



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
جامعة قاصدي مرباح



Université de Kasdi Merbah Ouargla

كلية الرياضيات وعلوم المادة

Faculté de Mathématiques et Sciences de la matière

قسم الكيمياء

Département de Chimie

Mémoire présenté en vue de l'obtention d'un master académique De la
chimie

Spécialité : Chimie de l'environnement

Réalisé par l'élève : DJEBRIT Saliha

Titré :

La qualité d'eau de forage brute étude de cas la ville de
Ghardaïa

Soutenu publiquement le :

Devant le jury:

M .ZENKKRI Louiza	M .C.A	Univ.ourghla	président
M.HADEF Derradji	M.C.A	Univ.ourghla	Examineur
M.ZEROKKI Hayat	M.C.A	Univ.ourghla	Encadreur
M.BELFAR Mohamed Lakhdar	M .C.A	Univ.ourghla	Co-Encadreur

Remerciements

*Avant tout, je remercie **DIEU** qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études. Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à l'égard de*

***M. ZERROUKI Hayat** mon encadreur qui a accepté de me encadrer et pour ses conseils utiles qu'elle m'a apporté et d'avoir dirigé ce travail.*

*Mes remerciements vont aussi à **M. ZANKKRI Louiza** d'avoir m'aider, contribuer et d'accepter dans*

L'élaboration de ce travail

Mes remerciements vont également tous les administrations des structures que je suis visité

Mes remerciements aussi à tous les membres de jury.

Je remercie tous les membres de ma famille d'être avec moi.

Je remercie encore mes amis particulièrement pour la fidélité et l'amitié chaleureuse pendant la période universitaire qu'on garde les meilleurs souvenirs. Tous ceux qui m'ont aidé de près

Ou de loin dans l'élaboration de ce modeste travail



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers Parents sans leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée

à réussir dans mes études. Je sais bien quel que soit les remerciements que je leurs adresse c'est peu, que Dieu les

Protège et leur donne la santé et une longue vie.

*Mes collègues de travail spécifiquement M. KARA IBRAHIM
ABD Allah le chef centre de l'ONA*

Mes adorables amis.

DJEBRIT Saliha

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les eaux

Introduction	4
I.1 Propriétés de l'eau	4
I.1.1 Propriétés chimiques de l'eau	4
I.2. Les différents types d'eaux destinées à la consommation humaine :	5
I.2.1.Eaux de surfaces :	5
I.2.2.Eaux souterraines :	5
I.2.3. Eaux de surface	5
I.3.Définition de l'eau potable :	7
I.4.Les paramètres physico-chimiques :	8
I.4.1.Les paramètres physiques	8
I.4.2.Les paramètres chimiques	9
I.4.4.Dureté	12
I.5.Normes de potabilité :	13
I.5.1.Normes de qualité des eaux de consommation :	15
I.6.Les Sources des eaux sahariennes :	16
I.6.1.Les systèmes aquifères du Sahara Septentrional (SASS) :	16
I.7. Système aquifère du Sahara septentrional :	19
I.7.1.Epaisseur du réservoir :	20
Conclusion :	22

Chapitre II : Généralités sur les techniques de forage

Introduction :	24
II .Les techniques de forage	24
II.1.La technique de Battage :	24
II.1.1.Les différents procédés de battage :	25

□ Avantages du battage :	27
□ Inconvénients du battage :	27
II.2.La technique de Havage :	27
II.2.1. Le forage peut être effectué :	27
II.3.La technique marteau fond de trou (MFT) :	28
II.4. La technique marteau fond de trou avec tubage d'avancement (ODEX):	28
II.4.1.Utilisée de cette technique:	29
II.5.La technique Rotary :	29
□ Avantage :	30
□ Inconvénients :	30
II.5.Nettoyage et désinfection.....	32
Conclusion:	33

Chapitre III : Présentation générale de la Wilaya de Ghardaïa

III. Présentation générale de la Wilaya de Ghardaïa :	35
III.1. La vallée de l'oued M'zab :	36
III .1.1. Les activités dans la vallée:	36
III.2. Présentation de Commune d'étude de chef-lieu de Ghardaïa :	37
III.2.1. Géologie et géomorphologie	37
III.2.2 .Cadre physique et climatique :	37
III .2.2.1.Paramètres climatiques de la région :	37
III.2.2.2.Climat et hydrographie.....	37
III.2.3.Aperçu géographique :	38
III.2.3.1.population :	38
Conclusion :	40

Chapitre VI :

Résultats et discussions

IV. Exploitation de la nappe du Continental Intercalaire (Albien) à Ghardaïa :	44
--------------------------------------------------------------------------------------	----

VI .1. Qualité des eaux de la nappe du CI de la région de Ghardaïa :	45
Conclusion :	47
Conclusion générale :	49
References bibliographiques :.....	51
Résumé :	

Liste des figures

Figure I. 1. Instrument de mesure multi paramètre de terrain (cliché mis par Belhadj et Yahia, 2018) [1].	8
Figure I. 2. Carte hydrogéologique du système aquifère du Sahara Septentrional	16
Figure I. 3. Carte hydrogéologique du système aquifère du Sahara Septentrional	18
Figure I. 4. Coupe hydrogéologique représenter les zone d’affleurement utile de l’aquifère CI.	19
Figure II. 1. Les différents de La technique de Battage [6]	25
Figure II. 2. Apparaît de battage (procédé à câble).	26
Figure II. 3. Dirigé les cuttings.	26
Figure II. 4. Schéma d’un forage correctement aménagé	Error! Bookmark not defined.
Figure III. 1. Bassin versant et réseau orographique du M’zab	36

Liste des tableaux

Tableau I. 1 Principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines. D'après [12].	6
Tableau I. 2: Principales différence entre eaux de surface et eaux souterraines. D'après [12].	14
Tableau I. 3. Normes OMS des paramètres bactériologiques pour l'eau potable (OMS, 2003).	15
Tableau I. 4. Historique des prélèvements (l/s) sur l'ensemble de la nappe albienne. (Tiré du rapport BNEDER, 1999).....	20
Tableau I. 5. Epaisseurs de la nappe du Continental Intercalaire dans quelques villes du Sud algérien.....	21
Tableau IV. 1. Concentration moyenne des éléments chimiques de l'eau de l'Albien et comparaison avec la réglementation nationale et de l'OMS. (ANRH, 2021).	46

Liste des abriviations

- AEP** : Alimentation en Eau Potable.
- D R E** : la Direction de Ressource en Eau.
- ANRH** : Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques.
- ONM** : l'Office National Météorologique
- ONA** : l'office National d'assainissement
- ETP** : Evapotranspiration potentielle.
- ETR** : Evapotranspiration réelle.
- EXD** : Excédent.
- OMS** : Organisation Mondiale de la Sante.
- CT** : Le Complexe Terminal
- CI** : Le Continental Intercalaire
- °C: Degré Celsius
- ADE**: Algérienne des eaux
- GPS**: Global Positioning System
- OMS**: Organisation Mondiale de la Santé
- ORGM**: Office national de Recherche Géologique et Minière

Introduction générale

Introduction générale

Depuis l'indépendance, le ministère des ressources en eau a connu une évolution et des changements dans ses missions, et la gestion de l'eau est passée par plusieurs ministères. Ce point est très important pour comprendre comment la gestion et le management de l'eau se fait. Le Code de l'eau créé en 1983 représente l'élément fondamental de la gestion et l'utilisation des ressources en eau, et la loi de 2005 sur l'eau (Loi relative à l'eau : loi 05-12) consacre le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous, et définit les principes sur lesquels se fondent l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau. En 1996, l'Algérie a adopté une autre politique afin de garantir la gestion intégrée des ressources en eau, leur valorisation et durabilité. Cette politique a subdivisé le territoire algérien en cinq agences de bassin hydrographique et comités. Cette nouvelle politique de l'eau a commencé au début des années 2000 afin de réaliser des objectifs stratégiques :

- accroître et sécuriser la mobilisation de ressources en eau conventionnelles (renouvelables et fossiles) et non conventionnelles (dessalement et eaux usées épurées) ;
- améliorer l'accès à l'eau à travers la réhabilitation et l'extension des systèmes d'alimentation en eau potable et le renforcement de la qualité de service ;
- améliorer l'accès à l'assainissement et protéger les écosystèmes hydriques *via* la réhabilitation et l'extension des systèmes d'assainissement et la réalisation de nouvelles stations d'épuration ;
- soutenir la stratégie de sécurité alimentaire avec l'extension des zones irriguées.

Les principes de la nouvelle politique de l'eau repose sur :

- **unicité de ressource** : gestion unitaire à l'échelle du bassin hydrographique. Cette gestion sera assurée par les Agences de Bassin Hydrographiques ;
- **concertation** : qui se fait par le biais des comités de bassins hydrographiques ;
- **économie** : qui se fera par la lutte contre les fuites et le gaspillage de l'eau avec des objectifs basés sur le comptage systématique et la réhabilitation des réseaux ainsi que par la sensibilisation des usagers à l'utilisation de cette ressource ;
- **écologie** : l'eau est une ressource rare et un bien collectif à protéger contre toute forme de pollution ;
- **universalité** : l'eau est l'affaire de tous les usagers(**OMS.2004**).

L'eau est un élément naturel indispensable à la vie. C'est une richesse nécessaire à toute activité humaine, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause de surexploitations et mauvaise utilisation d'un forage pour l'alimentation la population ; irrigation et industriel. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Dans la ville de Ghardaïa, l'alimentation en eau potable des habitants et l'irrigation des cultures reposent sur l'exploitation des eaux souterraines des aquifères du Sahara Septentrional. L'un des enjeux majeurs pour la durabilité de l'utilisation de cette ressource est la qualité des eaux de certains aquifères.

La méthode le plus utilisé sue les régions de sud la rotation, c'est une méthode en vigueur .De nombreux travaux se sont aussi rapportés sur l'étude des différents type de foration et urbains et leur évaluation de la qualité d'eau d'un forage brute et les techniques de exploitation les eaux.

En Algérie, l'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en Irrigation et l'industrie.

La bonne qualité de l'eau destinée à la consommation constitue un élément très important pour la santé. Pour cela, elle ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes pathogènes, elle doit être non seulement saine mais dépourvue de tout risque qu'il soit de nature chimique ou microbiologique pour la santé du consommateur Donc comment évaluer la qualité de l'eau ? [1]

C'est dans ce contexte que e travail est dirigé, et qui d'est base sur la comparaison de la qualité physico - chimique et bactériologique de ressources souterraine d'eau potable ; l'eau de consommation de forage, le travail contient deux parties (Une partie théorique et une partie pratique). La première partie (théorique) est composée d'un seul chapitre :

Chapitre I : Généralités sur les eaux.

Chapitre II : Généralités sur les techniques de foration d'un forage

➤ La deuxième partie (pratique) comprend deux chapitres :

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

Chapitre III : Résultats et discussions.

Pour résumer le contenu de notre travail, une conclusion a été élaborée.

Chapitre I :

Généralité sur les eaux

Introduction :

L'eau, élément pouvant se retrouver sous trois formes (liquide, gazeuse et solide).

L'évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers provoque la formation dans la haute atmosphère, de nuages qui par condensation se transforment en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface du sol et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Une partie des eaux d'infiltration est reprise par la végétation qu'elle alimente avant d'être rejetée dans l'atmosphère, c'est l'évapotranspiration. L'autre partie s'accumule dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour, peuvent former des sources émergentes à la surface du sol [1].

Indispensable à la vie, catalyseur de nombreuses réactions chimiques, l'eau est également le principal agent d'érosion et sédimentation et donc un facteur déterminant de la formation des paysages. Le caractère banal de l'eau qui nous environne, fait parfois oublier que ce liquide qui nous est si familier s'avère en réalité par ses propriétés si particulières à la foi le fluide le plus indispensable à la vie et celui dont la complexité est la plus remarquable [5].

Ce chapitre est consacré à définir les différentes propriétés de l'eau (chimiques, organique, etc.), à souligner ses principaux source des eaux dans la région de sud Algérie.

I.1 Propriétés de l'eau :

Sur la terre, l'eau existe dans les trois états phases : liquide (eau proprement dite), solide (glace) gazeux (vapeur d'eau). Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau- glace, eau- vapeur, glace-vapeur selon les conditions de température et de pression [3].

I.1.1 Propriétés chimiques de l'eau :

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques.

La solvatation (ou action hydratante de l'eau) est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre, pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau, et forger ainsi

des nouvelles structures : il se produit une véritable réaction chimique (une solvation complète est une dissolution) [5].

I.2. Les différents types d'eaux destinées à la consommation humaine :

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont les eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lac naturels ou artificielles ou barrages) ou courantes (rivière) [10].

I.2.1. Eaux de surfaces :

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Ces derniers ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellements. Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organique. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique de type nitrates et pesticides [10].

I.2.2. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont les eaux du sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Ils sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable car plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de ressources aquifères appelées nappes [10].

I.2.3. Eaux de surface :

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants.

Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [5]. Le tableau (I.1) donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines.

Tableau I. 1 Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines. D'après [12].

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même Région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la Source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries, virus	Ferrobactéries fréquentes

I.3.Définition de l'eau potable :

Selon Hoffman et al. (2014), les eaux potables représentent l'ensemble des eaux dont les propriétés chimiques, bactériologiques, biologiques et organoleptiques les rendent propres à la consommation humaine. La plupart des eaux potables proviennent des eaux souterraines et des eaux de sources .Au sens de la loi n° 05-12 du 28 Jomada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau, on entend par eau de consommation humaine toute eau destinée à :

- La boisson et aux usages domestiques.
 - La fabrication des boissons gazeuses et de la glace.
 - La préparation au conditionnement et à la conservation de toutes denrées alimentaires.
- (art 111).

Et toute personne physique ou morale, de droit public ou privé, fournissant de l'eau de consommation humaine, est tenue de s'assurer que cette eau répond aux normes de potabilité et/ou de qualité fixées par voie réglementaire. (art112)

Plusieurs loi concernant la réglementation d'exploitation et de la protection, a déposer par la gouvernement algérienne, on poser la loi n° 05-12 du 28 Jomada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau, La présente loi a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale(art01).

Et le Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, En application des dispositions de l'article 112 de la loi n°05-12 du 28 Jomada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine ainsi que les modalités de contrôle de conformité(art 01).

Les paramètres de qualité fixés par le présent décret sont applicables à l'eau de consommation humaine définie à l'article 111 de la loi n°05-12 du 28 Jomada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, susvisée, à l'exception des eaux minérales naturelles, des eaux de source, des eaux dites eaux de table et des eaux thermales (art 02).

Les paramètres de qualité des eaux potable et leurs normes L'eau doit répondre à des critères de la qualité très stricte fixée par le ministre de la santé et le conseil supérieur du secteur d'hygiène publique [1].

I.4. Les paramètres physico-chimiques :

Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau souterraine en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau.

Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/l) [27].

I.4.1. Les paramètres physiques :

I.4.1.1. Température :

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée [26]

Les paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous, salinité, et conductivité) ont été mesurés sur le terrain (in situ) à l'aide d'un multi paramètre de terrain modèle HANNA 9828, son utilisation consiste à plonger la sonde appropriée dans un récipient qui contient l'échantillon d'eau, puis attendre quelque minutes jusqu'à la Stabilisation de l'affichage sur l'écran ensuite noter les résultats de la mesure [28].



Figure I. 1. Instrument de mesure multi paramètre de terrain [1].

I.4.1.2.Potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH mesurant l'acidité d'une solution, est défini par l'expression $pH = -\log H^+$ où (H^+) est l'activité de l'ion hydrogène H^+ dans la solution. Les équilibres physicochimiques sont conditionnés par le pH. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'alcalinité et la température, habituellement il varie entre 7,2 et 7,6. Il ressort que le pH n'a qu'un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes L'effet du pH du sol sur le transport des microorganismes pathogènes se manifeste principalement au niveau du processus d'adsorption [2].

I.4.1.3.La conductivité électrique :

La conductivité électrique d'eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Généralement l'on considère que la situation est particulière ou anormale au-delà de 2000 $\mu S/cm$ Elle constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau. Une conductivité élevée une quantité de sels dissous très importante [31].

I.4.1.4.Turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace [31].

I.4.2.Les paramètres chimiques :

I.4.2.1. Les ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate.

I.4.2.2.Les cations :

↳ Calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogencarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc.

↳ **Magnésium :**

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et il est présent dans la plupart des eaux naturelles. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel et aussi il est indispensable pour la croissance et pour la production de certaines hormones [29].

↳ **Potassium :**

Le potassium est le cation le plus abondant du liquide intracellulaire et joue un rôle important dans un grand nombre de fonctions cellulaires pour lesquelles les besoins de l'organisme par jour sont importants [29].

I.4.2.3. Les anions :

↳ **Sulfate :**

Les ions sulfates sont utilisés principalement dans l'industrie chimique. Ils sont rejetés dans l'eau à travers les déchets industriels. Cependant, les niveaux les plus élevés se produisent habituellement dans les eaux souterraines et proviennent de sources naturelles. Toutefois, dans les zones où l'approvisionnement en eau potable contenant des niveaux élevés de sulfate, l'eau potable peut constituer la principale source de consommation (OMS, 2003).

↳ **Les chlorures :**

Les chlorures présents dans l'eau potable proviennent des eaux usées et des effluents industriels. La principale source d'exposition humaine au chlorure est l'ajout de sels aux aliments. L'apport de cette source est généralement supérieur à celui de l'eau de boisson. Les concentrations excessives de chlorure augmentent les taux de corrosion des métaux dans le système de distribution, cela peut conduire à une augmentation des concentrations de métaux dans les systèmes d'alimentation en eau potable (OMS, 2003).

↳ **Alcalinité :**

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes [31].

I.4.3.3. Les éléments traces :

↳ **Fer :**

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg /litre. Le fer peut également être

présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine (OMS, 2003).

↳ **Les nitrites :**

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action de nitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique [31].

↳ **Les nitrates :**

Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates sont très répandus dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles. Les nitrates sont employés dans la fabrication des explosifs, dans l'industrie chimique comme oxydant, et comme conservateur dans les denrées alimentaires [27].

↳ **Manganèse :**

Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la brunîtes. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1mg/l en particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries [32].

↳ **Arsenic :**

L'arsenic est un élément naturel très répandu dans la croûte terrestre. Il est présent dans certaines réserves d'eau potable, y compris les puits. L'exposition à de fortes concentrations d'arsenic peut avoir des effets sur la santé, L'arsenic n'a ni goût ni odeur. Il est donc impossible de savoir si l'eau potable en contient. Parce que l'arsenic peut causer le cancer, il faut limiter le plus possible les concentrations d'arsenic dans l'eau potable [32].

↳ **Zinc :**

Le zinc est un oligo-élément essentiel qui se trouve dans presque tous les aliments et dans l'eau potable sous forme de sels ou de complexes organiques. Le régime alimentaire est normalement la principale source de zinc. Bien que les niveaux de zinc dans les eaux de surface et les eaux souterraines ne dépassent pas 0,01 et 0,05 mg /litre, respectivement, les

concentrations dans l'eau du robinet peut être beaucoup plus élevée à cause de la dissolution de zinc à partir de tuyaux (OMS, 2003).

↳ **Argent :**

L'argent se présente à l'état natif sous forme de minerai, ou associé à des minerais de plomb, d'or, de cuivre et de zinc. Il est pratiquement inexistant dans l'eau, et il arrive que la teneur soit élevée dans l'eau de robinet du fait de sa présence à l'état de traces dans certains accessoires de plomberie [31].

↳ **Cuivre :**

Le cuivre se présente dans la nature sous forme de minerai de cuivre natif. De minerais oxydés ou sulfurés, à l'air, il se recouvre d'une mince couche de carbonate basique [31].

I.4.4.Dureté :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO₃. Elle est aussi très souvent donnée en degrés Français [31].

I.4.4.1.Les paramètres bactériologiques :

L'eau potable ne doit pas contenir de micro-organismes pathogènes et doit être libre de bactéries indicatrices de contamination fécale.

I.4.4.2.Les coliformes totaux :

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des *Enterobacteriaceae*, correspondent à des bacilles Gram négatif, non sporulés, aéro/anaérobies facultatifs, possèdent des propriétés caractéristiques de structure et de culture à 35-37C°, ils sont sensibles au chlore.

I.4.4.3.Les coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de coliformes totaux, l'existence de ces germes peut être une indication de la présence des micro-organismes, comme les salmonelles. Un autre test peut fournir les mêmes indications que celles fournies par le dénombrement des coliformes fécaux, c'est le dénombrement des *E. coli* présumé.

D'*E. coli*: L'espèce la plus fréquemment associée aux coliformes fécaux est *E. coli* représente toutefois 80 à 90% des coliformes thermo-tolérants détectés. L'OMS (2004), n'énonce que la présence d'*E.coli*, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente [31].

Intérêt de la recherche et de dénombrement d'*E. coli*:

Selon l'OMS, l'indicateur le plus précis pour estimer la pollution fécale est en fait *E. coli*, en raison de son abondance dans les fèces humaines (jusqu'à 1 milliard de bactéries par gramme de matière fraîche), et de sa persistance pour être recherché (sa durée de détection dans l'eau à 20°C varie d'une semaine à un mois) [8].

I.4.4.4.Streptocoques fécaux (Les entérocoques) :

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale. et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. L'identification de streptocoques fécaux donnera une confirmation importante du caractère fécal de pollution.

Intérêt du dénombrement des streptocoques fécaux: L'apport d'entérocoques par rapport aux coliformes consiste en leur plus grande résistance dans les eaux naturelles. Leur présence serait donc le signe d'une contamination fécale de l'eau plus ancienne [31].

I.5.Normes de potabilité :

Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur, qui permet de protéger les personnes dont la santé est les plus fragiles.

Tableau I. 2: Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines. **D'après [12].**

Substances	Unité	Normes OMS	Normes algériennes
Turbidité	NTU	<2,5	<2
Température	C°	<25	<5
TA	mg/l	<15	<5
TAC	mg/l	<15	<
Calcium	mg/l	<270	<200
Magnésium	mg/l	<50	<150
Chlorure	mg/l	<250	<500
Concentration en ions hydrogène	PH	≥ 6,5 et ≤ 9,5	≥ 6,5 et ≤ 9
Dureté	mg/l de CaCO ₃	<500	<500
Conductivité à 20°C	μS/cm	<2100	<2800
Ammonium	mg/l	<0,5	<0,5
Potassium	mg/l	<20	<12
Aluminium	mg/l	<0,2	<0,2
Cadmium	μg/l	<3	<3
Cuivre	mg/l	<2	<2
oxygène dissous	O ₂	<6,5	Pas de valeur guide
Fluorure	mg/l	< 1,5 mg/l (jusqu'à 10)	<1,5
Fer	mg/l	<0,3	<0,3
Manganèse	mg/l	<0,4	<0,05
Nitrate	mg/l	<50	<50
Nitrite	mg/l	<0,1	<0,1
Oxydabilité	mg/l O ₂	<5	<5
Sulfate	mg/l	<400	<400
Zinc	mg/l	<3	<5
Phosphate	mg/l	<0,5	<0,5
Cyanure	mg/l	<0,07	<0,07
Résidu sec	mg/l	<1500	<2000

Tableau I. 3. Normes OMS des paramètres bactériologiques pour l'eau potable (OMS, 2003).

Variable	Concentration maximale admissible (eau désinfectée)
Coliformes totaux / 100 ml	0
Coliformes fécaux / 100	0
Streptocoques fécaux / 100 ml	0

I.5.1. Normes de qualité des eaux de consommation :

I.5.1.1. Les paramètres organoleptiques :

a. la couleur :

La couleur de l'eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution, elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. L'eau de boisson ne doit pas présenter une coloration qui dépasse 15 mg/l à l'échelle platine.

b. La turbidité :

La turbidité correspond, après filtration à 0.45 µm, aux particules fines présentes dans le filtrat, appelées colloïdes et qui rendent l'eau trouble. La turbidité exprime l'atténuation d'un faisceau de lumière blanche au contact de particules colloïdes. Elle est d'autant plus élevée que la densité des particules contenue dans l'eau est forte. Il existe plusieurs échelles pour la mesurer. Une des plus utilisées est l'unité NFU (Nephelometric Turbidity Unit). La turbidité des eaux alimentaires doit être inférieure à **1 NFU** au point de mise en distribution et inférieure à **2 NFU** au robinet du consommateur. Sa valeur considérée comme très forte pour des eaux de surface présentant une turbidité supérieure à 3 000 NFU. Les valeurs peuvent atteindre 10 000 NFU dans des bassins versants fortement érodés ou lors d'épisodes pluvieux. Dans ce cas le paramètre n'est plus significatif et il faut revenir aux MES.

La turbidité est également considérée comme un indicateur indirect du risque microbiologique, car certains microorganismes tels que les virus peuvent y être associés (par adsorption).

La turbidité d'une eau est l'inverse de sa transparence ; elle est due à la présence des matières en suspension dans l'eau. L'eau de boisson ne doit présenter une turbidité supérieure à **5 NTU**.

c. L'odeur :

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. La présence d'une odeur est un

signe de pollution ou de la présence de la matière organique en décomposition [34] .

I.6. Les Sources des eaux sahariennes :

I.6.1. Les systèmes aquifères du Sahara Septentrional (SASS) :

I.6.1.1. Définition de SASS :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes :

- la formation du **Continental Intercalaire**, CI, qui est la plus étendue et la plus profonde.
- celle du **Complexe Terminal**, CT, très sollicitée dans la région des Chotts algéro-tunisiens et dans le golfe de Syrte en Libye.

Ce Système recouvre une étendue de plus de un Million de km², dont 60% se trouvent en Algérie, un peu moins de 10% en Tunisie, et 30% en Libye. Ce bassin possède une envergure de 1800 km E-O et de 900 km N-S [28].

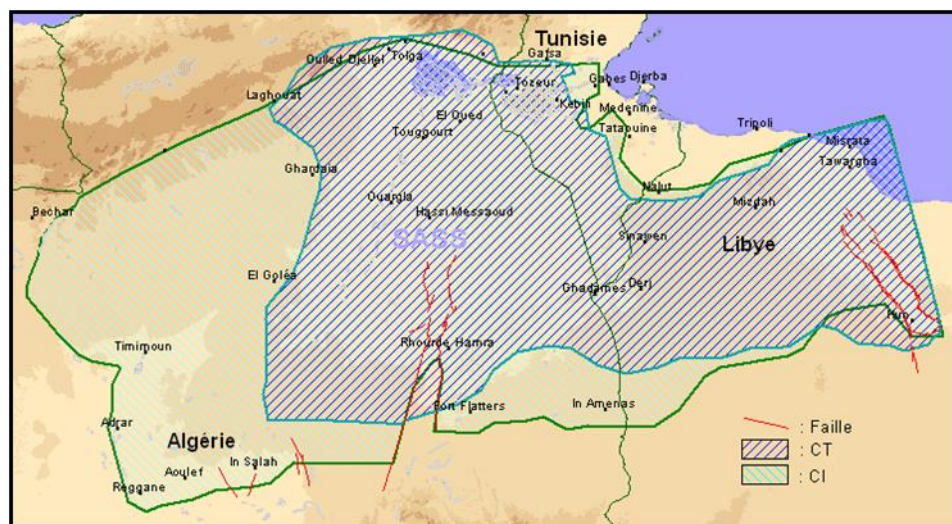


Figure I. 2. Carte hydrogéologique du système aquifère du Sahara Septentrional

I.6.1.2. La nappe phréatique:

Dans le Sahara sont présenter partout, et d'intérêt très important, peut exploiter pour l'irrigation de petites Oasis. Dans notre région d'étude, Sitent généralement dans les zones de dépressions creusé dans les sables de surface du Quaternaires renferment la nappe phréatique de l'Oued M'ya, qu'est présente partout à l'échelle de la région, sa frange capillaire affleure souvent sur la surface du sol, sous forme de petits chotts qu'on trouve de part, et d'autre de la vile d'Ouargla. Généralement d'épaisseur de 1à 8 m, déposé sur un niveau imperméable étendre, isolé à des nappe artésiennes de cuvette, puisque le taux de sel

contiennent les eaux de la nappe est élevée, l'exploitation de nappe est nul, ou la salinité des eaux de moins 50 g/l (ville Ouargla) la plus part est d'origine géologique (des formations gypseuses et argileuses). Leur alimentation provient essentiellement de :

- ✓ des rejets d'eaux usées d'origine domestique.
- ✓ de l'eau excédentaire liée à une irrigation irrationnelles des palmeraies.
- ✓ des eaux de ruissellement venant des parties hautes et des apports des crues des trois Oued dans la cuvette (N'sa, M'Zab, M'ya).

I.6.1.3.Le Complexe Terminal :

Le Bas-Sahara est caractérisées par l'absence de déformations tectoniques importantes, et les surfaces qui les limitent sont quasi horizontales ou ont de très grands rayons de courbure. Avec les formations du Turonien, du Sénonien, d'Eocène et du Mio-Pliocène, du Quaternaire ; qui sont les dernières formations déposées. Elles couvrent la majeure partie du territoire saharien septentrional.

Donc toute la série allant du Cénomaniens au Mio-Pliocène. Et les aquifères contenues dans les formations perméables, sont groupés sous le nom de « aquifère du Complexe Terminal »; un terme qui est utilisé pour désigner une unité hydrogéologique. C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion de Complexe Terminal, appellation publiée pour la première fois par Bel et Cuche (1969). Selon (Cornet, 1964 ; UNESCO, 1972), elles abritent trois aquifères:

- * **L'aquifère du Turonien,**
- * **L'aquifère du Sénonien et de l'Eocène carbonatés,**
- * **L'aquifère du Mio-Pliocène.**

Leur profondeur est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m, affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- A l'Est, le long du flanc oriental du Dahar.
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- A l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab [3] .

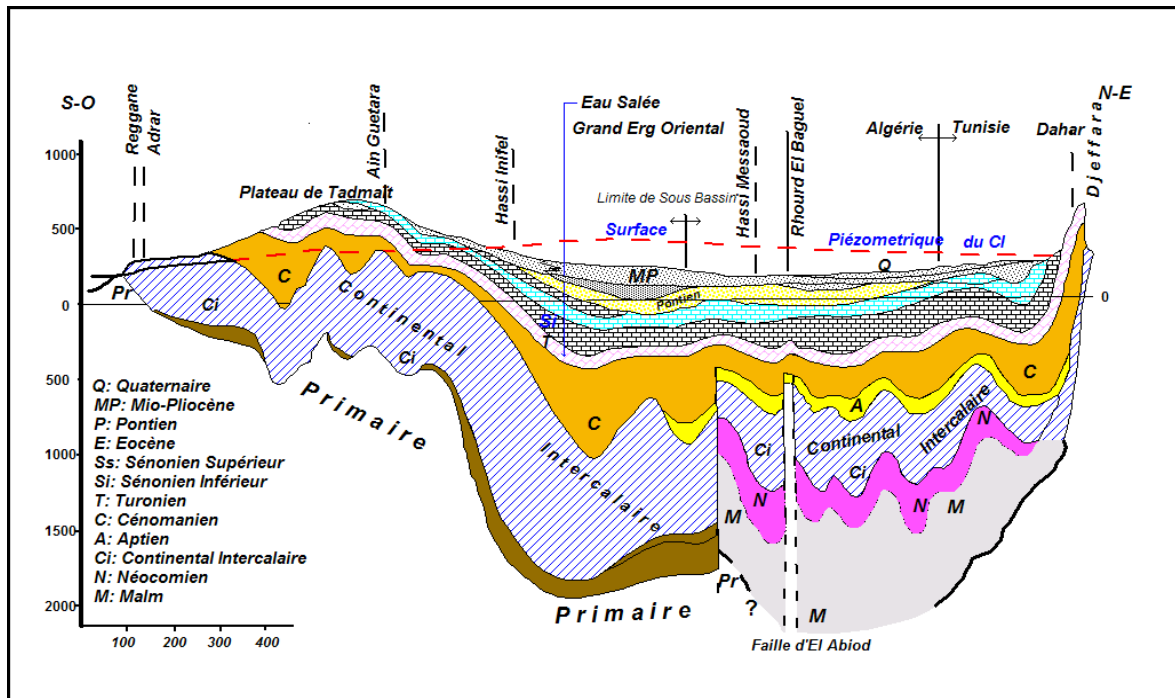


Figure I.3. Carte hydrogéologique du système aquifère du Sahara Septentrional

I.6.1.3. Les nappes du l'aquifère CT :

a. La nappe du Turonien :

Est un nappe de formation calcaire-dolomitique d'âge Turonien ; peut être considéré comme aquifère étendue. Au nord du Sahara oriental, Il devient imperméable dans l'extrême où il est très marneux. Sa faible potentialité et sa forte minéralisation (eau salée) ne lui confèrent une nappe moins exploitable [17].

b. La nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonatés :

Est un nappe contient dans les formations du Sénonien et d'Eocène carbonatés forment un seul et même ensemble litho-stratigraphique, formé de calcaire, dont l'épaisseur varie de 50 à 250 mètres. Cet aquifère est de faible perméabilité à l'échelle du bassin oriental du Sahara. Localement, comme à Biskra et à Ouargla et dans d'autres points du Sahara, la fissuration secondaire confère à cet ensemble des propriétés hydrogéologiques intéressantes.

c. La nappe du Mio-Pliocène :

Le Mio-Pliocène, dont épaisseur de 50 à 100 mètres, augmente dans la direction Sud-ouest / Nord-est. Est une formation globalement aquifère, exploitée un peu partout dans le Sahara septentrional,

La partie supérieure de cet aquifère est difficile à schématiser, suite au changement rapide du faciès ; plus argileux à l'intérieur du bassin [17].

I.6.1.4. Le Continental Intercalaire (CI) :

Continu dans des formations sableuses et argilo-gréseuse du Barrémien et de l'Albien. C'est l'un des aquifères les plus étendus de la planète. Il s'étend sur plus de 600 000 Km², dont l'une des particularités, est de constituer une ressource en eau souterraine fossile, puisque très peu alimenté avec les conditions climatiques actuelles.

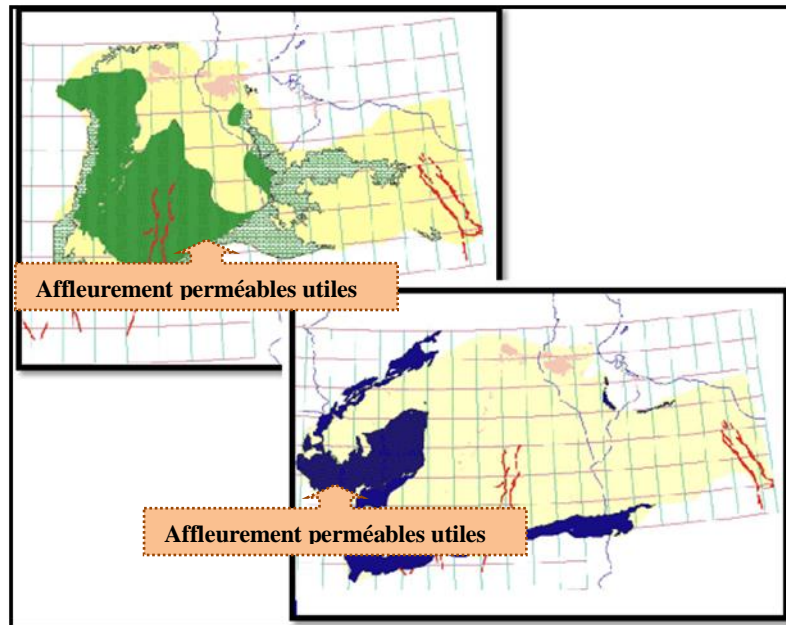


Figure I. 4. Coupe hydrogéologique représentant les zones d'affleurement utile de l'aquifère CI.

I.7. Système aquifère du Sahara septentrional :

Les besoins en eau sont en continuel 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 appareil 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 la Tunisie et la Libye. Sa superficie tel qu'elle est déterminée par l'agence de bassin hydrographique Sahara ABHS, est de l'ordre de 1 million de Km², répartie entre les trois pays comme suit :

- 650.000 km² en Algérie
- 250.000 km² en Tunisie
- 100.000 km² en Libye

Le nombre de points d'eau totale qui captent ces deux nappes est de 8 800. Dont :

- 3500 captant la nappe du Continental Intercalaire
- 5300 captent la nappe du complexe Terminal. Soit par pays :
- Algérie : 6500.
- Tunisie : 1200.
- Libye : 1100.

Le volume total de ce système aquifère est évalué à 60.000 milliards de m³, Il correspond à un débit fictif de 100 m³/s pendant 2000 ans.

Cependant son exploitation pose un certain nombre de problèmes comme :

- Difficultés d'exploitation dans les milieux désertiques (Ergs, plateaux chotts et sebkhas, représentent plus de 300 000 km².
- Profondeur élevée induit un coût élevé du forage.
- Une forte température de l'eau nécessite un équipement pour refroidir.
- Problèmes de la Corrosion et de l'entartrage du tubage.

Un historique des prélèvements soustraits sur l'ensemble de la nappe albienne par pays est représenté dans le tableau [3].

Tableau I. 4. Historique des prélèvements (l/s) sur l'ensemble de la nappe albienne. (Tiré du rapport BNEDER, 1999).

Pays	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1998
Algérie	2966	3296	3059	4581	5358	8910	15940	17248	16497
Tunisie	160	330	395	440	499	1469	1923	2040	2070
Libye	0	0	15	15	180	250	285	325	345
Total	3126	3626	3469	5036	6037	10629	18148	19613	18912

I.7.1.Épaisseur du réservoir :

Les nombreux forages hydrauliques qui ont traversé la totalité des formations secondaires nous ont permis d'établir le tableau(I.3) des épaisseurs moyennes de la nappe albienne sur différentes régions du territoire saharien.

Tableau I. 5. Epaisseurs de la nappe du Continental Intercalaire dans quelques villes du Sud algérien.

Régions	Epaisseurs (m)
Touggourt	500
El Oued	500
Ouargla	700
Ghardaïa	800
El Golea	600
Adrar	200
In Salah	300

Il semble à travers les forages consultés que les épaisseurs les plus importantes sont enregistrées à l'Est de la nappe albiene. Elles sont de l'ordre de 700 m, alors que les bordures ouest présentent des épaisseurs qui sont moyennes, de l'ordre de 300 m [17].

Conclusion :

Une eau destinée à la consommation humaine est considérée comme potable si elle répond à des exigences de qualité bien définies sur le plan de ses caractéristiques physico-chimique qui ne doivent pas porter atteinte à la santé du consommateur pour la qualité des eaux distribuées, on se réfère essentiellement à deux aspects :

✓ La satisfaction de l'utilisateur, subjective car fondée essentiellement sur la quantité organoleptique et visuelle : << L'eau doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. >> ;

✓ Et, surtout, la composition et sa compatibilité avec l'hygiène et la protection de la santé publique (qualité sanitaire).

L'eau de distribution publique est définie par des normes nationales découlant des travaux de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de directives européennes.

L'OMS dans ses directives établies en 1983 a regroupé les paramètres concernant la qualité de l'eau en cinq catégories :

- La qualité microbiologique ;
- Les composés inorganiques ayant une conséquence sur la santé ;
- Les composés organiques ayant une conséquence sur la santé ;
- La qualité esthétique (transparence, absence de coloration) ;
- Les constituants radioactifs,

Il importe ensuite à chaque pays d'établir sa propre législation, en fonction des critères locaux, en y incluant en particulier les données économiques.

Chapitre II :

Généralités sur les

techniques de forage

Introduction :

Les populations les plus éloignées des eaux de surface, comme les rivières, les lacs, les sources, sont venues très vite à la solution qui consiste à puiser l'eau dans le sous-sol qui s'y trouve tout naturellement.

Très anciennement, les puits étaient exécutés par les moyens manuels, certaines de ces techniques ont survécu jusqu'à nos jours. Par leurs simples matériels, la perforation s'effectue manuellement ; au moins avec trois ouvriers ; aux terrains plus ou moins tendres où elle s'achève à la rencontre de la première venue d'eau.

La plupart de ces simples techniques, dont je vais mentionner quelques-unes ailleurs, ne dépassent pas une dizaine de mètre de profondeur.

Grace à l'invention du moteur à vapeur qu'une machine de forage par battage mécanisé a vu le jour et a entamé avec curiosité la recherche d'eau. En gardant presque le même principe de forage, l'évolution de ces appareils s'est faite pour perforer plus vite, plus profondément et bien sûr moins chère.

Du forage par: Battage, Havage, Rotary à circulation inverse, Rotary à circulation directe, Marteau fond de trou, marteau fond de trou avec tubage d'avancement, et autre toute une panoplie de méthode de forage que chacune d'eux a des avantages et des inconvénients.

Le développement technologique et la nécessité d'exploration et d'exploitation des richesses naturelles des sous-sol sont à l'origine du perfectionnement de ces techniques de forage principalement celle du marteau fond de trou et celles de rotary.

II .Les techniques de forage

II.1.La technique de Battage :

C'est la technique la plus ancienne, utilisée par les Chinois depuis plus de 4000 ans (battage au câble), elle consiste à soulever un outil très lourd (trépan) et le laisser retomber sur la roche à perforer en chute libre. Le forage par battage ne nécessite pas de circuit d'eau ou de boue, et seul un peu d'eau au fond de forage suffit.

Il est tout indiqué pour les terrains durs surtout lorsque le terrain dur est en surface (ça permet pas d'utiliser suffisamment de poids en Rotary) comme en terrains karstiques ou fissurés (pas de risque de perte de boue).

Le battage se produit par le mouvement alternatif d'un balancier actionné par un arbre à came (ou bien un treuil : cylindre horizontal). Après certain avancement, on tire le trépan et on

descend une curette (soupape) pour extraire les déblais (éléments broyés : cuttings). Pour avoir un bon rendement, on travaille toujours en milieu humide en ajoutant de l'eau au fond de trou. Le foreur de métier garde une main sur le câble et l'accompagne dans sa course, ce qui lui permet de bien sentir l'intensité des vibrations sur le câble ; et lorsque le fond de trou est encombré par les débris, celui-ci sera nettoyé par soupapes à piston ou à clapet [13].

II.1.1. Les différents procédés de battage :

✚ Le procédé Pennsylvanien (procédé à câble) :

Où le trépan est à accrocher directement au câble sous une masse tige (tige très lourde), il est bien développé aux USA.

✚ Procédé Canadien :

Dans ce cas, le trépan est fixé sous un train de tiges pleines. Il est surtout utilisé dans l'Europe de l'est.

Procédé Raky (s'appelle aussi battage rapide) : Utilise des tiges creuses avec circulation d'eau.

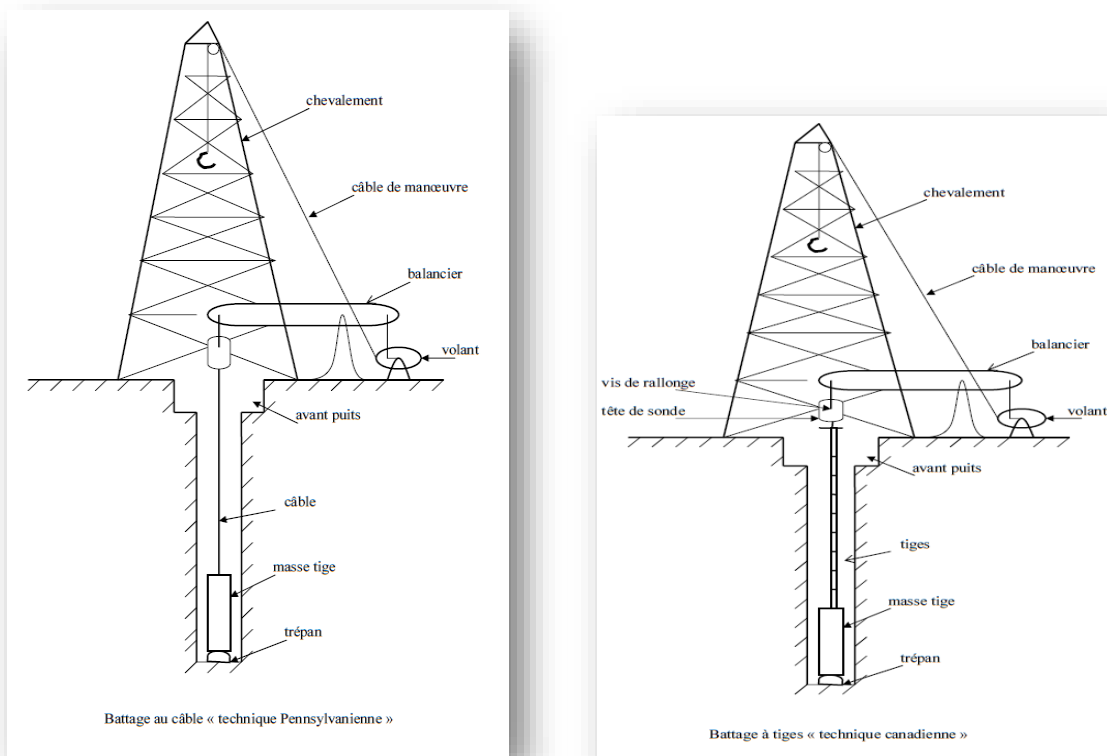


Figure II. 1. Les différents de La technique de Battage [6]



Figure II. 2.Apparait de battage (procédé à câble).



Figure II. 3. Dirigé les cuttings[6].

Avantages du battage :

- Investissement moins important
- Énergie dépensée faible
- Facilité de mise en œuvre
- Pas de boue de forage
- Récupération aisée d'échantillons
- Nécessite moins d'eau (40 à 50 l/h) et de n'importe quelle qualité.
- La détection de la nappe même à faible pression est facile : la venue de l'eau à basse
- pression se manifeste directement dans le forage sans être aveuglée par la boue.
- Pas de problèmes dans des zones fissurées (risque lié au perte de boue.

Inconvénients du battage :

- Le forage s'effectue en discontinue (forage puis curage de cuttings et ainsi de suite)
- Forage lent
- Difficultés pour équilibrer les pressions d'eau jaillissante.
- Absence de contrôle de la rectitude
- Pas de possibilité de faire le carottage [13].

II.2. La technique de Havage :

C'est une technique d'extraction consistant à creuser des entailles parallèlement au plan de stratification des roches pour les détacher plus facilement ; utilisée en génie civil pour l'exécution de pieux forés en gros diamètres, et aussi pour exécuter des forages d'eau.

II.2.1. Le forage peut être effectué :

- Soit par bennes à coquilles : où l'attaque du terrain se fait au moyen d'une benne circulaire munie de coquilles ouvertes qui percutent le sol comme un trépan remonte les déblais. L'ouverture et la fermeture des coquilles sont commandées par câble. Ce matériel permet des forages de profondeurs de 70 à 80 m pour des diamètres de 600 mm à 1,2 m dans des terrains alluvionnaires.
- Soit par outils en rotation : ce système de perforation travaille au moyen d'un outil d'extraction circulaire avec un fond verrouillé muni de dents et agit par rotation jusqu'à ce qu'il soit plein de matériaux. L'outil est extrait et le déverrouillage du fond de l'outil permet de vider rapidement celui-ci. Ce matériel permet d'effectuer des forages de 35 à

40 m de profondeur en des diamètres de 0,5 à 1,3 m.

Avantage:

- Avancement rapide à faible profondeur dans des formations meubles, notamment les sols meubles et les alluvionnaires (en l'absence d'éléments grossiers) .
- Réalisation d'ouvrages en gros diamètre (peu répandus en eau minérale)

Inconvénients:

- Méthode inadaptée aux terrains durs. La méthode est utilisée pour la réalisation des forages de faible profondeur (environ 30m).
- Difficulté pour arracher les tubages de soutènement après la mise en place des crépines et du massif filtrant [23].

II.3. La technique marteau fond de trou (MFT) :

Cette technique permet de traverser des terrains durs.

Le principe repose sur : un taillant à boutons en carbure de tungstène, fixé directement sur un marteau pneumatique, est mis en rotation et percussion pour casser et broyer la roche du terrain. Le marteau fonctionne comme un marteau piqueur, à l'air comprimé à haute pression (10 à 25 bars) qui est délivré par un compresseur, et permettant de remonter les cuttings.

Cette technique est surtout utilisée dans les formations dures car elle permet une vitesse de perforation plus élevée que celles obtenues avec les autres techniques. Elle permet de forer habituellement des trous de 85 à 381 mm.

Avantage :

- Elle très intéressante dans les pays où l'eau est très rare.
- Mise en œuvre rapide et simple.
- Permet de détecter la présence d'un aquifère lors du forage.

II.4. La technique marteau fond de trou avec tubage d'avancement :

Elle permet de forer dans des terrains à mauvaise tenue nécessitant un tubage de protection. La perforation est assurée par un taillant pilote surmonté d'un aléreur excentrique permettant d'avoir un trou de diamètre supérieur au diamètre du tubage de revêtement.

Système permet au tube de revêtement de descendre dans le trou sans rotation à la suite de l'aléreur.

II.4.1. Utilisée de cette technique:

Un équipement fonctionnant hors du trou, c'est-à-dire avec un marteau et son mécanisme de percussion et de rotation situés en surface.

- un équipement fonctionnant avec un marteau fond de trou dont la rotation est assurée par un moteur situé à l'extérieur, et l'énergie de percussion est assurée en fond de trou par le marteau fond de trou qui assure la foration par l'intermédiaire d'un guide et de l'outil comprenant le taillant pilote et l'aléteur excentrique.

Avantage :

La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage. Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement.

Pas de tubage pendant la foration Facilité de mise en place de la crépine.

Bons rendements dans les terrains tendres Consommation de l'énergie économique.

Inconvénients :

- Nécessite beaucoup d'eau
- Nécessite un grand investissement (matériel très importants)
- Seuls les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd [21].

II.5. La technique Rotary :

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920.

Le technique rotary est utilisé spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs (pétroliers).

Un outil appelé trilame (tricône) est mis en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil. La circulation d'un fluide (liquide visqueux : la boue) permet de remonter les cuttings à la surface. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption. La boue tapisse les parois non encore tubées et les maintiens momentanément en attendant la pose de tubage.

Un accroissement du volume de boue est l'indice d'une venue de fluide souterrain dans le forage (eau, huile, gaz).

Une perte de volume indique une zone fissurée ou dépressionnaire (vide). Le forage en perte de circulation peut être dangereux pour la ligne de sonde et l'ouvrage.

Le dépôt de la boue qui recouvre les parois d'une formation aquifère de faible pression peut gêner la détection de cette formation.

Avantage :

- La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement
- pas de tubage pendant la foration
- facilité de mise en place de la crépine
- bons rendements dans les terrains tendres
- consommation de l'énergie économique

Inconvénients :

- Nécessite beaucoup d'eau
- Nécessite un grand investissement (matériel très importants)
- Seuls les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd [14].

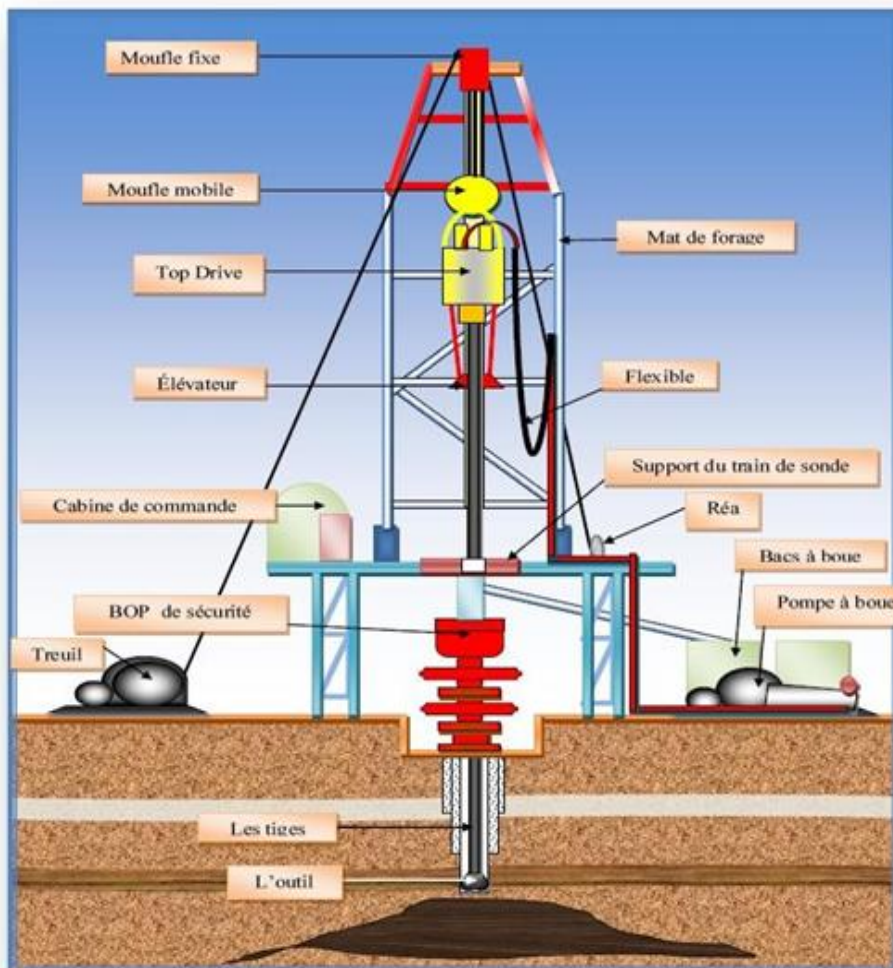


Figure II.3 : la méthode de La technique Rotary [ANRH]

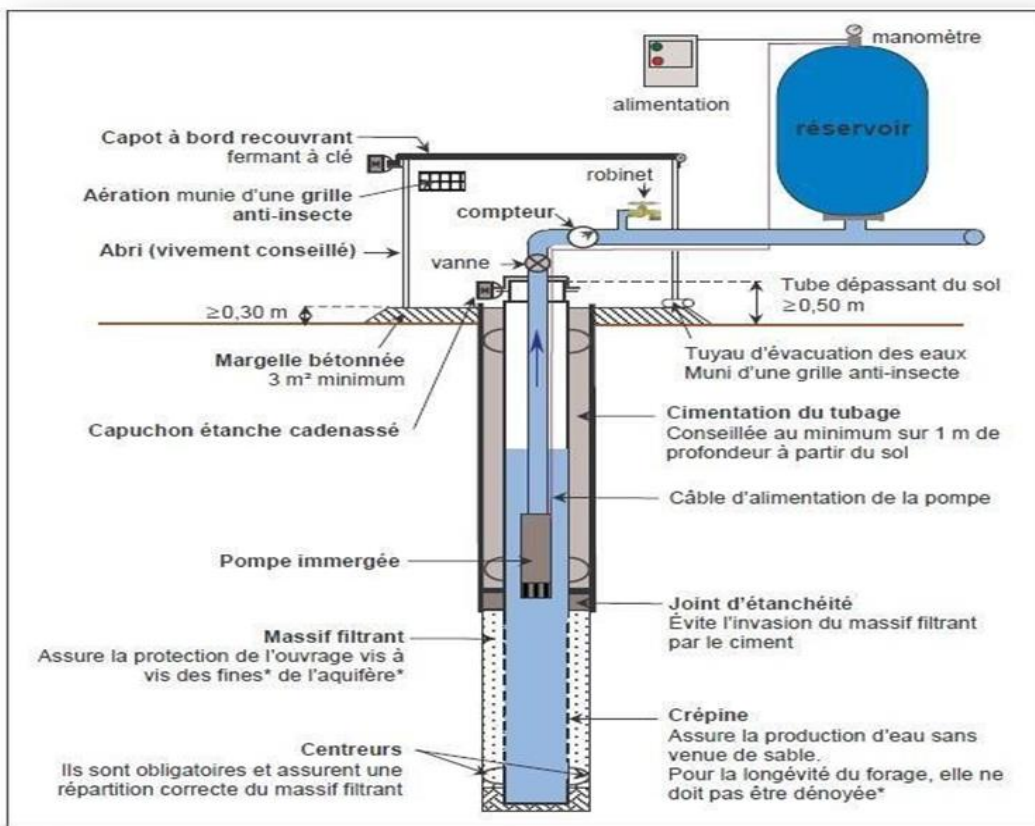


Figure II. 4. Schéma d'un forage correctement aménagé [25]

II.5. Nettoyage et désinfection :

Dans le cadre d'un forage AEP pour lequel la ressource ne peut être traitée avant distribution, la plus grande attention sera prise pour éviter toute rétro pollution par la surface. Cela passe par un nettoyage et une désinfection des matériaux introduits dans l'ouvrage à demeure ou en provisoire et des mesures d'hygiène renforcées de la part des intervenants sur site.

Les produits mis en œuvre doivent présenter une compatibilité alimentaire sans rémanence d'action à long terme. Leur sélection tiendra compte de la physico-chimie des eaux. On peut préconiser du chlore industriel, pour ces opérations, le temps de contact ira de 30 minutes à 2 heures.

- La quantité de chlore nécessaire dépend du volume d'eau contenu dans le forage. Il faut incorporer 1 litre de solution chlorée à 0,2% par 100 litres d'eau du puits (ou 1 litre de

solution à 0,27% de HTH à 65% de pureté). L'eau du puits doit être mélangée avec la solution chlorée et reposer au moins 30 minutes [34].

- Le volume de solution chlorée doit être calculé en fonction des paramètres dimensionnels du puits
- Les produits de désinfection sont généralement des produits dangereux a amenés concentrés sur sites, les opérations de dilution, d'injection et de gestion des rejets nécessitent des précautions d'usage (communication des fiches produits, procédures préalables, matériel et vêtements de sécurité). On se réfèrera à la fiche technique sur la Fabrication de solutions chlorées.
- Il faut faire des contrôles avant et après l'emploi du produit, ces contrôles doivent comporter des mesures terrains de concentration des produits, ainsi que des prélèvements et mesures sur l'eau (physico-chimiques et bactériologiques) [33].

Conclusion:

Par conséquent, la réussite d'une telle entreprise est intimement liée au choix judicieux des différentes méthodes qui ont été abordées dans ce chapitre. Dans ce cadre, comme nous le verrons par la suite, le rôle des chimistes chargé du contrôle de qualité des eaux et du suivi l'hygiène de réservoir. Il doit, en association avec l'entreprise :

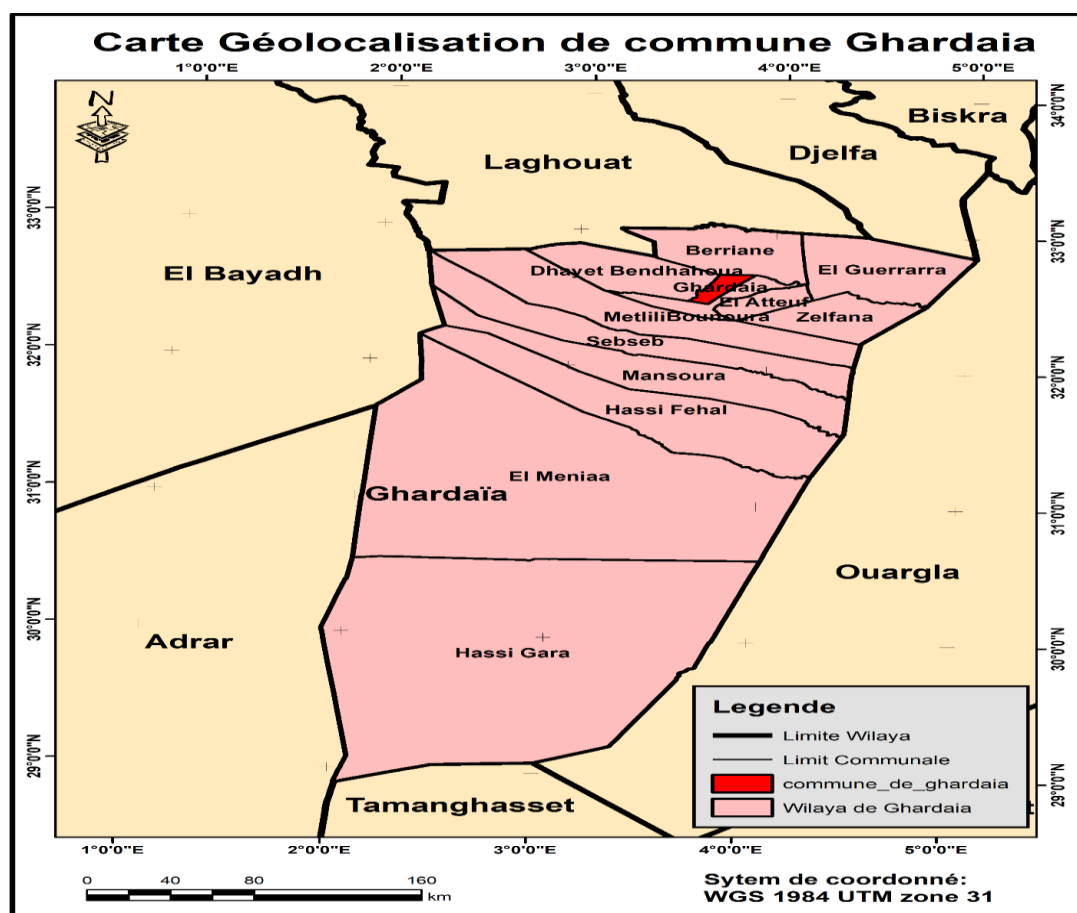
- ✓ L'ADE pour la gestion des eaux potables,
- ✓ Les inspecteurs pour le contrôle les qualités des eaux et la prévention les réservoirs d'eau,
- ✓ Les laboratoires pour les analyses physique-chimique et bactériologiques.
- ✓ déterminer le type de développement idéal en fonction des caractéristiques hydrogéologiques, eten définir le principe et la durée.

La partie pratique

III. présentation générale de la Wilaya de Ghardaïa :

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara Algérien, Elle est délimitée: Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km); Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km); A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km); Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470 Km); Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km); A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350 Km); La Wilaya de Ghardaïa compte 13 communes dont le nombre de la population totale est de (447 294 hab) dans une superficie de 86.560 km² [12].

Le gastronomie de situation se site au centre de la partie nord du sahara à 32° 30' de l'altitude nord et 3° 45' de longitude (ANONYME ,2005).



La figure III.1 : carte géolocalisation de la ville de Ghardaïa

III.1. La vallée de l'oued M'zab :

L'oued M'zab prend naissance de la confluence de deux grands affluents; oued el Haimeur du Nord-ouest et l'oued Labiod de l'Ouest. L'oued Touzouz de faible impotence ; rejoint le M'zab en amont de la palmeraie de Ghardaïa.

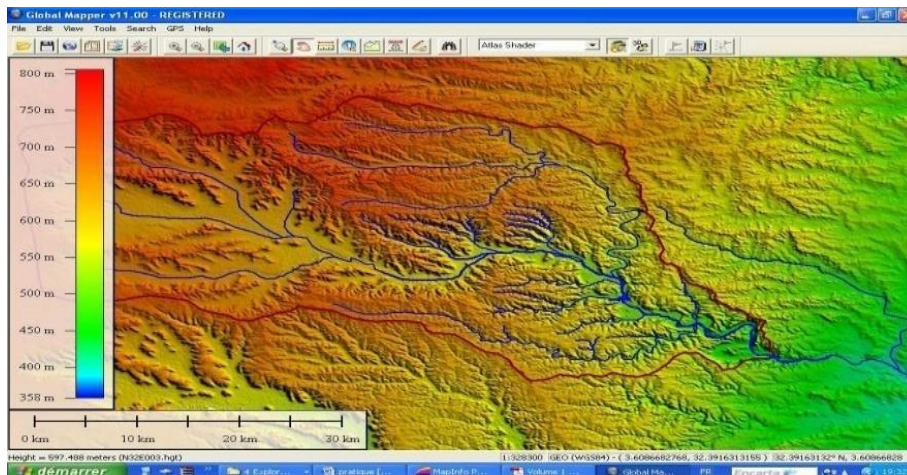


Figure III. 1. Bassin versant et réseau orographique du M'zab

A une altitude 745 mètres en amont, l'oued parcourt environ 270 km de l'Ouest vers l'Est pour atteindre la dépression de sabkhet safioune son exécutoire naturel, à une altitude de 107 mètres.

Le largueur de la vallée varie entre 1 à 2,5 km, sa profondeur atteignant 50 mètres environ. La surface totale de la vallée est de 4000ha et abrite une population estimée de 160000 habitants, soit une densité de 42 hab/ha.

L'ensemble des cinq ksours historiques (El Atteuf, Bou noura, Melika, Ghardaïa, Beni Izguen) totalise une surface d'environ 67 ha, abritant 50000 habitants, soit une densité de 746hab/ha [7].

III .1.1. Les activités dans la vallée:

L'agriculture représente la principale activité dans la vallée, dont l'occupation du sol est répartie en trois étages ;

1. la phoéniculture (agriculture des palmeraies),
2. les arbres fruitiers
3. cultures des maraîchères et des fourragères en intercalaires

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle à partir des seguiats (rigoles); rare sont ceux pratiquants l'aspersion et la goutte à goutte.

D'autres activités s'ajoutent à la principale ; portant notamment sur le négoce, l'artisanat des tapis et des petites industries.

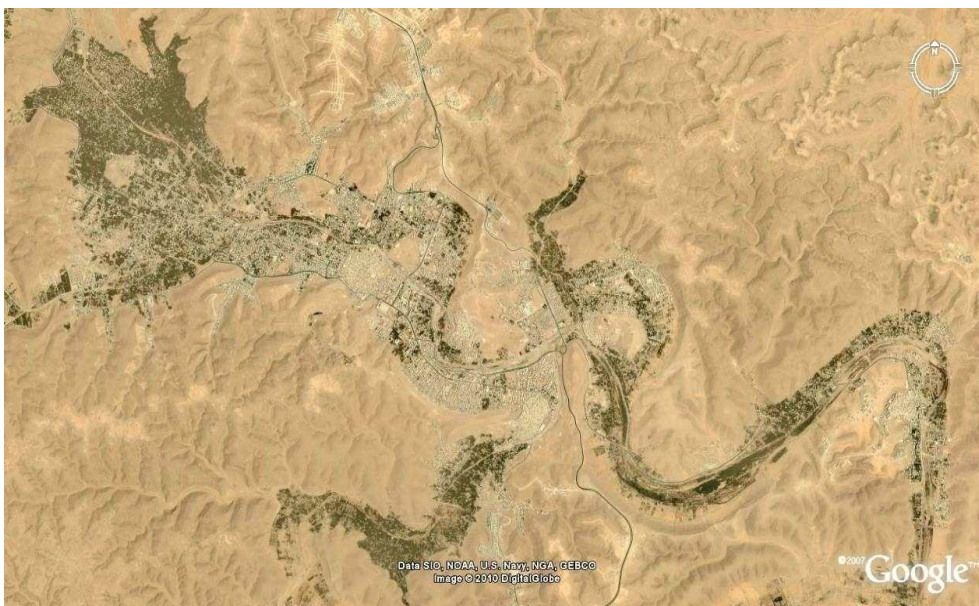


Figure III.2 : Localisation de la vallée du M'zab par Google earth

III.2. Présentation de Commune d'étude de chef-lieu de Ghardaïa :

Une commune de la wilaya de Ghardaïa en Algérie, dont elle est le chef-lieu, située à 600 km au sud d'Alger, elle est la capitale de la vallée du Mzab.

Le territoire de la commune de Ghardaïa est situé au Nord de la wilaya de Ghardaïa, au centre de l'Algérie dans le Nord du Sahara algérien, à 600 km au sud d'Alger, à 190 km au sud de Laghouat, à 270 km d'El Menia et à 190 km à l'ouest de Ouargla [10].

III.2.1. Géologie et géomorphologie

La zone d'étude est répartie sur deux domaines géologiquement et géomorphologiquement différents, l'Atlas saharien au nord et la Dorsale du Mzab au sud.

III.2.2 .Cadre physique et climatique :

Le climat de la région est typiquement Saharien, caractérisé par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) avec un écart élevé entre les températures de l'été et celles de l'hiver. On enregistre une moyenne annuelle de 25°C, avec une évaporation de l'ordre de 2000 mm.

III .2.2.1.Paramètres climatiques de la région :

III.2.2.2.Climat et hydrographie :

+ La température :

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le

sous- sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

La pluviométrie :

L'analyse de la pluviométrie de la zone d'étude constitue probablement le moyen le plus important et le plus efficace pour étudier l'impact du changement climatique sur le fonctionnement de la nappe phréatique (rechargée par les eaux de pluies) d'où l'importance de s'appesantir sur la pluviométrie.

l'humidité :

L'humidité est définie comme étant le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide et la pression de saturation à la même température. Elle est exprimée en pourcentage.

Les vents :

Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en mars et avril, on assiste au Sahara à des véritables tempêtes de sable. Des masses de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut. L'obscurité règne et toute activité cesse. Ces phénomènes peuvent durer d'un à trois jours et plus, avec une accalmie durant la nuit.

L'insolation :

L'insolation est la période durant laquelle le soleil brille le sol, l'augmentation de la radiation solaire provoque l'augmentation de l'évapotranspiration où une partie des radiations solaire absorbées par le sol et l'autre réfléchir, ce dernier dépend de la nature de sol et le type de la région environnante.

III.2.3.Aperçu géographique :

III.2.3.1.population :

D'après les derniers recensements, le nombre d'habitants au niveau du chef-lieu de la commune de Ghardaïa les données sont celles du recensement général de la population et d'habitat (RGPH – 2008), et la projection est calculée sur les taux d'accroissement de l'ONS. La population totale de 629la wilaya de Ghardaïa est estimée en 2021 à 448 048 habitants, dont populations agglomérées et zéro de populations éparses.

Type d'agglomérations	Localisation	Population
Chef-lieu	Ghardaïa	120 216
Agglomération secondaire	Oued ne chou	629
Zone éparses	Zone Epars	0

III.2.3.2. Hydrologie :

Relief :

Le Sahara algérien s'étend sur une superficie de deux millions de km². Il couvre 84% de la surface de l'Algérie et ¼ de la totalité du désert saharien. Trois reliefs distincts caractérisent ce vaste territoire :

- Les Ergs, formés par d'immenses zones couvertes de dunes.
- Les Regs qui sont des étendues caillouteuses formés de graviers et de galets.
- Les Hamadas qui sont recouvertes de plates-formes rocheuses, Le grand Erg occidental est une immense étendue de sables en forme de croissant de 80 000 km². Le grand Erg oriental deux fois plus grand que le grand Erg occidental, formé sur sa majeure partie de dunes de sable se trouve à l'Est de l'Erg occidental, dont il est séparé par un haut plateau pierreux. A l'extrême Sud un espace rigide ou s'élève deux massifs ; les Tassili (2154 m dans l'Adrar) et le Hoggar (3000 m dans l'Atakor).

Le massif du Hoggar a émergé du socle saharien suite aux violentes éruptions volcaniques du tertiaire. Il présente un paysage composé de dômes basaltiques et de coulées de laves figées de couleur jaune flamboyant au violet noir. Autour de ce noyau se trouvent des plates-formes gréseuses formées de sables et de roches (Tassili)

La partie centrale du Sahara est occupée par un plateau élevé ; le Tademait (900 m) à partir duquel les altitudes s'abaissent vers le Sud-Ouest et vers le Nord –Est.

Dans le désert non seulement les précipitations sont rares et irrégulières l'évaporation est considérable et plus importantes que le niveau de précipitation. Actuellement on utilise, sans compter les réserves d'eau fossile situées dans la couche géologique du continent intercalaire [26].

Conclusion :

La région de la wilaya de Ghardaïa, située au centre du bassin du Sahara septentrional.

Le bassin versant d'une superficie de 5000Km², est jalonné par un réseau très ramifié d'oueds, appelé couramment chebka. Il draine en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, les écoulements sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région.

La hauteur pluviométrique est faible, la moyenne annuelle enregistrée est de l'ordre de 63,0 mm Le régime pluviométrique est irrégulier, la pluie peut faire défaut plusieurs saisons comme elle peut survenir à n'importe quelle saison.

À Ghardaïa, est sous l'influence d'un climat sec. La température moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 11,4 °C, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 34,4 °C. Voici les températures moyennes.

Le climat de Ghardaïa est subtropical désertique, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés.

La ville est située dans le centre-nord de l'Algérie, dans le désert, à une altitude de 500 mètres.

Le printemps est la saison où les tempêtes de sable sont les plus fréquentes.

Chapitre VI :

Résultats et discussions

Tableau (VI. 1) : les coordonnées de localisation des forages brute de Ghardaïa

Les Forages	Longitude (X)	Latitude (Y)	Altitude (Z)
Melika Haut	03 41 06	32 29 08	509
Ben Smara 01	03 39 45	32 29 51	515
Ben Smara 02	03 39 52	32 30 22	524
Zone Economique (Bouhraoua)	03 39 59	32 31 10	585
Tem (Rta N°1)	03 40 25	32 28 46	571
Oued Nechou N°1	03 43 15	32 36 43	565
Melika Bas	03 40 46	32 28 48	500
Bouhraoua	03 40 50	32 29 53	507
Hadj Messaoud	03 41 17	32 29 31	509
Melika N 02 (RTA N°2)	03 40 09	32 28 53	560
Oued Nechou 02	03 43 51	32 36 17	561
Bouhraoua N°3 (Sonelgaz)	03 41 01	32 30 24	564
Oued Nechou N°3 (Sinitré)	03 42 32	32 37 09	570
Hai El Moujahidine	03 40 39	32 29 20	500
Tem 03	03 40 55	32 28 29	538
Bouhraoua N°4 (Station Ziadi)	03 40 17	32 32 05	580
Bouhraoua N°5 (Chaabet Tobi)	03 40 21	32 29 58	544
Karkoura	03 38 32	32 30 01	521
Bouchemdjane	03 39 12	32 30 05	494
Baba Saad	03 39 53	32 29 12	523
Chaabet Nichane	03 39 12	32 29 03	515
Ben Ghanem	03 38 33	32 29 32	513
Ben Djabline	03 38 02	32 29 28	531
Touzouz 01(Ben Aouda)	03 37 47	32 30 30	532

Touzouz 02 (Sinistré)	03 36 20.	32 31 18	533
Bouchene	03 38 31	32 30 46	520
Chaabet Telli	03 38 46	32 28 51	540
Ben Djablinen °2 (Beka)	03 37 59	32 29 51	526
Touzouz 03	03 37 31	32 31 11	524
Akhelkhal	0 3 37 12	32 30 14	523

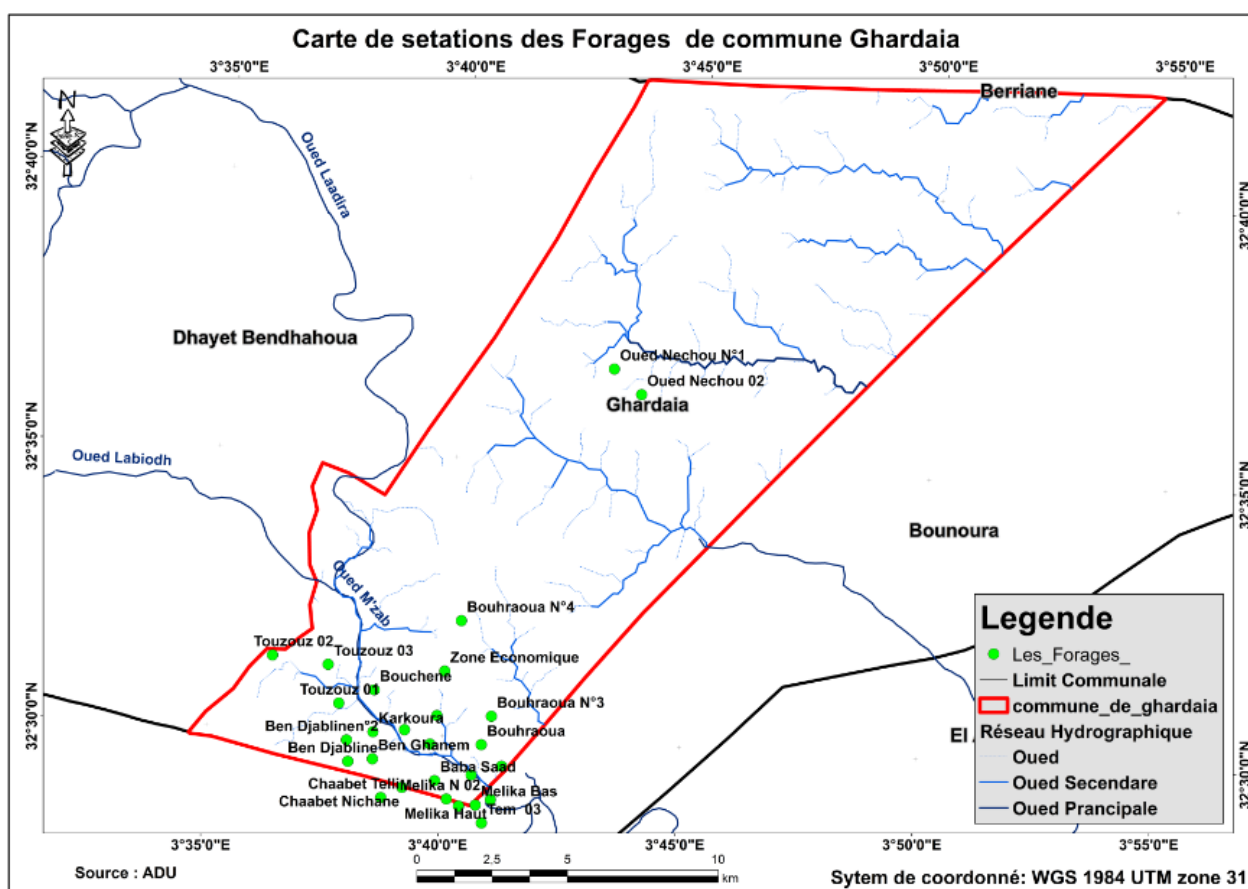


Figure VI .1 : la localisation des forages brute (faite par l'élève ,Arc Gis)

Notre étude a consisté à analyser des échantillons d'eau prélevés au niveau de la commune de Ghardaïa pour évaluer leur qualité bactériologique et physique –chimique. Un échantillon représentatif a été prélevé selon les Méthodes Standard pour l'analyse d'Eau dans un récipient stérile et bien identifié, conservé et transporté à une température de +4 à + 8°C. L'analyse physico-chimique et bactériologique a été réalisée dans un délai maximal de 8h après le prélèvement au niveau du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux de la ville de Ghardaïa

(ADE). Les annexes montre un bulletin d'analyse physico-chimique prélevé à partir de l'eau de forage brute pour deux point différents (Ghardaïa jusqu'à El-Menia).

IV. Exploitation de la nappe du Continental Intercalaire (Albien) à Ghardaïa :

Le premier forage albien exécuté dans la vallée du M'Zab date de 1938. A partir de cette période, le nombre de forage n'a cessé d'augmenter.

La wilaya compte actuellement plus de 734 forages, ils se répartissent comme suit (A.N.R.H ,2021) :

- 156 forages d'alimentation en eau potable avec un volume annuel soutiré de 68,71hm³
- 540forages d'irrigation avec un volume annuel soutiré de 302,02 hm³.
- 21 forages d'alimentation en eau industrielle avec un volume annuel soutiré de6,71hm³.
- Pour la commune de Bounoura : 17(08 AEP- 02 industriels – 08 irrigation).

IV.1. Situation du système de distribution d'eau potable de la ville de Ghardaïa :

Les coupures d'eau peuvent avoir des conséquences néfastes sur le plan social et sanitaire, car en absence d'eau, une multitude de modes d'approvisionnement apparaissent ce qui engendre de nombreux risques de contamination et par conséquence l'apparition de foyers épidémiques non maîtrisable (camions citerne).

D'après les données récentes recueillies de l'ADE **Tableau IV.2**, on note une dotation moyenne estimée à 380 l/j/hab (2021), toute en sachant que la norme de l'OMS est de 250l/jr/hab.

Tableau IV.2 : Exemple de distribution d'eau potable dans la ville de Ghardaïa (ADE, 2021).

Région	Population totale (hab.)	Population raccordée (hab.)	Taux de raccordement %	Volume d'eau distribué (m ³ /j)	Dotation (l/j/hab.)	Plage Horaire et Fréquences
Commun de Ghardaïa	120 216	168 899	98%	49 555	380	95% H24 5% Q 8h /11h

95%, 5% : taux de la population ; H24 : eau présente pour une durée de 24 heures / jour ; Q 8h /11h : eau présente quotidiennement pour une durée de 8/11 heures / jour.

VI.3. Problèmes rencontrés dans un réseau D'AEP :

De nombreux problèmes de différentes origines peuvent survenir dans un réseau d'A.E.P ; des fuites, les branchements illicites, les erreurs de compteurs, les problèmes environnementaux, contaminations, chute de pression, des ruptures ou casses sur les conduites et leurs accessoires, les interruptions. A ces problèmes s'ajoutent des problèmes de gestion du réseau.

Les différents problèmes survenant dans un réseau d'alimentation en eau potable peuvent être classés en trois grandes catégories : problèmes induisant les ruptures et les casses, problèmes induisant les fuites et les problèmes induisant la dégradation de la qualité de l'eau. Ces différents problèmes sont à l'origine d'apparition de maladies liées à l'hygiène et en particulier les maladies à transmission hydrique.

VI .4. Qualité des eaux de la nappe du CI de la région de Ghardaïa :

La comparaison des quantités de minéraux contenus dans les eaux de la région et les normes nationales et celles de l'OMS montre que ces eaux sont bonnes pour la consommation (A.N.R.H., 2022). Le tableau **VI.01** montre que les eaux, à l'exception de celles de Goléa qui sont extrêmement douces, ne sont pas trop chargés (Résidu sec variant entre 1 et 1,8 g/l) et présentent un faciès chimique de type sulfaté magnésien et parfois sulfaté chloruré magnésien.

Les paramètres physico- chimiques présentent une différence notable des taux et des teneurs mesurées de chaque paramètre étudié mais ils ne dépassent pas les normes fixées de la potabilité. Aussi, les analyses bactériologiques montrent que la qualité des eaux est bonne

Tableau IV.3. Concentration moyenne des éléments chimiques de l'eau de l'Albien et comparaison avec la réglementation nationale et de l'OMS. (ANRH, 2021).

Localités	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	-- SO4	- HCO3	- NO3	R.S
	mg/l								
Berriane	67	105	145	8	270	325	170	26	1068
Guerrara	98	170	212	16	470	536	140	21	1840
Ghardaia	21	149	145	13	265	400	128	10	1226
Zelfana	126	169	112	20	135	950	153	0	1832
Metlili	35	241	145	8	180	796	275	20	1424
Mansourah	60	110	132	7	230	305	163	21	987
El Goléa	39	13	63	7	40	45	210	7	370
Normes nationales	100	200	150	12	200	250	-	50	1500
Normes de l'OMS	100	250	200	-	250	400	-	44	2000

- Les valeurs élevées du Ca, K et Cl ont enregistré à Zelfana avec respectivement 126 mg/l, 20 mg/l et 950 mg/l;

- La région de Guerrara caractérise par les valeurs les plus élevées en Na (212 mg/l) et HCO₃ (470 mg/l), alors que la valeur la plus élevée en sulfate est enregistrée à Goléa avec 210 mg/l;

- La valeur la plus élevée du Mg (241 mg/l) est signalée au niveau de Metlili, et celle du NO₃ avec 26 mg/l à Berriane.

Conclusion :

La localité de Ghardaïa satisfait ses besoins en eau (AEP), à partir de la nappe du continentale intercalaire (l'Albien), qui est la principale ressource en eau de la région exploitée actuellement par 345 forages dans l'ensemble de la wilaya ;

Les eaux de la nappe profonde contenue dans les couches perméables des sables et des grès de l'Albien à 500 mètres.

La nappe captive (Complexe Intercalaire CI) est composée de sables, grès et d'argiles sableuses d'âge Albien

La qualité de ses eaux est bonne pour la consommation et répondant aux normes de l'OMS.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce travail entrepris dans la ville de Ghardaïa a porté principalement sur la caractérisation et l'évaluation hydrochimique de la nappe souterraine de la ville de Ghardaïa.

Pour répondre aux objectifs fixés nous avons utilisé une classification, et comparé l'évaluation et l'analyse statistique.

L'analyse statistique élémentaire des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux souterraines de la ville de Ghardaïa, a permis de conclure que :

- Le pH de l'eau a un caractère neutre dans l'ensemble et évolue vers le basique.
- La composition en ions majeurs identifie des corrélations fortes entre les éléments (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), ainsi entre ces éléments et la CE (conductivité électrique).
- Les nitrates sont indépendants de toutes les autres variables, du fait de leur origine exogène au milieu hydrogéologique.

L'analyse en composantes principales, a mis en évidence les relations suivantes :

- Les variables chimiques dominantes dans les eaux souterraines sont les chlorures, les sulfates, le calcium, le sodium et le magnésium ;
- La projection des individus montre l'existence de trois familles.

A partir de ces résultats préliminaires obtenus, nous proposons quelques recommandations :

- Conforter les résultats trouvés avec une étude des sols de la région ;
- Adopter des cultures et des animaux d'élevage tolérants à la condition climatique et à la salinité des eaux de la région d'étude
- Optimiser l'irrigation et installer un réseau de drainage pour éviter une salinisation secondaire du sol ;
- Installer un réseau de traitement par la dilution de ces eaux par des eaux peu chargées en sel ;
- Enfin, il est souhaitable de poursuivre ce travail en faisant une extension spatiale de la zone d'étude, afin de mieux comprendre la variabilité spatiale de la salinité des eaux de la nappe superficielle dans la vallée du M'Zab.

Références bibliographiques

Refinancer bibliographiques :

[1] Agence Régionale de Santé d'Auvergne, (2014), La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine en auvergne.

[2] Rapport Technique, 'Inventaire des Forages d'Eau et Enquête sur les Débits Extraits de la Wilaya de Ghardaïa', A.N.R.H, Secteur de Ghardaïa, Exercice 2011, 88 p., Décembre 2011.

[3] Document Technique, 'Système Aquifère du Sahara Septentrional (Algérie, Tunisie, Lybie): Gestion Commune d'un Bassin Transfrontière/OSS', Collection Synthèse N°1, 48 p., Tunis, 2008.

[4] ALBERT MABILOT "le forage d'eau "

[5] B. SOURISSEAU "Guide de bonne pratique et de contrôle des forages d'eau pour la protection de l'environnement" édition BRGM.

[6] ACF le forage 2004

[7] Guide d'application de l'arrêté interministériel du 11/9/2003 relatif à la rubrique 1.1.0 de la nomenclature eau : sondage, forage, puits, ouvrage souterrain non domestique.

[8] N. Chenini et S. Chabou Evaluation du potentiel géothermique dans la région de Ghardaïa Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2012) 307- 312

[9] BOUCHELIG A et MEKHALFIA R Mémoire Académique (ETUDE SUR LA MAINTENANCE DES SYSTEMES MECANIQUE D'UNE MACHINE DE FORAGE)

[10] **Bordet. J, (2007)**, L'eau dans son environnement rural : Hydraulique et cycle de l'eau, l'alimentation en eau potable, l'assainissement des agglomérations, Éditions Johanet (ISBN 978-2-900086-71-1).

[11] **Bouchahm .N, (2013)**, Caractérisation et cartographie des sites de remontée dans la région de l'oued righ (bas Sahara algérien), Journal Algérien des Régions Arides pp 77

[12]: B. SOURISSEAU "Guide de bonne pratique et de contrôle des forages d'eau pour la protection de l'environnement" édition BRGM.

[13]: ALBERT MABILOT "le forage d'eau ". Guide pratique

[14]: P. MOTARD. Institut français de pétrole "forage rotary".

[15]: JEAN.PAUL NGUYEN. Institut français de pétrole "forage".

- [16]: DIVISION NATIONALE DES EAUX MINÉRALES ET THERMALES "Le suivi du forage d'eau minérale Approche méthodologique". Novembre 1995.
- [17]: J.Y-HERVE, L.LGNATIADIS "nappes de l'albien et du néocomien" édition BRGM. novembre 2007.
- [18]: B. BOUSELSAL. "TECHNIQUES DE FORAGE"
- [19]: G.P. KRUSEMAN, N.A DE RIDDER "pompages d'essai".
- [20]: E.GILLI/C.MANGAN/J.MUDRY. "Hydrogéologie".
- [21]: ANDRE DUPONT. "Hydraulique urbaine". tome 2 .troisième édition 1974.
- [22]: JACQUES BONNIN "Hydraulique urbaine" .édition eyrolles 1986.
- [23] : ANRH. "NOTE RELATIVE AUX RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES DE LA WILAYA DE GHARDAIA". JUIN 2005
- [24] : volet eau potable et industrielles évaluation de la demande en eau / rapport méthodologie page 45. mars 1997.
- [25] : fiche inventaire des forages – DRE Ghardaïa
- [26] A.N.R.H., 2003. Notes relatives à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab, Rapport de l'Agence nati. res. hyd. Ouargla, 12P.
- [27] A.N.R.H., 2005. Note relative aux ressources en eaux souterraines de la Wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence nati. res. Hyd., Ouargla, 19p.
- [28] A.N.R.H., 2007. Notes relatives aux ressources en eau souterraines de la wilaya d'Ouargla, Rapport de l'Agence nati. res. Hyd., Ouargla, 12P.
- [29] A.N.R.H., 2009. Rapport de fin du sondage, Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa, 63P.
- [30] A.N.R.H., 2010. Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence nati. res. hyd. Ouargla, 10P.16
- [31] M. BENZAYET Brahim "Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'zab". Mémoire d'ingénieur, E.N.S.A. 2010.
- [32] M^{lle} Thanina HASSANI "Contribution à la caractérisation des eaux de puits de la palmeraie Est de la commune de Ghardaïa" école nationale polytechnique. 2009

[33]MED CHERIF ADAD, M. TOUFIK MAZOUZ'' LES ANCIENS ET NOUVEAUX KSOUR :ETUDE COMPARATIVE.CAS DU M'ZAB '' Institut de Gestion des Techniques urbaines, Université d'Oum El Bouaghi (Algérie). Octobre 2013.

[34]DRE. Ghardaïa ''les études de schéma directeur d'AEP à trévère la wilaya''.

- ❖ **OMS**, Organisation mondiale de la santé (OMS) 2004 directives de qualité pour l'eau de boisson. Genève troisième édition volume 1 recommandations.
- ❖ **OMS**, Profil épidémiologique des maladies transmissibles. Organisation mondiale de la Santé. 265p.
- ❖ **OMS**, Organisation mondiale de la Santé Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 2 - critères d'hygiène et documentation à l'appui. 2e édition. OMS ; 2003. p. 1050.

Services et administrations

- ❖ **A.D.E**, Algériennes des eaux. Wilaya de Ghardaïa .2021.
- ❖ **B.H.C**, Bureau d'hygiène communale de la commune de Ghardaïa.2021
- ❖ **D.S.P**, Direction de santé publique de la wilaya de Ghardaïa.2021.
- ❖ **O.N.A**, Office nationale d'assainissement.
- ❖ **PDAU**, Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme révisé (2019). Commune de Ghardaïa
- ❖ Direction de l'environnement.

Webographie

www.googleearth.com

Annexe

Résumé :

La localité de la ville de Ghardaïa est située au sud de l'Algérie, elle est soumise à un climat aride saharien, dont les précipitations sont très faibles et à température très élevées. Pour s' satisfaire les demandes en eau pour l'alimentation en eau potable pour sa population, on recourt à l'exploitation de la couche du réservoir profond continue dans la formation sableuse de l'Albien. Cette formation aquifère représente l'unique ressource en eau exploitable dans la région.

Pour atteindre et exploiter ce grand réservoir on recourt à l'exécution des sondages profonds par la technique Rotary qui est largement utilisé dans la région de Sahara.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre au suivi technique de la réalisation d'un forage avec ces différents type d'exploitation. Le suivi a été exécuté sur la base d'une étude géologique et hydrogéologique.

Les résultats nous a permis de déterminer les différentes caractéristiques des eaux de forage brute et leur comparaisant avec les normes OMS. Il sera destiné pour le renforcement du réseau d'eau potable et amélioration de qualité d'eau spécifiquement le dessalement des eaux de forage brute la commune de Ghardaïa.

Mots clés : forage, nappe, rotary, Ghardaïa, ressources en eau.

ملخص:

تقع مدينة غرداية في جنوب الجزائر ، وهي تخضع لمناخ صحراوي جاف ، مع هطول أمطار منخفض للغاية ودرجة حرارة عالية للغاية. ولتلبية الطلب على المياه من أجل إمداد سكانها بمياه الشرب ، تلجأ إلى استغلال طبقة الخزان العميق المستمر في التكوين الرملي لألبيان. يمثل تكوين الخزان الجوفي هذا المورد المائي الوحيد القابل للاستغلال في المنطقة. للوصول إلى هذا الخزان الكبير واستغلاله ، تلجأ إلى تنفيذ عمليات الحفر العميق بتقنية الروتاري المستخدمة على نطاق واسع في منطقة الصحراء.

تندرج دراستنا في هذا الإطار للمراقبة نوعية للمياه الجوفية الخام وذلك من خلال التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لهذه الآبار الجوفية ومقارنتها مع المعايير الدولية و الجزائرية .

أتاحت لنا النتائج تحديد الخصائص المختلفة لمياه الحفر الخام ومقارنتها بمعايير منظمة الصحة العالمية. ويهدف إلى تعزيز شبكة مياه الشرب وتحسين جودة المياه وتحديدًا تحلية مياه الحفر الخام في بلدية غرداية. **الكلمات المفتاحية :** الحفر, مستوى المياه الجوفية, دوراني , غرداية, الموارد المائية.

Summary :

The locality of the city of Ghardaïa is located in the south of Algeria, it is subject to an arid Saharan climate, with very low rainfall and very high temperature. To meet the water demands for the supply of drinking water for its population, it resorts to the exploitation of the layer of the deep reservoir continues in the sandy formation of the Albien. This aquifer formation represents the only exploitable water resource in the region.

To reach and exploit this large reservoir, we resort to the execution of deep soundings by the Rotary technique which is widely used in the Sahara region.

Our study falls within this framework to the technical monitoring of the realization of a borehole with these different types of exploitation. The monitoring was carried out on the basis of a geological and hydrogeological study.

The results allowed us to determine the different characteristics of raw drilling waters and comparing them with WHO standards. It will be intended for the reinforcement of the drinking water network and improvement of water quality specifically the desalination of raw drilling water in the municipality of Ghardaïa.

Keywords: Drilling, formation, Rotary, ghardaia, water resources.