

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

*UNIVERSITE AHMED DRAIA -- ADRAR
Faculté des sciences et de la technologie
Département des sciences de la nature et de la vie
Spécialité: système de production agro écologie*

MEMOIRE

*Pour l'obtention du Diplôme Master
En Agroécologie*

Thème

**ETUDE DE QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE
DES EAUX
DE FOGGARA DANS LA REGION
BOUDA-ADRAR**

Présenté par :

- * **GHOULE Mohammed**
- * **OUGHOUZLAFI Abdelmadjid**

Devant Le Jury

Président : M ^r ABAKHTI Abdelkader	M.C.A	Univ. Adrar
Promoteurise : Mlle Chergui Yamina	M.A.B	Univ. Adrar
Examineur : M ^r Boulal Ahmed	M.A.B	Univ. Adrar

Année Universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENT



Nous remercions dieu qui nous a donnée la volonté et le courage pour la réalisation de ce modeste travail.

Nous présentons nos remerciements vivement à M^{lle}.CHERGUI.Y notre promotrice d'avoir partagé avec nous son temps précieux et son expérience ainsi que pour sa bienveillance et ses encouragements.

Que les membres de jury trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à tout le personnel de l'Agence National des Ressources Hydriques (ANRH) d'Adrar de nous avoir fournis l'accès à la documentation nécessaire à l'accomplissement de ce travail

Mes remerciements vont également à tous nos camarades, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Mohammed et Abdelmadjid



DIDICACE



Ce travail est dédié :

A mes Chers parents

A mon cher frère

A mes chères sœurs

A ma chère femme

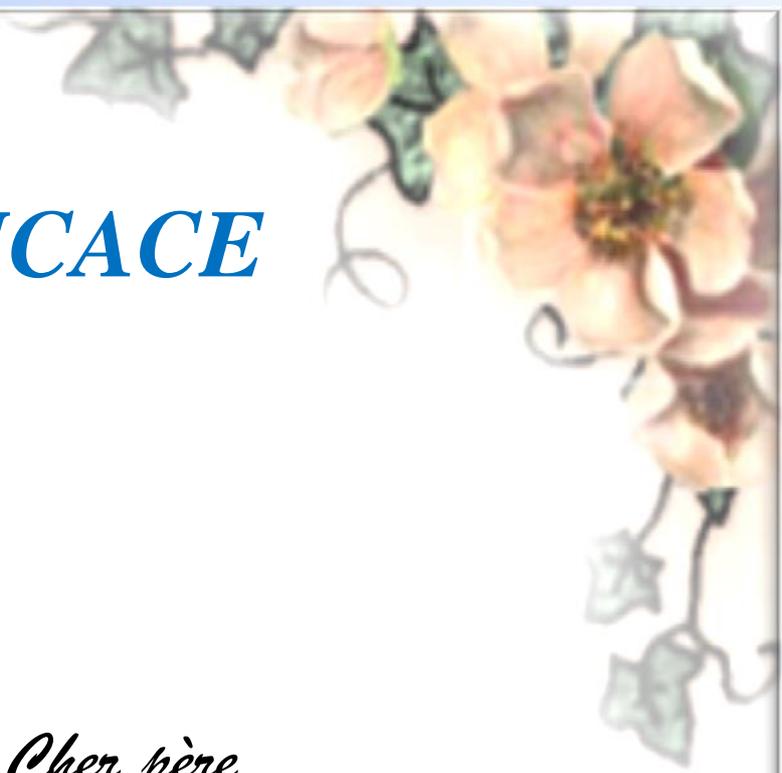
A mes chères filles

A mon cher collègue

A tous mes amis

MOHAMED





DIDICACE

Ce travail est dédié :

A mon Cher père

A l'esprit de ma mère

A mes chers frères

A mes chères sœurs

A ma chère fiancée

A mon cher collègue

A tous mes amis



ABDELMAJID

Introduction générale	1
Chapitre I : Cycle d'eau et Fogarra	
I.1. Introduction	4
I.2. Définition	4
I.3. Le cycle de l'eau	5
I.3.1. Le cycle global de l'eau	5
I.3.2. le cycle locale de l'eau et les microclimats	6
I.3.3. Le dérèglement du cycle de l'eau et du climat	7
I.3.4. Les perturbations du cycle de l'eau par les activités humaines	8
I.4. Ressources en eau	9
I.4.1. Ressources en eau de l'Algérie	10
I.5. Eau souterraine.....	11
I.6. Introduction	12
I.7. Définitions	12
I.8. Historique de système foggara	12
I.9. La Foggara en Algerie	13
I.10. La Foggara en Adrar	14
I.11. Différents types de Foggaras	15
I.11.1. Foggara du continental intercalaire :	15
I.11.2. Foggara du tertiaire continental et de la dalle calcaire	15
I.11.3. Foggaras des alluvions quaternaires	15
I.12. Ensamblage des Foggaras	15
I.13. Problème d'entretien des Foggaras	16
I.14. Réhabilitation de la Foggara.....	17
Chapitre II : Cadre géographique	
II.1. Cadre géographique général	18
II.2. Hydrogéologie régionale	19
II.2.1 Système aquifère du sahara septentrional.....	19
II.2.1.1 Formation du Continental Intercalaire (CI) :	19
II.2.2. La nappe du Continental Intercalaire dans la région d'Adrar.....	23
II.2.2.1. Alimentation du Continental Intercalaire (CI)	24
II.2.2.2. Caractéristiques des eaux	26

II.3. Piézométrie et gradient hydraulique	27
II.3.1 La piézométrie du système aquifère du CI	27
IV.3.2 Carte piézométrique de la zone d'étude	28
IV.3.3. Gradient hydraulique	30
Chapitre III - Analyse physico chimique	
III. 1. Etudes des paramètres physico-chimiques	30
III. 1.1. pH, carbonates (CO_3^{-2}), bicarbonates (HCO_3^-), OH^-	30
III. 1.2. Mesure de la conductivité électrique.....	31
III. 1.3. Dosage du calcium/magnésium et du calcium par complexometrie.....	32
III. 1.4. Dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme.....	34
III. 1.5. Dosage des chlorures.....	36
III. 1.6. Dosage des sulfates.....	38
III. 1.7. Détermination du résidu sec.....	39
III. 8. La turbidité	40
III. 1.9. Dosage de l'azote ammoniacal.....	41
III. 1.10. Dosage des nitrates.....	44
III. 1.11. Dosage des nitrites.....	47
III. 1.12. Dosage des phosphates (PO_4^{-3}).....	49
III. 1.13. Dosage des matières organiques par oxydabilité au permanganate.....	51
Chapitre IV - Résultats et discussion	
IV.1 Résultats des du pH, carbonates (CO_3^{-2}), bicarbonates (HCO_3^-), OH^-	55
IV. 2. Résultats des mesures de la conductivité électrique	55
IV. 3. Résultats des dosages du calcium/magnésium du calcium par complexometrie.....	56
IV. 4. Résultats des dosages du sodium et du potassium par photométrie de flamme.....	57
IV .5. Résultats des dosages des chlorures.....	57
IV .6. Résultats des dosage des sulfates.....	58
IV 7. Résultats des déterminations du résidu sec.....	58
IV 8. Résultats du la turbidité	59
IV .9. Résultats du dosage de l'azote ammoniacal.....	59
IV. 10. Résultats du dosage des nitrates.....	60
IV .11. Résultats du dosage des nitrites	60
IV. 12. Résultats des du dosage des phosphates (PO_4^{-3}).....	61
IV 13. Résultats des du dosage des matières organiques par oxydabilité au permanganate..	61

Liste des figures

Titre de figure	page
Figure 1 Molécule d'eau.....	3
Figure 2 Etats de l'eau.....	4
Figure 3 Le cycle global de l'eau.....	5
Figure 4 Les cycles local et global de l'eau	6
Figure 5 Les perturbations du cycle de l'eau liées aux activités humaines	8
Figure 6 Carte des aquifères au nord de l'Algérie	9
Figure 7 Répartition des Foggaras algériennes.	12
Figure 8 Puits de Foggara effondrés et entièrement ensablés.....	15
Figure 9 Foggara entièrement asséchée.....	16
Figure 10 Cadre géographique général	18
Figure 11 Carte des épaisseurs du CI	20
Figure 12 Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), (extrait de recueil des communications, 2002).....	21
Figure 13 Les sens d'écoulement des eaux de deux systèmes aquifères du Sahara, le CT et le CI	23
Figure 14 Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional	24
Figure 15 Les âges, en années, des eaux du CI d'après la teneur en C14.....	25
Figure 16 Carte piézométrique de référence du CI et des directions d'écoulement	26
Figure 17 Carte piézométrique du Continental Intercalaire dans la région d'étude.....	27
Figure 18 La carte du gradient hydraulique de région d'étude	29
Figure 19. Titrage par H ₂ SO ₄ et mesure du pH	30
Figure 20. Mesure de la conductivité électrique	31
Figure 21. Dosage du calcium et du magnésium	34
Figure 22. Dosage le calcium	34
Figure 23. Photomètre de la torche	36
Figure 24. La mesure de Na et K utilisant le photomètre à flamme.....	36
Figure 25. Les concentrations du témoin,les solutions standards et les échantillons de foggara	37
Figure 26. Le dispositif UV visible est utilisé pour mesurer les solutions de colorées.....	38
Figure 27. Les concentrations de sulfates dans les échantillons	39
Figure 28. Mesure de la turbidité par un turbidimètre.....	41

Liste des figures

Figure 29. La concentration de nitrate dans les échantillons	46
Figure 30. La concentration en phosphate dans les échantillons.....	50
Figure 31. La concentration de matière organique dans les échantillons.....	54
Figure 32. Courbe d'étalonnage de Ca.....	56
Figure 33. Courbe d'étalonnage de chlorures	57
Figure 34. Courbe d'étalonnage de sulfates	58
Figure 35. Courbe d'étalonnage de Ammonium.....	59
Figure 36: Courbe d'etalonnage des nitrates.....	60
Figure37. Courbe d'etalonnage des nitrites.....	60
Figure38. Courbe d'etalonnage des phosphates.....	61

Liste d'Abréviation

SASS: Système Aquifère du Sahara Septentrional

CI : Continental Intercalaire

CT : Complexe Terminal

PE : Prélève Echantillons

C₁₄: Carbone radio active

AEP: Alimentation en Eau Potable

Q.S.P quantité suffisant pour

Liste des tableaux

Titre des tableaux	Page
Tableau 1. Caractéristiques des foggaras du Sahara	12
Tableau 2. Caractéristiques du système aquifère du Sahara septentrional.....	20
Tableau 3. Estimation de la recharge du CI (bassin occidental)	23
Tableau 4 : Concentration de PO_4^{-3} en fonction de volume	50
Tableau 5 : Calculs oxydabilité.....	53

Références bibliographiques

- [1] : Office National des Statistiques. (2006). « COMPENDIUM NATIONAL SUR LES STATISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT ». ALGER
- [2] : N. TABOUCHE, S.ACHOUR. (Juin 2004). « Larhyss Journal ». ISSN 1112-3680, n° 03, pp.99-113
- [3]: AS. MOULLA. (2003). « Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium held at Montpellier. Apri l 2003), IAHS Publ. no. 278.
- [4] : A.HIDAOU, AB. LOUANNAS. (14/06 /2015). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en géologie. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD – TLEMCEN.
- [5] : K.MADANI. (2002). « Evolution de la ressource en eau du bassin versant de la Soummam: Diagnostic et proposition d'outils de gestion »
- [6] : S.ACHOUR née MEZGHRANI.(2010). Qualité et traitement des eaux du Sud –Est algérien ;
- [7] G.DE MARSILY, M.BESBES. (avril 2017). « Responsabilité & environnement » - n°86
- [8] A. KETTAB, R. Mitiche e. N.Bennaçar. (2008). « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies » Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 21, n° 2, 2008, pp. 247-256. URI: <http://id.erudit.org/iderudit/018469ar>
- [9] J. Oliel: 1994. « *Un système d'irrigation original: les foggaras*. In : Les juifs au Sahara ; le Touat au moyen-âge ». CNRS-histoire, [en ligne]. Disponible sur : http://zoumine.free.fr/tt/sahara/donnees_geo_cli_matiques/foggaras.html (consulté le 23/09/2011)
- [10] Centre national de la recherche scientifique. «Cycle de l'eau et réservoirs - une répartition inégale» CNRS -, [En ligne]. <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/cycle/repartiEau.html>

[11] A.Kettab,(octobre 2015). « Crises de l'eau et changement climatique en Afrique du Nord : défis, opportunités, et voies d'amélioration, Colloque (Les tensions sur l'eau en Europe et dans le bassin méditerranéen : des crises de l'eau d'ici 2050 ?) ». Paris. 7-9.

[12] M. Kravčík et al. (2007). “ Water for the Recovery of the Climat “.A New Water Paradigm

[13] Organisation de Coopération et de Développement Économiques. (2012). «Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 - Les conséquences de l'inaction» OCDE

[14] A. Khaled, (Décembre 2008), «L'assèchement de la mer d'Aral, un exemple dramatique d'une mauvaise gestion par l'homme des ressources en eau» .Partage des eaux. [En ligne]. <http://www.partagedeseaux.info/L-assechementde-la-mer-d-Aral-un-exemple-dramatique-d-une-mauvaise-gestion-par-l-homme-des-ressources-en-eau>

[15]A. DAUBRÉE. (1887). « les eaux souterraines a l'époque actuelle leur régime, leur température, leur composition au point de vue du rôle qui leur revient dans l'économie de l'écorce terrestre ». PARIS Vve CH. DUNOD ÉDITEUR- pp13-37

[16] J. Morel. (2 février 2007). « Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique– un tour d'horizon de la littérature ». HAL Id: halshs -0013497.

[17] A.Demmak. (octobre 2012). « la gouvernance des eaux souterraines : l'exemple de l'Algerie » . regional consultation on the groundwater resources governance in the arab states.

[18]S. DJAFFAR,(2015), « *PFE Gestion et planification des ressources en eau* ». Alger : Enp.

[19] J.MARGAT, (1975), « Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, Groundwater Pollution - Symposium - Pollution des Eaux Souterraines ». (Proceedings of the Moscow Symposium, August 1971; Actes du Colloque de Moscou, Août 1971): IAHS-AISH Publ. No. 103.

[20] H. ASKRI et al.. (2001). « Géologie de l'Algérie. Contribution de SONATRACH Division Exploration ». Centre de Recherche et Développement et Petroleum Engineering and Development Division- 93p.

- [21] M. BOUSTANI (2008). "Sustainable water utilization in arid region of Iran by Qanats. Dans" : *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*. Septembre 2008. pp. 213-216.
- [22] I. HASSANI (1988). « Les méthodes traditionnelles de captage des eaux souterraines dans le Sahara algérien ». *Rev. Tech. Sci.*, 6, 20-24
- [23] R. ARRUS. (1985). « *L'eau en Algérie, de l'impérialisme au développement (1830-1962)* ». Office des publications universitaires Alger. Presses Universitaires de Grenoble-38p
- [24] O. BANACEUR. (2015). « Etude hydrogéologique et hydrochimique de foggara dans la région Touat (Adrar) ». Mém, Magister, U. OUARGLA- 28 p
- [25] I. KOBORI. (1982). "Case studies of foggara oases in the Algerian Sahara and Syria". Université de Tokyo, rapport n° 2- 45 p
- [26] P. N. U. D. (1986). « L'eau et le Maghreb : un aperçu sur le présent de l'héritage et l'avenir ». Rapport. 131-143
- [27] I. HASSANI. (1988). « Les méthodes traditionnelles de captage des eaux souterraines dans le Sahara algérien ». *Revue Techniques et Sciences* : n°6. 20- 24
- [28] M. W. Robert et al. (1973). « Hydrogeology of the Albian formation ». Submitted to the graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Doctor in Philosophy -p p 45-57.
- [29] B. REMINI e, B. ACHOUR. (2008). « Vers la disparition de la plus grande foggaras d'Algérie : la foggara d'El Meghier ». *Sécheresse* : 19, 217-221
- [30] D. Dubost, G. Moguedet. (Juin 1998). « Un patrimoine menacé : les *foggaras* du Touat »,
- [31] ANRH. Des forages (1998) et foggaras (2011) de la région du Touat
- [32] B. Remini (2006). « La foggara dégradation d'un système de captage et d'irrigation ». In : 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in SemiArid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006)- 3 p
- [33] Senoussi et al.. (2011). *Revue des BioRessources* : Vol 1 N 1 Juin 2011 ,47-54
- [34] T. Ansari (2004). « Système traditionnel d'exploitation des eaux souterraines foggaras ». ANRH, Adrar-30 p.
- [35] C. Killan. (1931). « Les principaux complexes continentaux du Sahara ». C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.

- [36] A .ZAGHTOU. (2011). « Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la nappe du continental intercalaire dans la région d'adrar (touat) ». MAGISTER.univ.ouaregla- p 143.
- [37]Observation Sahara et du Sahel. (2003b). « Système Aquifère du Sahara Septentrional ». Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie- 229p
- [38]Observation Sahara et du Sahel (2003). « Système Aquifère du Sahara Septentrional «SASS», Gestion commune d'un bassin transfrontière », Principaux résultats.12p
- [39] I.HADJ FATEH,D.ROUAS (2013). « Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du Continental Intercalaire de la région de Touat (wilaya d'Adrar) », Mém, Ing.univ. Ourgla- 122p.
- [40] SY M.OULD BABA. (2005). « Recharge et paléo-recharge du système aquifère du Sahara septentrional ». *Thèse Doc*, univ : de Tunis EL MAN-271p
- [41]UNESCO. (1972). » Étude des ressources en eau du Sahara septentrional ».Plaquette 5. Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation. 340p
- [42] M.BABASY. (2005). « Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara septentrional ». Thèse de Doctorat en Géologie. Faculté de Tunis, Tunisie-250p.
- [43] M.BENHAMZA. (2011). « Aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « foggara » dans la région d' Adrar », Mém, Magister, U. B. M. Annaba-130 p
- [44] Y.BOUTADARA. (2009). « Etude hydrogéologique des systèmes de captage traditionnels dans les oasis sahariennes. Cas des foggaras de la région du Touat (Adrar) ». Mém, Magister, USTO ORAN, 118p.
- [45] ANRH 2019

Introduction générale

L'eau ou l'or bleu c'est la vie, elle est indispensable à l'homme autant que l'air. Néanmoins sa disponibilité est inégalement répartie à travers le monde, c'est pourquoi elle constitue une préoccupation stratégique dans la politique de développement mondial.

L'Algérie est un pays vaste qui n'est pas gâtée par la nature en matière d'eau, avec un climat sec au sud et une pluviométrie irrégulière au nord. La demande nationale en eau subit une forte pression de deux principaux acteurs qui sont l'agriculture et la population. [1]

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays. [2]

Les réservoirs souterrains du Sahara constituent d'immenses réserves d'eau à composante essentiellement ancienne (fossile). [3]

L'homme du Sahara a pu s'adapter à son milieu désertique, il a pu fertiliser en faveur un milieu aride et contribuer à la création et au développement d'un écosystème agricole malgré les conditions de vie extrêmement hostile que lui impose la nature grâce au génie technique des sociétés oasiennes d'extraction des eaux souterraines appelée la foggara. Foggara est une technique traditionnelle du captage des eaux souterraines très répandue dans les Oasis. Elle consiste à capter l'eau souterraine à l'aide d'une galerie drainante souterraine qui sert à mener l'eau des profondeurs jusqu'à l'air libre par seul biais de la différence de charge hydraulique (écoulement gravitaire). [4]

Les analyses menées par le Plan Bleu pour l'environnement et le développement de la Méditerranée, sous l'égide du Programme des Nations unies pour l'environnement, indiquent que les régions méditerranéennes, et notamment l'Algérie, seront confrontées à l'horizon 2050 à une forte diminution et à une importante pollution de la ressource en eau (déjà observable depuis les années 90), liées à la fois au changement climatique (hot spot du changement climatique selon le 4ème rapport du GIEC) et à la pression anthropique (agriculture, industrialisation, urbanisation, tourisme...).[5]

La pollution d'origine anthropique, minérale ou organique, semble très diversifiée dans les eaux de surface et même dans certaines eaux souterraines insuffisamment protégées. Les effets négatifs de teneurs excessives en ces composés dépassant les normes, peuvent s'observer aussi bien sur l'environnement que sur la santé publique. La région de Bouda

souffre d'un problème de la salinité des eaux qui pose une menace sur la santé des citoyennes (HTA). De ce fait, notre travail aura pour but de faire une étude de la qualité physico-chimique des ressources en eau (foggara) dans la région de « Bouda » et d'aboutir à un diagnostic de la pollution et ses répercussions sur la potabilité des eaux. Il s'agit, d'une part, d'évaluer l'importance de la présence de certains composés organiques (substances humiques, pesticides, acides aminés,...) et d'autre part celle de substances minérales (fluor, métaux lourds, nitrates,...). La qualité des ressources en eau est examinée par la mise en place de campagnes d'échantillonnage et d'analyses d'eaux destinées aussi bien à l'irrigation qu'à la consommation publique.[6]

Cette étude est orientée sur les axes suivants :

- Une introduction générale qui présente la problématique et les objectifs du travail ;
- Chapitre I "cycle de l'eau et foggara" qui donne des généralités sur l'eau et décrit le cycle de l'eau et donne une vision sur la foggara ;
- chapitre II intitulé, concerne la situation géographique et les caractéristiques physiques de la région d'étude (relief et hydrographie, et le contexte socioéconomique) et les caractéristiques géologiques ;
- Le chapitre III regroupe et englobe les différents modes opératoires et appareillage de mesure des paramètres physicochimiques étudiés ;
- Le dernier chapitre présente les résultats obtenus et donne des observations et leurs interprétations ;

Finalement, une conclusion générale résume les résultats de cette étude.

I.1. Introduction

L'eau présente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socioéconomique. L'eau est donc une ressource précieuse, d'autant plus qu'elle n'est pas uniformément répartie.

Plusieurs pays sont menacés de pénurie d'eau potable et des milliers de personnes n'ont pas toujours accès à cette dernière. Préserver la ressource en eau et proposer un accès durable aux services d'eau et d'assainissement sont donc des enjeux majeurs pour la planète[7].

I.2. Définition

L'eau est une molécule composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, sa formule chimique est H_2O (figure.1). Une goutte d'eau de la taille d'une pointe d'épingle contient environ un milliard de milliards de molécules d'eau. [8]

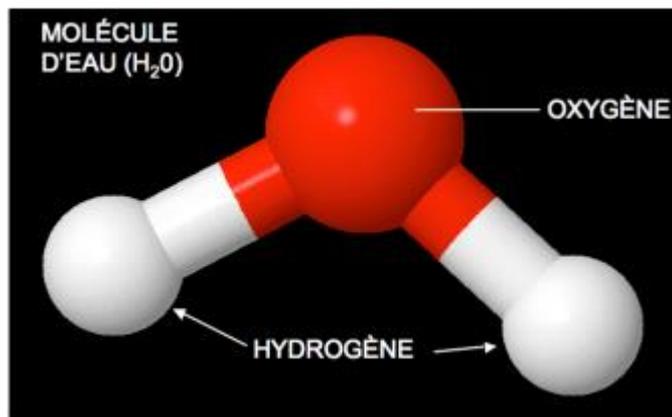


Figure 1. Molécule d'eau [8]

Sur Terre, l'eau est présente sous la forme de 3 états, qui dépendent de la température et de la pression atmosphérique : état liquide, état solide (glace) et état gazeux (vapeur). (figure.2). [8]

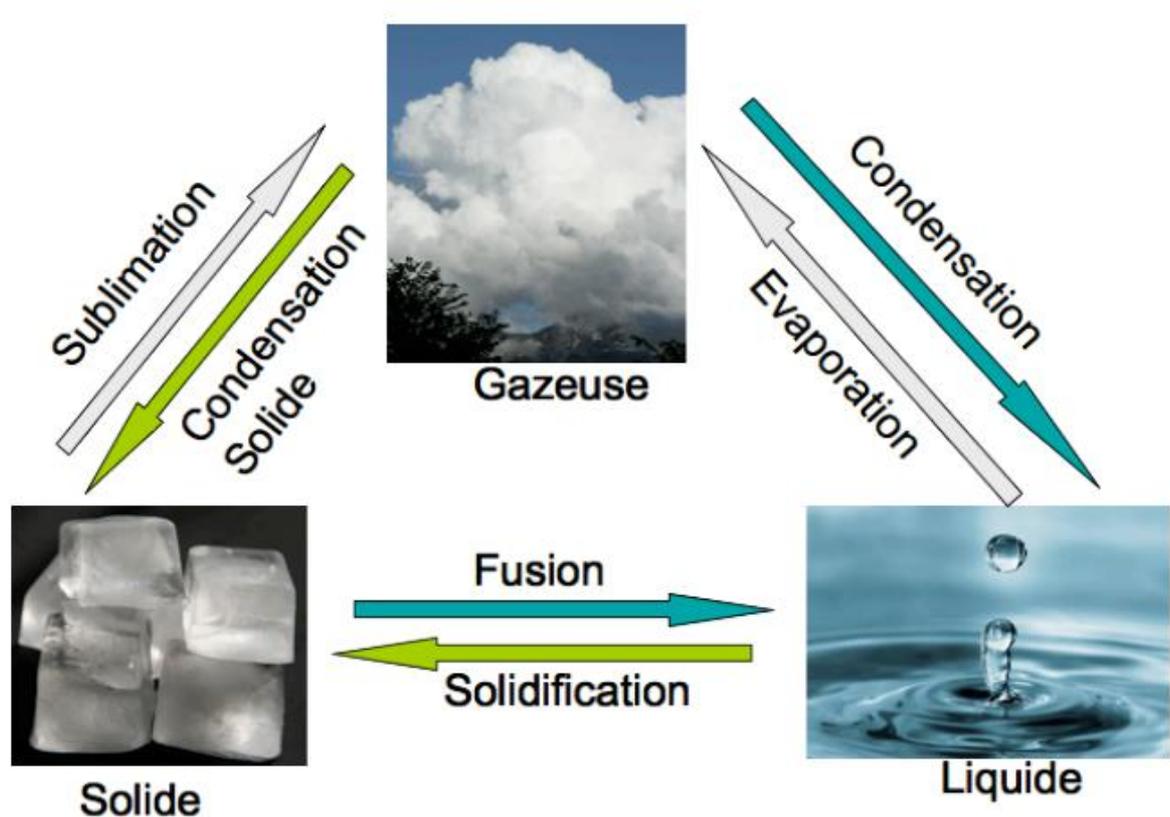


Figure2. Etats de l'eau [8]

I.3. Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est l'échange permanent de l'eau entre les océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère et la biosphère. Cet échange se réalise : dans l'atmosphère où l'eau circule sous forme de vapeur d'eau, sur terre où l'eau s'écoule en surface ou sous terre.[8]

I.3.1. Le cycle global de l'eau

Le cycle global de l'eau, aussi appelé grand cycle de l'eau, consiste en des échanges d'eau perpétuels entre l'atmosphère, l'hydrosphère (la totalité des eaux de la planète : océans et mers, lacs et cours d'eau, eaux souterraines, glaces, vapeur d'eau) et la biosphère. [9]

Le moteur de ce cycle est le soleil qui, grâce à son rayonnement et à l'énergie thermique dégagée, active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement. Sous son action, une partie de l'eau des mers et des océans s'évapore pour former des nuages. Poussés par les vents, ces derniers arrivent alors au-dessus des continents où ils s'ajoutent à ceux déjà présents. [10]

L'eau évaporée retombe ensuite sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Au cours de ces précipitations, une partie de l'eau repart dans l'atmosphère, soit directement par effet

d'évaporation depuis les masses d'eau de surface (fleuves, lacs,...), soit du fait de la transpiration des plantes et des animaux.[10]

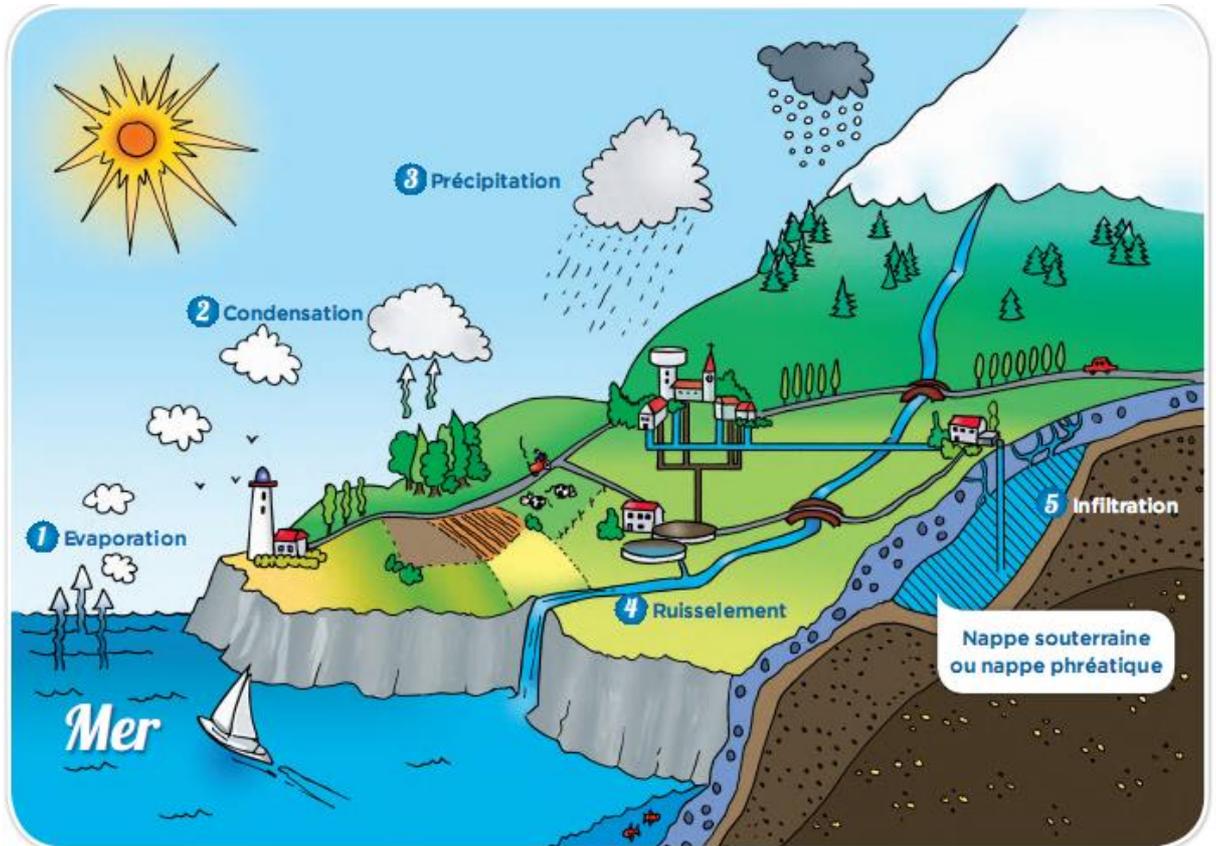


Figure3. Le cycle global de l'eau [10]

L'eau des précipitations est indispensable au fonctionnement de très nombreux écosystèmes (zones humides, forêts,...), mais aussi à l'agriculture. Une autre partie de l'eau précipitée rejoint, en ruisselant sur le sol, les rivières et les fleuves, puis la mer ou l'océan. Seule une faible partie s'infiltré plus profondément dans le sol pour être stockée dans les nappes phréatiques. Après un long temps de stockage, cette eau finira elle aussi par retourner à la mer par le biais des cours d'eau que ces nappes alimentent. Les quantités d'eau mobilisées par le grand cycle de l'eau varient selon les régions : l'eau est inégalement répartie dans le monde. [10]

I.3.2. Le cycle locale de l'eau et les microclimats

Le cycle local de l'eau est une version à plus petite échelle du cycle global de l'eau. Cette fois-ci, les mécanismes d'évaporation et de précipitation dépendent directement des conditions environnementales de la région ou du bassin où ils se situent. L'eau contenue dans l'atmosphère et dans les sols joue un rôle clé dans la thermorégulation locale de notre planète. Dans le circuit fermé d'un cycle local, l'eau qui s'évapore depuis un territoire retombe

localement sous forme de pluie, s'infiltré dans le sol puis s'évapore à nouveau, et ce après avoir contribué à la croissance de végétaux. Deux tiers des précipitations sur les sols sont ainsi issues du cycle local de l'eau!

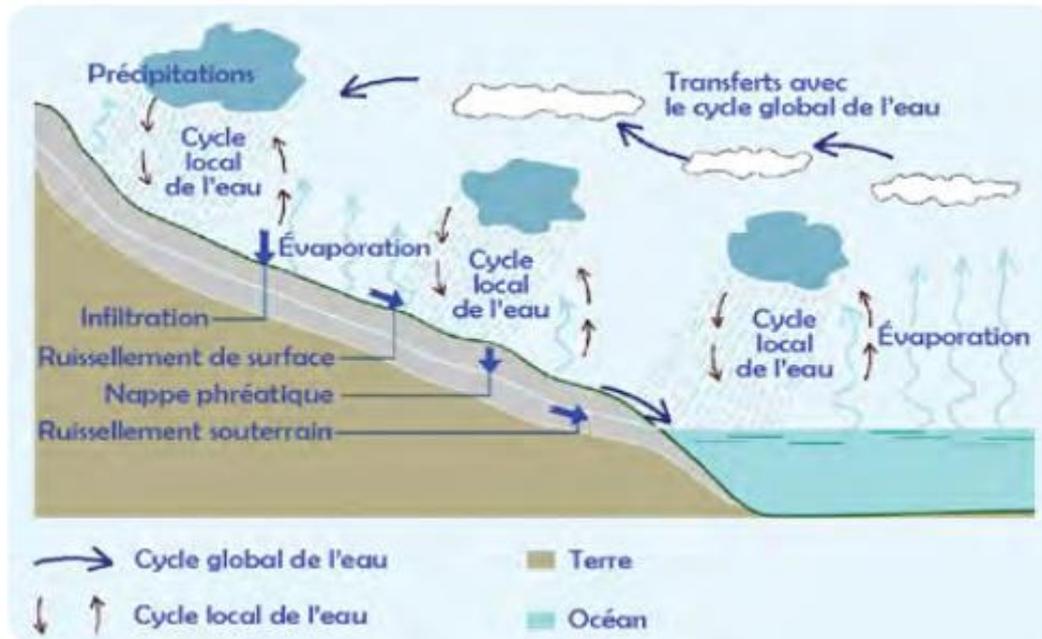


Figure.4 : Les cycles local et global de l'eau [11]

Le cycle de l'eau influe directement sur le climat local, ou microclimat. Plus il y a d'eau dans l'atmosphère, plus ses effets modérateurs sur les températures et les microclimats sont importants, et moins les événements climatiques extrêmes sont violents. Pour assurer la stabilité du cycle de l'eau et des microclimats, il faut maintenir la stabilité des précipitations et des processus d'infiltration et d'évaporation, notamment en milieu urbain et périurbain[12].

I.3.3. Le dérèglement du cycle de l'eau et du climat

L'équilibre du cycle de l'eau est fragile. En modifiant le cycle local de l'eau, c'est le microclimat que l'on perturbe, ce qui participe par extension au renforcement du changement climatique. Sur des sols nus, secs, « encroutés » ou, en ville, imperméabilisés, l'eau ne s'infiltré plus dans la terre mais ruisselle à sa surface. L'accélération du ruissellement des eaux de pluie sur le sol et la diminution de l'évaporation et de l'infiltration qui en découle affectent négativement la recharge des nappes phréatiques et des cours d'eau. [11]

L'approvisionnement en eau du cycle local de l'eau est ainsi diminué. Lorsque l'eau vient à manquer dans les sols et dans l'atmosphère, des conditions thermiques extrêmes prédominent. Les températures locales augmentent et de véritables bulles de chaleur, connues sous le nom d'îlots de chaleurs urbains, se créent au-dessus des villes. Les vents, dont la

direction et l'intensité sont influencées par les variations de températures, se déplacent différemment, tout comme les nuages. La fréquence et l'intensité des précipitations sont ainsi bouleversées, et c'est tout le microclimat qui se trouve modifié. Ces changements climatiques à petite échelle s'additionnant les uns aux autres, c'est en fait un dérèglement global du cycle de l'eau et du climat qui est provoqué et/ou accentué ! [12]

I.3.4. Les perturbations du cycle de l'eau par les activités humaines

Les prélèvements ou la consommation d'eau en trop grande quantité par l'Homme et la modification des sols et de la végétation contribuent fortement à l'apparition du changement climatique global. Les eaux de surface sur la planète sont désormais trop polluées ou en quantité insuffisante pour les besoins croissants des activités humaines, ce qui entraîne de nombreuses situations de stress hydrique. Dans un grand nombre d'endroits, les nappes phréatiques sont aujourd'hui exploitées plus vite qu'elles ne se renouvellent. Avec l'apparition de technologies toujours plus sophistiquées pour forer des puits et du fait de l'absence de législation claire concernant les eaux souterraines dans une grande partie du monde, le taux d'épuisement des nappes phréatiques a plus que doublé entre 1960 et 2000 [13], et il continue d'augmenter. Ce phénomène est exacerbé par la difficile recharge naturelle des nappes phréatiques par infiltration, en raison de l'imperméabilisation des sols due aux activités humaines. Comme l'explique l'hydrologue slovaque Michal Kravčík, le vert de notre monde vivant a été créé par le jaune du soleil combiné au bleu de l'eau. Si l'on bouleverse les équilibres du bleu ou du vert de la Terre, la chaleur du soleil influence de manière radicalement différente le climat. [11]

Avec la déforestation, l'urbanisation massive et l'agriculture intensive, la capacité des sols à retenir et à laisser s'infiltrer l'eau a fortement diminué. En effet, les forêts travaillent comme une sorte de pompe biologique en aspirant l'humidité de l'air, en la transférant à la terre puis en la restituant à l'air. Grâce à l'évapotranspiration, l'eau s'évapore au-dessus des couverts végétaux pour former les nuages. Si la végétation disparaît, ou si dans le cas de l'agriculture intensive le sol est surexploité et s'imperméabilise, le système naturel de régulation de la biosphère est interrompu et le cycle local de l'eau est perturbé. Le sol s'assèche, s'érode, sa teneur en matière organique s'amenuise et nuit aux rendements agricoles. L'eau ruisselle et quitte le territoire du cycle local de l'eau. Dans les territoires où les sols sont imperméabilisés, les inondations sont de plus en plus nombreuses et les épisodes climatiques de plus en plus extrêmes. Un sol sec, sans végétation et sans vie, piège la chaleur solaire, ce qui provoque l'augmentation des températures locales, la réduction des nuages et

donc des précipitations, qui deviennent aussi plus violentes. Dans certaines régions du monde, cela conduit à la désertification des terres. Ce dérèglement du cycle local de l'eau par les activités humaines est aggravé par le déplacement de grandes quantités d'eau depuis leur territoire d'origine vers les mers et les océans. Dans les villes, l'eau une fois utilisée est déversée dans des réseaux d'assainissement qui la conduisent vers les rivières, puis à terme vers les mers et les océans, sans qu'elle puisse entre temps s'infiltrer ou s'évaporer. [14]

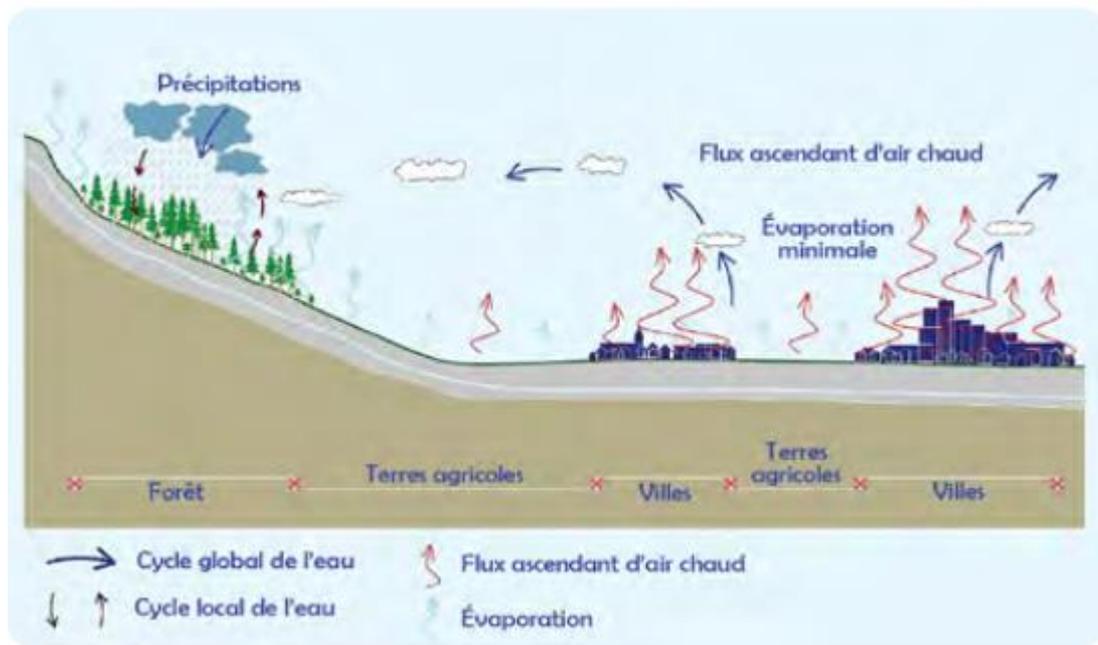


Figure 5. Les perturbations du cycle de l'eau liées aux activités humaines [11]

I.4. Ressources en eau

La notion de « ressource en eau » (ou « ressource en eau renouvelable », ou « ressource en eau disponible ») désigne les eaux liquides en écoulement, entrant dans le cycle annuel, accessibles aux usages humains. On parle alors « d'eau bleue ». Elle néglige l'eau de pluie utilisée directement par l'agriculture non irriguée, qui fait partie de ce qu'on appelle « l'eau verte », utilisée par l'ensemble des écosystèmes naturels.[15] La ressource en eau renouvelable ne permettant pas de garantir les besoins de la population mondiale, à cause de l'inégale répartition dans le temps et dans l'espace, il faut envisager des solutions pour l'avenir, de deux types : gestion par l'offre, avec production d'eau non conventionnelle, ou gestion par la demande.[16]

I.4.1. Ressources en eau de l'Algérie

Les ressources en eau de l'Algérie sont limitées, vulnérables et inégalement réparties.[17]

Les ressources en eau conventionnelles : 72 Barrages (Capacité totale 7,4 Milliards m³) ; 718 retenues collinaires (Capacité 89,7 hm³) ; Nappes souterraines (Capacité exploitée 7 Milliards m³) ; Les ressources en eau non conventionnelle : 25 Stations de dessalement d'eau de Mer (Capacité 913 hm³/an) ; 138 Stations d'épurations (STEP) (Capacité 700 hm³/an & REUT de 150 hm³/an). [18]

- **l' Algérie du nord** :Les différentes études et prospections: prospection géophysique, études hydrogéologiques, études cartographiques, forages de reconnaissance et modélisation ont permis de répertorier : 177 aquifères, 9 000 sources ,23 000 forages, et 60 000 puits.[17]

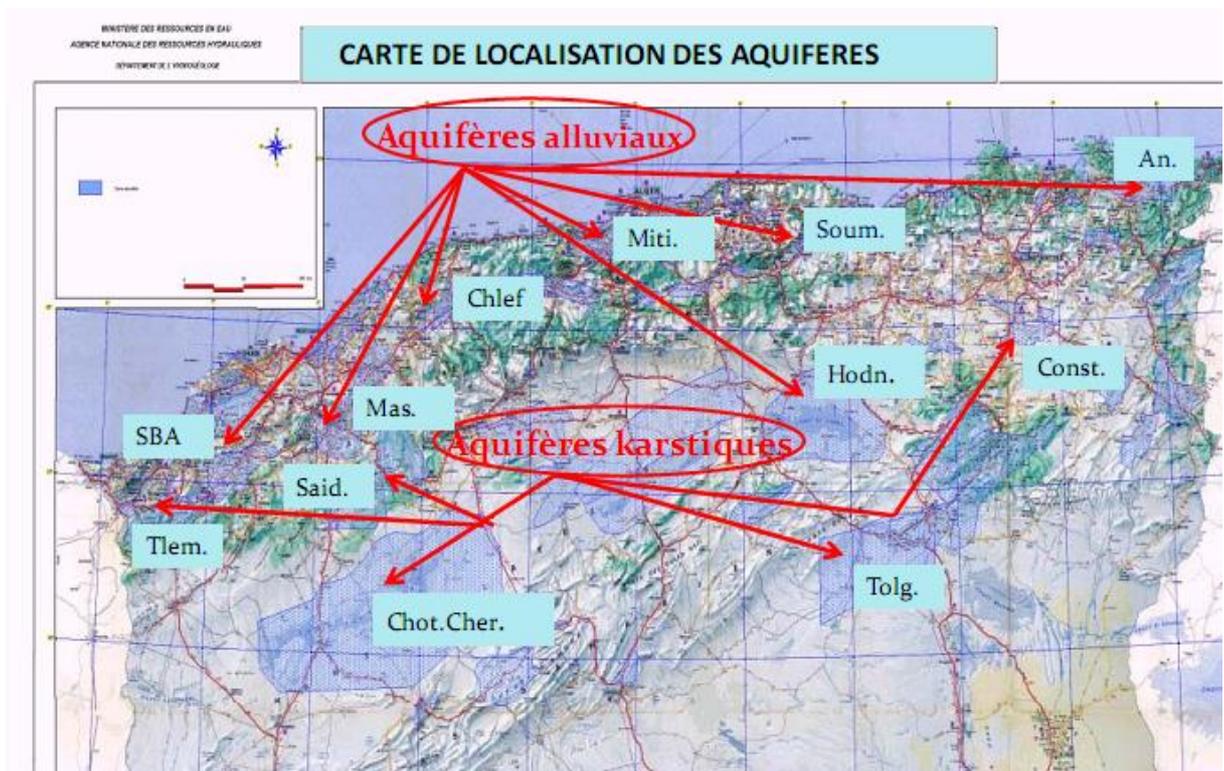


Figure 6. Carte des aquifères au nord de l'Algérie[17]

Deux principaux types d'aquifères sont enregistrés sur la carte:

- Aquifères karstiques : formations calcaires étendues ;
- Aquifères alluviaux: grandes plaines d'effondrement, comblées par un remplissage a lluvial. [17]

-Au sud (grand Sahara):

02 Grandes nappes dans le Sahara: immenses réserves, mais non renouvelables :

Les ressources en eau du Sahara se trouvent dans deux grands complexes géologiques, à savoir, le continental intercalaire(CI) et le complexe terminal(CT). [17]

I.5. Eau souterraine

L'eau souterraine constitue la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète, environ 8 à 10 millions de km³, soit entre 98 et 99 % du total. Son volume annuellement renouvelable par l'infiltration des précipitations est estimé à plus de 10.000 km³. [19]

Eau souterraine est eau qui s'accumule sous terre. Il peut exister dans les espaces entre les particules libres de la terre et des roches, ou dans les fissures et les crevasses des roches. Les différents types de roches et de terre peuvent contenir différents montants d'eau. La zone de saturation est la partie de la terre et des roches qui est saturée avec de l'eau, tandis que la zone insaturée est la portion de la terre et des roches qui n'est pas saturé. Le haut de la zone saturée est appelé la nappe phréatique. [19]

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains .Les nappes d'eau souterraine sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées.

De point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- Nappes phréatiques ou alluviales : Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus ;
- Nappes captives : Plus profondes que les premiers et séparées de la surface par une couche imperméables, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures. [16]

Les ressources en eau du Sahara se trouvent dans deux grands complexes géologiques, à savoir, le continental intercalaire et le complexe terminal.

I.6. FOGGARA

Le système des galeries drainantes est connu dans le monde sous plusieurs appellations. Il s'agit de la Foggara en Algérie, de la Qanat en Iran, du Falj au sultanat d'Oman, du Kariz en Afghanistan et au Pakistan, de la Khetara au Maroc, de la Qanat romani en Jordanie et en Syrie, du kanerjing en Chine et de la Kriga en Tunisie. Ce sont là des noms pour désigner le même principe de fonctionnement, basé sur les galeries drainantes. Elles sont réparties dans plus de 30 pays à travers le monde [20]. Dans le Sahara algérien, les foggaras auraient été introduites au XI^e et XII^e siècles par El Malik El Mansour, qui aurait creusé la première Foggara à Tamantit (à 15 km d'Adrar) [21]. Ensuite, les Foggaras ont été développées dans le Touat et le Gourara par des tribus arabo-berbères du sud marocain (Mrabtine, Chorfa) sur la base de l'esclavage de la main-d'oeuvre noire (Harratine) locale ou provenant des régions voisines du Mali, du Niger et du Soudan [22].

La Wilaya d'Adrar a connu ces dernières années une croissance démographique rapide, suivi d'une activité humaine importante qui couvre presque tous les domaines Agricoles, Industriels et Touristiques, en parallèle, les besoins en eau ont augmenté, le recours à l'utilisation des nouvelles techniques de captage et d'exploitation des eaux profondes pour subvenir à la demande croissante sur l'eau, l'exode des agriculteurs vers les grands périmètres de mise en valeur, la limite géologique, le rabattement de la nappe du Continentale Intercalaire, le manque d'entretien de la Foggara, condamne la pérennité du système de captage traditionnel « Foggara » et par conséquent tout le système oasien en général. [23]

I.7. Définitions

La Foggara signifie, en arabe, Fakara (creuser). Certains auteurs croient que cette expression provient du terme arabe El Fokr (la pauvreté). Celui qui creuse une Foggara se trouverait en effet dans l'obligation d'y investir tellement, qu'il finirait par tomber dans le besoin avant d'en bénéficier. Par contre, d'autres auteurs croient que le mot Foggara est relatif à Fakra, la vertèbre en arabe [24]. 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.

I.8. Historique de système Foggara

Il semble difficile de situer avec précision la période d'apparition de la Foggara. Selon blot [25], la Foggara a pris naissance en Iran. La Qanât qui alimentait Ibril en Perse, a été construite à la fin du VII^e siècle, ce qui atteste de ses origines très lointaines. Dans le Sahara algérien, les Foggaras auraient été introduites au XI^e et XII^e siècle par El Malik

El Mansour qui aurait creusé la première Foggara « Hannou » (avec un débit 3.2 l/s) à Tamantit, localité située à 15km d'Adrar [26]. Les Foggaras ont été ensuite développées dans le Touat et Gourara. [27]

1.9. La Foggara en Algérie

Aujourd'hui, personne n'est en mesure de déterminer le nombre exact de Foggaras fonctionnelles en Algérie. Cependant, pour cette première étude de prospection sur le terrain, nous avons pu estimer leur effectif à environ 930; elles sont classées selon sept types qui se localisent autour du Grand Erg Occidental (Figure 7, Tableau 1). Ce chiffre reste approximatif pour des raisons techniques; des Foggaras sont abandonnées chaque année, d'autres réhabilitées, soit par des agriculteurs, soit par les services locaux. Pour les Foggaras de l'Erg, il est impossible de donner un chiffre exact, puisque plusieurs Foggaras sont sous le sable du Grand Erg Occidental. Nous avons trouvé des traces des Foggaras dans certaines régions, mais il était difficile d'estimer leur nombre. [28]

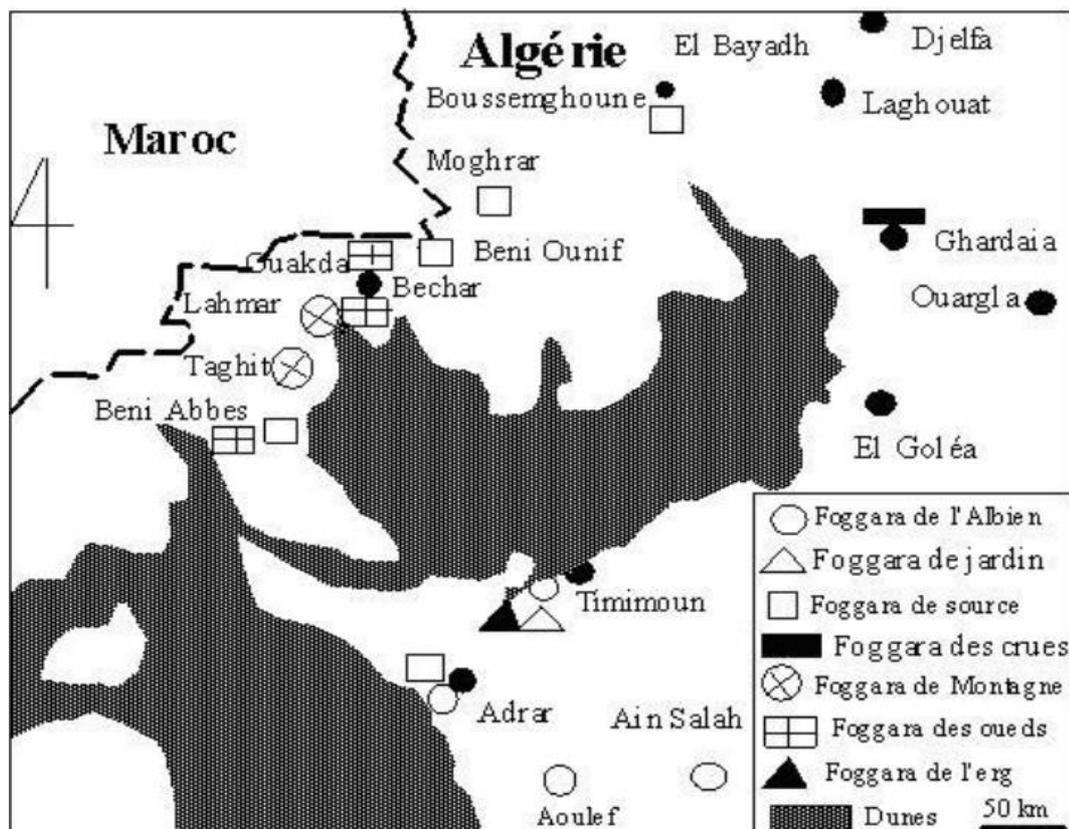


Figure 7. Répartition des Foggaras Algériennes. [28]

Tableau 1. Caractéristiques des Foggaras du Sahara [28]

Types de Foggaras	Nombre de Foggaras	Origine du captage	Mode de partage	Nom de la Foggara ou de l'oasis	Etat de la Foggara
Foggara de l'Albien	1300	Nappe du Continental Intercalaire	Volumique	Oasis d'Adrar, de Timimoun et Ain Salah	820 fonctionnelles sur un total de 1300 foggaras
Foggara de l'erg	100	Nappe du Grand Erg Occidental	Volumique	Oasis de Kali et ouled Said (Timimoun)	80 fonctionnelles
	5		Volumique	Oasis de Tabalbala	5 abandonnées
Foggara de jardin	6	Les eux de drainage et d'infiltration	Foggara personnelle	Oasis de Timimoun	2 fonctionnelles
Foggara de source	2	Eau de source	Horaire	Oasis de Moghrar (Naama)	fonctionnelles
	1	Eau de source	Horaire	Foggara de Hanou (Adrar)	fonctionnelle
	2	Eau de source	Horaire	L'oasis de Beni Ounif (Bechar)	fonctionnelles
	9	Eau de source	Horaire	Oasis de Bousseghoune (El Bayadh)	fonctionnelles
	60	Eau de source	Horair	Oasis de Beni Abbes (Bechar)	10 fonctionnelle
Foggara des oueds	2	Eau de la nappe inferoflux et les eaux de surface	Horaire	Oasis Lahmar (Bechar)	2 foggaras abandonnées
	10		Horaire	Oasis Beni Abbes (Bechar)	6 fonctionnelles
Foggara des montagne	12	Eau de la nappe phréatique	Horaire	Oasis Ouakda (Bechar)	Foggaras abandonnées
	10		Horaire	Oasis Taghit (Bechar)	
	2		Horaire	Oasis Lahmar (Bechar)	
Foggara des crues	1	Eau des crues	Volumique	L'oasis de Ghardaia	1 Foggara fonctionnelle

I.10. La Foggara en Adrar

Le Touat s'étend sur une zone d'affleurement de la plus grande nappe aquifère du Sahara et se trouve doté de "fabuleuses" réserves en eau, faciles à exploiter. Cette région est depuis le milieu des années 80, replacée au centre de tous les espoirs et les fantasmes qu'a fait naître la conquête du Grand Sud, bien qu'elle ait été maintenue à l'ombre, quasiment oubliée pendant plus de 25ans. Elle se trouve actuellement à la une de l'actualité pour ce qui est de l'exploitation des richesses naturelles (gaz , pétrole et autres minerais rares et précieux or , U , Fe ,Ze , Co ,etc...) et néanmoins déjà projetée dans un futur proche pour ce qui est de l'avenir du développement de l'agriculture et du tourisme. De même que chez nos voisins immédiats, l'exploitation intensive des eaux fossiles contenues dans les zones arides s'est répandue d'une manière fulgurante en Algérie, en particulier au Touat, petite région demeurée très traditionnelle , rendant du même coup ces régions très assistées au plan des techniques modernes importées et donc dépendantes des cadres venus du Nord pour les implanter. [29]

I.11. Différents types de Foggaras

Selon le contexte géologique et hydrogéologique dans lequel sont aménagées les Foggaras, différents types peuvent être distingués [30].

I.11.1. Foggara du continental intercalaire :

Ce groupe contient le plus grand nombre des Foggaras sahariennes (Touat, Gourara, Tidikelt). Dans les parties gréseuses du Continental Intercalaire (Gourara en particulier), la galerie est étroite, propre et bien taillée et ne dépasse 0.60 m de largeur. Dans le Nord de Touât les eaux des Foggaras traversent les formations calcaires en se chargeant de sels (sulfates, carbonates de chaux), ces derniers se déposent par couches le long des parois de la galerie. Lorsqu' ils rencontrent une aspérité, ces dépôts ont tendance à s'accumuler (concrétion calcaires), il se forme un étranglement qui, si l'on n'y prenait pas garde, pourrait se transformer en un véritable barrage. Dans la partie méridionale et au Tidikelt, les foggaras sont creusées dans les formations argilo-sableuses du continental intercalaire et sont moins bien taillées. Les parois s'effritent, la galerie s'élargit, et se forme des grandes cavernes par l'effet d'éboulement. [30]

I.11.2. Foggara du tertiaire continental et de la dalle calcaire

A la lisière sud de l'Erg, un certain nombre des Foggaras sont creusées dans la dalle calcaire coiffant la hamada. Elles sont peu profondes (3.50 m au puits amont) et ont un fort débit. [30]

I.11.3. Foggaras des alluvions quaternaires

Les plus typiques sont celles du Hoggar à Tamanrasset. Elles sont creusées dans les arènes et sables grossiers des alluvions de l'oued [30].

I.12. Ensablement des Foggaras

Contrairement au problème de l'effondrement qui touche les Foggaras du plateau de Tadmaït, l'ensablement pose des problèmes plus particulièrement aux foggaras de l'erg qui sont les plus menacées par ce phénomène. Ces dernières se retrouvent envahies par le sable du Grand Erg Occidental. A titre d'exemple, les kasriate et les seguïas des Foggaras d'Aghlad et de Badou sont constamment ensablées. (**Figure 8**)



Figure 8. Puits de Foggara effondrés et entièrement ensablés. [31]

L'eau des Foggaras est de très bonne qualité, et plus particulièrement, celle des Foggaras de l'erg. Ces dernières années, on enregistré dans certaines Foggaras et notamment celles de Timimoun une dégradation de la qualité de l'eau. Il existe environ 6 Foggaras qui captent d'une nappe salée. 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 de la Sonelgaz. 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 les puits des Foggaras d'Adrar et de Timimoun sont devenus des décharges publiques[31].

I.13. Problème d'entretien des Foggaras

Depuis le début des années 1960, cette technique traditionnelle est en nette régression suite à l'utilisation de techniques modernes de captage d'eau. Ce conflit a engendré un abandon de la Foggara de la part des Oasiens. Ils n'entretiennent plus les anciennes galeries et ne construisent plus de nouveaux drains. Laissant ce système hydraulique livré à lui-même et face à des conditions géologiques et climatologiques agressives, plusieurs Foggaras se sont effondrés et d'autres se sont ensablées et détériorées. Il est à noter que le débit d'une foggara diminue dans le temps et pour le maintenir à l'état stationnaire il nécessite un entretien continu, sinon elle risque l'assèchement et par conséquent le tarissement. (**Figure 9**)



Figure 9: Foggara entièrement asséchée (Adrar) [32].

Malgré le coût onéreux d'une telle opération, la maintenance de cet ouvrage hydraulique est obligatoire et c'est la raison pour laquelle les premiers propriétaires encouragent les investissements et font appel à d'autres actionnaires. Les nouveaux propriétaires, tout comme les anciens, ont tout le droit de vendre ou de louer le nombre de parts possédées. Au fur et à mesure que le nombre de propriétaires augmente par l'achat ou par l'investissement, la Foggara finit par devenir une entreprise soumise à ces règles strictes et rigoureuses. [32].

I.14. Réhabilitation de la Foggara

La Foggara interpelle tous les acteurs ayant un lien de près ou de loin avec ce système, quelque soit leurs statuts et quelque soit leur place dans la société locale. Pour ce faire, l'urgence d'entreprendre des actions d'entretien, de réhabilitation et de sauvegarde de la foggara, permettront de revivifier ce monument hydraulique, séculaire et culturel. Ainsi, il

faudra procéder par:

- des corrections de débits des Forages existant dans les champs de captage des Foggaras. Le procédé de correction des débits permet d'éliminer ou de réduire l'interférence réciproque entre les points de captage ;
- l'amélioration des outils de curage et de travail relatifs au prolongement des galeries, permettrait de diminuer le temps de travail dans une Foggara et abaissera le prix de revient du mètre cube d'eau ; du fait que le procédé traditionnel de curage est fastidieux et pénible et exige une main-d'œuvre spécialisée et favorable à entreprendre ce type de travail;
- le renforcement des Foggaras par des puits équipés de pompes à énergie solaire : l'implantation des puits peu profonds équipés de pompes permet de combler le déficit des débits des Foggaras, cette solution est très importante et faisable surtout pour les foggaras ayant une caractéristique $Q \geq 1 \text{ l/s/km}$. [34].

C'est précisément dans ce sens qu'Ansari recommande de ne pas implanter les puits au voisinage des têtes des Foggaras (zone de drainage des Foggaras) car on risque de rabattre le niveau de la nappe et assécher la partie drainante par pompage. Le puits doit être implanté dans la partie avale de la foggara afin de capter les flux des débits passés sous les galeries[32].

II. CADRE GEOGRAPHIQUE

II.1. Cadre géographique général

La wilaya d'Adrar est située dans le Sud-Ouest de l'Algérie ; elle s'étend selon les coordonnées géographiques :

- entre les longitudes 0°30' Est et 0°30' à l'Ouest
- entre la latitude 26°30' et 28°30' au Nord
- et une altitude moyenne de 222m.

Elle est limitée géomorphologiquement au Nord par le Grand Erg Occidental, au Sud par le plateau de Tanezrouft, à l'Est par le plateau de Tademaït et à l'Ouest par l'Erg Chech. Elle est répartie entre quatre régions sahariennes naturelles représentées par :

1. **Gourara** : Son centre administratif est la daïra de Timimoune, cette région regroupe tout les palmerais et les ksars de cette daïra.
2. **Touat** : Elle se prolonge du Brinkane jusqu'à Reggane; c'est la plus vaste des régions, et la plus intéressante, car elle contient un grand nombre de foggaras
3. **Tidikelt** : Cette région se prolonge d'Aoulef à Ain Saleh qui est le centre de la région
4. **Tanezrouft** : région de Bordj Badji Mokhtar. [28]

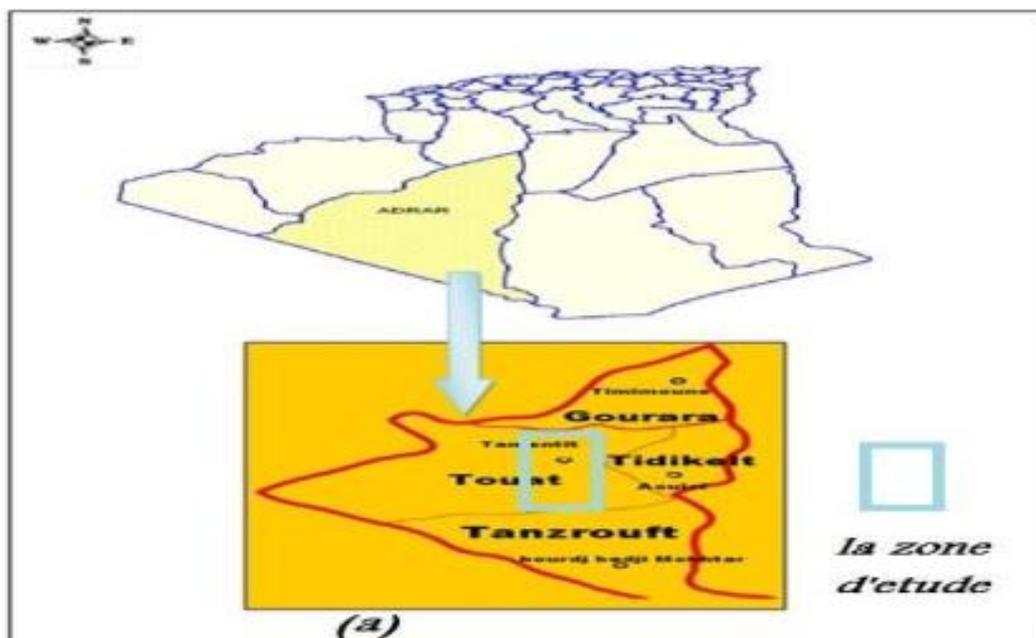


Figure 10. Cadre géographique général[28]

II.2. Hydrogéologie régionale

Les besoins en eau sont en continuelle augmentation afin d'assurer la survie et le développement des peuples ; par conséquent, l'eau devient avec le temps de plus en plus précieuse. La prospection pétrolière au XX^{ème} siècle est à l'origine de la découverte d'un gigantesque système hydraulique au Sahara qui est le système aquifère du Sahara septentrional (SASS). Ce système aquifère formé par les nappes aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal s'étend dans sa plus grande partie dans le territoire saharien algérien. Le système aquifère du Sahara septentrional est partagé entre l'Algérie, Tunisie et la Libye. Il est subdivisé en trois sous bassins :

- le bassin du Grand Erg Occidental à l'Ouest.
- le bassin du Grand Erg Oriental au centre.
- le plateau de la Hamada El Hamra à l'Est.

Notre région d'étude fait partie du bassin du Grand l'Erg Occidental, qui englobe dans sa majeure partie la nappe du Continental Intercalaire (CI), cette dernière désigne dans l'histoire stratigraphique, un épisode continental intercalé entre deux cycles sédimentaires marins [28]:

- à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne,
- au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

II.2.1 Système aquifère du Sahara septentrional

Il couvre une grande extension régionale. Sa superficie totale couvre plus d'un million de km² (soit 700 000 km² en Algérie, 80 000 km² en Tunisie et 250 000 km² en Libye, (Figure 3). Ce système aquifère présente une configuration géométrique et géologique complexe, il désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes[29].

II.2.1.1 Formation du Continental Intercalaire (CI) :

C'est la plus étendue et la plus profonde, elle est limitée au Nord par l'Atlas saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar Reggane et au Sud par l'axe Reggane-Aïn Amenas. A l'Est, il se prolonge au-delà des frontières algéro-libyenne et algéro-tunisienne. (figures 11 et 12).

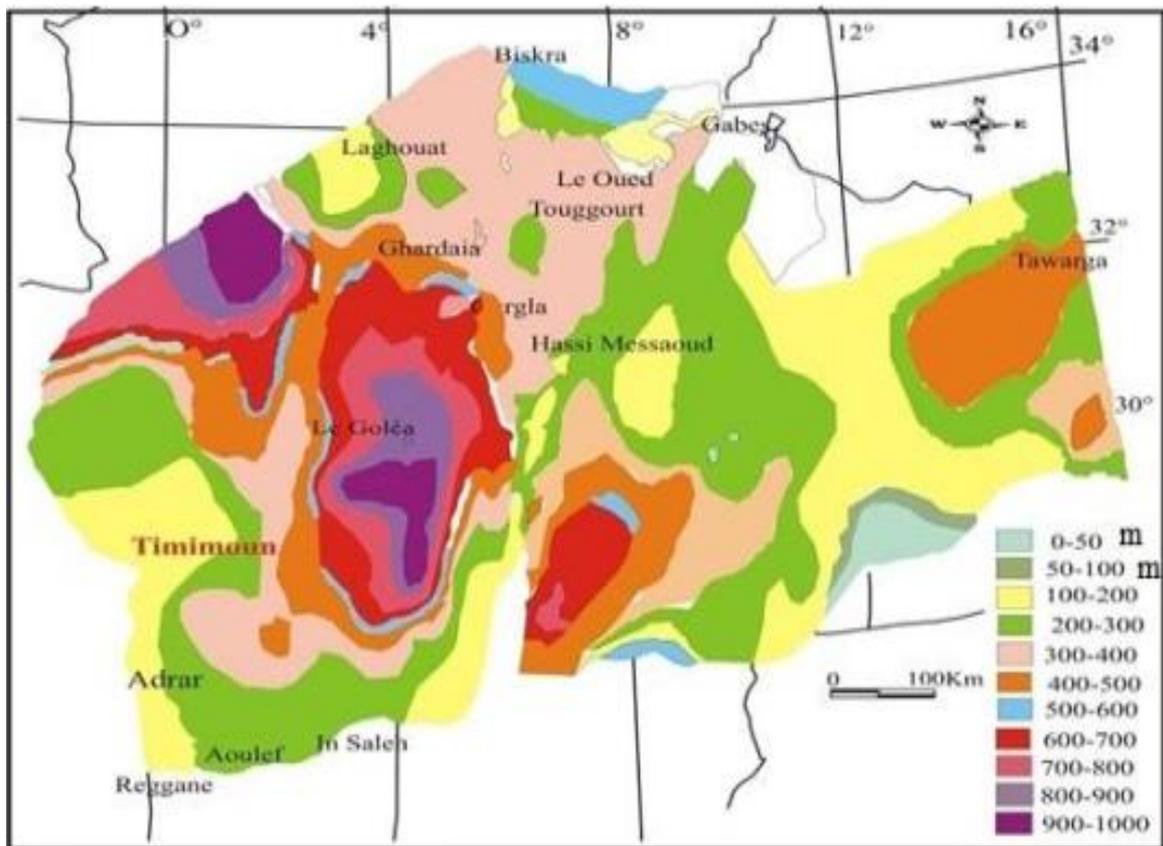


Figure 11 : Carte des épaisseurs du CI [30]

Le confinement des aquifères n'est pas toujours continu. En effet, les deux aquifères peuvent être en contact sur une distance de quelques kilomètres puis être isolés par une éponte (couche non aquifère) sur le reste du dépôt. Dans ce contexte, les variations des pressions liées à l'exploitation d'un aquifère peuvent générer des transferts entre les deux aquifères.

Tableau 2. Caractéristiques du système aquifère du Sahara septentrional [31].

SASS	Superficie	1.000.000 km ²
	Réserves théorique	60.000 Milliard de m ³
	Recharge théorique	1 Milliard de m ³ /an
	Complexe Terminal	Recharge : 600 Mm ³ /an Toit/Sol* : 100 à 400 m Salinité : 2 à 5 g/L
	Continental Intercalaire	Recharge : 300 Mm ³ /an Toit/Sol* : 50 à 2300 m > 800m sur 60% du réservoir Epaisseur utile : 50-1000m Salinité : 1 à 4,5 g/L Température : 25°C à 70°C.

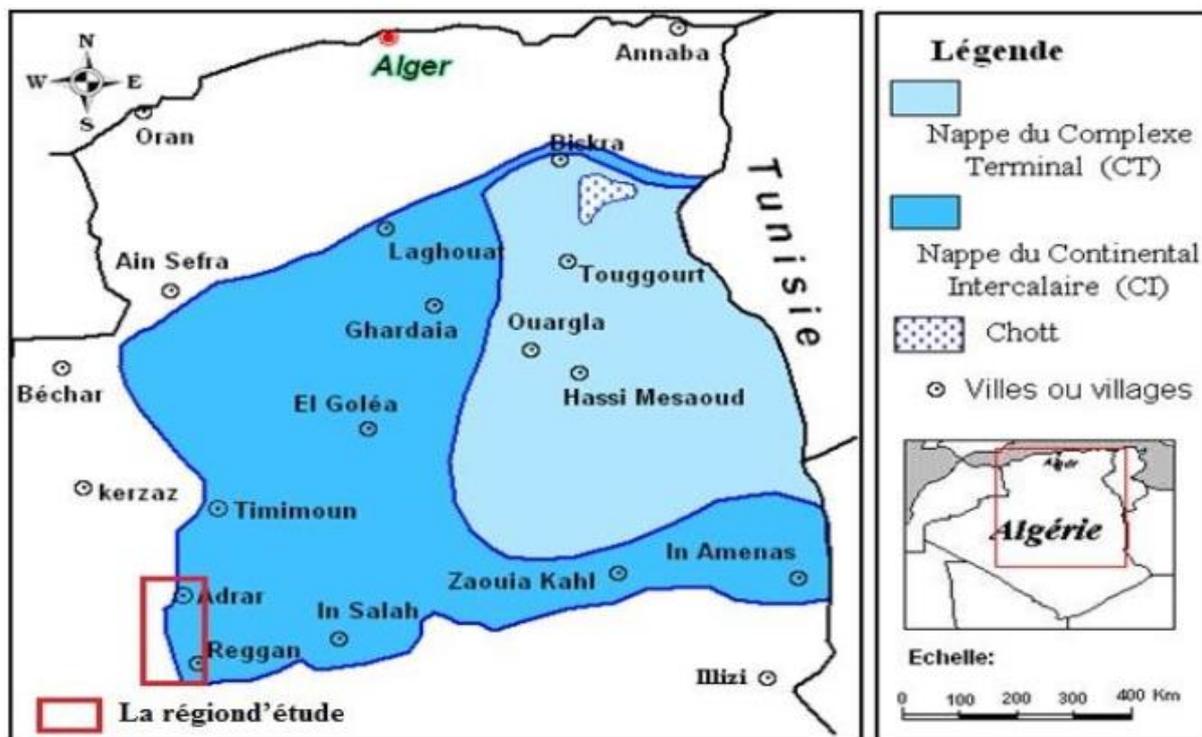


Figure 12. Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), (extrait de recueil des communications, 2002) [31]

II.2.2. La nappe du Continental Intercalaire dans la région d’Adrar

Les configurations géométrique et géologique des aquifères profonds sont complexes, comprenant souvent plusieurs formations aquifères, dans ce cas on utilise le terme de «

système aquifère ». Notre région d'étude est située dans la partie avale (affleurements des formations du Continental Intercalaire) de l'aquifère où la nappe est libre, alors que la partie amont est confinée, ce qui induit des comportements hydrodynamiques et géochimiques différents. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales grésos-argileuses du Crétacé inférieur, qui affleurent largement dans la région de Touat. Il repose directement en discordance sur les formations marines du Paléozoïque. [31]

L'étude des coupes lithologiques et des logs des forages (Figure 13) dans notre région d'étude montre également que :

- le Continental Intercalaire n'est pas formé uniquement de sables et de grès, mais on y trouve également des sables argileux, des argiles sableuses, ainsi que des argiles franches.

- La structure en cuvette du CI dans le bassin du SASS présente une alternance de couches perméables, semi-perméables ou imperméables.

- les exutoires naturels de la nappe du CI dans la zone d'étude sont les sebkhas, qui occupent les fonds des dépressions. Tandis que les exutoires artificiels sont les foggaras, les puits et les forages.

II.2.2.1. Alimentation du Continental Intercalaire (CI)

Pour rappel, c'est au Villafranchien supérieur que s'organise dans son ensemble le grand réseau hydrographique du Sahara algérien. C'est à cette époque que les écoulements canalisés présentent leur intensité maximale, et que les réseaux fluviaux endoréiques qui s'étaient individualisés au Plio-Villafranchien, ont la plus grande extension géographique. Le retour à des conditions climatiques subarides, pendant une longue période, a permis la réorganisation du réseau hydrographique ancien et le dépôt de sédiments fluviaux et lacustres, qui sont dans l'ensemble modestes et plus étroitement localisés dans les vallées que par le passé. Le Continental Intercalaire s'est chargé au cours de ces périodes pluviales. Actuellement, il reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas saharien (figure 15) : la quantité d'eau tombant annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée à 2,5 milliards m³/an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés. Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à 50 000 milliard m³ correspondant, en théorie, à un débit fictif continu de 1000 m³/s pendant 2000 ans. [32]

L'estimation de la recharge du Continental Intercalaire a fait l'objet de plusieurs études, les principales sont résumées dans le tableau 3. Ces estimations sont surestimées dans les anciens travaux mais elles ont été corrigées par la suite dans les travaux de l'OSS (**Observation Sahara et du Sahel**) (2003) qui sont les plus proches de la réalité.

Tableau 3. Estimation de la recharge du CI (bassin occidental) [33]

Etude	Estimation de la recharge		
CORNET (1961)	23m ³ /s		
BURGEAP (1963)	l'Atlas saharien	4 m ³ /s	12.5 m ³ /s
	la Hamada sud oranaise et le Grand Erg Occidental	8 m/s	
	le Tademaït	0,5 m ³ /s	
GEOPETROLE(1964)	l'Atlas saharien	4.5 m ³ /s	14 m ³ /s
	la Hamada sud oranaise et le grand Erg Occidental	8.9 m ³ /s	
	le Tademaït	0.3 m ³ /s	
ERESS (1972)	l'Atlas saharien	2.03 m ³ /s	5.58 m ³ /s
	Grand Erg Occidental	3.55 m ³ /s	
OSS (2003) calage du Modèle SASS	7.54 m ³ /s		

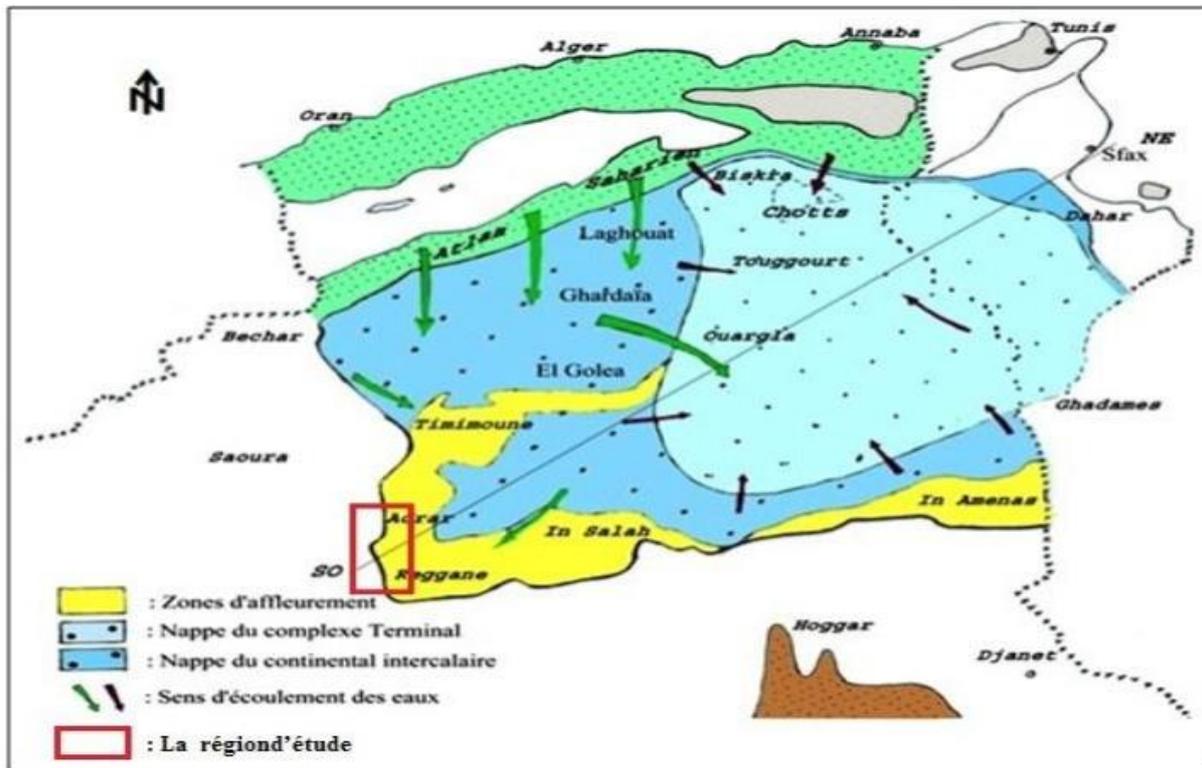


Figure 13. Les sens d'écoulement des eaux de deux systèmes aquifères du Sahara, le CT et le CI

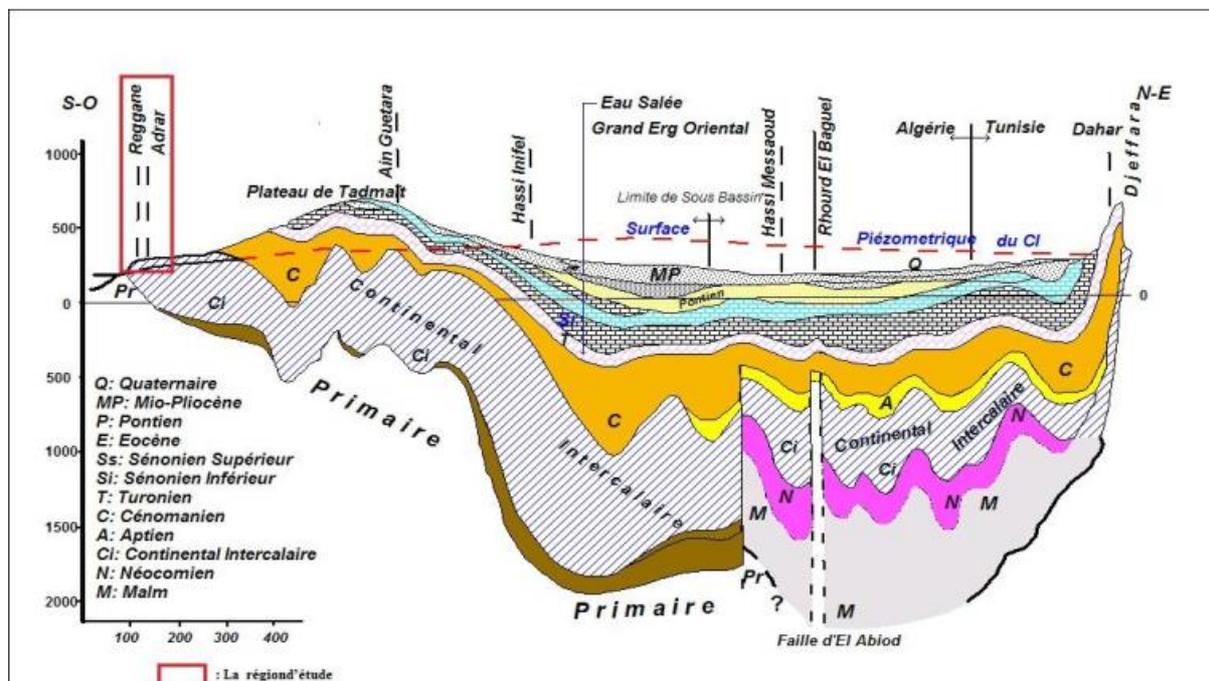


Figure 14. Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional [34]

II.2.2.2. Caractéristiques des eaux

Dans le Bassin Occidental du SASS, les eaux sont toutes jeunes (inférieures à 10000 ans). Tout au long de leur parcours (plus de 500km) de la zone de recharge principale qu'est l'Atlas saharien, vers la zone d'exutoire principale qu'est la vallée du Gourara, de Touat et du Tidikelt, les eaux du Continental Intercalaire continuent de se renouveler tout au long de leur cheminement. Cette observation est en cohérence avec la géologie régionale ; en effet, le CI n'est plus recouvert ici par le Crétacé supérieur et la nappe du CI est à surface libre [35].

D'après la carte (figure 15) de la teneur en C_{14} , les eaux de notre zone d'étude ont un âge qui varie entre 1000 et 10 000 ans.

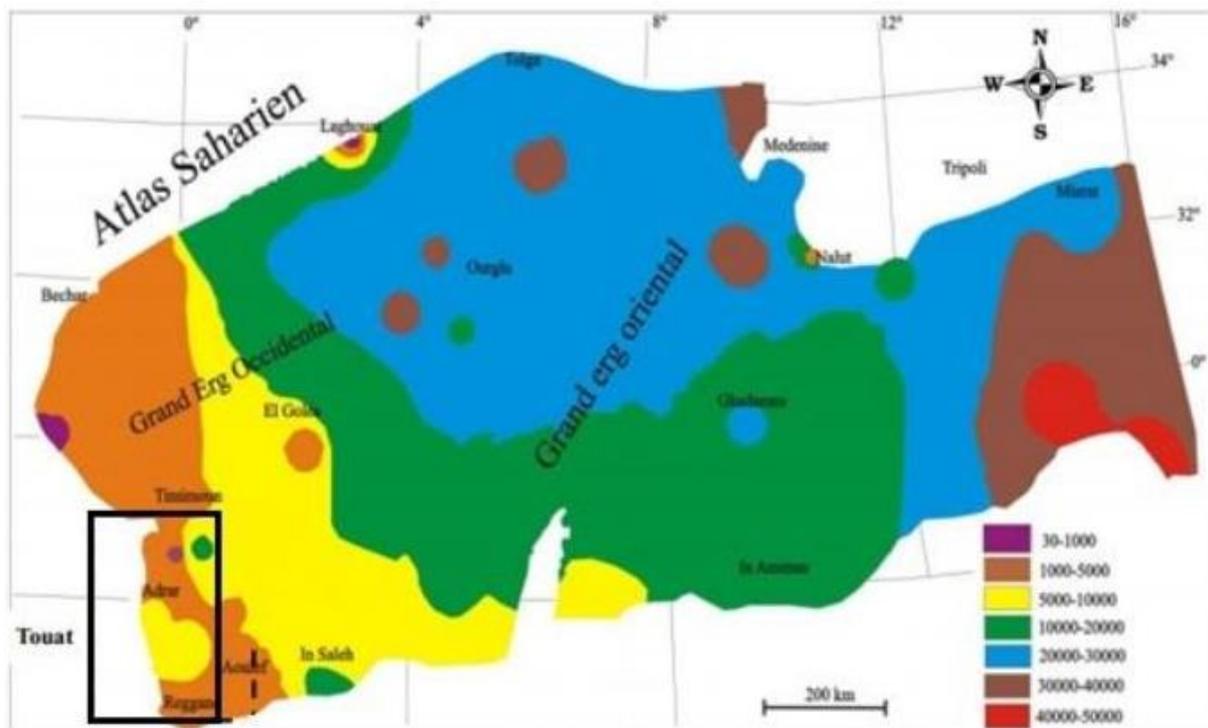


Figure 15: Les âges, en années, des eaux du CI d'après la teneur en C_{14} [30]

II.3. Piézométrie et gradient hydraulique

II.3.1 La piézométrie du système aquifère du CI :

La carte piézométrique est la synthèse essentielle de l'étude hydrogéologique. Elle schématise la morphologie de la surface piézométrique de la nappe et permet d'obtenir des informations importantes sur le sens d'écoulement des eaux souterraines et le comportement

hydrodynamique de l'aquifère. L'établissement de cette carte repose sur des mesures piézométriques à une période donnée.

A l'échelle du bassin occidental, la carte piézométrique (figure 15) met en évidence que les écoulements souterrains de la nappe du CI se font de l'Atlas Saharien (zone d'alimentation) vers le Sud et le Sud-Est (vers l'exutoire), avec une pente générale de 0,9 ‰ (350 m pour 400 km). Les courbes isopièzes, à la terminaison occidentale du plateau de Tademaït, permettent de montrer l'écoulement (axe 6 sur la figure) des eaux pour rejoindre le sillon de Gourara, soit vers Megueden ou vers Timimoun, soit vers le Touat ou vers la trouée de Reggan [34].

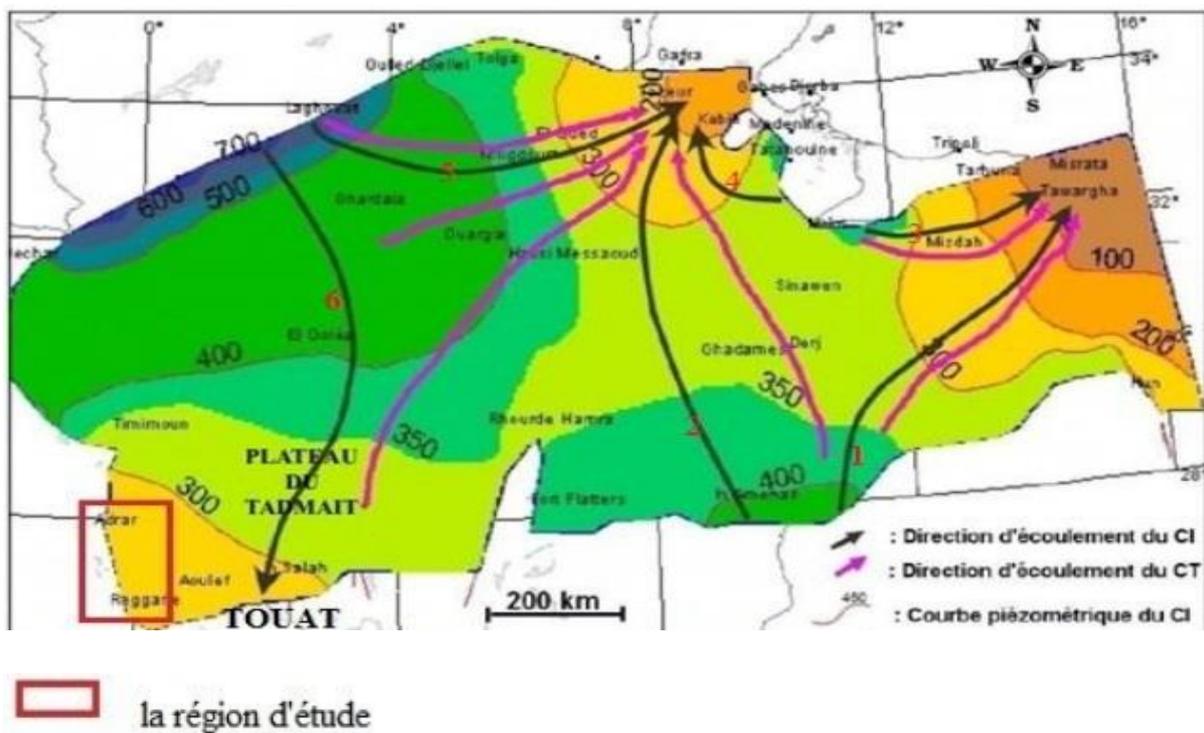


Figure 16. Carte piézométrique de référence du CI et des directions d'écoulement [33]

IV.3.2 Carte piézométrique de la zone d'étude

Dans la région de Touat les eaux du Continental Intercalaire sont destinées essentiellement à l'AEP et l'irrigation, les profondeurs des forages varient entre (80 et 150m) La carte piézométrique (Figure 17) a été établie et réalisées à partir des données des puits fournies par l'ANRH d'Adrar dans le but de :

1. Définir le sens de l'écoulement des eaux souterraines.
2. Déterminer les zones de convergences et de divergence.

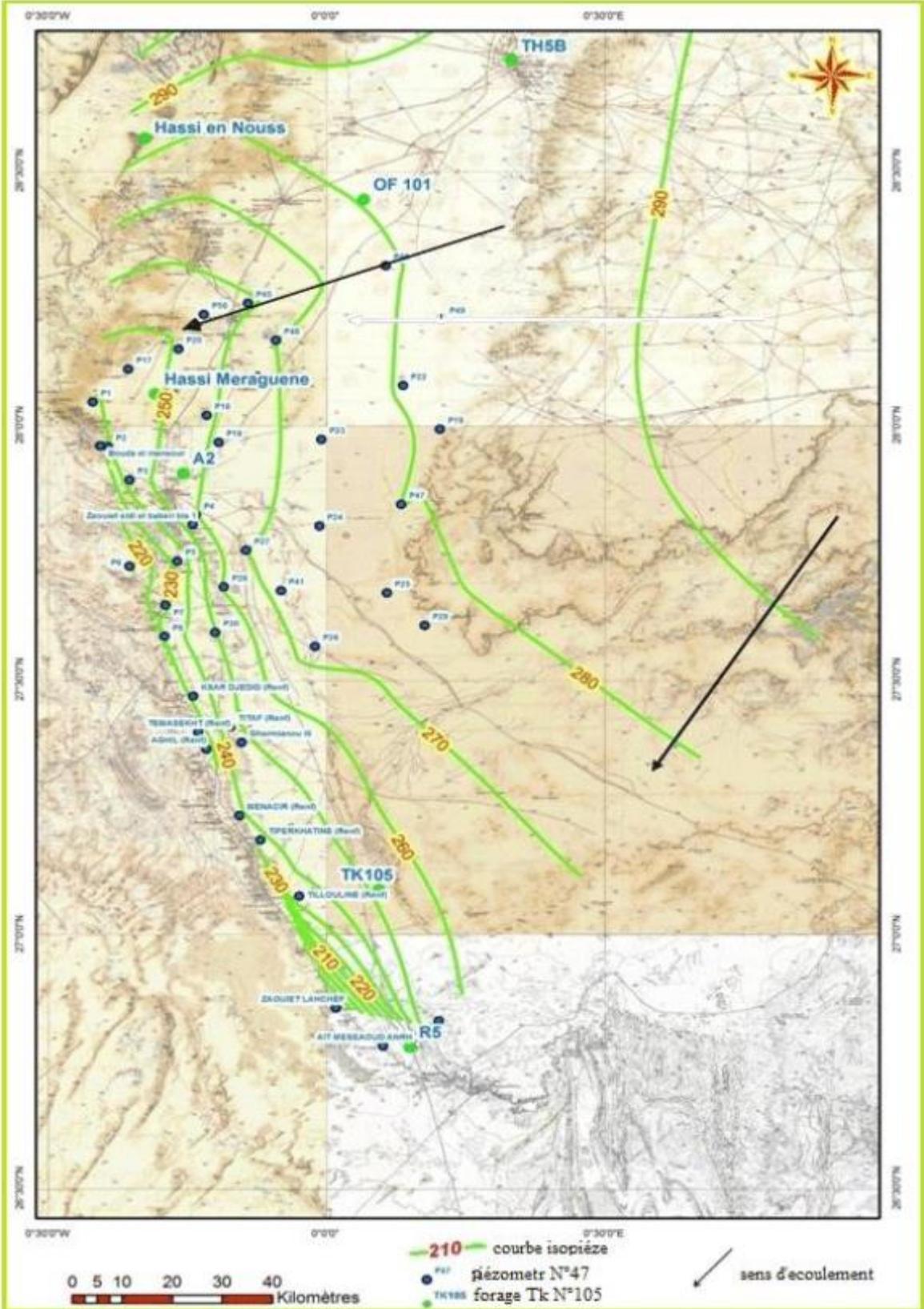


Figure 17. Carte piézométrique du Continental Intercalaire dans la région d'étude [36]

Tout d'abord, nous signalons que dans le travail BENHAMZA 2013, il est signalé que le rabattement de cette nappe n'est que de 8m sur 36 années (1971-2007). Vu que notre travail n'est qu'à cinq années de ce dernier, nous avons déduit que le rabattement serait très faible ;raison pour laquelle nous n'avons pas jugé utile de dresser ou d'établir une nouvelle carte piézométrique. A partir de cette carte, nous remarquons qu'il n'y a qu'un seul sens d'écoulement qui est NE-NO (à partir du plateau de Tademaït vers la région de ville d'Adrar). [36] suggère un autre axe d'écoulement E-W qui n'est pas justifié si l'on considère les isopièzes. L'analyse de la carte montrant qu'au Nord-Est de la région (plateau de Tademaït), on a un zone d'alimentation Le resserrement des courbes isopièzes dans la partie Sud (Sali) montre que l'écoulement dans cette partie est prononcé à cause des forages localisés principalement dans les zones de concentrations de captage (par forages et foggaras). Dans la partie centre, nous remarquons que les courbes isopièzes sont presque parallèles et les lignes de courant divergentes, ce qui donne une ligne de partage des eaux entre les différentes zones de captage Jusqu'à l'erg Chech, cela signifie que l'écoulement dans cette partie est régulier. [36]

IV.3.3. Gradient hydraulique

A partir de la carte isopièze le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.003 dans la partie Ouest, de 0.0008 au centre et de 0.0003 à l'Est de la région d'étude.

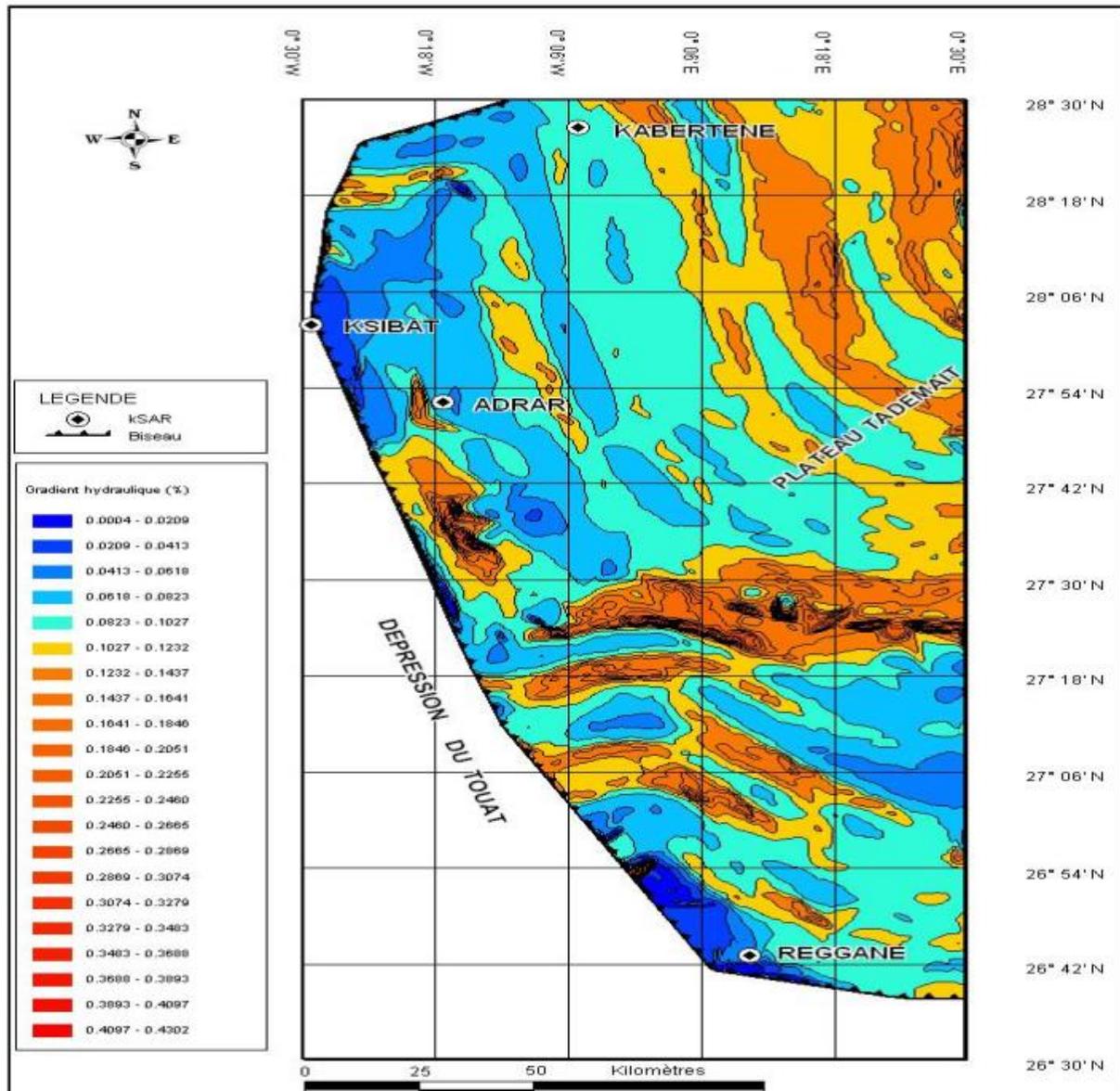


Figure 18. La carte du gradient hydraulique de région d'étude [37]

La comparaison des valeurs calculées plus haut avec celles de la carte (Figure 18) montre qu'il n'y a pas une grande différence dans le gradient. Elle est presque négligeable dans la région d'étude.

III. METHODES ET STRATEGIE DE TRAVAIL

Prélèvements.

Ils sont effectués selon une répartition et une fréquence différente d'un site à un autre, selon le type de point d'eau (Foggara, zone de Bouda) et la facilité d'accès et de la disponibilité des ouvrages, notre échantillons est situé à bouda pris d'Adrar (4puits de fogarra).

Mesures et situation.

Les paramètres physiques : Température (T), potentiel d'Hydrogène (pH), Conductivité Électrique (CE).

Analyse des éléments chimiques.

Une analyse des éléments chimiques a été effectuée au laboratoire elle portera sur les éléments majeurs (Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et Anions : Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et les éléments d'origine biologique (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^{3-}).

III. 1. LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES EFFECTUES

III. 1.1. pH, carbonates (CO_3^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-), OH^- :

La détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions (H^+) dans l'eau, il indique le degré d'acidité ou la basicité du milieu. [45].

Principe :

Les carbonates n'existant qu'à $\text{pH} > 8,3$ et les bicarbonates à pH est compris entre 4,4 et 8,3. Au cours d'un dosage asymétrique doublé d'une mesure de pH, à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon. [45].

Mode opératoire :

La mesure du pH est simple ,on prend un bécher après rinçage par l'eau distillée on le remplit par l'eau analysé.

1) Si le $\text{pH} > 8,3$.

On ouvre la burette goutte à goutte et on arrête quand le pH-mètre indique $\text{pH}=8,3$; on note le volume d'acide sulfurique V_1 versé.

2) Si le pH est compris entre 4,4 et 8,8

- On titre par l' H_2SO_4 à 0,01 N jusqu'à obtenir un $\text{pH} = 4,4$; on note le volume d'acide V_2 versé.

- Si $V_2 < 5$ ml on prend 40 ml de PE

- Si $V_2 > 10$ ml on prend 10 ml de PE



Figure 19. Titration par H_2SO_4 et mesure du pH

III. 1.2. Mesure de la conductivité électrique

Définition :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes de platine de 1 cm^2 de surface, séparés par une distance de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). [45].

Mode opératoire

- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, avec l'eau distillée.
- Plonger l'électrode complètement dans un récipient contenant l'eau à analyser.
- Agiter l'échantillon afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide, cette agitation permet d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes.
- Noter la valeur finale affichée dans le conductivimètre.



Figure 20. Mesure de la conductivité électrique

III. 1.3. Dosage du calcium/magnésium et du calcium par complexometrie

Principe :

Le sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique cristallisé avec H_2O , appelé aussi complexos ou versénate forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH.

Réactifs:

Solution E.D.T.A (Ethylène Diamine Tétra Acétique):

- 40 g E.D.T.A
- 5 g Soude caustique (NaOH)
- 1 g Chlorure de Magnésium ($Mg Cl_2 \cdot 6H_2O$).
- Dissoudre 40 g E.D.T.A, ajouter les 5 g NaOH, puis ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- Dissoudre à part 1 g de chlorure de magnésium dans 5 ml de l'eau distillée, ajuster jusqu'à 1000 ml.
- on mélange les deux solutions obtenus, on y ajoute 8 autres litres d'eau distillée ce qui donne 10 litres d'E.D.T.A.

Solution : Tampon pH=10 (Ca/Mg):

Le Tampon pH=10 est constitué par des mélanges à volume égale des solutions A et B.

Solution A :

Peser 67 g de Chlorure d'ammonium(NH_4Cl) préalablement séché 12 heures à l'étuve à 100°C puis refroidis au dessiccateur. Ajouter 400 ml d'Ammoniaque (NH_3) à 28% (448 ml à 25%) et 373.7 à 30 % ensuite compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

Solution B:

Dissoudre dans 2 litres d'eau distillée 1,5 g environ de Tartrate double de Sodium et de Potassium appelé couramment « sel de seignette ». On chauffe jusqu'à dissolution totale puis on ajuste à 2 L.

Solution de soude 1 N (Ca):

40 g de Soude par litre d'eau distillée.

Indication colorée:**1/ Dosage du Ca/Mg :**

Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium (NaCl) préalablement séché et une quantité de Noir d'Eriochrome telle qu'on obtient un mélange de coloration mauve. On décèle la fin du virage par le Noir Eriochrome T qui vire du rose au bleu.

2/ Dosage du Ca:

Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium (NaCl) préalablement séché et une quantité de Patton et Raeder (Acide hydroxy-2 Hydroxy-2 Sulfo-4 Naphtoiq-3). On observe la fin du virage quand la couleur passe alors du rouge au bleu franc.

Mode opératoire:**Titre de L'E.D.T.A :**

-Le dosage de l'E.D.T.A s'impose à chaque fois que le remplissage du flacon doseur est fait. On prépare une solution de CaCO_3 à 1g/L (attaque de 1g de CaCO_3 par HCl dilué puis ajuster à 1litre par l'eau distillée. le CaCO_3 doit avoir été séché à l'étuve puis refroidi au dessiccateur). On prélève 10 ml qui seront dosés en même temps que les échantillons. Cette solution contient 20 mg/L de Ca^{2+} .

- Les PE ayant été placés dans des béchers de 50 ml on y ajoute systématiquement 2ml de Tampon (Ca/Mg) et 2 ml de NaOH (Ca) et une pincée d'indicateur; la solution prend une teinte rose (Ca/Mg) et rouge (Ca).
- La solution étalon de Ca^{2+} et les échantillons ainsi préparés sont alors traités de manière identique. L'E.D.T.A étant placé dans la burette, on verse jusqu'au virage du rose au bleu en maintenant une agitation dans le bécher. On notera soigneusement le volume V_1 d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer la solution étalon de Ca^{2+} et les volumes V_2 d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer les échantillons.



Figure 21. Dosage du calcium et du magnésium



Figure 22. Dosage le calcium

III. 1.4. Dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme

Principe :

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieur à la normal (on dit que les atomes sont excités par la flamme). Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément. On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendu eau moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme étalon pour

chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photomètre de flamme.

Le calcium est dosé par sa gamme étalon propre.

Réactifs :**Solution mère de sodium et de potassium:**

Dissoudre dans de l'eau distillée 25,434 g de chlorure de sodium (NaCl) préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur. Dissoudre simultanément 3,823 g de chlorure de potassium(KCl) préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur. Compléter le tout à 1000 ml par de l'eau distillée. On obtient une solution contenant 10000 mg/L en Na⁺ et 2000 mg/L en K⁺

Solutions étalons en Na⁺ et K⁺:

Mettre successivement dans des fioles jaugées à 100 ml:5 ; 4 ; 3 ; 2 ; 1.5 ; 1 ; 0,5 et 0, 2 ml de la solution mère en Na⁺ et K⁺ compléter à 100 ml par de l'eau distillée. On obtient des solutions étalons contenant respectivement:

500 ; 400 ; 300 ; 150 ; 100 ; 50 et 20 mg/L de Na⁺.

100 ; 80 ; 60 ; 40 ; 30 ; 20 ; 10 et 4 mg/L de K⁺.

Solution mère de calcium:

Dissoudre dans de l'eau distillée 36.663 g de chlorure de calcium préalablement séché à l'étuve à 100° C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.

Solutions étalons de calcium:

Mettre successivement dans des fioles gaugées à 1000 ml : 50 ; 40 ; 30 ;.20 ; 10 ;.5 ml de la solution mère en Ca²⁺ compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

Appareillage :

Photomètre à flamme + enregistreur



Figure 23.Photomètre de la torche **Figure 24.** La mesure de Na et K utilisant le photomètre à flamme

III. 1.5. Dosage des chlorures:

Principe :

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique [$\text{Hg}(\text{SCN})_2$] et de l'alun ferrique [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{NH}_4 24\text{H}_2\text{O}$] donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

Réactifs :

Solution saturée de thiocyanate mercurique:

Dissoudre 2g de thiocyanate mercurique $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ dans 2 litres d'eau bi-distillée.

Solution d'alun ferrique :

67 g d'Alun ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{NH}_4 24\text{H}_2\text{O}$.nom

Ou 134 g d'Alun ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{NH}_4 12 \text{H}_2\text{O}$

430 ml d'acide nitrique concentré

Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Solution mère de chlorures a 10 gr/L:

Dissoudre 20,984 g de Chlorure de potassium (KCl) pur préalablement desséché 12 heures à l'étuve à 100°C dans de l'eau distillée, ajuster à 1000 ml.

Solutions étalons :

Prendre successivement :

8 ; 5 ; 4 ; 3 ; 2 ; 1 et 0,5 ml de la solution mère de Cl^- compléter chaque prélèvement à 100ml exactement par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement :

800 ; 500 ; 400 ; 300 ; 200 ; 100 et 50 mg/L en chlorures. Les stocker dans des flacons étiquetés.



Figure 25. Les concentrations du témoin, les solutions standards et les échantillons de foggara

Mode opératoire :

- On place les PE (5 ml) dans des fioles de 50 ml. Les PE des solutions étalons, le témoin (H_2O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir.
- On ajoute dans l'ordre 5ml de la solution de thiocyanate mercurique préalablement diluée au 1/3 puis 3 ml de la solution nitrique d'alun ferrique également diluée au 1/6.
- On agite vigoureusement les fioles pour uniformiser la coloration qui apparaît et on laisse au repos pendant ½ heure.
- On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470nm en réglant le zéro avec le témoin.

Expression des résultats:

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/L.



Figure 26. Le dispositif UV visible est utilisé pour mesurer les solutions de colorées.

III. 1.6. Dosage des sulfates:

Principe :

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum. Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm.

Réactifs :

Solution de chlorure de baryum et de gélatine:

- 40 g de gélatine.
- 200 g de Chlorure de baryum (dissoudre à part).
- 3 g de Phénol (pour éviter une décomposition d'origine bactérienne de la gélatine).
- H₂O Q.S.P 2000 ml.

Solution mère de sulfate A 10gr/L

Dissoudre 13.755g de Sulfate d'ammonium (NH₄)₂SO₄ préalablement desséché à l'étuve à 100°C puis au dessiccateur sous vide, dans de l'eau distillée, ajuster à 1000 ml.

- Solutions étalons

Prendre successivement: 50 ; 40 ; 30 ; 20 ; 15 ; 10 et 5 ml de la solution mère de SO₄⁻².

Compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 500 ; 400 ; 300 ; 200 ; 150 ; 100 et 50 mg/L en SO₄⁻².

Mode opératoire :

- On place les PE (5 ml) dans des fioles de 50 ml

- Les PE des solutions étalons, le témoin (H_2O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir
- On ajoute à chaque PE, 5 ml de la solution de $BaSO_4$ et de gélatine préalablement diluée 1/6. Compléter avec l'eau distille Q.S.P 50 ml.
- On agite pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait comme conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures.
- On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 495 nm en réglant le zéro avec le témoin.

Expression des résultats : La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/L.



Figure 27. Les concentrations de sulfates dans les échantillons

III. 1.7. Détermination du résidu sec:

Principe :

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes. Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

Matériel :

- Capsule en porcelaine.
- Balance analytique.
- Etuve réglable.

Mode opératoire :

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée.
- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule.
- Porter cette dernière à l'étuve à 105° C pendant 24 heures.
- Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement.

Expression des résultats :

$$(PP - PV) \times 1000 = \dots \text{mg/L de RS}$$

Les résultats sont donnés en mg/l.

D'où PP: est le poids plein de la capsule.

PV: est le poids vide de la capsule.

Remarque :

Les eaux contenant des matières en suspension (turbides) doivent être filtrées.

III. 8 .La turbidité :**Principe :**

La turbidité mesure une propriété optique de l'eau qui résulte de la de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'eau.

Mode opératoire :

- Mettre l'appareil sous tension ;
- Entrer le numéro du programme mémorisé pour la turbidité ;
- Ajuster la longueur d'onde ;
- Placer le blanc (eau distillée) ;
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro" ;
- Retirer le blanc et placer la prise d'essai de l'échantillon ;
- Appuyer " READ " et le résultat en NTU s'affiche.



Figure 28. Mesure de la turbidité par un turbidimètre

III. 1.9. Dosage de l'azote ammoniacal:

Principe :

L'ammonium, en milieu alcalin et en présence d'hypochlorite de sodium donne avec le phénol une coloration bleue (réaction de Berthelot). On utilise du nitroprussiate de sodium comme catalyseur. La quantité d'hypochlorite doit être ajustée avec soin. Si l'hypochlorite est en défaut, la coloration se développe mal et irrégulièrement. S'il est en excès, il peut attaquer des composés azotés organiques qui peuvent perdre leur groupement NH pour donner des aldéhydes et de l'ammoniac. Il peut causer la chlorination du phénol qui entraîne une perte d'hypochlorite et provoque l'apparition de phénols chlorés insolubles.

Réactifs :

Les traces d'ammoniac présentes dans l'air se dissolvent dans l'eau il est donc recommandé pour la préparation des réactif et des solution étalons d'utiliser une eau distillée préalablement débarrassée des traces de NH_4^+ le moyen suivent :

Faire passer l'eau distillée dans une colonne de verre de 5 cm de diamètre contenant environ 350 g d'un mélange intime de résines :

2 volumes de résine anionique (types amberlite IRA 400, forme OH^-)

1 volumes de résine cationique (types amberlite IRA 120, forme H^+)

Solution mère d'ammonium a 1 gr/L (NH_4^+):

Peser 2,972 g de chlorure d'ammonium NH_4Cl préalablement séché et refroidi au dessiccateur. Dissoudre dans de l'eau distillée et compléter à 1000 ml.

Solution d'ammonium a 10 mg/L (NH_4^+):

Prendre 10 ml de la solution mère à 1g/L et compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

Solutions étalons :

Prendre successivement: 5 ; 10 ; 25 ; 50 ; 100 ; 150 et 200 ml de la solution à 10 mg/L et compléter à 100 ml par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 0,05 ; 0,1 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 et 2 mg/L de NH_4^+ .

Solution tampon et complexante :

230 g de tartrate de Na^+ et K^+

350 g de citrate de sodium ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

40 g de soude (NaOH)

Eau distillée Q.S.P 1000 ml

Si on utilise du citrate mono sodique $\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en prendre 215 g avec 120 g de soude au lieu de 40g. Faire bouillir pendant au moins un ½ heure, en maintenant un barbotage d'air pour éliminer les ions NH_4^+ pouvant se trouver dans le tartrate ou citrate.

Solution phénate de sodium:

- 5 g de soude

- 25 ml d'eau distillée

- Après refroidissement,

- 10 gr de phénol et compléter à 50 ml avec de l'eau distillée.

Solution nitroprussiate de sodium:

0,5g de nitroprussiate de sodium $\text{Na}_2(\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Eau distillée Q.S.P 50 ml

La solution de nitroprussiate ou nitrosoferrocyanure de sodium de teinte rouge, devient verte à la lumière : elle dépose du ferrocyanure ferrique ou bleu de Prusse et dégage du NO_2 la décomposition est plus lente à l'obscurité.

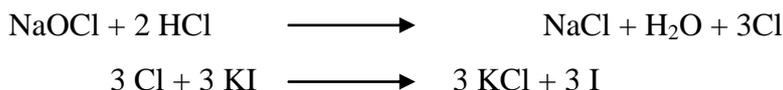
Solution d'hypochlorite de sodium a 2° chlorométrique:

On part d'une solution concentrée d'eau de javel commerciale (environ 32° chlorométriques) que l'on filtre avant de doser. Le titre exprimé en degré chlorométrique (°Cl) donne le nombre de litres de chlore actif que fournir un litre de solution d'hypochlorite. A partir de titre de cette solution, concentrée, conservée en bouteille brune et au frais, on

prépare une solution diluée à 2 ° Cl. Cette solution diluée, moins stable, doit être préparée au moment de l'emploi. Il est nécessaire de vérifier par dosage le titre exact de l'hypochlorite.

Dosage de l'hypochlorite de sodium :

On ajoute un excès de potassium (KI) à la liqueur à doser. En présence d'acide, tout le chlore à doser est libéré. Ce chlore déplace l'iode de l'iodure de potassium. Cet iode se dissout dans l'iodure de potassium en excès.



On titre cet iode par une solution de thiosulfate de sodium, jusqu'à décoloration



Le titre en iode est la même que le titre en chlore.

Mode opératoire :

- 1 ml de solution de NaOCl.
- 100 ml d'eau distillée.
- quelque goutte de HCl ou 5 ml d'acide acétique ;
- 5 ml d'iodure de potassium KI à 10% (10 gr de KI dans 100 ml d'eau distillée)

Le titrage se fait par thiosulfate de sodium

Titre en iode = (Titre en thiosulfate x volume de thiosulfate) / volume de solution de NaOCl = 0,1 x volume de thiosulfate

$$^\circ\text{Cl} = \text{Titre en iode} \times 11,2 = \text{volume de thiosulfate} \times 1,12$$

En multipliant le nombre de ml trouvé par 1,12 on obtient le degré chlorométrique.

Mélange des réactifs :

On mélange les 3 premiers réactifs dans les proportions suivantes:

- 200 ml de la solution tampon et complexante.
- 25 ml de la solution de phénate de sodium.
- 10 ml de la solution de nitroprussiate de sodium.

Les quantités de la solution de phénate de sodium et de la solution de nitroprussiate de sodium ne doivent pas excéder le volume nécessaire pour la préparation du mélange. Conserver ce réactif mélangé en bouteille brune.

MODE OPERATOIRE :

La réaction colorimétrique s'effectue en opérant le mélange suivant :

- PE : 20 ml.
- Réactif mélangé : 2 ml.

- Hypochlorite à 2° Cl : 0,5 ml

La coloration bleue se développe à partir du moment. On laisse les flacons à l'obscurité pendant une heure et demie. La coloration reste stable plusieurs heures. On effectue la mesure colorimétrique à 625 nm.

Expression des résultats :

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en azote ammoniacal exprimés en mg/L.

III. 1.10. Dosage des nitrates:

Principe :

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur. Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie: diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec l' α - Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520 nm.

Réactifs:

- Solution de sulfate de cuivre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) :

- 2.6 g de $\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ additionnée de 40 ml d'acide sulfurique 1 N.
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

- Solution d'hydrazine ($\text{NH}_2\text{-NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$) à 0,1 N :

- 13 g de $\text{NH}_2\text{-NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$.
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- Conserver en flacon brun bien bouché.

- Solution de Soude (NaOH) à 0,05 N :

- 40 g de soude par litre d'eau distillée.

- Solution d'acide sulfanilique (H_2NSO_3) :

- 6 g d'acide sulfanilique H_2NSO_3
- 200 ml acide chlorhydrique concentrée
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- Conserver en flacon brun.

- Solution α -Naphtylamine :

- 6 g de α -Naphtylamine
- 40 ml acide chlorhydrique concentrée
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Verser la poudre dans l'eau froide, en agitant .ajouter quelque ml d'acide chlorhydrique concentrée .achever la dissolution en chauffant très légèrement.

Verser ensuite le reste d'acide et compléter à 1 litre d'eau distillée.

Conserver en flacon brun.

- Solution d'E.D.T.A :

Dissoudre 5 g d'E.D.T.A dans 1000 ml d'eau distillée. Cette solution est destinée à complexer le fer et les métaux lourds qui peuvent provoquer des interférences.

- **Solution d'acétate de sodium ($\text{NaCOO-CH}_3, 3\text{H}_2\text{O}$):**

- Dissoudre 272 g d'acétate de sodium $\text{NaCOO-CH}_3, 3\text{H}_2\text{O}$

- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

- **Solution mère de nitrate à 1000 mg/l.:**

Dissoudre 1,631 g de Nitrate de Potassium préalablement séché au dessiccateur et compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

- **Solutions étalons :**

Prendre successivement:0,5 ; 1 ; 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 et 15 ml de la solution mère de nitrate et compléter chaque prélèvement à 100ml par de l'eau distillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 5 ; 10 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 ; 100 et 150 mg/l de nitrates.

Préparation des solutions de travail :

Mélange réducteur à préparer au moment de l'emploi :

- 5 ml de la solution de Sulfate de Cuivre

- 5 ml de la solution d'hydrazine

- Eau distillée Q.S.P 200 ml

Mélange colorant (conserver en flacon brun) :

- 10 ml d'acétone.

- 20 ml d'acide sulfanilique.

- 20 ml d'E.D.T.A.

- 20 ml d'acétate de sodium.

- 20 ml d' α -Naphthylamine.

- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Ajouter l' α -Naphthylamine en dernier et après dilution pour éviter la formation d'un précipité blanc laiteux.

Mode opératoire:

Effectuer le dosage dans des flacons brun, de préférence.

Réaliser le mélange suivant en introduisant dans le flacon :

- 1 ml prise d'essai ;
- 5 ml de solution de soude à 0.05 M ; et agiter ;
- 5 ml de mélange réducteur ; et agiter ;
- Après une heure, ajouter 40 ml du mélange colorant ;
- Mettre à l'obscurité le mélange préparé pendant $\frac{1}{4}$ heure ;
- Mesurer la densité à 520 nm.

Laisser la coloration se développer dans l'obscurité pendant $\frac{1}{4}$ heure.

Mesurer sa densité à 520 nm. Le passage à la colorimétrie ne doit intervenir que juste avant la mesure optique afin que la solution soit exposée un minimum de temps à la lumière à laquelle est très sensible. La réduction des nitrates est partielle et varie avec le temps et la température. Il importe donc que la mesure des échantillons soit toujours accompagnée d'une mesure des solutions étalons, traitées dans les mêmes conditions.

Remarque :

Essayer de ne pas exposer les flacons à la lumière avant leur passage au colorimètre. Il faut traiter les solutions étalons en même temps que les échantillons et dans les mêmes conditions car la réduction des nitrates en nitrites est une fonction du temps.

Expression des résultats:

La courbe d'étalonnage donne directement les teneurs des échantillons de nitrates en mg/l.



Figure 29. La concentration de nitrate dans les échantillons

III. 1.11. Dosage des nitrites

Principe :

Par diazotation des nitrites avec l'acide sulfanilique à $\text{pH} = 2,5$ puis par copulation du composé formé avec l' α -Naphthylamine (réactif de Griess), on obtient un colorant azoïque rouge stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité à 520 nm.

Réactifs :

Pour la préparation des réactifs et des solutions étalons, on utilise une eau distillée exempte de nitrites, qu'on obtient facilement après passage sur un lit mélangé de résines (1 volume de résine cationique + 2 volumes de résine anionique).

Solution d'acide sulfanilique:

- 1,2 g d'acide sulfanilique.
- 140 ml d'eau distillée chaude.
- Refroidir et ajouter 40 ml d'acide chlorhydrique concentré.
- Diluer avec de l'eau distillée Q.S.P 200 ml.

Solution d' α -naphthylamine:

- 1,2 g d' α -Naphthylamine.
- 2 ml d'acide chlorhydrique.
- Eau distillée Q.S.P 200 ml.

Cette solution se conserve environ 1 semaine, bien que se décolore et précipite. Une conservation à basse température prolonge la durée d'utilisation.

Solution tampon d'acétate de sodium:

54,4 g d'acétate de sodium $\text{NaCO}_2\text{-CH}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ (ou 32,8 g de sel anhydre). Eau distillée Q.S.P 200 ml

Solution d'E.D.T.A à 5g/L:

Destinée à complexer le fer et les métaux lourds qui peuvent provoquer des interférences.

Solution étalon des nitrites à 100 mg/L:

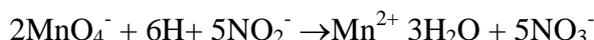
Le nitrite de sodium (NaNO_2) est un sel très soluble dans l'eau. Il fond à 271°C . Il s'oxyde rapidement à l'humidité. Il convient donc de s'assurer de la bonne qualité du produit avant son emploi. Les solutions de nitrite sont relativement peu stables en milieu acide et en présence de certaines bactéries. 150 g de nitrite de sodium. On les conserve en y ajoutant 1ml/l de chloroforme. Eau distillée Q.S.P 1000ml

Solutions étalons:

Prendre successivement 1 ; 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 ml de la solution à 1 mg/l de NO₂ et compléter par de l'eau distillée à 50 ml. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement 0,02 ; 0,04 ; 0,08 ; 0,12 ; 0,16 et 0,20 mg/L de NO₂⁻.

Titration de cette solution de nitrite:

Le nitrite est oxydé au moyen d'un excès de permanganate. L'excès d'oxydant est ensuite dosé par iodométrie.



- 10 ml de permanganate de potassium KMnO₄ à 0,01 N.
- 2 ml d'acide sulfurique au 1/2.
- 20 ml de solution de nitrite.
- 5 ml d'iodure de potassium KI à 10%.

Soit V le volume de thiosulfate de sodium nécessaire pour l'échantillon et V₀ le volume trouvé pour un témoin effectué avec de l'eau distillée.

Concentration de nitrite en mg/L = (Titre du thiosulfate de sodium x (V₀ - V) x 23000) / PE

A partir de cette solution de nitrite, on prépare une solution à 1 mg/L de NO₂.

Mode opératoire :

Si l'échantillon est coloré par des acides humiques, on l'acidifie par l'acide sulfurique (1ml/L d'acide sulfurique) et on filtre.

- 50 ml de prise d'essai ;
- 1 ml de solution d'E.D.T.A ;
- 1 ml d'acide sulfanilique ;
- Agiter et attendre 10 mn ;
- 1 ml d'α-naphtylamine ;
- 1 ml de la solution de tampon acétate ;
- Agiter et attendre 30 mn ;
- Effectuer la mesure colorimétrique à 520 nm.

III. 1.12. Dosage des phosphates (PO_4^{-3}):

Principe :

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium $\text{Mo}_7(\text{NH}_4)_4\text{H}_2\text{O}$, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développent une coloration bleue pouvant être dosée colorimétriquement à une longueur d'onde de 710 nm.

Réactifs :

- **Solution d'acide ascorbique à 10 gr/L:**
 - 10 g d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$).
 - Eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- **Solution molybdate d'ammonium:**

Solution A:

Dissoudre 25 g de molybdate d'ammonium $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ dans 100ml d'eau distillée.

Solution B:

Ajouter à 400 ml d'eau distillée 280 ml d'acide sulfurique concentré. Après refroidissement, mélanger les solutions A et B puis compléter par de l'eau distillée à 1000 ml.

- **Solution mère de phosphate (PO_4^{-3}) à 1gr/L:**

Dissoudre 1,432 mg de phosphate dihydrogénopotassique (KH_2PO_4) (desséché au préalable à l'étuve à 100°C) dans 1000 ml d'eau distillée.

- **Solution de PO_4^{-3} à 10mg/L :**

Placer dans une fiole jaugée de 1000 ml, 10 ml de la solution mère et compléter par de l'eau distillée jusqu'à atteindre le trait de jauge.

- **Solutions étalons :**

Prendre successivement les volumes (voir tableau) de la solution à 10mg puis compléter à 50 ml par de l'eau distillée ; les concentrations correspondantes sont mentionnées sur le tableau suivant :

Tableau 4 : Concentration de PO_4^{-3} en fonction de volume

V (ml)	2.5	5	7.5	10	15	20
$[\text{PO}_4^{-3}]$ mg/l	0,5	1	1.5	2	3	4

Mode opératoire :

Au moment du dosage mélanger la solution molybdique et la solution d'acide ascorbique dans les proportions suivantes :

- 3 volumes de la solution molybdique,
- 1 volume de la solution de l'acide ascorbique ;

Effectuer la réaction dans des tubes à essai

- 20 ml prise d'essai dans des tubes à essai,
- 5 ml des réactifs mélangés,
- Porter au bain marie à 80°C durant 10 mn,
- Laisser refroidir puis mesurer l'absorption à une longueur d'onde de 710 nm ;

Remarque : pour calculer les volumes des solutions à mélanger, tout d'abord il faut compter le nombre de tubes à essai utilisés pour préparer le volume nécessaire, puis multiplier ce nombre par 5 (volume du réactif qu'il faut ajouter à chaque échantillon), enfin il deviendra facile de calculer les volumes des réactifs qu'il faut mélanger selon les proportions dites précédemment.

**Figure 30.** La concentration en phosphate dans les échantillons

III. 1.13. Dosage des matières organiques par oxydabilité au permanganate

L'oxydabilité au permanganate consiste en l'oxydation modérée par le permanganate des matières réductrices dans l'eau. Le permanganate oxyde de préférences les matières organiques d'origines végétales en milieu acide et celles d'origine animale en milieu basique. Or celles-ci sont les plus susceptibles d'indiquer une pollution humaine ou animale, donc une eau dangereuse pour la consommation. Une eau est suspecte à partir de 2 à 3 mg d'oxygène consommé par litre d'eau en milieu alcalin, ou 3 à 5 mg en milieu acide.

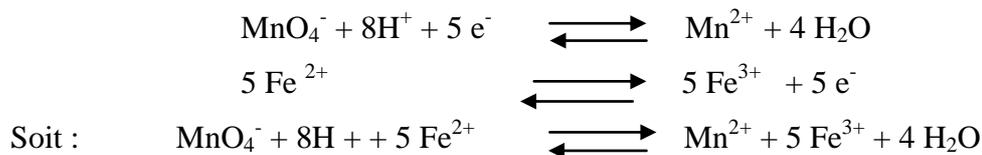
Principe

-Oxydation en milieu acide:

On oxyde l'échantillon par un excès connu de permanganate de potassium, en milieu acide et à chaud :



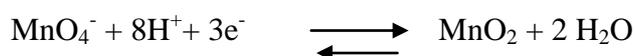
Le permanganate n'ayant pas réagi est réduit par un excès connu de sulfate ferreux ammoniacal :



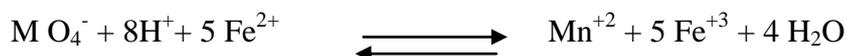
L'excédent de sulfate ferreux est titré par le permanganate. la réaction étant incomplète, la reproductibilité des résultats est particulièrement sensible à la rigueur des conditions opératoires. Le degré d'oxydation des matières organiques dépend du rapport des concentrations du permanganate MnO_4^- et de sa forme réduite Mn^{2+} . on rend ce rapport pratiquement constant en diluant la prise d'essai, de telle sorte que la quantité de permanganate introduite soit en net excès par rapport à celle du permanganate consommé. L'expérience a montré que le permanganate consommé ne devait pas excéder les 20 % du MnO_4^- introduit, pour obtenir des valeurs reproductibles.

-Oxydation en milieu basique

On oxyde l'échantillon par un excès connu de permanganate dilué en milieu faiblement basique et à chaud :



Après oxydation, on refroidit et on se replace en milieu acide avant d'ajouter un excès connu de sulfate ferreux ammoniacal. Celui-ci réduit permanganate n'ayant pas réagi.



L'excédent de sulfate ferreux est titré par le permanganate .les observations précédentes s'appliquent en milieu basique.

Réactifs :

Solution d'acide sulfurique au 1/2.:

Solution de permanganate de potassium N/20.:

- 1,58 g de permanganate de potassium(KMnO₄).
- Eau distillée Q.S.P 1000ml.

Solution de permanganate de potassium n/80:

Préparer à partir de la solution de permanganate de potassium N/20 que l'on dilue 4 fois.

Solution de sulfate ferreux ou sel de MOHR N/80:

- 4,9 g de sulfate ferreux Fe SO₄ (NH₄)₂SO₄ 6H₂O.
- 5 ml d'acide sulfurique concentré.
- Eau distillée Q.S.P 1000 ml.

Solution de bicarbonate de sodium a 10%:**Mode opératoire :**

-Milieu acide

- Mettre dans un erlenmeyer
- 100ml d'eau à analyser
- 10ml d'acide sulfurique au 1/4

Porter à ébullition pendant 10 minutes et ajouter dans les solutions bouillantes 10ml de la solution de KMnO₄ précédemment diluée N/80.

Refroidir rapidement et ajouter 10 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80

Doser l'excès de sulfate ferreux par du permanganate du témoin (eau distillée).

Si on trouve O₂ >3.5 mg/l, recommencer en diluant l'échantillon.

-Milieu basique

- Mettre dans un erlenmeyer
- 100 ml d'eau distillée
- 5ml de solution à 10% de bicarbonate de sodium
- Porter à l'ébullition
- Ajouter 5 ml de KMnO₄ N/20
- Porter à ébullition pendant 10 minutes.

-Refroidir rapidement et ajouter 5 ml d'acide sulfurique au ½, puis 20 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80 de titre exact.

Utiliser la même dilution qu'en milieu acide.

$$O_2 \text{ mg/L} = 3/5 (V - V_0) = 0.6 (V - V_0)$$

Calculs :

A) oxydabilité en milieu acide:

Tableau 5 : Calculs oxydabilité

	Oxydant	Réducteur	Equation correspondante
Dans l'échantillon	5ml de MnO_4 N/20 + V1 ml de MnO_4 N/80	100 ml d'échantillon de titre x en matières réductrices+20 ml de sulfate ferreux N/80	$(5 \times 1/20) + (V1 \times 1/80) = (100 \times X) + (100 \times 1/80)$
Dans le témoin	5ml de MnO_4 N/20 +V2 ml de MnO_4 N/80	100 ml d'eau distillée +20 ml de sulfate ferreux N/80	$(5 \times 1/20) + (V2 \times 1/80) = (100 \times X) + (20 \times 1/80)$

Au point équivalent se trouve en équilibre

$$D'où : (20 \times 1/80) = (5 \times 1/20) + (V1 \times 1/80) - (100 \times X) = (5 \times 1/20) + (V2 \times 1/80)$$

$$X = 1/8000(V1 - V2)$$

Comme un équivalent gramme d'oxygène = 8000 mg d'oxygène

$$O_2 \text{ mg/L} = V1 - V2$$

B) oxydabilité en milieu alcalin:

On utilise la même solution de permanganate. Sachant qu'une solution normale de permanganate en milieu acide devient 3N/5 en milieu alcalin, la formule précédente devient :

$$O_2 \text{ mg/L} = 0.6 (V1 - V2)$$



Figure 31. La concentration de matière organique dans les échantillons

IV.1. Introduction

Dans toutes ressources d'eaux potables, il est nécessaire d'effectuer des analyses d'eau brute (la sortie) afin de déterminer les différents paramètres physicochimiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque point de prélèvement durant son écoulement le long des galeries de Foggara d'Adrar. L'objectif principal de ce travail est de faire un contrôle de la qualité des eaux de Foggara dans la région de Bouda aux différents puits du processus de l'écoulement d'eaux en vue d'un meilleur respect des normes de potabilité.

IV.2. Résultats et discussions

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire ANRH d'Adrar.

IV.2.1. Résultats du pH, carbonates (CO_3^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-), OH^-

Tableau 6. Résultats des du ph et bicarbonates

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E 2017
pH (S/cm)	08	08.09	07.89	07.89	7.68
Bicarbonate HCO_3^- (ms/cm)	122	152.5	152.5	152.5	122

Observation:

Les résultats d'analyses du pH trouvés sont presque égaux, et le pH est basique pour tous les échantillons.

- Nous concluons que la valeur du pH est proportionnelle au champ spécifié.
- Depuis: $\text{pH} > 8$, les carbonates sont nuls, Mais le bicarbonate existe à la valeur supérieur de 122 et cela n'affecte pas l'humain malgré la hausse.

La proportionnalité du pH avec la température peut être expliquée par la quantité de CO_2 (responsable de l'acidité dans l'eau), qui s'évapore à l'augmentation de la température. Ce qui diminue donc l'acidité et augmente le pH. Dans le cas d'une eau à faible pH, le chauffage laisse s'évaporer le CO_2 et donc augmente le pH.

On conclut que les résultats d'analyses sont adéquats aux normes des eaux potables, et même les valeurs sont presque identiques à celles de l'année 2017(E 2017)

IV.2. Résultats de la mesure de la conductivité électrique

Observation: on observe la conductivité électrique est La valeur de la mobilité est faible .

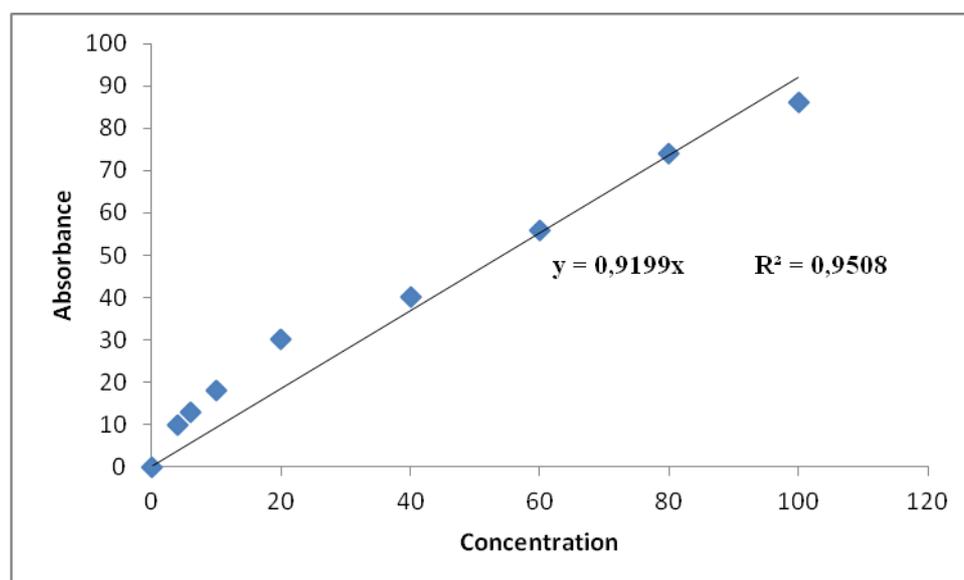
Tableau 7. Résultats de conductivité

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E 2017
Cond (mS/cm)	2,27	2,74	2,74	2,74	2,31

Après avoir mesuré la mobilité, nous avons remarqué que sa valeur est inférieure à la valeur potentielle, ce qui indique que cette eau est pauvre en sels dissouts (la quantité des ions qui transportent le courant est faible). Donc les eaux sont douces.

La conductivité de notre échantillon est supérieure à 2 ms/cm. Ce qui fait que cette eau est minérale.

IV.3. Résultats du dosage du calcium/magnésium du calcium par complexométrie

**Figure 32.** Courbe d'étalonnage de Ca**Tableau 8.** Résultats de calcium et magnésium du calcium

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E 2017
Mg ²⁺ (mg/L)	80	82.5	82.5	82.5	75
Ca ²⁺ (mg/L)	136	120	120	120	120

Observation: Nous concluons que les valeurs de calcium et de magnésium sont faibles.

Notez que la valeur du calcium et du magnésium est faible et presque égale à celle de l'année 2017. Cela est dû au manque de chaux et de roches calcaires dans l'eau. Les normes d'eau potable dépassent les résultats trouvés donc notre eau est douce et pas dure.

IV.4. Résultats du dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme

Observation :

On remarque que la teneur en sodium est modérée, contrairement à la teneur en potassium en comparant avec les normes et même les résultats d'E-2017 qui restent toujours identiques à celle mesurées au paravent.

Tableau 9. Résultats de sodium et du potassium

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Sodium "Na" (mg/L)	200	300	325	319	254
Potassium "K" (mg/L)	20	20	28.9	25.9	16

Notez que la valeur du potassium est élevée et que la valeur potentielle est modérée contrairement à la valeur potentielle du sodium. Cela indique le manque de salinité de l'eau.

IV.5. Résultats des du dosage des chlorures:

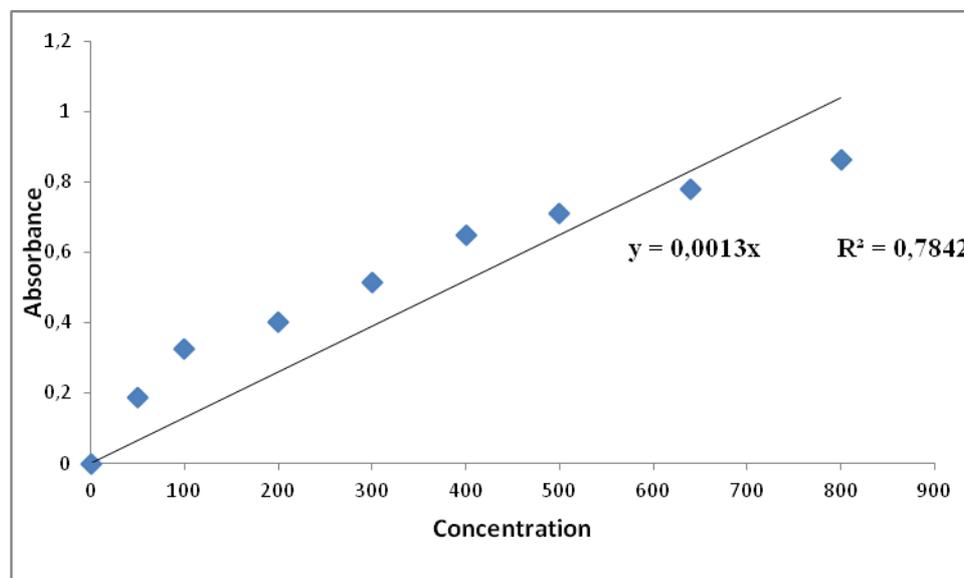


Figure 33. Courbe d'étalonnage de chlorures

Observation : La valeur de chlore est plus faible que la valeur potentielle .

Tableau 10. Résultats des chlorures

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4
Chlorures "Cl"	297.7	450	550	447.75

Notez que la valeur du Chlorures est modérée

IV.6. Résultats du dosage des sulfates:

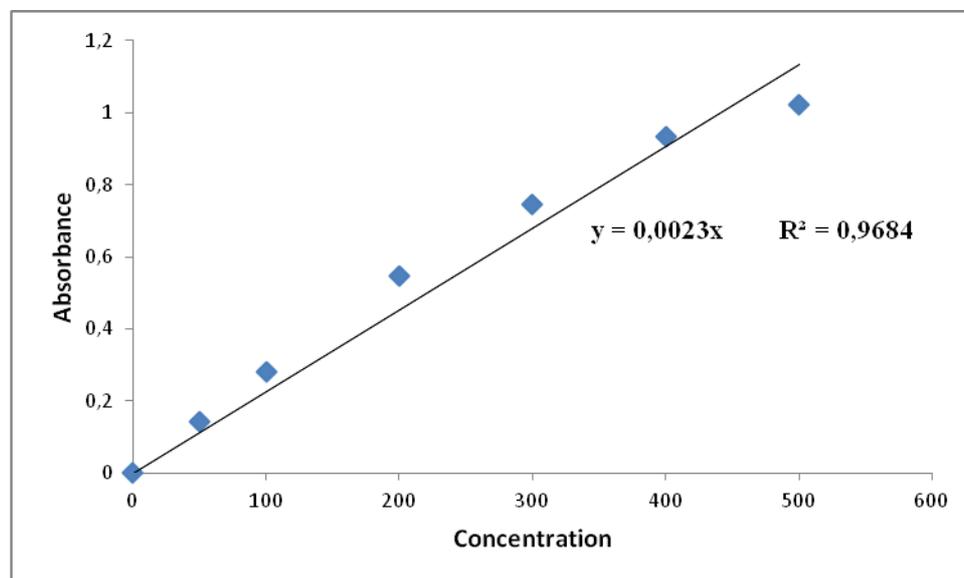


Figure 34. Courbe d'étalonnage de sulfates

Tableau 11. Résultats de sulfates

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
sulfates "SO ₄ "	469.35	480	437.37	539.39	400

Observation

Après avoir analysé l'échantillon, nous avons constaté que la valeur était trop élevée par rapport à la valeur potentielle.

IV.7. Résultats de la détermination du résidu sec

Observation :

Nous avons observé une grande proportion de dépôts de sels minéraux au fond de la capsule .

Tableau 12. Résultats de résidu sec

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Résidu sec (mg/L)	1407	1698	1698	1700	1440

La détermination du résidu sec dans l'eau de foggara permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau.

D'après les résultats obtenus, la valeur de résidu sec varie entre 1407 mg/L et 1700 mg/L, même pour l'E-2017. Pour l'eau de foggara, analysé on a avec une moyenne de 1625,75 mg/L, donc les résultats dépassent les normes de potabilité (1500 mg/L). Ces résultats reflètent que ces eaux sont très riches en minéraux.

IV.8. Résultats de la turbidité :

Tableau 13. Résultats de la turbidité

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Turbidité	3,7	3,6	3,6	3,6	-

Observation :

Après l'analyse, il nous est apparu que cette eau n'était pas trouble et qu'elle correspondait à la valeur potentielle.

IV.9. Résultats de dosage de l'azote ammoniacal:

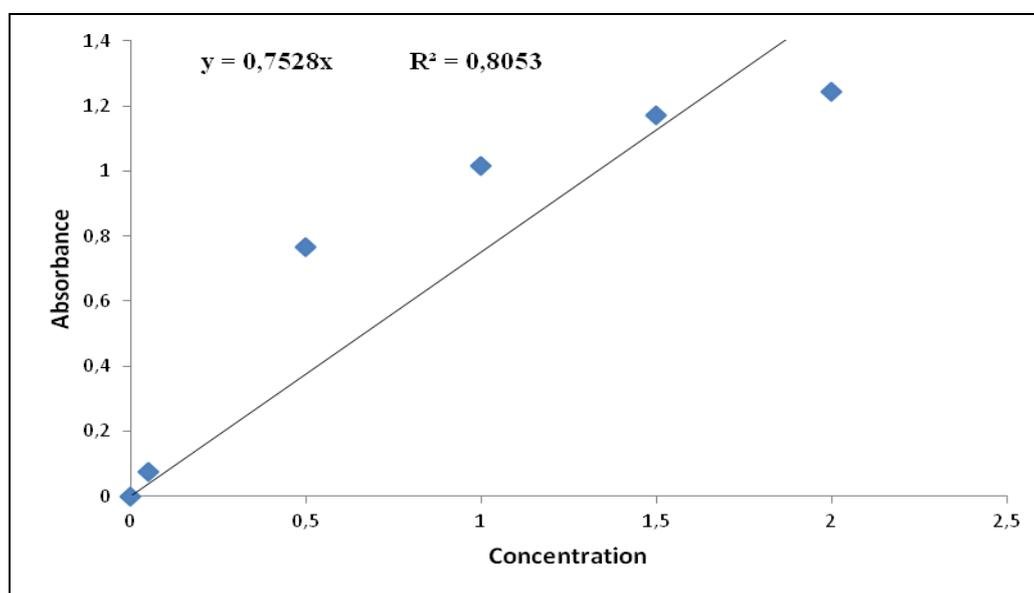


Figure 35. Courbe d'étalonnage de Ammonium

Tableau 14. Résultats de Ammonium

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Ammonium NH_4^+	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0

Observation :

D'après les résultats, les valeurs de l'Ammonium sont inférieure a la celle des normes, alors notre eau contient des faibles traces d'ammonium NH_4^+ et même l'échantillon E-2017 donne les mêmes valeurs.

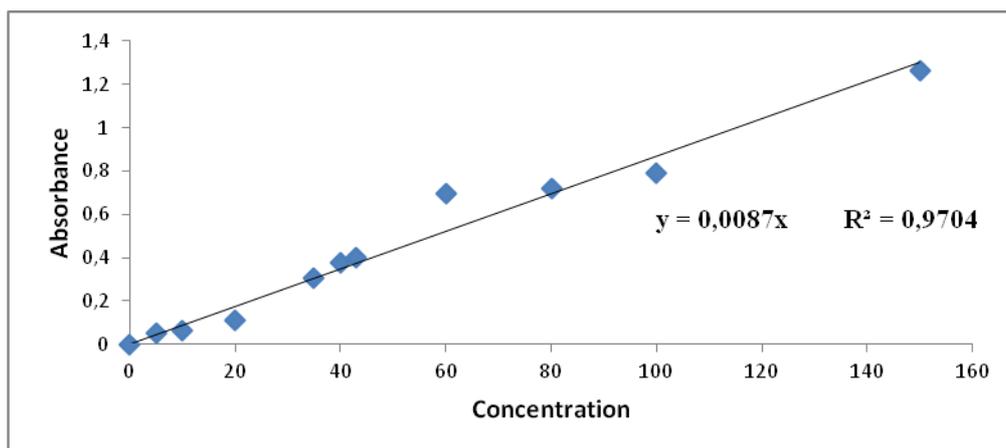
IV.10. Résultats du dosage des nitrates:

Figure 36: courbe d'étalonnage des nitrates

Observation :

Tableau 15. Résultats des nitrates

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Nitrate NO_3^- (mg/L)	75.07	78.2	86.81	86.81	40.90

Après expérimentation, on constate que la valeur en nitrate est relativement élevée par rapport à la valeur potentielle et ça peut être due à certains engrais agricoles qui sont lessivés dans le sol et donc dans les eaux souterraines, Ou aux produits de nettoyage résultant d'une fuite des eaux usées.

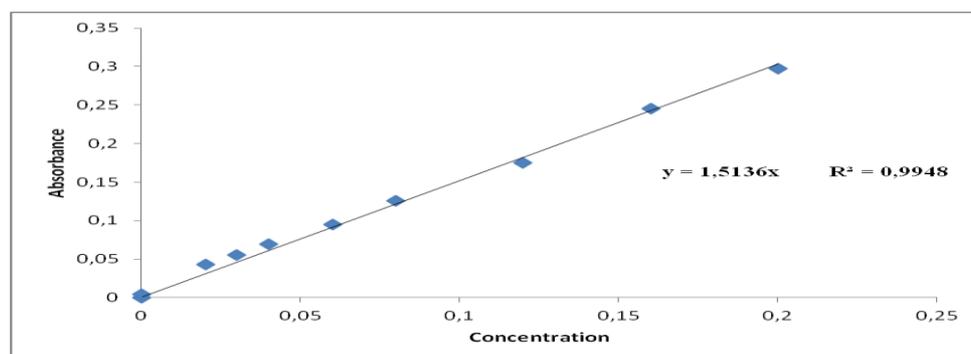
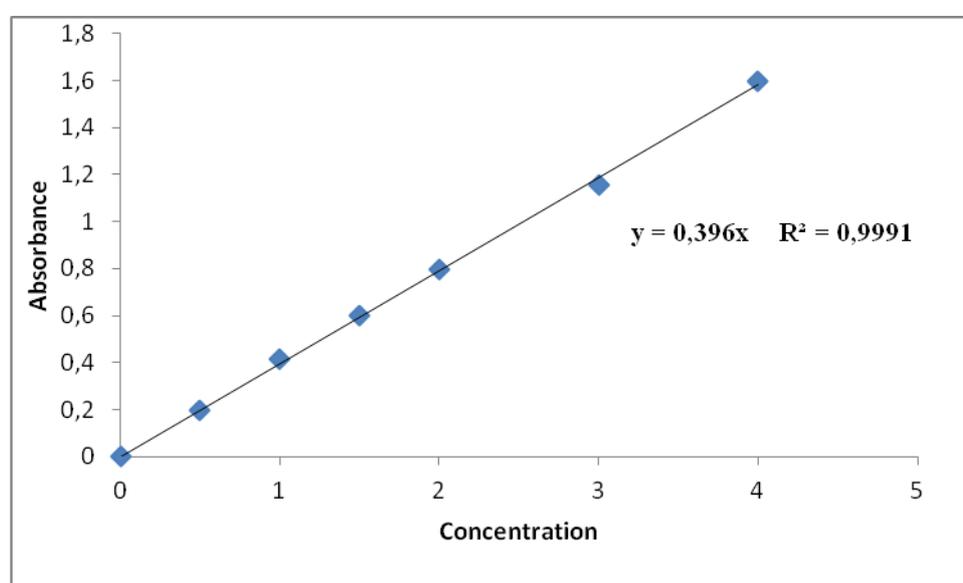
IV.11. Résultats du dosage des nitrites

Figure37. courbe d'étalonnage des nitrites

Observation :**Tableau 16.** Résultats des nitrites

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Nitrite NO ₂ ⁻	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0

Après les résultats des expériences, nous avons observé que la valeur en nitrite était acceptable et qui est inférieure à 200 mg/L.

IV.12. Résultats du dosage des phosphates (PO₄⁻³):**Figure38.** courbe d'étalonnage des phosphates**Observation :**

On remarque que la valeur de concentration de phosphate est très faible presque nul.

Tableau 17. Résultats des phosphates

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Phosphate PO ₄ ⁻	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0

IV.2.13. Résultats du dosage des matières organiques par oxydabilité au permanganate

Observation :

Nous avons observé qu'après l'expérience, le placenta obtenu était proportionnel à la valeur potentielle. Et les résultats sont inférieurs à 5, ce qui indique que notre eau est potable.

Tableau18.Résultats des matières organiques

Dosage	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	E-2017
Matières organiques mg/L O ₂	3,1	2	1,3	1,3	0

Conclusion Générale.

Les zones arides et semi arides connaissent une reconstruction importante de la population, les précipitations sont quasi inexistantes. La forte augmentation de la température, surtout en été, fait que les oasis qui se concentrent dans les centres de population au milieu des zones désertiques n'ont de vie, sauf en fournissant une source d'eau.

L'eau est la base de la vie pour tous les êtres vivants. La foggara est un système d'eau en ligne avec le climat sec du désert. C'est l'une des ressources en eau les plus anciennes de la région et à ce jour. C'est la ressource en eau la plus importante pour les agriculteurs du secteur traditionnel.

La chimie des eaux se caractérise par une grande variabilité dans l'espace. Elle augmente vers l'exutoire de la nappe dans la région d'étude (la source de Bouda) sous l'influence du substratum argileux de la nappe de continental intercalaire par l'interaction eau/roche, ainsi que les eaux caractérisées par une dureté totale élevée.

Après avoir procédé à l'analyse physique et chimique de l'eau, nous en concluons que le pourcentage des éléments indésirables (phosphate, nitrite, matière organique ...), Respecte les valeurs potentielles, la salinité de l'eau de foggara " djidida" est élevée et les résultats montrent une augmentation des nitrates, pas le sel. Les valeurs des nitrates obtenues après analyses, varient entre 75,07 mg/L et 86,81 mg/L pour les 4 échantillons, on constate que les taux de nitrates ont augmenté considérablement au niveau de la galerie par rapport aux eaux analysée en 2017 (E-2017). Le nitrate en lui-même n'est pas toxique. C'est la transformation des nitrates en nitrites qui peut, potentiellement, avoir un impact négatif sur la santé. Dans le sang, la présence de ces nitrites peut en effet provoquer la formation de « méthémoglobine », une forme d'hémoglobine incapable de transporter l'oxygène. Chez l'adulte sain, l'acidité gastrique réduit le développement de la flore bactérienne et donc la formation de nitrites.

Pour cela il faut avertir les habitants de la région que l'eau de foggara est toxique car elle est minérale donc non potable. L'utilisation en raison forcée il faut qu'elle soit dans le domaine agricole.



zone d'étude (**commune Bouda**)



Limites de la wilaya d'Adrar

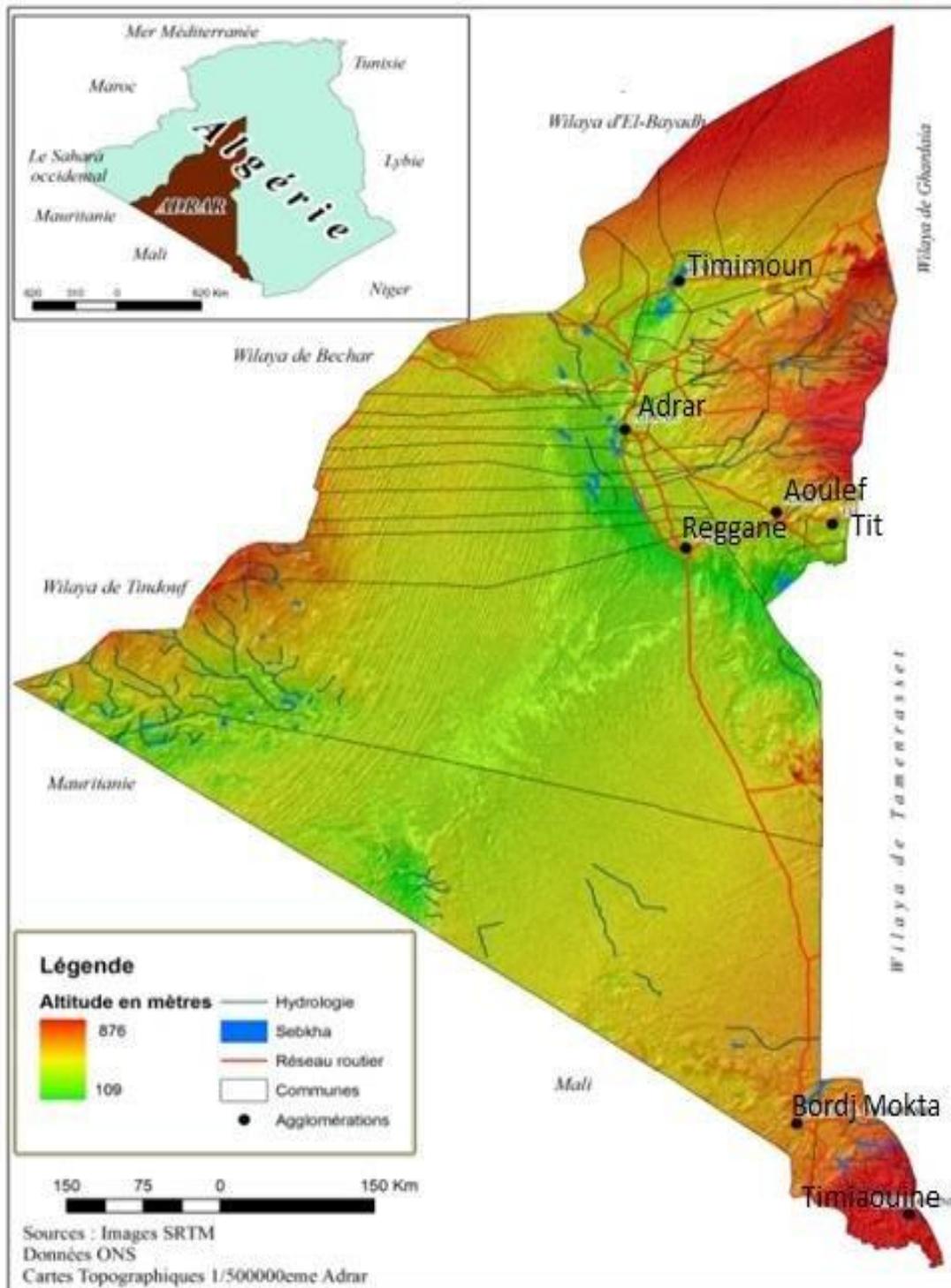


Limites intercommunales de wilaya d'Adrar

Localisation de région de commune Bouda_(wilaya_d'Adrar)



Localisation-géographique-de-la-wilaya-dAdrar



Localisation-géographique-de-la-wilaya-dAdrar