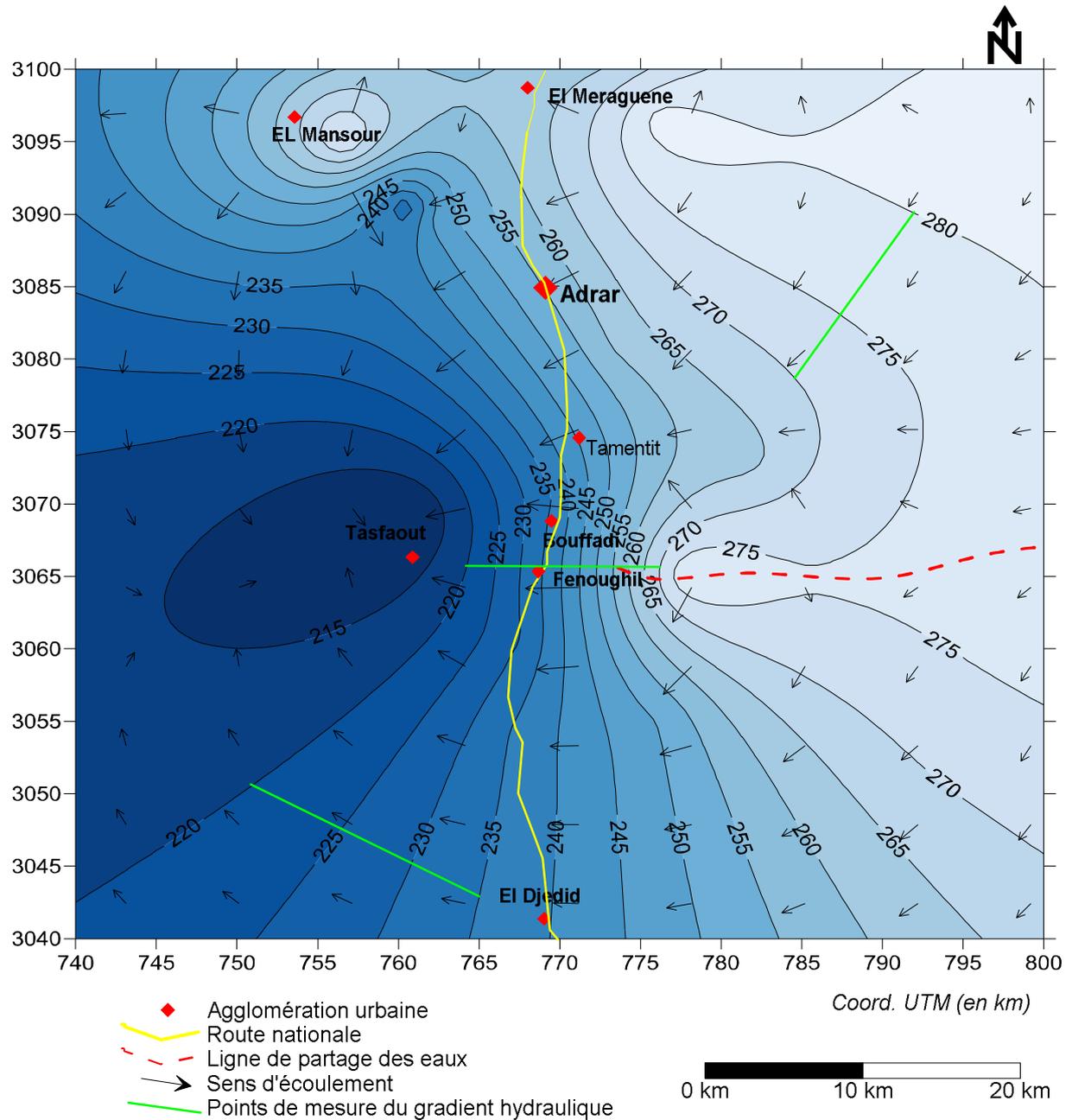
$h_2$  : la charge en aval (m).

$L$  : distance entre  $h_1$  et  $h_2$  (m).

D'après la morphologie de la carte piézométrique, l'espacement des courbes isopièzes varie d'une région à l'autre. Cette variation est fonction de l'écoulement et donc du gradient hydraulique. La comparaison entre les valeurs du gradient hydraulique de différentes régions (tableau 02) montre que les parties Est et sud sont caractérisées par un très faible gradient, marqué par des courbes isopièzes plus espacées, contrairement, au centre ce gradient est relativement fort ainsi les courbes izopièzes sont plus serrées, ce qui traduit une grande vitesse d'écoulement, (Fig.10).

**Tableau 02** - Mesure du gradient hydraulique d'après la piézométrie du mois de mai 2014.

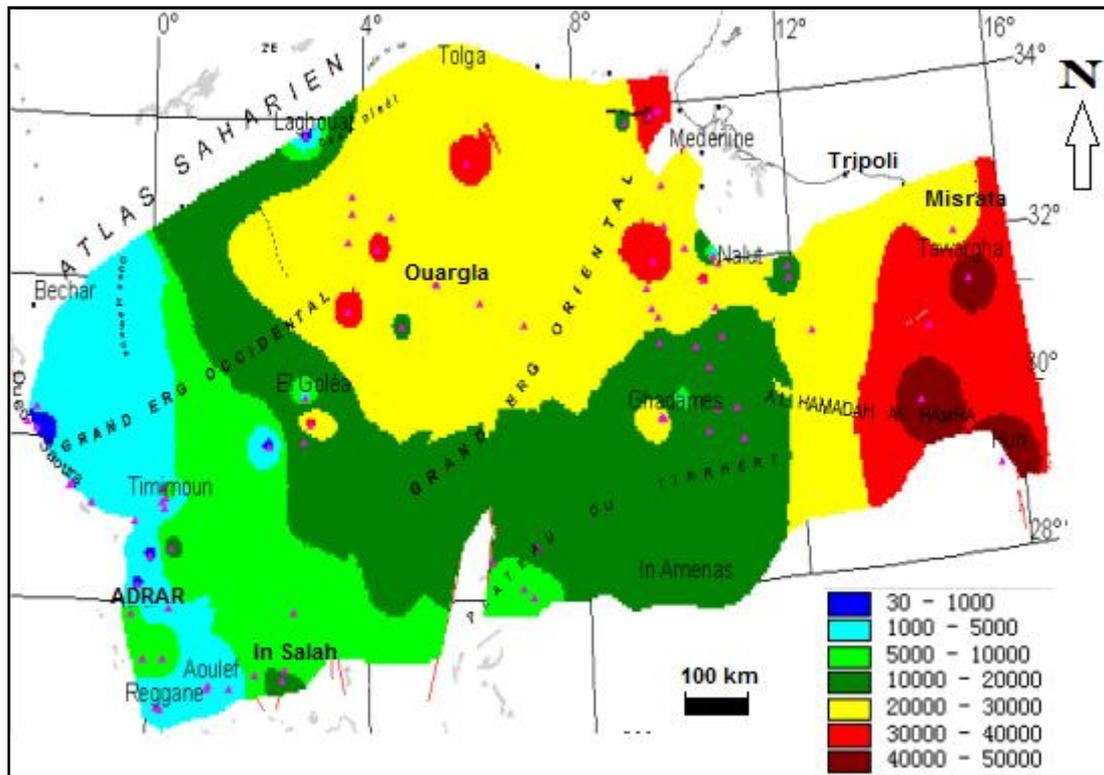
Points de mesure			Partie Est	Partie Centre	Partie Sud
Coord. UTM	Point de départ	X	791.96	777.15	765.19
		Y	3090.08	3065.44	3042.91
	Point d'arrivée	X	784.57	764.04	750.78
		Y	3078.82	3065.72	3050.65
<b><math>h_1</math> (m)</b>			280	270	235
<b><math>h_2</math> (m)</b>			270	220	220
<b>L (m)</b>			13000	12500	16500
<b>Gradient hydraulique</b>			<b>0.0007</b>	<b>0.004</b>	<b>0.0009</b>



**Figure 10** - Carte piézométrique de la zone d'étude (mai 2014).

### III.4. Age des eaux du Continental Intercalaire

Le radiocarbone  $^{14}\text{C}$  est utilisé pour dater les eaux dont l'âge est inférieur à 40000 ans, la datation des eaux des forages captant la nappe du Continental Intercalaire élaborée par OSS 2004, a permis d'organiser le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) selon les trois bassins : central, occidental et oriental (Fig. 11).



**Figure 11** - Age des eaux du Continental Intercalaire d'après la teneur en  $^{14}\text{C}$  (OSS, 2004).

Dans le bassin central et le bassin oriental, les eaux sont anciennes (supérieure à 20000 ans), la répartition géographique de ces âges montre que les plus élevés (20000 à 40000 ans) s'observent dans la partie confinée de la nappe, ce qui est le cas d'une grande partie du Continental Intercalaire du bassin du Grand Erg Oriental en Algérie (Conrad et Fontes, 1972 ; Guendouz, 1985).

Dans le bassin occidental, les eaux sont toutes jeunes (inférieure à 10000 ans). D'après cette carte les eaux de la région d'Adrar ont un âge entre 1000 et 10000 ans.

### III.5. L'alimentation du continental intercalaire

L'alimentation du Continental Intercalaire s'effectue dans le bassin occidental de la façon directe par l'infiltration des eaux de pluies et des ruissellements dans le piémont de l'Atlas Saharien au nord, sur les bords ouest (Touat, Gourara) et sud (Tidikelt) du plateau de Tademaït, de façon indirecte dans le grand erg occidental à travers des sables dunaires et du Complexe Terminal (OSS, 2003).

## Conclusion

L'horizon aquifère de notre zone d'étude est formé en totalité par la nappe du Continental Intercalaire, cette dernière constituée d'une succession de couches de grès dur, tendres et friables, de bancs gréseux, de sables, de graviers avec quelques passages en lentilles de niveaux argileux et du calcaire ou de calcaire dolomitique possède une épaisseur importante qui atteint les 200 m en quelques endroits, avec un débit d'eau remarquable dans la plus part des forages, leur recharge est très limitée, alors que leur contenu en eaux fossiles ne cesse de se diminuer progressivement. L'analyse de la carte piézométrique montre que le sens global d'écoulement des eaux souterraines se fait de l'est vers l'ouest puis vers le centre de la zone d'étude avec l'individualisation d'une ligne de partage des eaux à l'est de la région.

Chapitre IV

---

DESCRIPTION DU SYSTEME D'IRRIGATION PAR LA FOGGARA

## IV.1. Introduction

Le système de captage des eaux par galeries drainantes est connu dans le monde sous plusieurs noms ; en Iran et au Jordanie « Qanat », en Espagne « Madjirat », en Maroc « Khattara », en sultanat d'Oman « Falj », en Afghanistan et au Pakistan « kariz », en Chine « kanerjing » et en Algérie « Foggara ». La Foggara d'Adrar creusée dans des formations hydrogéologiques du Continental Intercalaire, permet pendant des siècles, le développement des oasis. Chaque oasis est constituée d'une Foggara à l'amont, d'un ksar au centre et d'une palmeraie à l'aval qui draine son eau vers la sebkha. La Foggara est l'organe principal des oasis de Gourara, Touat et Tidikelt.

## IV.2. Définition de la Foggara

La Foggara est une galerie souterraine légèrement inclinée, qui draine l'eau de l'aquifère en amont vers les terrains les plus secs situés en aval, en direction de la palmeraie (Arrus R., 1985 et Saidi A., 1983).

La Foggara est une technique liée à un système social de travail collectif, mené par un comité de sages, appelé Djemaa, dont le rôle est de diriger et de surveiller l'entretien de la Foggara et la répartition de son eau.

## IV.3. Les éléments d'une Foggara

Le système de Foggara est divisé en deux parties : le captage et la distribution.

### IV.3.1. Le captage

Le captage de l'eau souterraine est assuré par une galerie de plusieurs kilomètres, de faible pente, qui draine l'eau de la nappe vers la surface libre. Cette galerie est équipée de plusieurs puits verticaux qui servent à l'entretien et à l'aération de la Foggara.

#### IV.3.1.1. La galerie

La galerie est l'élément moteur de la Foggara. C'est une conduite souterraine de plusieurs kilomètres de longueur, Elle est composée de deux parties. Une partie active (drainante), c'est la partie la plus importante de la Foggara. Située en amont et qui pénètre dans la nappe, sert à drainer l'eau vers la deuxième partie, c'est la partie en aval qui permet l'écoulement de l'eau vers les jardins grâce à sa pente, c'est la partie inactive (non drainante). La galerie à des sections variables, de largeur variant de 0,5 m à 0,8 m et de hauteur allant de 0,9 m à 1,5 m. La longueur de la galerie peut varier de 1 Km à 15 km (Remini B., 2001). La distance à respecter entre deux galeries doit être supérieure à 100 "kamas". Le Kama correspond à la longueur de deux bras ouverts et tendus d'un homme de taille normale, soit 2 mètres environ. La galerie est composée de plusieurs "Enfad", terme désignant le tunnel entre deux puits.

La distance moyenne entre deux "Enfad" avoisine les 13 mètres. La galerie se termine par l'Aghisrou, c'est la partie où la galerie sorte en surface, il est situé entre le premier puits et la kasria principal (Kobori I., 1982). La longueur de l'Aghisrou dépend de la profondeur du premier puits et du niveau de sol, sa longueur est de quelques mètres à des centaines de mètres.

### IV.3.1.2. Les puits

Au début de la réalisation de la Foggara, les puits ont pour objet l'évacuation des déblais et remblais. Après l'exploitation, ils sont utilisés comme accès pour l'entretien et pour l'aération de la galerie. Leur profondeur varie de 1 à 40 m et leur diamètre de 0,5 m à 1 m.

### IV.3.2. La distribution

La distribution de l'eau s'effectue à la sortie de la galerie et repose sur quatre éléments majeurs qui sont : Kasria (répartiteur); Seguia (canal), Madjen (bassin de récupération) et Guemoun (Jardin).

#### a) Peigne répartiteur « Kasria »

A la sortie de la Foggara, l'eau est canalisée jusqu'au répartiteur « Kasria » (Fig.12), c'est un bassin triangulaire construit en pierres et en argile, leur sortie muni d'un peigne (partiteur) dont le rôle est de répartir cette eau entre les copropriétaires. Le bassin est muni d'un tranquillisateur pour amortir la vitesse de l'eau et pour la mesure de débit avant de passer par le peigne d'où chaque part d'eau sera canalisée par une Seguia vers le jardin.

L'eau de la Foggara doit passer par le peigne principal « Kasria Lakbira » qui reçoit la totalité du débit de la Foggara qui est alors réparti en 3, 4 ,5 Seguias on trouve aussi des Kasrias secondaires et tertiaires.

La Kasria Secondaire est placée après la kasria lakbira. Il est utilisé pour le partage familial de chaque groupe de personnes ayant participé à la réalisation de la Foggara.

La Kasria tertiaire, appelée aussi Kasriates, sont de petites Seguias qui viennent après la Kasria secondaire, qui acheminent l'eau vers le Madjen.

La part d'eau attribuée sera en relation avec l'effort et l'apport de chaque propriétaire.



**Figure 12** - Kasria de Foggara Armoul, Tamentit.

**b) Le Madjen**

C'est un bassin de récupération qui reçoit l'eau des Kasriates tertiaires (Fig.13). De profondeur relativement faible, construit en terre ou en ciment pour éviter les infiltrations et construit de façon à se remplir en 24 heures. Il se situe à la côte la plus élevée du jardin afin de permettre à l'eau de s'écouler par gravité dans des Seguias et d'irriguer l'ensemble du jardin.



**Figure 13** - Le Madjen de Foggara Armoul, Tamentit

**c) Les Seguias**

La Seguia (Fig.14 et 15), désigne un canal à ciel ouvert de section rectangulaire ou circulaire, elle est construite en terre ou actuellement en ciment ou PVC pour minimiser les pertes par infiltration. Les seguias se ramifient et prennent diverses directions dans la palmeraie.



**Figure 14** - Seguia en terre, Tamentit.



**Figure 15** - Seguia en ciment, Tamentit.

#### IV.4. Situation géographique des Foggaras

Les Foggaras sont installées dans les aires périphériques du Grand Erg Occidental, Elles sont implantées suivant un axe perpendiculaire à l'axe central de l'erg. L'alignement des Foggaras à partir de la ville d'Adrar jusqu'à la ville de Reggane avec une direction NO-SE, représente hydrogéologiquement la limite sud-ouest des affleurements de la nappe du Continental Intercalaire.

#### IV.5. Fonctionnement de la Foggara

Dans la partie drainante dans l'amont de la Foggara située dans la partie (C-F) (Fig.16), Le niveau statique de la nappe se trouve au dessus de la partie (D-F), l'eau pénètre dans la galerie et se déplace sous l'effet de la pression atmosphérique et du gradient hydraulique vers la partie (C-D), à partir du point d'intersection du niveau de la nappe et la pente de la galerie, l'eau s'écoule par gravité vers la partie non drainante (B-C).

Au cours du temps le niveau de la nappe baisse, le point d'intersection se déplace en amont, de la zone (C-D) vers la zone (D-F), Le tarissement de la Foggara est atteint lorsque le débit dans le point B est nul, c'est-à-dire que le débit provenant de la partie (C-F) égal au débit perdu par infiltration et par évaporation dans la partie (B-C), ces pertes sont estimées de 10 à 20 % (Hassani I., 1988).

Lorsque le point d'intersection du niveau de la nappe et de la galerie atteint le point F, à ce point la Foggara est " morte ".

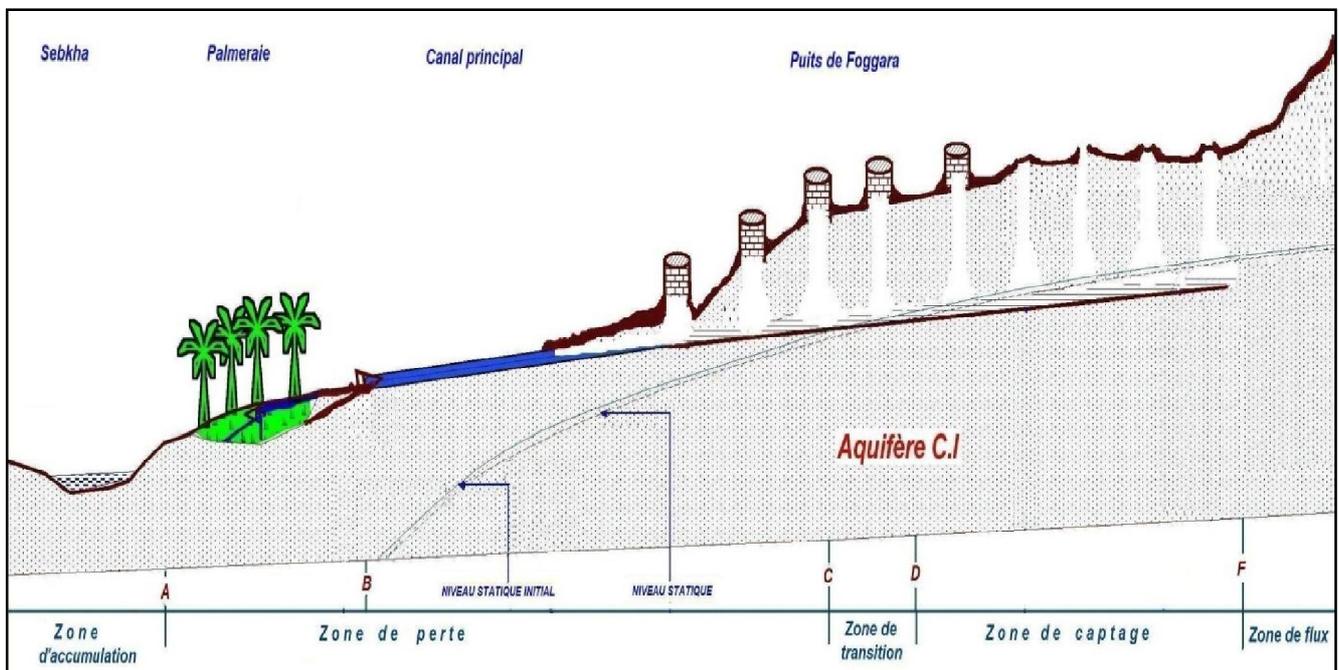


Figure 16 - Schéma de fonctionnement de la Foggara.

## IV.6. Mesure et partage du débit de la Foggara

### IV.6.1. Outil et l'unité de mesure de débit

La mesure du débit de la Foggara se fait par un outil de fabrication traditionnel de différentes appellations et unités de mesure selon les régions de la wilaya. C'est une plaque de cuivre percé d'une rangée de trous de différents diamètres qui correspondent aux multiples et sous multiples de l'unité de mesure.

La zone d'étude fait partie de la région de Touat où l'outil de mesure est nommé " Kiel Asfar ou Chegfa " (Fig.17) dont l'unité est " Habba ". " La Habba " vaut 24 Kirat " Carat " et le Kirat vaut 24 Kirat de Kirat (tableau 03 et 04).



Figure 17 - " Chegfa " Outil de mesure du débit.

Tableau 03 - Tableau des sous multiples de Habba.

Valeur	Quantité	Equivalent	Symbole
Habba	1	24 Kirat	•
Un kirat de habba	1 /24	1/24 de Habba	.
Deux kirat de Habba	1/12	2/24 de Habba	:
Trois kirat de Habba	1/8	3/24 de Habba	⋮
Quatre kirat de Habba	1/6	4/24 de Habba	
Six kirat de Habba	1/4	6/24 de Habba	:
Huit kirat de Habba	1/3	8/24 de Habba	
Douze kirat de Habba	1/2	12/24 de Habba	
vingt quatre kirat de Habba	1	24/24 de Habba	

**Tableau 04** - Tableau des sous multiples de Kirat.

Valeur	quantité	Equivalent	symbole
Un kirat	1	24 kirat de kirat	•
Un kirat de kirat	1/24	1/24 de kirat	•
Deux kirat de kirat	1/12	2/24 de kirat	••
Trois kirat de kirat	1/8	3/24 de kirat	•••
Quatre kirat de kirat	1/6	4/24 de kirat	—
Six kirat de habba	1/4	6/24 de kirat	—••
Huit kirat de habba	1/3	8/24 de kirat	==
Douze kirat de habba	1/2	12/24 de kirat	≡
Vint quatre kirat de habba	1	24/24 de kirat	≡≡

#### IV.6.2. Mesure de débit

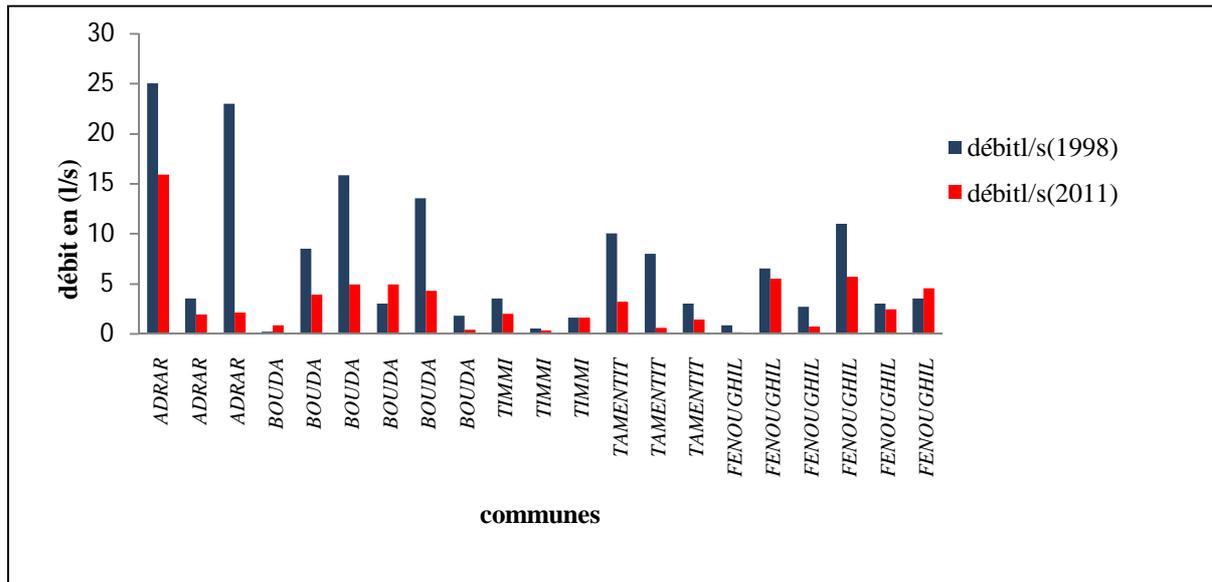
Le personne qui fait L'opération de mesure du débit est nommé par le " comité du village " " Kiel El Ma ", il est aidé d'un comptable " El Hassab " et par un ou deux ouvriers. Kiel El Ma installe l'outil de mesure dans la Kasria Lakbira ou Seghira ou dans une Seguia, il fixe l'outil par des argiles et procède à la fermeture et à l'ouverture des différents trous de l'outil, chaque trou correspond à une fraction du débit que le Kiel El Ma les connaissent parfaitement, après plusieurs mesures il donne le débit de la Foggara au comptable " El Hassab " qui fait les calculs de division du débit global entre les parts des copropriétaires.

#### IV.6.3. Partage du débit

Chaque copropriétaire reçoit un volume d'eau continuellement 24/24 heure, c'est la méthode volumétrique. Autre méthode utilisée seulement pour la Foggara Hennou (Tamentit), c'est une méthode horaire nommée " Nouba " c'est-à-dire tour à tour. Il Est défini comme la durée de temps suffisante pour irriguer complètement le jardin. Le débit de la Foggara, d'après les derniers jaugeages effectués en 1998 et 2011, a subi une dégradation significative (Fig.18) et le nombre de Foggara tarie augmente (tableau 05).

**Tableau 05** – Tableau récapitulatif des Foggaras de la zone d'étude.

Année	1998		2011	
	Foggara pérenne	Foggara tarie	Foggara pérenne	Foggara tarie
<b>Adrar</b>	9	14	5	18
<b>Bouda</b>	20	3	18	5
<b>Timmi</b>	41	11	29	23
<b>Tamentit</b>	38	13	20	31
<b>Fenoughil</b>	40	20	29	31



**Figure 18** - Évolution des débits des Foggaras par commune (1998, 2011).

#### IV.7. Types de la Foggara

On rencontre plusieurs types (Fig.19), dont on peut citer :

##### IV.7.1. La Foggara de l'Albien

Ce type de Foggara se localise dans le sud-ouest du Grand Erg Occidental, dans les régions du Touat, de Gourara et de Tidikelt, où le plateau de Tademaït constitue un véritable château d'eau.

##### IV.7.2. La Foggara de l'Erg

Ce type de Foggara se localise dans les oasis d'Ouled Said (Timimoun). La Foggara de l'Erg capte les eaux de la nappe qui se forment au-dessous du Grand Erg Occidental, grâce à l'eau qui s'écoule lentement sous l'Erg, dans les anciens cours d'eau en provenance de l'Atlas saharien. Ce type est fortement menacé par le phénomène d'ensablement (Bellil R., 2002).

##### IV.7.3. La Foggara de jardin

Ce type de Foggara se localise dans la région de Timimoun. C'est une Foggara localisée dans la palmeraie, la galerie est de petite longueur et capte les eaux d'infiltration et de drainage des autres Foggaras situées en amont et même les eaux en provenance des eaux d'irrigation de la palmeraie et des jardins.

##### IV.7.4. La Foggara de source

Elle est répartie entre les oasis de Moghrar (Naama) ; Beni Abbes, Beni Ounif (Bechar) ; Adrar et Boussemgoune (Bayadh).

Les oasis d'Adrar sont connues par leurs Foggaras de type albien, à l'exception de la Foggara de Hennou, c'est une Foggara de source qui est alimentée par une source d'eau naturelle et pérenne (Oleil J., 1994).

#### IV.7.5. Foggara de la montagne

La Foggara de Djebel capte son eau à partir d'une nappe phréatique qui se recharge à partir des eaux de ruissellement en provenance des montagnes périphériques, ce type de Foggara se localise au pied de Djebel Marhoma à Beni Abbès (Bechar).

#### IV.7.6. Foggara des Oueds

Ce type de Foggara capte les eaux des Oueds. C'est une Foggara temporaire qui fonctionne en Période des averses, elle se localise dans les régions de Bechar et Tamanrasset mais elles sont abandonnées.

#### IV.7.7. Foggara des crues

Elle est destinée à récupérer les eaux de crues; une fois les eaux de crues sont collectées au niveau de la retenue, elles sont canalisées dans la galerie puis se dirigent directement dans les Seguias qui alimentent les jardins. C'est la particularité de l'oasis de Ghardaïa.

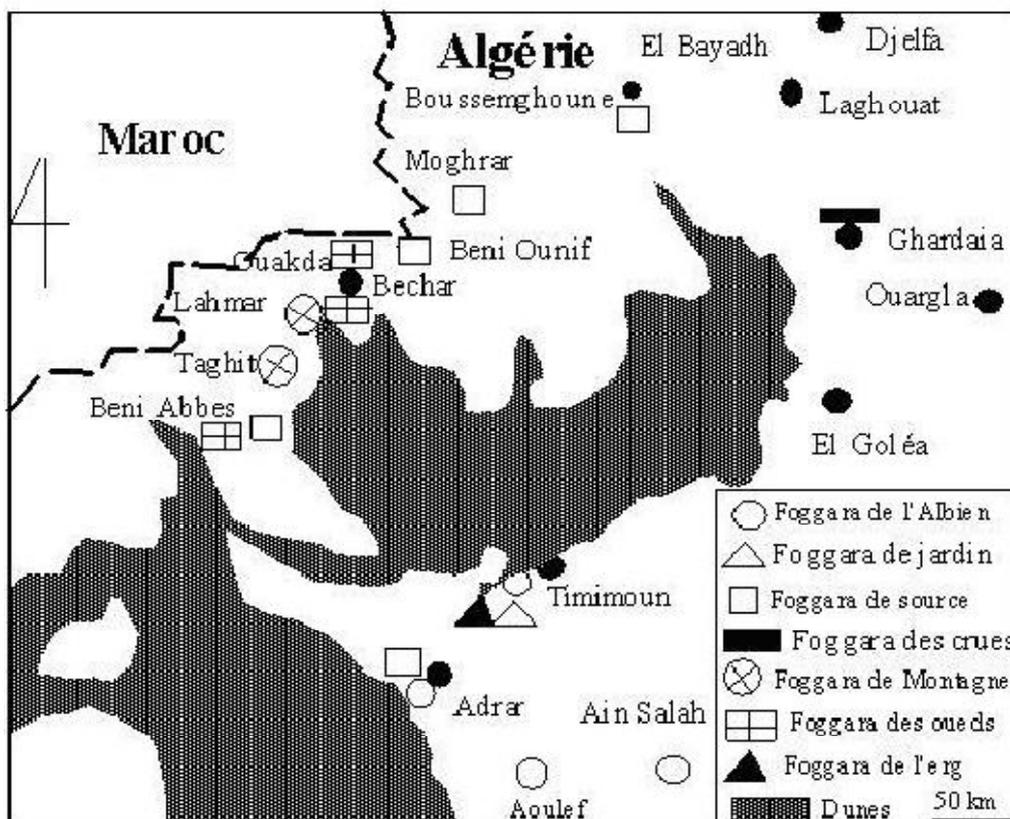


Figure 19 - Répartition des différentes foggaras Algériennes.

## **IV.8. Facteurs de dégradation de la Foggara**

### **IV.8.1. Influence des forages d'eau sur la Foggara**

Les forages implantés à proximité des Foggaras sont la cause principale du tarissement de ces dernières.

### **IV.8.2. Nature de la nappe aquifère exploitée**

Les Foggaras drainent les eaux de la nappe du Continental Intercalaire, le volume d'eau extrait influe sur le volume global et qui se traduit ensuite par le rabattement continu du Niveau statique de la nappe aquifère presque cette nappe est non renouvelable.

### **IV.8.3. Effondrement des Foggaras**

L'effondrement se fait au long terme (par l'érosion hydrique continue du lit de la galerie qui provoque un agrandissement de sa section), comme il se fait au court terme (le passage de crues qui sont généralement brusques et de forte intensité).

### **IV.8.4. Ensablement des Foggaras**

L'ensablement se pose plus particulièrement aux Foggaras de l'erg, les puits sont entièrement ou complètement ensablés.

### **IV.8.5. Pollution des eaux de Foggaras**

Les Foggaras sont menacées par les différents types de pollution. La Foggara de Bendraou (Aoulef) est polluée par le gasoil en provenance d'une station d'hydrocarbures. La Foggara de Tourfine d'Aoulef est contaminée par les eaux usées en provenance des fosses sceptiques situées près de la galerie drainante. Alors que la majorité des les puits des Foggaras d'Adrar et de Timimoune sont devenus des décharges publiques.

### **IV.8.6. Problème d'entretien des Foggaras**

Suite à l'utilisation de techniques modernes de captage d'eau, les oasiens abandonnent la Foggara, Laissant ce système hydraulique à la face des conditions géologiques et climatologiques agressives, plusieurs Foggaras sont effondrés et d'autres ensablées et détériorées.

## **Conclusion**

La Foggara est un patrimoine hydraulique et culturel mondial. Au niveau de la wilaya d'Adrar les oasis sont connues par leurs Foggaras de type albien, à l'exception de la Foggara de Hennou à Tamentit, qui est alimentée par une source d'eau naturelle et pérenne.

La Foggara est localisée dans la partie à surface libre du Système Aquifère du Sahara Septentrional dans sa partie sud-ouest qui représente l'affleurement du Continental Intercalaire.

Le nombre de Foggaras et leurs débits sont en dégradation continue, suite à divers contraintes, dont les principales qui touchent les Foggaras d'Adrar sont le risque de l'effondrement des galeries et la circulation des véhicules lourds pour celles qui sont localisées à proximité des agglomérations urbaines, alors qu'un nombre important de leurs puits est devenu des décharges publiques.

*Chapitre V*

---

HYDROCHIMIE

## V.1. Introduction

Les foggaras du Gourara, de Touat et du Tidikelt constituent l'exutoire naturel de la nappe du Continental Intercalaire. Au cours de son trajet depuis la zone de recharge jusqu'à le point d'exutoire, le chimisme naturel des eaux change en fonction de la nature des roches traversées, des minéraux rencontrés et du temps de séjour.

L'étude des caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe libre du continental intercalaire (foggaras, forages) de la zone d'étude permet de comparer le chimisme de ces eaux aux normes de potabilité fixées par l'organisation mondiale de la santé (OMS), les données sont représentées sous forme de cartes de distribution spatiales et diagrammes, analysées et traitées afin de bien déterminer la qualité de ces eaux à l'aide de l'outil informatique (Excel, surfer 2010, Diagramme 2015).

## V.2. Matériel et méthode

L'échantillonnage consiste à réaliser des prélèvements d'échantillon d'eau définies dans l'espace et dans le temps dans des flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner ensuite bouchonnés et mis dans une glacière.

Ce travail consiste à étudier le chimisme des eaux des foggaras pour l'année 2011 et les forages pour l'année 2014 à travers la zone d'étude (six foggaras et six forages) (Fig.20), les analyses sont effectuées au niveau du laboratoire de chimie des eaux de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Adrar pour les paramètres suivants : les résidus secs,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , TH.

Le  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  sont dosés par titrage volumétrique, alors que  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  à l'aide d'un photomètre à flamme, le  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique UV visible.

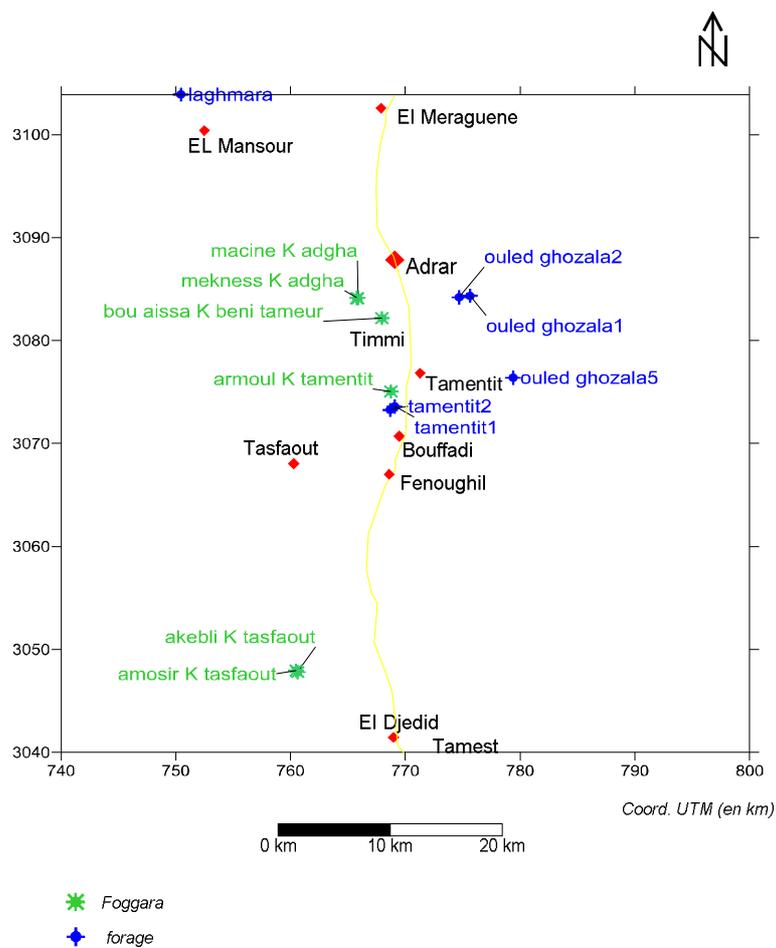
Le résidu sec mesuré dans une étuve à 110°C.

Le potentiel d'Hydrogène (pH) et la Conductivité Électrique sont mesurées in situ à l'aide d'un conductimètre pH-mètre.

Les résultats obtenus sont comparés ensuite avec les normes de potabilité des eaux de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), 2011, (tableau 06).

**Tableau 06-** Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable (2011).

Elément/ substance	Symbole/ formule	Lignes directrices fixées par l'OMS des eaux potables
Potentiel d'hydrogène	pH	6,5 - 8,5
Conductivité électrique	CE	400 $\mu$ S/cm
Résidu sec	RS	1500 mg/l
Titre hydrotimétrique	TH	10 à 500 mg/l
Calcium	Ca	< 200 mg/l
Magnésium	Mg	50 mg/l
Sodium	Na	200 mg/l
Potassium	K	12 mg/l
Chlorure	Cl	250 mg/l
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub>	10 à 350 mg/l
Sulfate	SO <sub>4</sub>	500 mg/l
Nitrite	NO <sub>2</sub>	3 mg/l
Nitrate	NO <sub>3</sub>	50mg/l

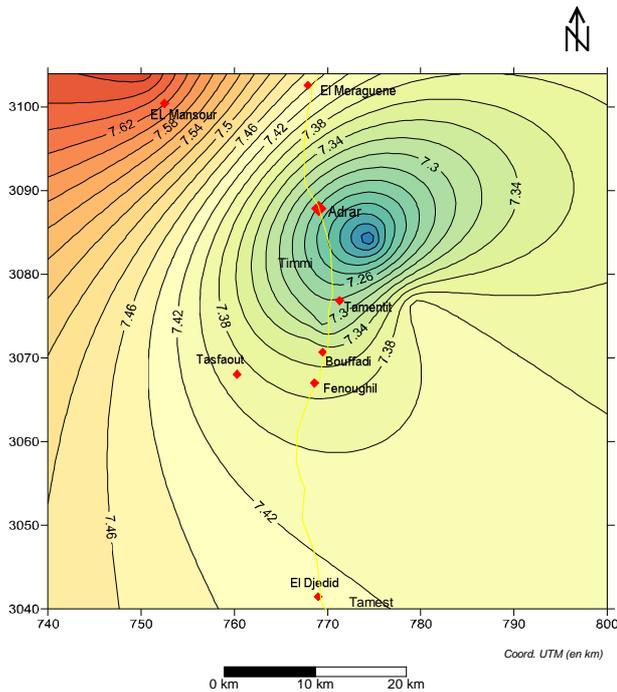
**Figure 20** - Carte d'inventaire des forages et des Foggaras.

### V.3. Interprétation des résultats

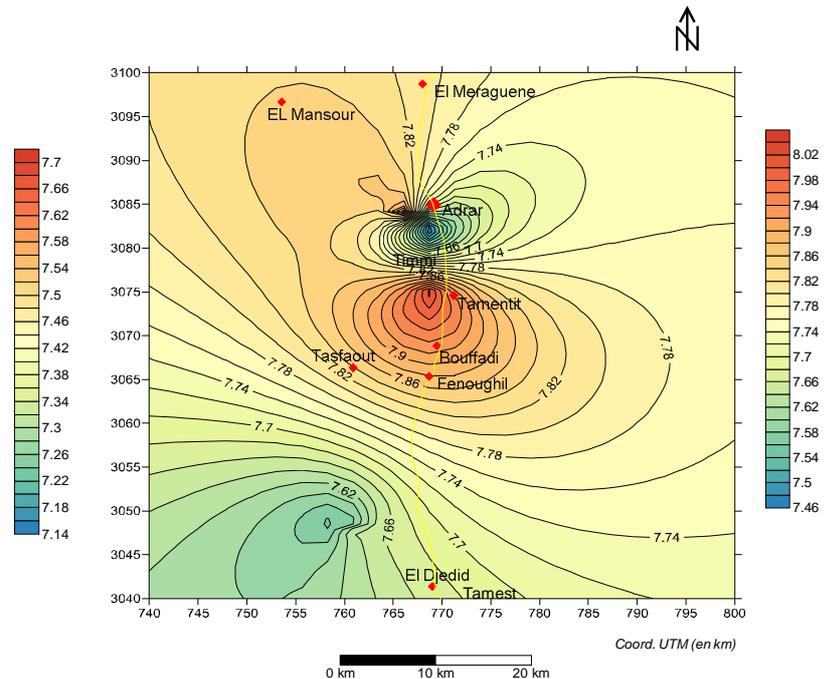
#### V.3.1. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité ; à pH 7 une eau est dite neutre, à un pH inférieur à 7 l'eau est acide et à un pH supérieur à 7, elle est basique. C'est l'un des paramètres parmi les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement (Rodier, 2009).

Les valeurs du pH pour les eaux des Foggaras varient de 7.46 à 8.03 les plus alcalines caractérisent la partie centrale de la région, alors que les eaux des forages varient entre 7, 14 à 7,69, plus alcalines vers le nord-ouest de la région (Fig.21 et 22).



**Figure 21** – Carte de distribution spatiale de pH  
Pour les forages.

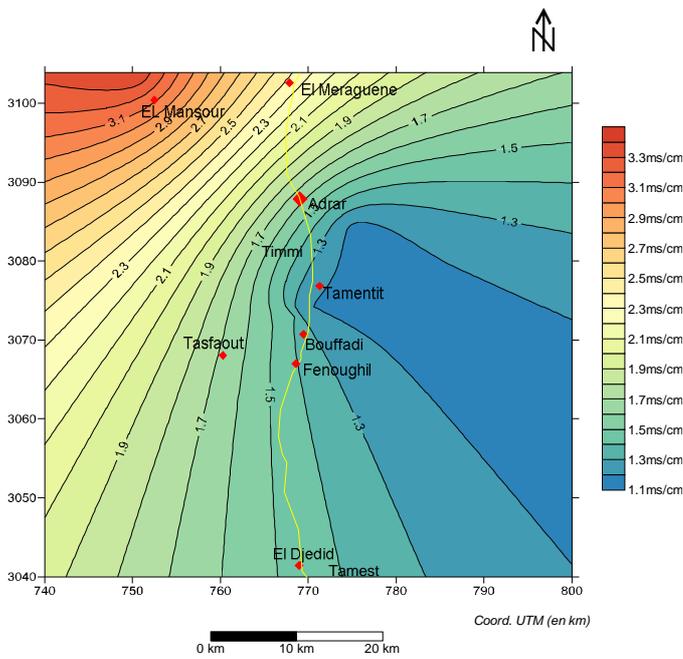


**Figure 22** – Carte de distribution spatiale de pH pour  
les Foggaras.

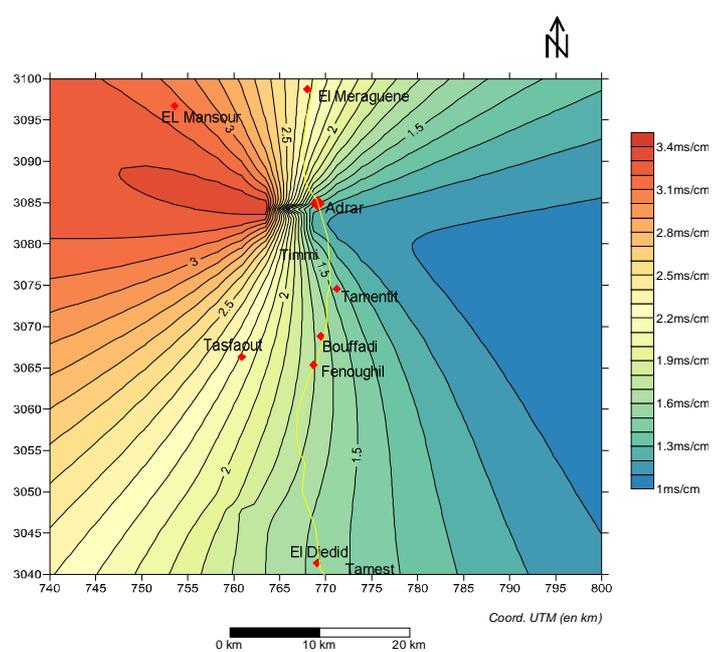
#### V.3.2. La conductivité électrique

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

L'analyse des données de la conductivité montre que les eaux des foggaras et des forages ont une forte conductivité atteignent 3.4 ms/cm dans le nord-ouest de la zone d'étude (Fig.23 et 24), cette augmentation est liée à la présence des horizons évaporitiques de la lithologie de continental Intercalaire.



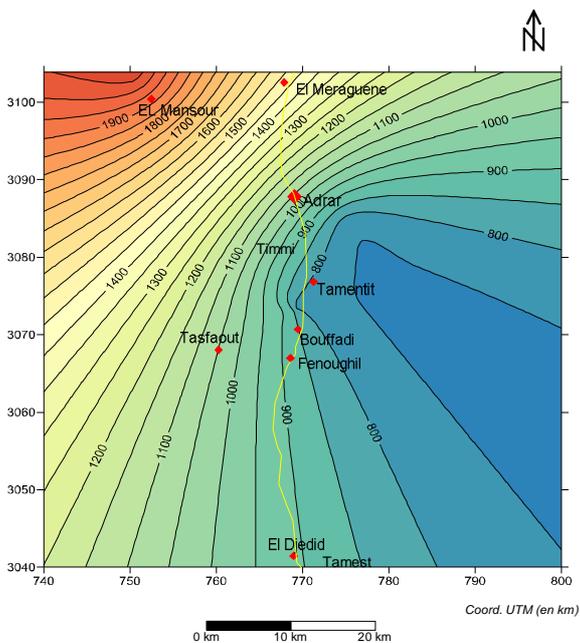
**Figure 23** – Carte de distribution spatiale de la conductivité électrique pour les Forages.



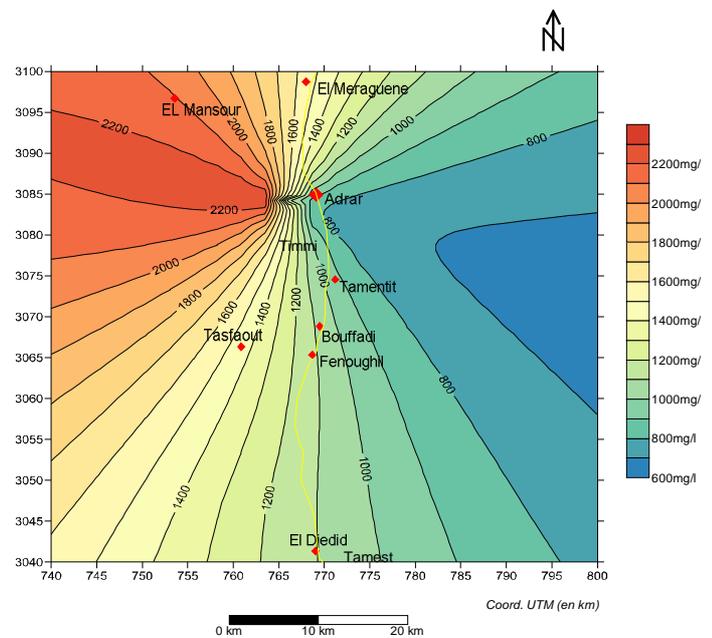
**Figure 24** – Carte de distribution spatiale de la conductivité électrique pour les Foggaras.

### V.3.3. Le Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. L'analyse des données des résidus secs montre que les eaux des foggaras et des forages ont des teneurs élevés au nord-ouest. Elles varient entre 884 et 2299 mg/l pour les foggaras alors que les forages possèdent des valeurs entre 750 et 2090 mg/l (Fig.25 et 26). C'est le résultat de la dissolution des formations évaporitiques.



**Figure 25** – Carte de distribution spatiale du résidu sec pour les forages



**Figure 26** – Carte de distribution spatiale du résidu sec pour les foggaras.

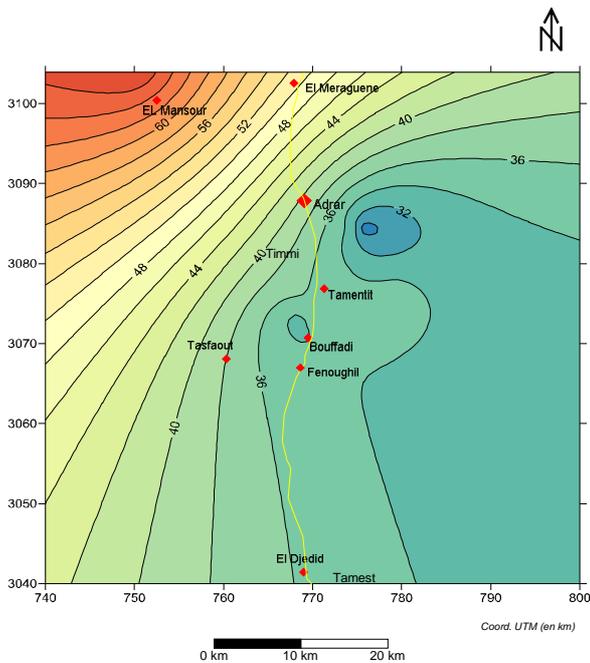
### V.3.4. La Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et magnésium.

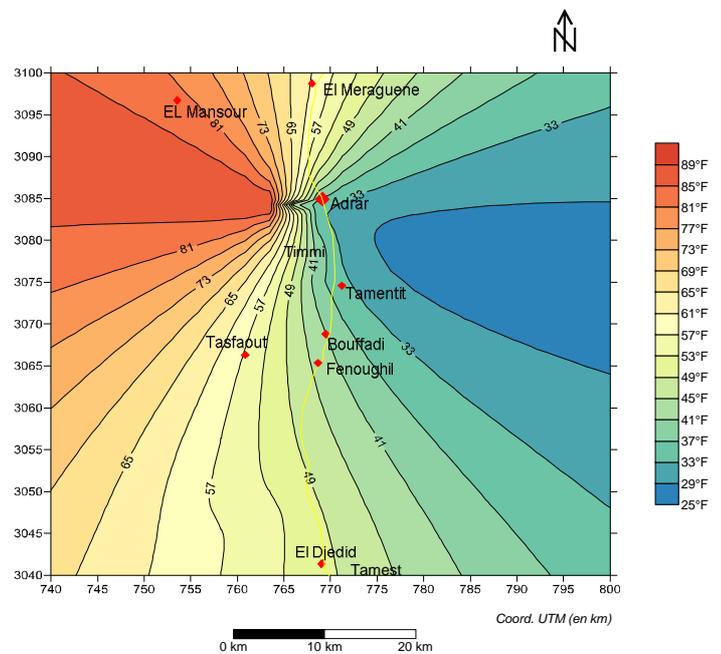
La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en  $\text{CaCO}_3$ . Elle est aussi très souvent donnée en degrés français qui correspondent à 10mg/l de carbonate de calcium ou à 4 mg/l de calcium. (Rodier, 2009). La dureté des eaux des foggaras et des forages de la zone d'étude est très élevée, elle varie entre 29 à 68°F pour les forages et de 37 à 90°F pour les foggaras (Fig.27 et 28). elle est due au formations évaporitiques et carbonatées.

**Tableau 07 – Qualité des eaux en fonction de leur dureté.**

Degrés français (°F)	0 - 5 °F	6 - 10 °F	11 - 15 °F	16 - 30 °F
Qualité de l'eau	Eau très douce	Eau douce	Eau moyennement dure	Eau très dure



**Figure 27 – Carte de distribution spatiale de la dureté pour les forages.**



**Figure 28 – Carte de distribution spatiale de la dureté pour les foggaras.**

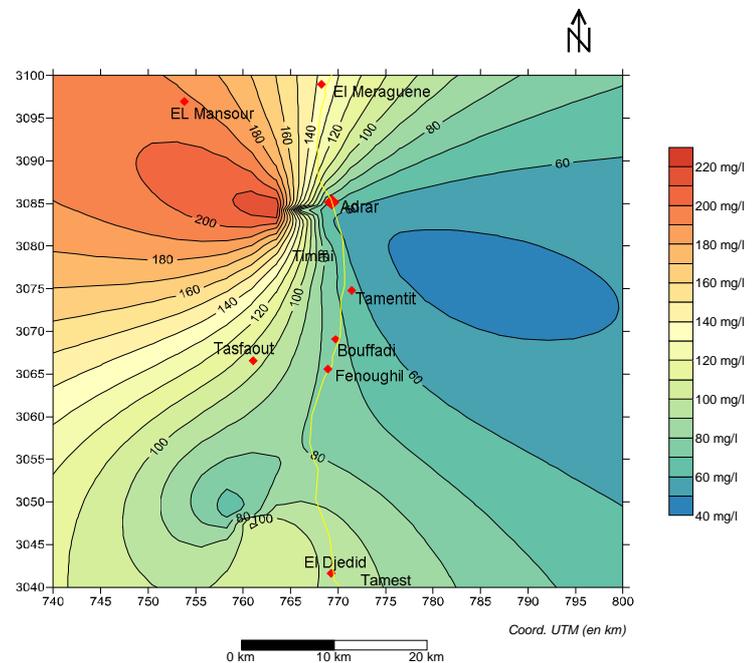
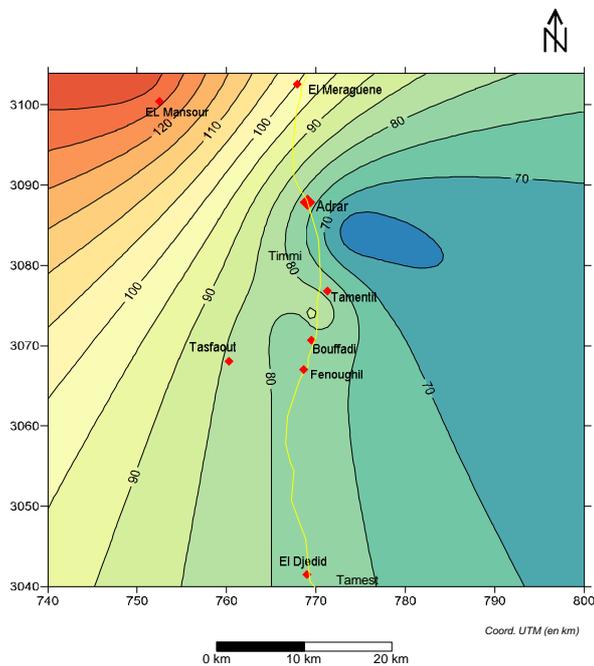
### V.3.5. Les cations

#### V.3.5.1. Le calcium

Le calcium est un élément alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires ( $\text{CaCO}_3$ ), les dolomies ( $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$ ) et dans les formations évaporitiques, gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ) et anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ). Le calcium est un composant majeur de la dureté de l'eau et généralement l'élément dominant des eaux

potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (Rodier, 2009).

Les teneurs en calcium pour les forages ne dépassent pas la norme, au contraire des Foggaras où cette norme est dépassée au niveau du Foggara de Mekness Ksar Adgha, Adrar, au nord-ouest de la zone d'étude avec 224 mg/l (Fig.29 et 30).



**Figure 29** – Carte de distribution spatiale du calcium pour les forages.

**Figure 30** – Carte de distribution spatiale du calcium pour les Foggaras.

### V.3.5.2. Le magnésium

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre.

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (chimie de la potasse, alliages, pyrotechnie, batteries sèches, réducteur chimique, etc.) font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes.

Le magnésium est par ordre d'importance le deuxième cation contenu dans les cellules après le potassium. Il joue le rôle de stabilisateur de la membrane cellulaire en protégeant la cellule contre une rétention de sodium (Rodier, 2009).

Les teneurs en magnésium dépassent largement la norme fixée par l'OMS de 50 mg/l dans le nord-ouest de la zone d'étude pour les eaux de forages avec une concentration maximale de l'ordre de 87 mg/l, alors que cette norme est largement dépassée sur toute la partie ouest de la zone d'étude pour les eaux des Foggaras où la teneur atteint les 100 mg/l (Fig.31 et 32).

Il est souvent lié à des formations évaporitiques (sel de Mg) et des formations carbonatés, la dolomie ((Ca,Mg)CO<sub>3</sub>).

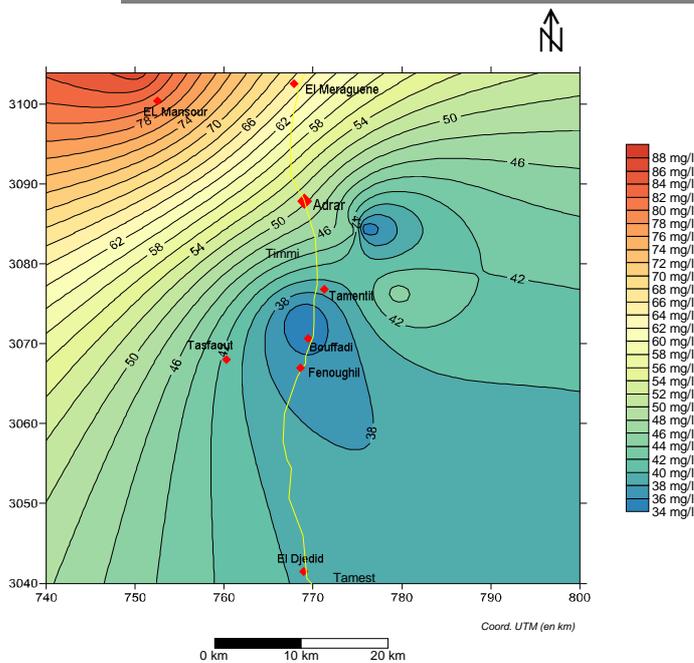


Figure 31 – Carte de distribution spatiale de magnésium pour les forages.

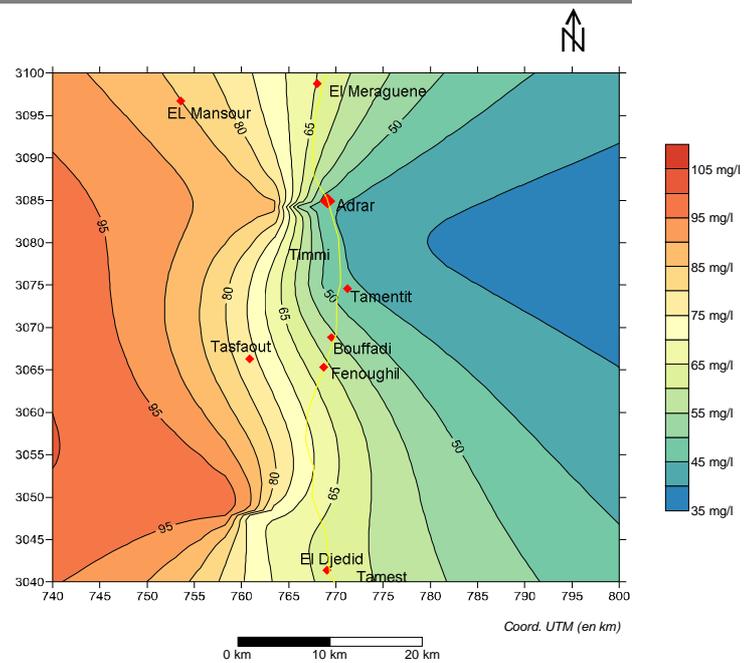


Figure 32 – Carte de distribution spatiale de magnésium pour les Foggaras.

### V.3.5.3. Le sodium

Le sodium, sous forme de chlorure de sodium, a une grande importance alimentaire et industrielle. Il peut être soit d'origine marine, il est alors obtenu par l'évaporation progressive des marais salants, soit extrait à partir du sous-sol où il existe sous forme de sel gemme (Rodier, 2009). L'origine de sodium dans les eaux souterraines est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles comme l'halite (NaCl).

Les eaux de la région d'Adrar possèdent des teneurs largement élevée en  $\text{Na}^+$  pour sa partie ouest, ce qui impact négativement la qualité des eaux de cette zone, où ces concentrations peuvent atteindre 400 mg/l pour les forages dans l'extrême nord-ouest de la zone d'étude, ce qui est le même cas pour les foggaras (Fig.33 et 34).

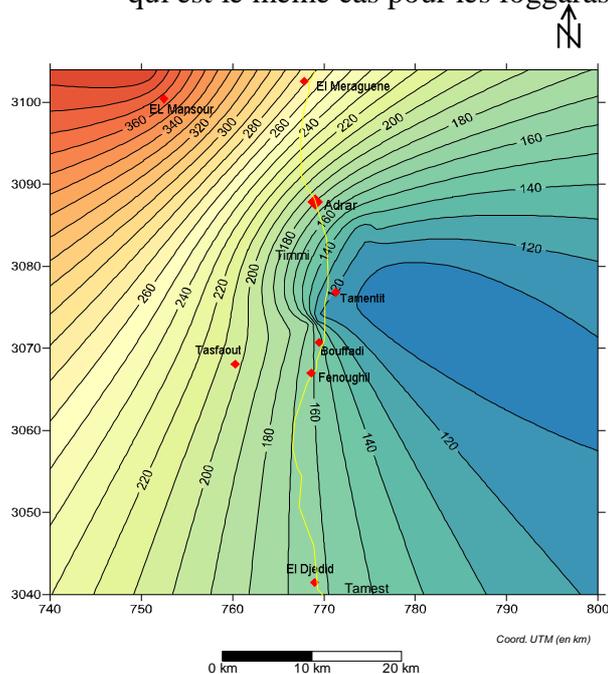


Figure 33 – Carte de distribution spatiale Du sodium pour les forages.

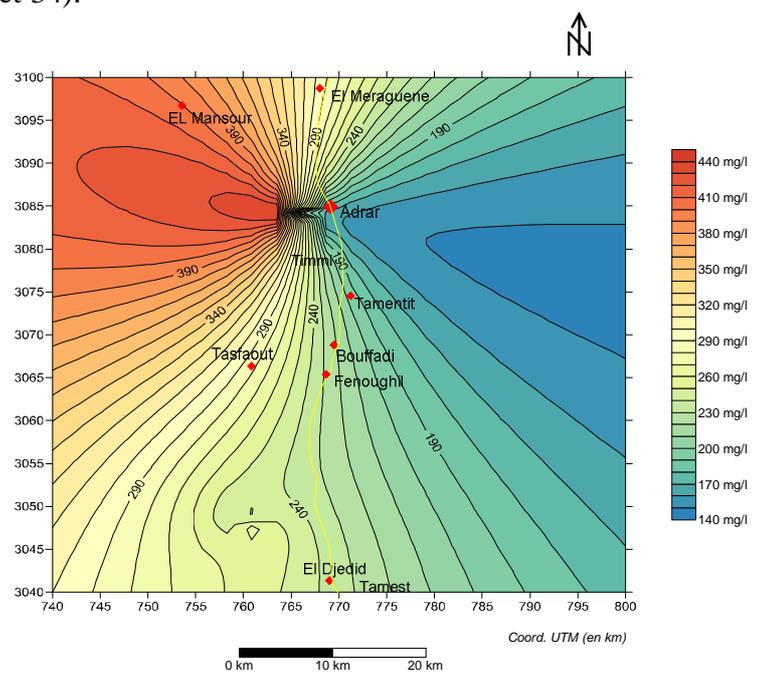


Figure 34 – Carte de distribution spatiale du sodium pour les Foggaras.

### V.3.5.4. Le Potassium

Le potassium est un élément qui joue un rôle dans l'osmolarité des cellules et dans la transmission de l'influx nerveux (Rodier, 2009).

Dans les roches ignées la teneur en potassium est importante, il est aussi observé à des fortes teneurs dans les formations argileuses. Les concentrations en potassium pour les eaux de la région dépassent largement la norme fixée à 12 mg/l, on a dosé une teneur jusqu'à 32 mg/l pour les des forages à l'extrême nord-ouest de la zone d'étude, au contraire pour les Foggaras c'est en sud-ouest de la zone (au sud Tasfaout) qu'on a les plus fortes concentrations avec 23 mg/l (Fig.35 et 36).

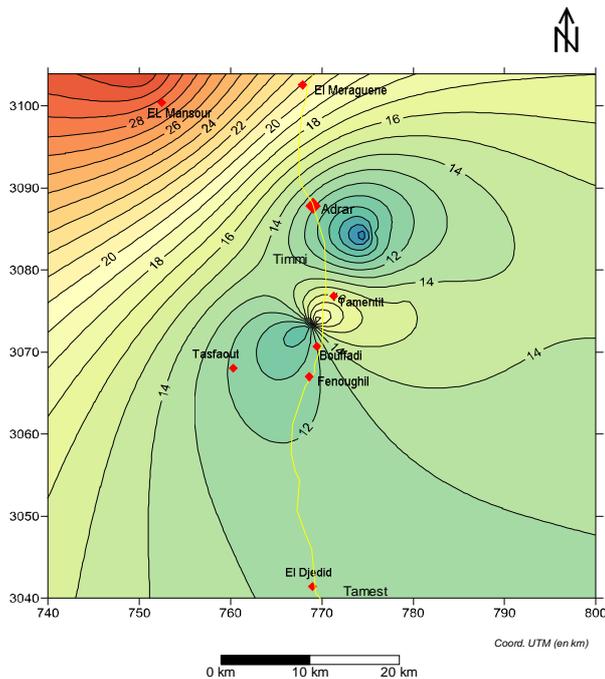


Figure 35 – Carte de distribution spatiale du potassium pour les forages.

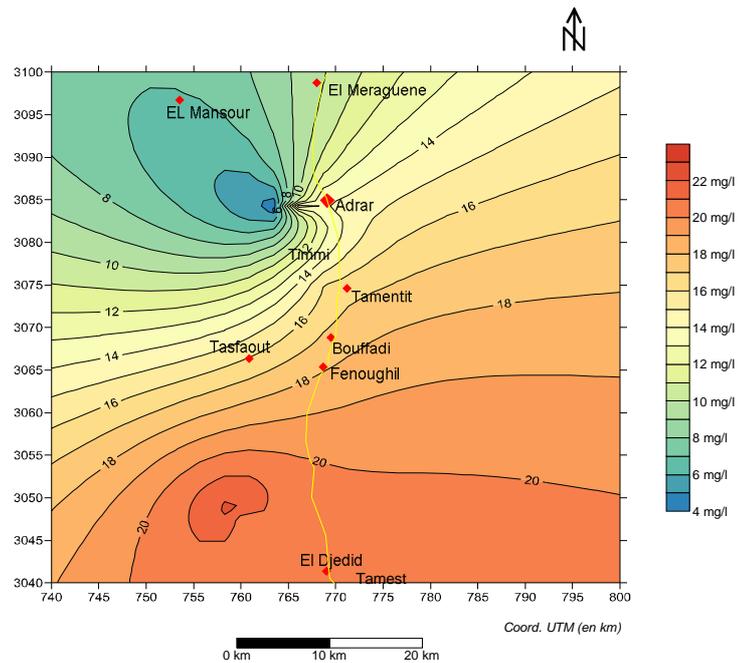


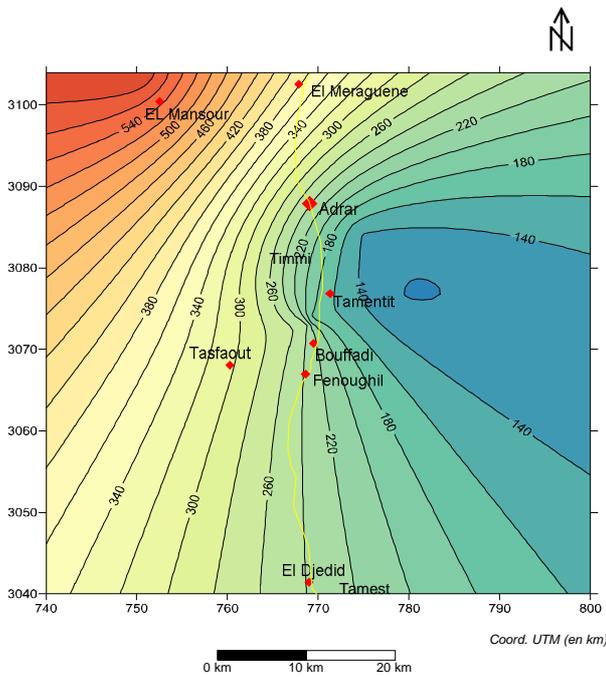
Figure 36 – Carte de distribution spatiale du potassium pour les Foggaras.

### V.3.6. Les anions

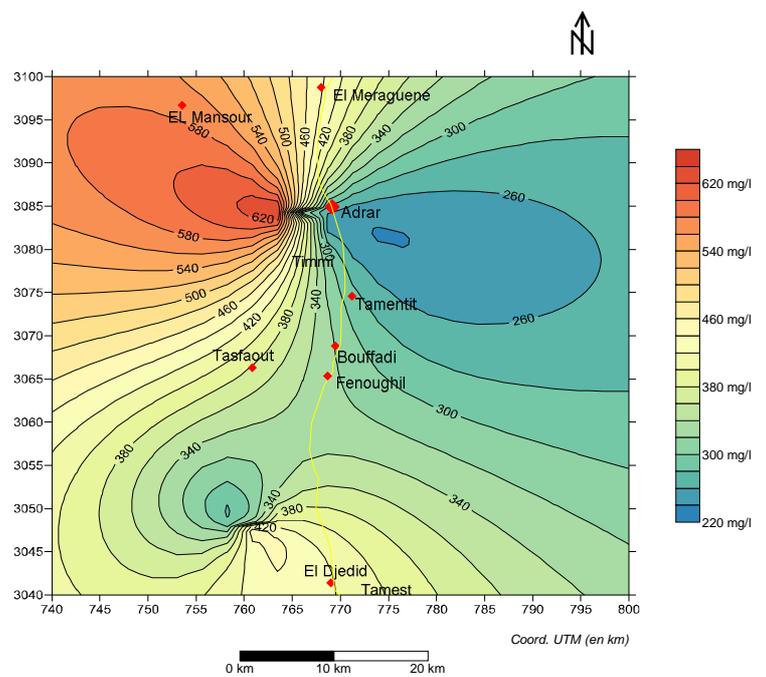
#### V.3.6.1. Les chlorures

Pour les chlorures, la valeur guide est de 25 mg/l. La concentration "à risque" est de 250 mg/l. Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives et peuvent poser des problèmes aux personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires ou rénales. La présence des chlorures dans les eaux est due, le plus souvent, à la nature des terrains traversés (géologie), où en rencontre souvent des couches argileuses en intercalation avec le grès dans l'horizon aquifère du Continental Intercalaire. Elle peut être aussi un signe de pollution (rejet industriel ou rejet d'eaux usées).

Les teneurs en chlorures dans les eaux des forages et des Foggaras sont très élevées et dépassent largement la norme dans toute la région à l'exception de la partie Est des agglomérations d'Adrar et Tamentit, cette teneur atteint 600 mg/l pour les eaux de forages et 654 mg/l pour celles des Foggaras (Fig.37 et 38).



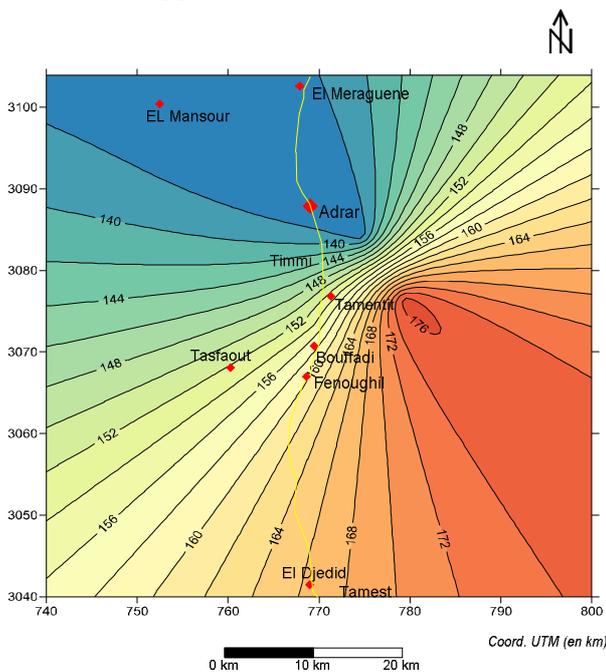
**Figure 37** – Carte de distribution spatiale du chlorure pour les forages.



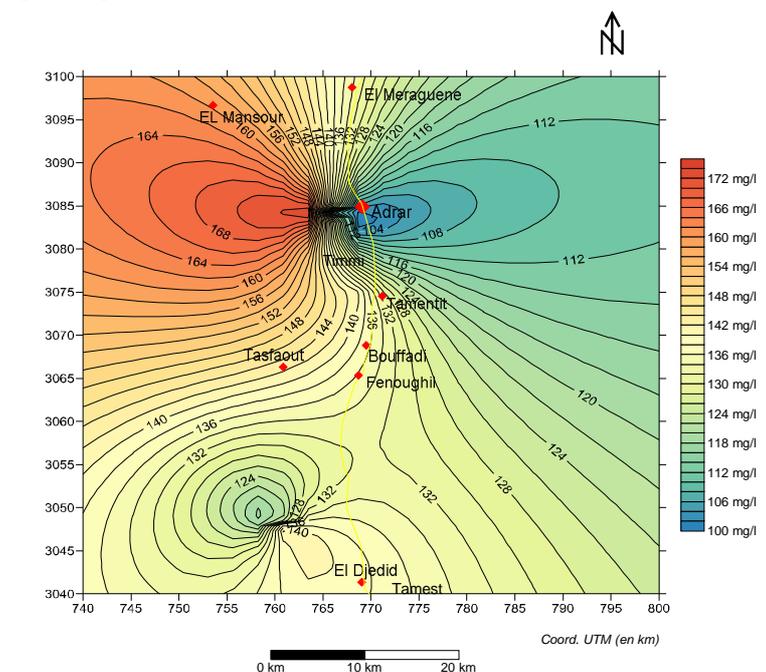
**Figure 38** – Carte de distribution spatiale du chlorure pour les Foggaras.

**V.3.6.2. Les bicarbonates**

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique lors de son infiltration dans le sous sol. La teneur en  $\text{HCO}_3^-$  dans les eaux souterraines de la zone d'étude se trouve dans la norme fixée entre 10 et 350 mg/l, pour les eaux de forages c'est à l'Est de Tamentit, Fenoughil qu'on rencontre les plus fortes concentrations (maximale de 177), alors que c'est plus à l'ouest de L'agglomération d'Adrar que les eaux sont plus riche en bicarbonates pour celles des Foggaras avec une teneur maximale de 174 mg/l (Fig.39 et 40).



**Figure 39** – Carte de distribution spatiale du bicarbonate pour les forages.



**Figure 40** – Carte de distribution spatiale du bicarbonate pour les Foggaras.

### V.3.6.3. Les Sulfates

Les sulfates contenus dans l'eau souterraines sont fournis par la dissolution du gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ), L'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) et peuvent provenir de l'oxydation de la pyrite ( $\text{FeS}_2$ ). Des concentrations élevées en sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux, elles peuvent donner un goût désagréable à l'eau et créent des dépôts tenaces dans les chaudières. Les teneurs en sulfates dépassent la norme fixée par l'OMS à 500 mg/l dans les eaux souterraines des Foggaras pour la partie ouest de la zone d'étude où elles atteignent les 850 mg/l à l'ouest d'El Mansour et 580 mg/l pour les eaux des Forages dans la même région (Fig.41 et 42).

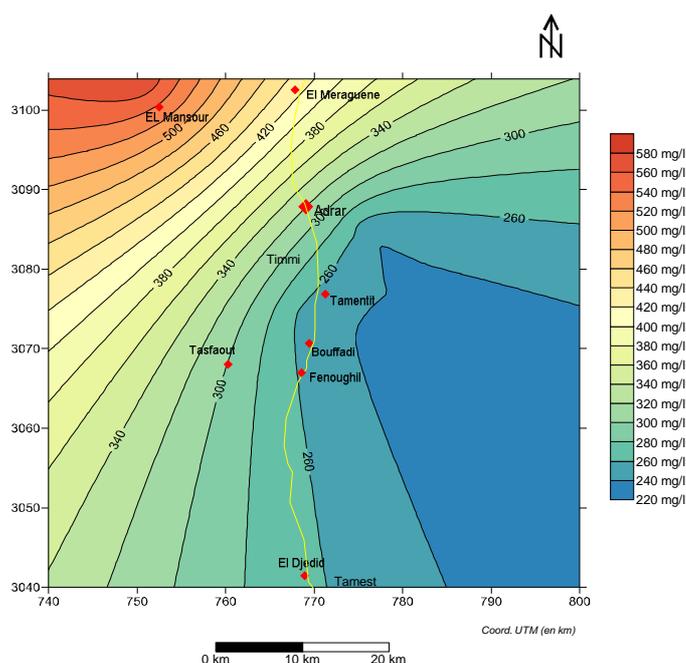


Figure 41 – Carte de distribution spatiale des sulfates pour les forages.

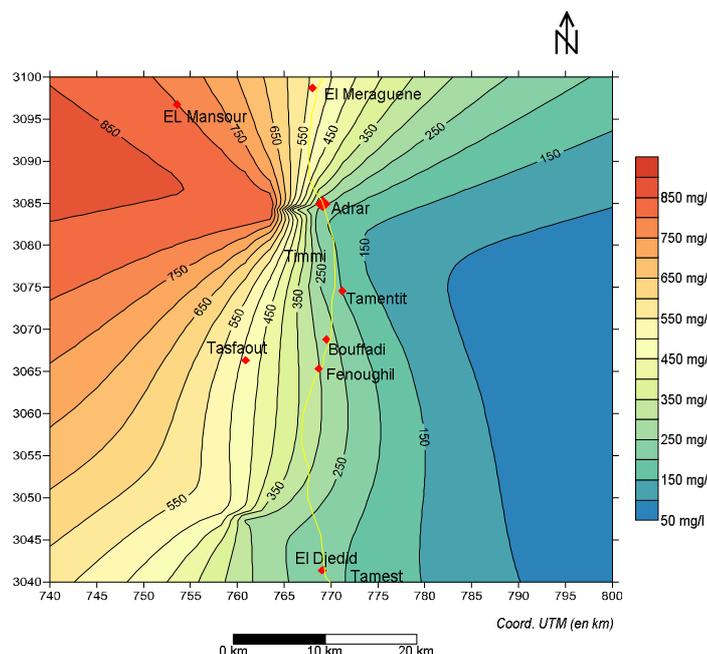
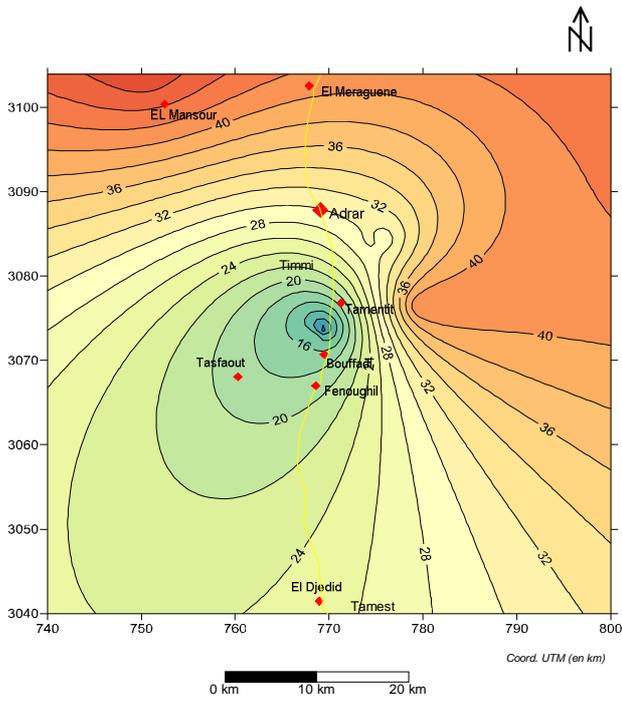


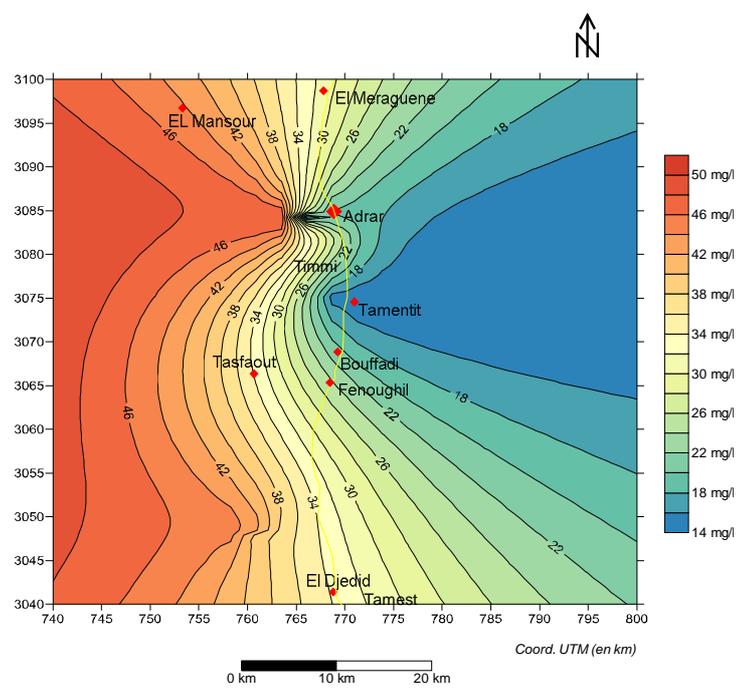
Figure 42 – Carte de distribution spatiale des sulfates pour les Foggaras.

### V.3.6.4. Les nitrates

Le nitrate est un composé inorganique provient par un processus d'oxydation biologique. Les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation (Jacques B., 2008), L'origine anthropique des nitrates est la contamination par des engrais et les rejets domestiques. La concentration en nitrates pour les eaux de forages et des Foggaras est normale et ne dépasse pas la norme de l'OMS fixée à moins 50 mg/l, la partie ouest de la zone d'étude (ouest des agglomérations d'El Mansour et Tasfaout) est plus riche en ce composé pour les eaux des Foggaras (maximum de 48 mg/l), là où s'exerce une activité agricole remarquable au contraire de la partie Est (Fig.43 et 44).



**Figure 43** – Carte de distribution spatiale des nitrates pour les forages.



**Figure 44** – Carte de distribution spatiale des nitrates pour les Foggaras.

### V.3.6.5.. Les nitrites

Les nitrites proviennent soit d’une oxydation incomplète de l’ammoniaque, soit d’une réduction des nitrates sous l’influence d’une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (Rodier, 2009). En présence de quelques dixièmes de mg/l, la pollution est sensible, celle-ci devient significative au-delà de 1 mg/l.

Les teneurs en nitrites pour les eaux souterraines des forages et des Foggaras sont inférieures à la norme fixée par l’OMS à 3 mg/l. pour les eaux de forages c’est à l’Est de Tamentit et le nord-ouest d’El Mansour qu’on rencontre les fortes concentrations, alors que c’est au sud de Tasfaout qu’on a dosé les fortes concentrations pour les eaux de Foggaras (Fig.45 et 46).

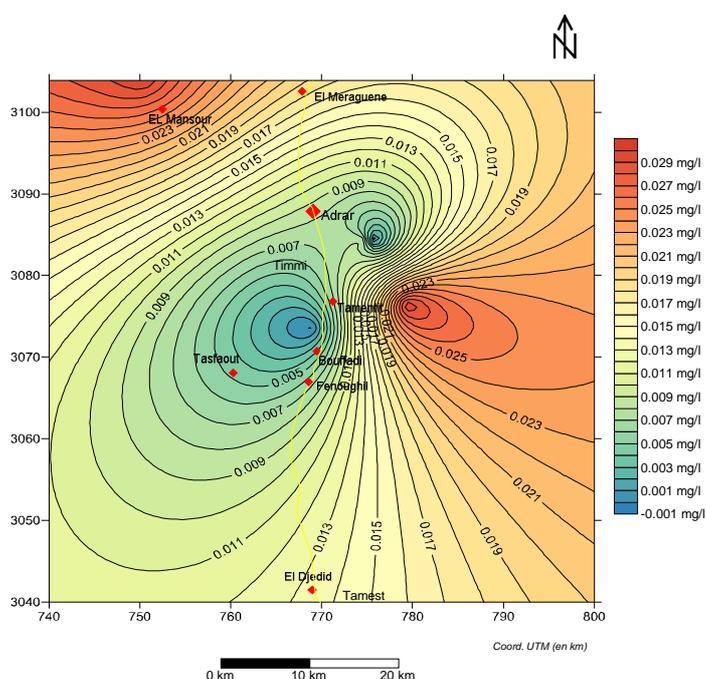


Figure 45 – Carte de distribution spatiale des nitrites pour les forages.

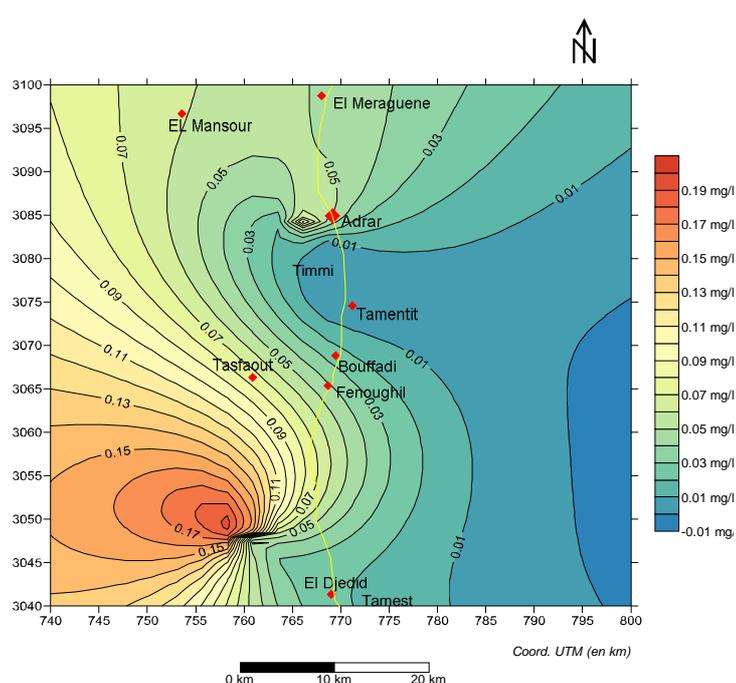


Figure 46 – Carte de distribution spatiale des nitrites pour les Foggaras.

### V.3.7. Les faciès chimiques

La méthode des balances ioniques permet de contrôler la qualité des analyses effectuées sur les éléments majeurs. Cette démarche de validation est un préalable indispensable à la présentation des résultats d'analyse et à leur interprétation. Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$NICB = 100 * \frac{[\sum \text{Cations} - \sum \text{anions}]}{[\sum \text{cations} + \sum \text{anions}]}$$

Où :

- NICB (Normalized Inorganic Charge Balance) : La balance ionique exprimée en pourcentage,
- $\Sigma$  Cations : La somme des cations (unités en meq/l),
- $\Sigma$  Anions : La somme des anions (unités en meq/l).

La balance ionique est l'expression d'une différence entre les charges positives (cations) et les charges négatives (anions). La théorie physique suppose la neutralité des charges au sein des échantillons d'eau, c'est-à-dire une égalité entre la somme des charges positives (cations) et la somme des charges négatives (anions). La balance ionique de tout échantillon d'eau doit donc nécessairement être proche de 0%.

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

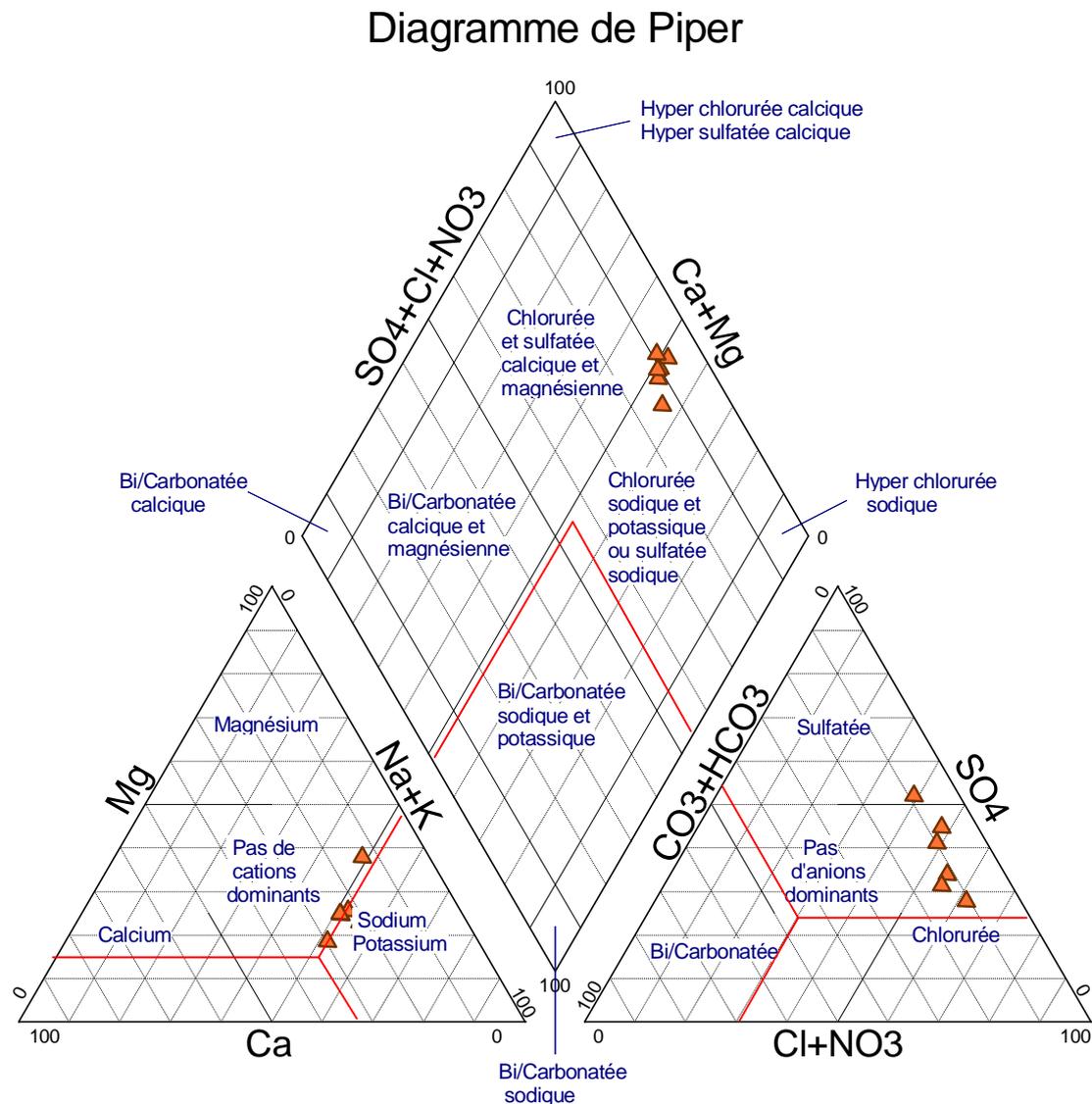
- $-1\% < NICB < +1\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- $-5\% < NICB < +5\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.

- $-10\% < \text{NICB} < +10\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- $\text{NICB} < -10\%$  ou  $\text{NICB} > +10\%$  : Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Pour notre cas les analyses des forages et Foggaras :  $-3 < \text{NICB} < +3\%$ , donc ces analyses ont une fiabilité excellente.

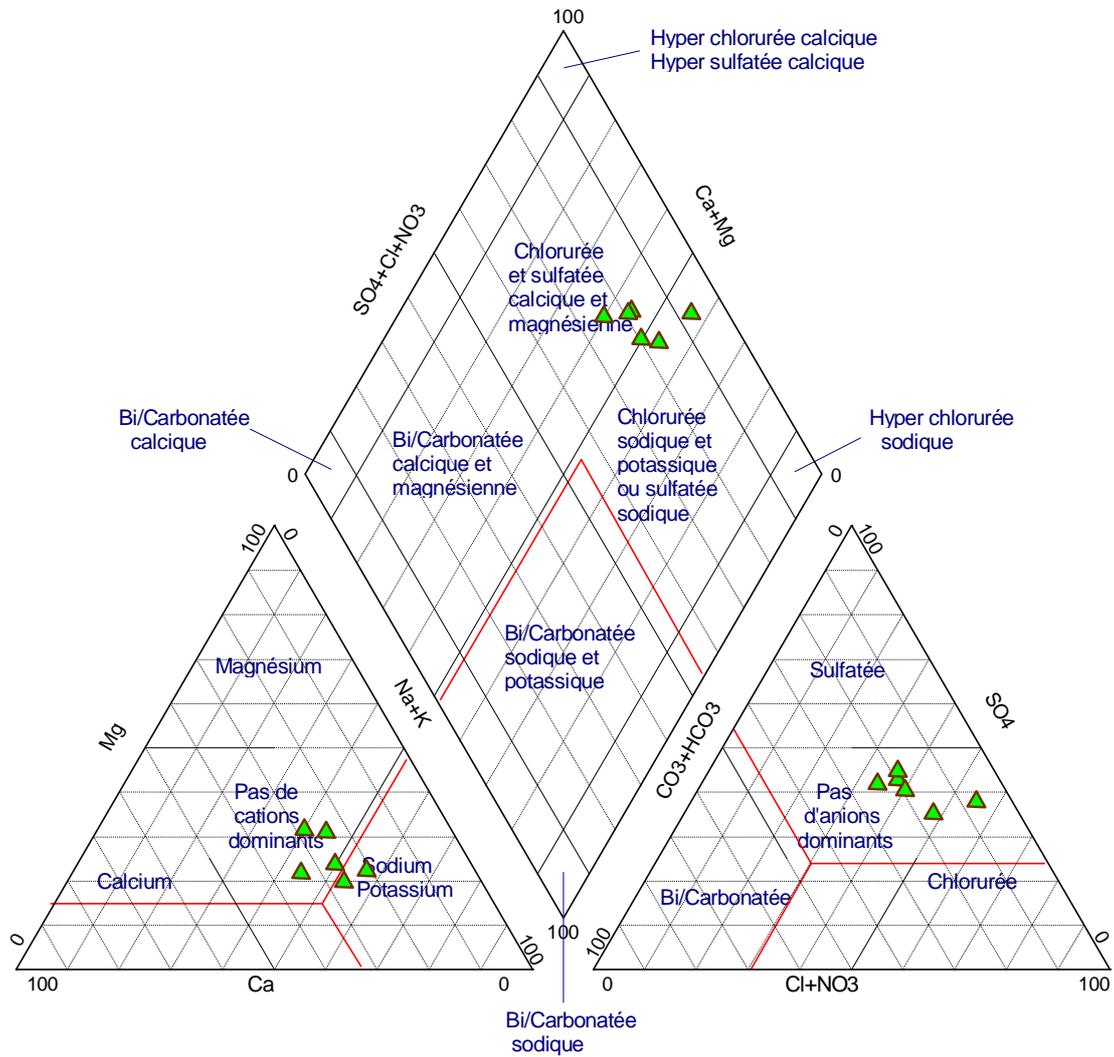
A l'aide du digramme de Piper (1944) ont a pu montrer les différents faciès des eaux souterraines du Continental Intercalaire, ces faciès se résument comme suit :

- Les eaux de la zone d'étude possèdent un faciès sulfaté sodique-potassique et chloruré sodique dominant pour les Foggaras (Fig.47) ;
- Et sulfaté sodique-potassique et chloruré sodique en plus chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les forages (Fig.48).



**Figure 47** – Détermination des faciès des eaux souterraines des Foggaras par le diagramme de Piper.

### Diagramme de Piper



**Figure 48** – Détermination des faciès des eaux souterraines des forages par le diagramme de Piper.

## Conclusion

Le chimisme des eaux des forages et des Foggaras de la région d'Adrar dépend essentiellement de la lithologie de la nappe du Continental Intercalaire, les fortes teneurs en chlorures et sodium sont dues aux couches argileuses localisées sous forme de passages en lentilles à travers l'horizon aquifère, alors que ces eaux présentent ainsi une dureté élevée due à la forte concentration en magnésium et en degré moindre du calcium due au lessivage des formations calcaires et dolomitiques. La minéralisation excessive impact négativement sur la conductivité et la salinité des eaux de la région, puisque d'après les résultats obtenus on peut constater que du point de vue physico-chimique ces eaux possèdent une qualité médiocre à mauvaise par rapport aux normes de potabilité des eaux fixées par l'OMS.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS**

Située dans le plus grand désert au monde (Grand Sahara), la région d'Adrar comme toutes les agglomérations urbaines de ce secteur désertique dur considère les ressources d'eau souterraines comme un trésor dont il faut l'exploiter rationnellement pour assurer aux générations futures leurs besoins en cet élément indispensable à la vie. L'analyse de la carte géologique montre une succession de couches de différent ères géologiques, les formations de précambrien formée par du matériel volcano-détritique sont surmontées par celles du primaire gréseuses et argileuses elles mêmes surmontées par les sédiments continentaux grès-argileux du secondaire, alors que les dépôts quaternaires constituent essentiellement les dunes de sable et les alluvions. Toute cette série sédimentaire contient le potentiel le plus important en eaux souterraines matérialisée en un certain niveau par la nappe du Continental Intercalaire d'âge crétacé inférieur, qui fait partie du Système Aquifère du Sahara Septentrionale, cette dernière constituée d'une succession de couches de grès dur, tendres et friables, de bancs gréseux, de sables, de graviers avec quelques passages en lentilles de niveaux argileux et du calcaire ou de calcaire dolomitique, elle possède une épaisseur importante qui atteint les 200 m en quelques endroits, avec un débit d'eau remarquable dans la plus part des forages, leur recharge est très limitée à cause des rares précipitations et les conditions aux limites inadéquates, alors que leur contenu en eaux fossiles ne cesse de se diminuer progressivement. L'analyse de la carte piézométrique (mai 2014) montre que le sens global d'écoulement des eaux souterraines se fait de l'est vers l'ouest puis vers le centre de la zone d'étude avec l'individualisation d'une ligne de partage des eaux à l'est de la région.

Le système de Foggara représente l'affleurement du Continental Intercalaire du Système Aquifère du Sahara Septentrional dans sa partie sud-ouest. Les Foggaras constituent l'élément fondamental des oasis, elle est composée de deux systèmes, l'un pour le captage et l'autre pour la distribution des eaux vers les jardins. Ce système d'irrigation traditionnel par la Foggara risque de se disparaître, il a connu d'ailleurs des difficultés de gestion et d'entretien en raison de sa dégradation avancée liée aux plusieurs problèmes, tel que l'implantation des forages à proximité, l'effondrement de leurs galeries, l'inconscience des habitants et l'arrivée du matériel plus développée largement utilisé en agriculture et qui donne un bon rendement par rapport au premier.

Les résultats obtenus des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'Adrar comparés ensuite avec les normes de la potabilité des eaux fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé, montrent en globale que ces eaux ont une qualité médiocre à mauvaise, la nature géologique des couches qui forment l'horizon aquifère du Continental Intercalaire influe directement sur ses teneurs en éléments chimique et leurs propriétés physiques, les eaux souterraines des forages et des Foggaras de la région d'Adrar possèdent des fortes teneurs en chlorures et en sodium dues essentiellement au lessivage des couches argileuses localisées sous forme de passages en lentilles à travers l'horizon aquifère, alors que ces eaux présentent ainsi une dureté élevée due à la forte concentration en magnésium et en degré moindre du calcium qui proviennent du lessivage des formations calcaires et dolomitiques. La minéralisation excessive impact négativement sur la conductivité et la salinité des eaux de la région, ces dernières sont très conductrices. Le faciès sulfaté sodique-potassique et chloruré sodique caractérise les eaux des Foggaras, alors qu'on rencontre le même faciès en plus de celui chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les forages.

## Recommandations

La foggara est un patrimoine hydraulique culturel qui n'a pas encore attiré toute l'attention nécessaire pour sa préservation. Elle mérite d'être étudiée en vue de déterminer certaines propositions qui contribuent à l'entretien de système, pour cela on recommande les suggestions suivantes :

- Exécution des campagnes de curage pour augmenter leur débit.
- Interdiction de toute implantation de forage ou puits en amont de la foggara.
- Faire une étanchéité de la partie inactive de la Foggara, qui est très perméable pour éviter les pertes d'eau.
- Interdiction d'utiliser les seguias des Foggaras comme lavoirs publics afin d'éviter la dispersion des détergents dans la palmeraie.
- Prolongement de la partie drainante de la foggara.
- La mise en place d'un périmètre de protection.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Akkouche M., (2007):** Application de la datation par traces de fission à l'analyse de la thermicité de bassins à potentialités pétrolières. Exemple de la cuvette de Sbaâ et du bassin de l'Ahnet-Nord (plate-forme saharienne occidentale, Algérie) Thèse doctorat université de Bordeaux1, 283p

**Arrus R., (1985):** L'eau en Algérie, Office des publications Universitaires, Alger 388p.

**Bel F. & Cuche D., (1969):** Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ERESS ; Ouargla. Algérie. 3 fig., 17 planches, 20p.

**Bellil R., (2002):** Les Zénètes du Gourara d'hier à aujourd'hui. *Passerelles*, 24,5p.

**Benhamza M., (2013):** aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines " foggara " dans la région d'Adrar. Université Badji Mokhtar –Annaba .124p.

**Busson G., (1970) :** Le Mésozoïque saharien. Essai de synthèse des données de sondages Algéro-Tunisiens. *C.N.R.S-CRZAS. Géol.*, 11, 788p.

**Conrad G. & Fontes J. C., (1972):** Circulations, aires et périodes de recharge dans les nappes aquifères du Nord-Ouest Saharien : données isotopiques (18O, 13C, 14C). *CRAS*, 275, 165-163.

**Fabre J., (1976):** Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED, Alger, Algérie, 422p.

**Diagramme (2015):** version 6.48 ., 13-03-2015, logiciel d'hydrochimie multilingue en distribution libre ROLAND SIMLER, laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon, France.

**Guendouz A., (1985):** Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes Profondes du Sahara Nord-est Septentrional (Algérie). Thèse de troisième cycle présentée à l'université de Paris – Sud, le 18/07/1985, 243p.

**Hassani I., (1988):** Les méthodes traditionnelles de captage des eaux souterraines dans le Sahara Algérien. *Revue Techniques et Sciences* n°6, pp. 20- 24.

**Kilian C., (1931):** les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. somm. S.G.F.paris, 109-111.

**Kobori I., (1982):** Case studies of Foggara oases in the algerian Sahara and Syria. Rapport n°2, Université de Tokyo, 45 p.

**Oleil J., (1994):** Les juifs au Sahara; le Touat au Moyen Age. *Éditions du CNRS*, Paris, France, 188 p.

**OSS (2003):** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.

**OSS (2003b):** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4: Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie. 229p.

**OSS (2004):** Système aquifère du sahara septentrional, Modèle Mathématique, Volume 4, 271p.

**Oued Baba SY M., (2005):** Recharge et Paleorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse Doctorat, université de Tunis EL MANAR.

**Piper A., (1944):** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions, American Geophysical Union. 25: 914-23.

**Remini B., (2001):** Méga-obstacles et dépressions topographiques, leur influence sur la dynamique éolienne, les ergs et l'ensablement des espaces oasiens, Thèse de doctorat, Université de Reims, Champagne-Ardenne, France, 188p.

**Rodier J., (2009):** L'Analyse de l'eau, 9<sup>e</sup> Edition, Dunod, Paris, 1526p.

**Saidi A., (1983):** Le système de captage traditionnel dans les oasis traditionnelles.

**Surfer (10):** surfer version 10.1.561 (32 bit) 1-2011, surface mapping system, Golden software, Inc.

**Takherist D., (1990):** Structure Crustale, Subsidence Mésozoïque et Flux de Chaleur Dans les Bassins Nord Sahariens (Algérie) - Apport de la Gravimétrie et des Données de Puits. Thèse de Doctorat, Académie de Montpellier, 236p.

**Thorntwaite, C.W. and Mather, J.R., (1955):** The water balance. Pub. Climatol. Lab. Climatol. Drexel Inst. Technol. 8, 1-104.

**Turc L., (1954):** Le bilan d'eau des sols : relations entre précipitations, l'évapotranspiration et l'écoulement. Ann. Agron. 5, 491-596.