

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la terre et de l'univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Intitulé du thème :

*Etude hydrogéologie de l'aquifère des eaux
Thermales de hammam boughrara et chiguer
wilaya de Tlemcen*

Présenté par : **Mr BENNAHIA ARABI**

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : Dr AYACHE abbassia, MCA, UNIV UDL SBA
Examinateur : Dr CHAFIK M'hamdia, MCB, UNIV UDL SBA
Promoteur : Dr BENCHOHRA Amel, MCA, UNIV UDL SBA

Année universitaire 2019 - 2020
Session : « SESSION SEPTEMBRE 2020 »

Remerciements

*Avant tout, je remercie **DIEU** le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail*

*Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers **Dr AYACHE.A**, maitre de conférence A à l'université Djillali liabés, chef de parcours, qui, avec patience, a suivi mes travaux. Je la remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiques qui m'ont beaucoup aidée à l'amélioration de ce travail. Sa méthode rigoureuse sera pour moi un bon exemple à suivre.*

*Je remercie mon encadreur : **Dr BENCHOHRA Amel**, maitre de conférence A à l'université Djillali liabés, d'avoir accepté de diriger ce travail modeste.*

*Mes remerciements particuliers et sincères pour **Dr M'HAMDIA C**, maitre assistant A, à l'université djillali liabés, d'avoir accepté de juger mon travail.*

*J'adresse aussi mes remerciements à **Monsieur BOUZIDI**.Professeur, à l'université djillali liabés, le vice doyen au département des sciences de l'environnement.*

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de de l'environnement. en particulier ceux de la spécialité hydrogéologie qui m'ont été d'une aide précieuse.

Mes vifs remerciements et ma reconnaissance à ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu par leurs conseils, leurs encouragements pour l'élaboration de cette œuvre

Dédicace

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce travail
à mes très chers parents et mes sœur , pour
tous les sacrifices qu'ils ont faits, pour que je
puisse
arriver à ce stade, que Dieu leur offre une longue
vie pour me voir réussir dans ma vie.
à mon très cher père Ahmed
à qui je dois ma réussite,
à toute ma famille
A toutes les personnes que j'aime
Arabi Bennahia*

Résumé

La région de Tlemcen située dans l'ouest algérien est le siège de plusieurs aquifères renfermant de l'eau chaude dont la température varie entre 15°C et 65°C. Afin de déterminer le faciès chimique des eaux des zones Hammam Bouhrara et Hammam Ben Chiguer, nous avons procédé à l'analyse hydro-chimique des échantillons provenant des sources suivantes : Hammam Bouhrara et Hammam Ben Chiguer, et en exploitation des données géologiques de la région on a pu tirer les conclusions suivantes. Les eaux thermales des zones d'étude sont de natures hyperthermales et mésothermales. La source de Hammam Bouhrara est de faciès sulfurés ; avec une eau sulfatée sodique dérivant d'une eau sulfatée sodique. L'origine de ces éléments est les poudingues marnes sableuses du Miocène inférieur et de roche éruptive témoignant de la dislocation des sédiments Miocènes. L'eau de source de Hammam Ben Chiguer est une Eau chloro-sulfurée dérivant d'une eau chlorurée ; cette source est de faciès sulfurée. L'origine de cette eau est la faille qui met en contact les tufs rhyolitiques du Miocène moyen et les marnes du Miocène inférieur.

Mots clés : Hammam Bouhrara, Hammam Ben Chiguer, faciès, les eaux thermales, faciès chimiques, hydro-chimique

Abstract

The Tlemcen region located in western Algeria is home to several aquifers containing hot water whose temperature varies between 15 ° C and 65 ° C. In order to determine the chemical facies of the waters of the Hammam Bouhrara and Hammam Ben Chiguer areas, we carried out the hydro-chemical analysis of the sample waters from the following sources: Hammam Bouhrara and Hammam Ben Chiguer, and using geological data from the region we have not drawn the following benefits. The thermal waters in the study areas are hyperthermal and mesothermal in nature. The source of Hamam Bouhrara is sulphurous facies; with sodium sulfated water derived from sodium sulfated water. The origin of these elements is the sandy marl pudding of the Lower Miocene and eruptive rock testifies to the dislocation of Miocene sediments. Ben Chiguer's spring water is a chlorosulfur water derived from chlorinated water; this source is of sulphide facies. The origin of this water is the fault which puts in contact the rhyolitic tuffs of the Middle Miocene and the marls of the Lower Miocene.

Keywords: Hammam Bouhrara, Hammam Ben Chiguer, facies, thermal waters, chemical facies, hydro-chemical

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des acronymes et abréviations.....	
Introduction générale.....	

CHAPITRE 1 : Présentation de territoire d'étude Hammam Boughrara et Hammam Ben chiguer

I. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA COMMUNE DE HAMMAM BOUGHRARAERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

I.1. Source Hammam BOUGHRARA..... Erreur ! Signet non défini.

I.2. Source Hammam BEN CHIGUER..... Erreur ! Signet non défini.

II. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DE BASSIN VERSANT DE HAMMAN BOUGHRARA.....ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

III. LITHOLOGIE ET SOLS/ VEGETATION DU BASSIN VERSANT DE HAMMAM BOUGHRARAERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

IV. HYDROLOGIQUE DE BASSIN VERSANT DE BARRAGE DE HAMMAM BOUGHRARAERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

V. ETUDE BIOCLIMATIQUEERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

V.1. précipitation Erreur ! Signet non défini.

V.2 .température Erreur ! Signet non défini.

V.3 Régime des vents Erreur ! Signet non défini.

V.4. l'environnement..... Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE II : Généralité sur les eaux termo-minérales

I. DEFINITION DES EAUX THERMALESERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

II. Les eaux thermales en Algérie Erreur ! Signet non défini.

II.1. Classification des sources thermales identifiées en Algérie.. Erreur ! Signet non défini.

II.3. Cadre réglementaire de l'exploitation des eaux minérales en Algérie..... Erreur ! Signet non défini.

CHAPITRE III : Caractérisation des eaux de hammam chiguer et boughrara

I .ETUDE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

II. ANALYSE DU DIAGRAMME DE PIPER.....ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

III. ANALYSE DU DIAGRAMME DE BERKALOFF ET SCHELLER ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

IV. ANALYSE DIAGRAMME DE STABLER.....ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

V. ETUDE DES RAPPORTS CARACTERISTIQUESERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

Chapitre IV : Discussion

Discussion.....40

Conclusion

Conclusion générale
.....44

Références bibliographiques.....
46

Annexes.....
.....48

Liste des figures

- Figure 1 : Localisation de la source Bouhrara de la wilaya de Tlemcen...**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 2 : Localisation de la Hammam CHIGEUR de la wilaya de Tlemcen**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 3 : : carte lithologique du sous bassin versant d'oued Mouillah **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 4 : colonne stratigraphique des monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 5 : Répartition spatiale des cent (100) sources thermales sur le territoire national (source : ministère du tourisme et artisanat, 2017)..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 6 : Répartition spatiale des cent (100) sources thermales sur le territoire national (source : ministère du tourisme et artisanat, 2017)..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 7 : : Diagramme de la variation des paramètres physico-chimiques des eaux thermales **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 8 : : diagramme de Piper pour les sources de hammam bouhrara et hammam ben chiguer **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 9 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les sources de hammam bouhrara et hammam ben chiguer..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 10 : Diagramme de Stabler pour les sources de hammam bouhrara et hammam ben chiguer **Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux

- Tableau 1: Diagramme de Stabler pour les sources de hammam bougrara et hammam ben chiguer **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 2 : : Classement des eaux thermo-minérales en Algérie selon leurs température **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 3 : Le calcul des rapports caractéristiques a donné les résultats suivants.....**Erreur ! Signet non défini.**

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'Algérie est très riche d'un grand nombre de sources d'eau qui diffèrent par leur nature d'un endroit à l'autre par leur composition et leurs caractéristiques chimiques et physiques, selon la nature géographique et climatique de chaque région séparément.

La wilaya de Tlemcen dispose d'un potentiel thermo-minéral important d'un nombre de Huit 08 (05 sources thermales et 03 stations thermales) aux caractéristiques thérapeutiques pour le traitement des rhumatismes, eau chlorurée connue pour ses effets miraculeux sur les affections cutanées, affections veineuses, les affections neurologiques et les affections psychiatriques, eau calcique, magnétisée...etc. Les eaux thermales dans la wilaya de Tlemcen sont connues depuis fort longtemps pour leur diversité et leurs vertus, aussi bien curatives que relaxantes Le thermalisme à Tlemcen est un potentiel touristique non négligeable pour l'économie touristique de la wilaya. Il est considéré d'une part comme un moyen de divertissement et de détente, dont la valorisation pourrait élargir la gamme du produit touristique de Tlemcen et d'autre part elles sont spécialisées en fonction, d'orientations thérapeutiques

Notre travail consiste à l'analyse des propriétés hydrochimiques de l'eau thermale Hammam Bougharara et Hammam Ben Chiguer,

Compte tenu des objectifs de notre travail, nous avons choisi de présenter ce document en trois chapitres:

- Le premier chapitre sera consacré à la présentation de la zone d'étude de Hammam Boughrara et Hammam Ben Chiguer.
- Le deuxième sera consacré à la généralité sur les eaux thermales.
- Le troisième chapitre sera consacré à l'étude des caractéristiques physico-chimiques et l'étude hydrochimique des eaux thermales de notre zone d'études.

CHAPITRE 1

Présentation de territoire d'étude

Hammam Boughrara et Hammam Ben chiguer

I. Localisation géographique de la commune de hammam Boughrara

La commune de hammam boughrara est située au Nord-Ouest de la wilaya de Tlemcen, à 50 km du chef-lieu de la wilaya et à 10 km, à l'Est de la commune Maghnia, elle est limitée :

- Au Nord, par la commune de Nedroma et Ain Kebira ;
- Au Nord-Ouest, par la commune de Djebala ;
- Au Sud-Ouest, par la commune de Maghnia ;
- Au Sud, par la commune de Bouhlou ;
- A l'Est, par la commune de Sabra et OuledRiah ;
- Au Nord-Est, par la commune d'Ain Fettah ;

La commune de hammam boughrara couvre une superficie de 167 km² et compt huit agglomérations (ANAT ,2010).

- ❖ L'agglomération chef lieu ; Hammam boughrara,
- ❖ Les agglomérations secondaires ; Maaziz , Sidi Mokhtar, Bourakba, Ouled Houari, Ouled Aissa, Ouled Bouhenna et Hadjra Kahia.

I.1. Source Hammam BOUGHARARA

Le Hammam est situé dans la région de Lalla Marnia sur la rive gauche de la Tafna. Pour s'y rendre, on utilise la route de Marnia à Nedroma sur 6 kilomètres, puis un chemin vicinal de 15 kilomètres environ de longueur. L'établissement comporte deux piscines appelées: piscine des Femmes et piscine des Officiers. Les eaux qui les alimentent sont, à peu de choses près, identiques. Leur thermalité n'est pas très élevée (45°C environ) et leur minéralisation très faible (0.40 gr moyenne par litre). Elles présentent les caractéristiques suivantes : forte salinité primaire, très forte alcalinité secondaire et très faible alcalinité primaire (bennadji et khial, 2019).

La physionomie de ces eaux est déterminée par l'existence simultanée d'une alcalinité primaire (bien que faible) et de l'ion de Soufre qui en fait des eaux sulfurées alcalines (type pyrénéen). En remarque d'après les données disponible que l'eau de la piscine des Femmes est surtout sulfatée sodique alors que celle de la piscine des Officiers est de type mixte sulfatée et bicarbonatée sodique.



Figure 1 : Localisation de la source Boughrara de la wilaya de Tlemcen

La physionomie de ces eaux est déterminée par l'existence simultanée d'une alcalinité primaire (bien que faible) et de l'ion de Soufre qui en fait des eaux sulfurées alcalines (type pyrénéen). En remarque d'après les données disponibles que l'eau de la piscine des Femmes est surtout sulfatée sodique alors que celle de la piscine des Officiers est de type mixte sulfatée et bicarbonatée sodique.

Les sources émergent des poudingues marnes sableuses du Miocène inférieur, très répandus dans la région à proximité d'un dyke rhyolitique qui a fait éruption tout à fait à la fin du Miocène inférieur ou à l'époque helvétique.

L'existence de cette roche éruptive témoigne de la dislocation des sédiments miocènes dans cette région et par suite de la possibilité pour des eaux souterraines d'arriver rapidement au jour à une température suffisante. La présence d'une quantité notable d'alumine dans la source N°1 laisse penser que cette eau pourrait lessiver des argiles smectiques du type de celles qu'on rencontre fréquemment dans la région.

I.2. Source Hammam BEN CHIGUER

L'établissement de Hammam Ben Chiguer est situé à 5 kilomètres de Lalla Marnia sur la route de Nemours. Tout d'abord rappelons brièvement que dans ce type d'eaux type marocain de FREY, l'élément sulfuré est aussi l'hydrogène sulfure libre en majeure partie ou en totalité. Les éléments minéralisateurs fondamentaux sont les chlorures alcalino-terreux associés aux chlorures alcalins. Les éléments accessoires sont les carbonates et sulfates terreux généralement en quantités faibles. Ces eaux qui appartiennent la classe de PALMER ne renferment ni carbonates alcalins, ni sulfates alcalins.



Figure 2 : Localisation de la Hammam CHIGEUR de la wilaya de Tlemcen

L'eau qui l'alimente est de faible thermalité de 32°C. La concentration est appréciable (3 gr environ par litre). La salinité primaire est très élevée de 76, la salinité secondaire est de 10, l'alcalinité secondaire est de 13.

Les eaux viennent au sol à la faveur d'une faille qui met en contact les tufs rhyolitiques du Bled Chaaba (Miocène moyen) et les marnes du Miocène inférieur. Le Hammam est situé à 6

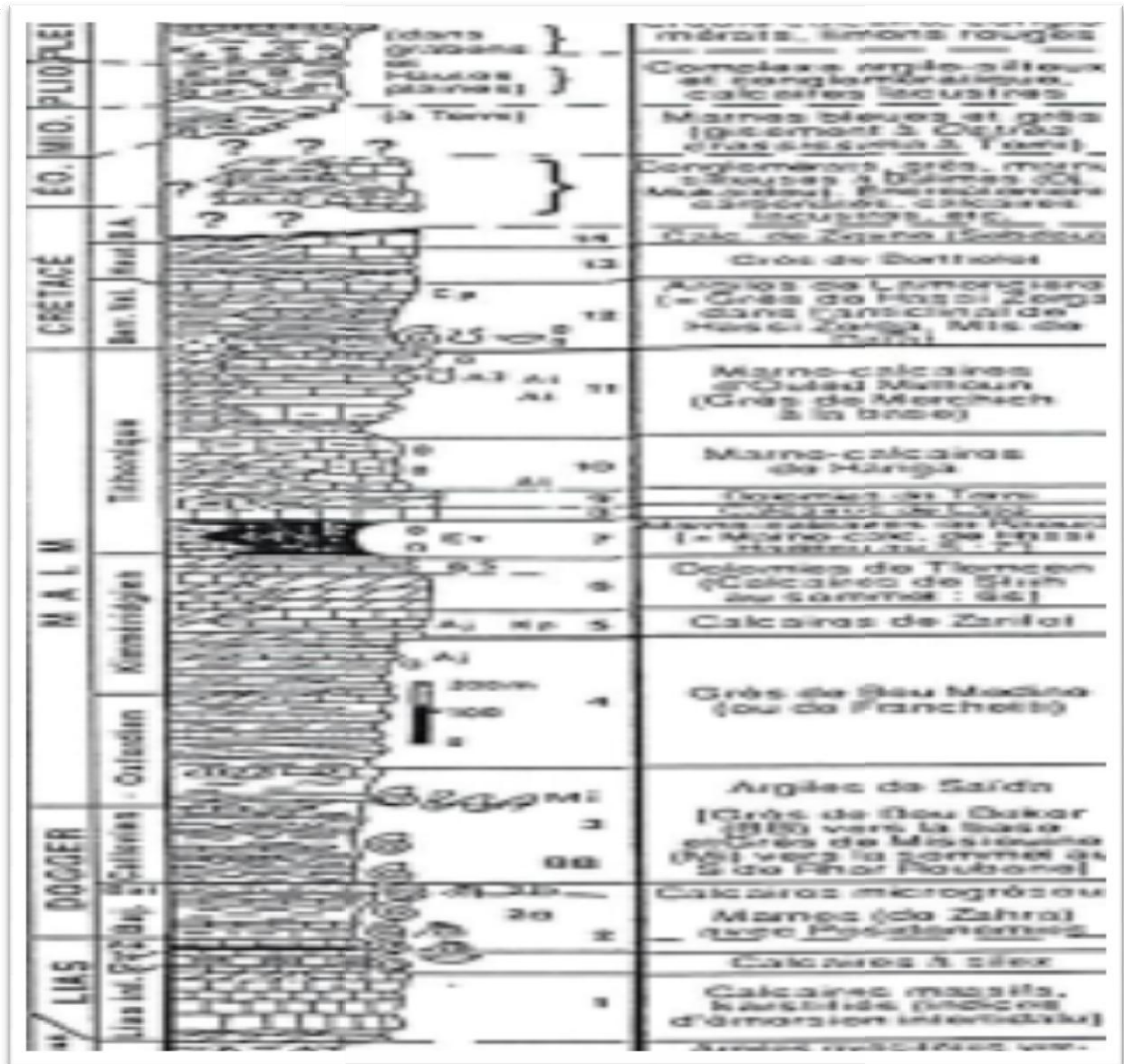


Figure 4 : colonne stratigraphique des monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines.

- d) Miocene supérieur : II est caractérisé à sa base par des grès qui annoncent la transgression miocène. On passe à des marnes miocènes bien représentées dans la zone d'études et au Nord de l'oued Mouillah ou il forme sa rive gauche. Vers le haut on passe à des marnes sableuses ;
- e) Miocene inférieur : II affleure au Sud-Ouest de la zone d'étude, représentés par des marnes ;
- f) Jurassique supérieur : II affleure à Maghnia et forme la rive droite d'Oued Mouillah au Nord. II est représenté par des marnes un peu gréseuses à la base qui passe à des dolomies cristallines.

III. lithologie et sols/ végétation du bassin versant de hammam boughrara

Les sols du bassin de la Tafna sont composés de quatre grands ensembles (Abderazak, in Rabah ,2014) :

- 1) les terres d'alluvions qui recouvrent les basses terrasses et les lits majeurs des oueds
- 2) les terres caillouteuses aux piémonts des monts de Tlemcen et des Traras : - les terres rouges à encroûtement, localisées dans les plaines de Maghnia et Ouled Riah ;
- 3) les terres marneuses, couvrant une grande partie de la région de Tlemcen.

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement. L'occupation végétale a une influence directe sur l'écoulement fluvial aussi bien que facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Cette influence de la forêt sur le régime des eaux en domaine méditerranéen a un rôle considérable. Le paysage végétal du bassin de la Tafna a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies et par une petite agriculture extensive et un surpâturage endémique. Ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion. Pour la distribution du couvert végétal par bassin, nous avons rassemblé et classé les diverses formes de culture de la façon suivante :

- Cultures extensives : elles rassemblent toutes les cultures annuelles telles que les céréales, les cultures maraîchères et l'association entre l'arboriculture et le maraîchage.
- Couvert forestier dégradé : sont rassemblés sous ce thème les maquis et les forêts claires, les zones en cours de reboisement, les forêts et les maquis dégradés par l'utilisation excessive du sous-sol forestier, le pâturage sauvage et irrationnel compromettant la rénovation, le déboisement intégral pour installer d'autres cultures et les effets des incendies.
- Couvert forestier normal : représenté essentiellement par les forêts et les maquis denses n'ayant subi aucune dégradation que ce soit par l'action de l'homme (pâturage sauvage, déboisement) ou par l'effet des incendies.
- Arboriculture : représentée principalement par les vignobles et l'olivieraie, et les agrumes, vergers et murais en quantité inférieure.

- Couvert mort : sont désignés par ce terme tous les terrains sur lesquels n'est présente aucune forme de végétation ou de culture utilisable, rendu nu par l'érosion ou par d'autres formes de dégradation.
- Prairies et terrains de pacage : représentés par les surfaces qui sont utilisées pour la plupart en pâturage direct des animaux, les terres occupées par l'alfa et la lavande.

Végétation dans le sous bassin de l'oued Mouillah D'une manière générale, les sols dans ce bassin sont constitués par :

- ❖ les sols calcaires qui longent l'oued Mouillah et se prolongent au Nord-Est des monts des Traras et aux piémonts de Tlemcen. On y trouve généralement une végétation herbacée.
- ❖ Les sols calciques : caillouteux et peu profonds, ils se développent surtout le long de la vallée d'oued Mouillah.
- ❖ Les sols alluviaux constitués principalement de sols calcaires lourds recouvrant les basses terrasses et les lits des oueds. Ils sont localisés au Nord de la plaine de Maghnia
- ❖ Les sols rouges à encroûtement : ces sols formés de marnes du Miocène, couvrent une grande partie de la plaine de Maghnia où l'on rencontre une culture extensive irriguée ; La distribution du couvert végétal, montre que la moitié de la superficie du sous bassin de l'oued Mouillah est constitué de terrains nus, localisés au Sud.

Ces terrains susceptibles d'être transpercés par l'effet de pluies violentes, correspondent à une zone plate à pente inférieure à 5%. L'autre partie du bassin se trouve suffisamment couverte pour résister aux menaces érosives.

IV. hydrologique de bassin versant de barrage de Hammam Boughrara

La superficie du bassin versant du barrage hammam boughrara est de 4000 km², dont 1700 km² se trouve dans le territoire marocain, la longueur de l'oued est de 87 km avec une pente de 18%.

L'affluent de l'oued Mouillah est le plus important pour le remplissage du barrage, dont les précipitations moyennes de la région qui inclut le bassin du barrage variantes entre (300mm et 400 mm/an), le transport solide (apport solide) dans le site de calcul est donc de 600.000 Tonnes/an, soit 2.26/s.

La retenue du barrage est destinée à satisfaire les besoins de la région en irrigation et en eau potable ; l'ouvrage a une capacité utile de 153 millions m³ dont un volume régularisée de 59 millions m³ répartie selon le programme suivant :

- 33 millions m³ destinée pour l'alimentation en eau potable de la ville de Maghnia .
- 17 millions m³ destinée pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran.
- 9 millions m³ destinée pour l'irrigation des terres en aval du barrage (ANBT)

Le réseau hydrographique à l'amont de barrage draine :

-La haut Tafna

En aval du barrage de béni-Bahdel, le centre de Sidi Medjahed (près de 6500 habitants) et de Bouhlou (près de 6000 habitants) qui déversent leurs eaux usées vers le barrage de hammam BOUGHRARA. Dans ce tronçon, l'eau est claire, le débit annuel moyen représente le 1/5 des eaux qui arrivent dans le barrage de Hammam Boughrara.

-Oued Mouillah

C'est un affluent de la rive gauche de l'oued Tafna, il traverse le territoire marocain où il prend le nom de l'oued « Bounaim » (Isly) ; son cours d'eau intermittent redevient permanent en aval de la ville d'Oujda (Maroc). A son entrée, en Algérie, il prend le nom d'oued Mouillah où il est permanent.

Mouillah représente les 4/5 des apports au barrage de hammam boughrara. Les principaux affluents de cet oued sont :

-Oued Abbes

Son régime est naturellement temporaire, assuré par les rejets industriels de Maghnia et particulièrement ;

- Le complexe des corps gras E.N.C.G
- La « maïserie Tafna »
- La « CERTAF » Céramique Tafna

Oued Abbes se déverse dans l'oued ouerdefou, en aval et à quelques kilomètres de la ville Maghnia.

-Oued ouerdefou

Est cours d'eau temporaire en amont de la ville Maghnia, permanent en aval, il draine les eaux usées urbaines de cette ville (près de 100.000 habitants) et les eaux de certaines activités industrielles dont principalement : l'entreprise nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles, « ENOF », située en plein centre de la ville de Maghnia

V. étude bioclimatique

V.1. précipitation

Pluviométrie à Hammam Boughrara pour déterminer les valeurs des précipitations tombant sur le plan d'eau du barrage, les données des observations des stations de Maghnia, Sidi Medjahed, Bou Hallou, Sabra et Nedroma, situées le plus près du site, ont été utilisées. Les précipitations au site du barrage sont voisines de 409.7.

Les valeurs moyennes mensuelles sur le bassin montrent clairement l'existence de deux saisons ; l'une humide allant de mois de Novembre au mois d'Avril, l'autre sèche s'étendant du mois de Mai au mois d'Octobre, la précipitation moyenne maximale est obtenue au mois de Décembre avec une hauteur égal à 64.2 mm Alors que la moyenne minimale obtenue au mois de juillet avec une hauteur égal à 2.36 mm

Fréquence des précipitations La répartition des précipitations est caractérisée par la présence de deux périodes (ANBT) :

- Humide de Novembre à avril (pendant laquelle tombent 78% des précipitations annuelles)
- Sèche de mai à octobre (le minimum des précipitations a lieu en juillet).

V.2 .température

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et saisonnier (ANBT)

Le climat se caractérise par un été chaud et sec, et un hiver relativement doux. La température moyenne annuelle varie entre 8.9 °C et 26.4 °C dans cette région. Le mois le plus

froid est celui de janvier (la température moyenne oscille entre 3.4 et 15.8 °C) ; le mois le plus chaud est celui d'Aout (température moyenne entre 18.0 et 34.1 °C).

V.3 Régime des vents

Le régime des vents a été étudié à partir des données d'observation relevées aux stations météorologiques de Tlemcen et d'Oran qui disposent des données les plus représentatives. (ANBT)

Ce sont les vents d'ouest et de nord-ouest qui prédominent sur le territoire étudié. La vitesse moyenne maximale du vent fait 24 m/s mais elle peut atteindre 44 m/s. A partir des données d'observation, un calcul statistique des vitesses maximales a été effectué.

V.4. l'environnement

Afin de comprendre l'effet de l'action de l'homme, qui affecte considérablement notre zone d'étude, nous avons jugé nécessaire d'étudier l'évolution de la population durant quatre périodes séparées par un intervalle du temps.

L'influence de la population sur le milieu naturel et sa répartition dans ce milieu sont des évidences. D'après Locatelli, (2000), une population trop importante (taux de croissance élevé) dégrade l'environnement et les moyens de sa production, comme les sols.

La population, ou du moins une partie de cette dernière, migre lorsque la famine la menace, en déplaçant le problème dans d'autres régions. Plusieurs études à l'échelle mondiale montrent que le dépassement de la capacité de charge peut engendrer une dilapidation des ressources naturelles.

Une pression démographique soumet le milieu à une exploitation excessive qui travaille à la fragilisation de l'écosystème. Ce constat a été même soulevé par **LEHOUE** en **1983**, ou il a noté que dans la plupart des zones aride mondiales, la population s'accroît au rythme exponentiel de 2.5 % à 3.5% par an, et parfois plus.

D'autre part, **FROISE** et **JACQUE**,(1999) signalent que la population avec sa forte concentration au niveau des communes a entraîné une urbanisation des écosystèmes forestiers, une régression du tapis végétal et même une consommation de l'espace agricole.

CHAPITRE II

Généralité sur les eaux termo-minérales

I. Définition des eaux thermales

L'eau minérale naturelle est définie par l'article 2 du décret no 89.369 du 6 juin 1989 comme: une eau possédant un ensemble de caractéristiques qui sont de nature que ses propriétés sont favorables à la santé. Elle se distingue nettement des autres eaux destinées à la consommation humaine par sa nature, caractérisée par sa teneur en minéraux, oligo-élément ou autres constituants et par certains effets, par sa pureté originelle souterraine de cette eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution. Elle provient d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forcées.

Elle témoigne, dans la carte des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de sec caractéristiques essentielles, notamment de composition et de température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée. En théorie, une eau minérale répond donc à quatre critères: aspect naturel (pureté originelle), composition spécifique, constance de la composition, propriétés favorables à la santé.

L'étude des textes régissant le domaine des eaux minérales montre qu'ils sont nombreux et variés, souvent anciens, parfois techniquement obsolètes et qu'ils ont des bases juridiques remontant dans certains cas au XIX^{ème} siècle : ordonnance royale du 18 juin- 1823 portant règlement sur la police des eaux minérales et décret du 28 janvier 1860 portant règlement d'administration publique relatif à la surveillance des sources et des établissements d'eaux minérales naturelles notamment. Ajoutons que la transposition en droit française de la directive européenne 80/777/CEE du 15 juillet 1980 modifiée par la directive 96/70/CE du 28 octobre 1996.

Il n'existe pas de définition simple et complète des eaux thermo-minérales car le terme recouvre des notions complexes. Plusieurs caractères les différencient des eaux souterraines ordinaires : leur température, leur minéralisation et leur action thérapeutique, mais ces caractères peuvent ne pas se présenter simultanément.

I.1. Les propriétés d'une eau thermale

Toutes les eaux thermales contiennent trois éléments de base les bicarbonates, les sulfates, et les chlorures :

- Les bicarbonates proviennent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanations du magma profond.

- Les sulfates sont issus du lessivage de gisements salifères (gypse) d'âge secondaire ou tertiaire.
- Les chlorures sont abondants dans les dépôts d'évaporites, le plus connu étant le chlorure de sodium (sel de cuisine).

Ces trois éléments de base sont associés avec du calcium, du magnésium et du sodium et du potassium. Mais il existe un grand nombre d'éléments mineurs qui font la particularité de chaque eau Brome, Iode, Fluor, Lithium, Strontium, Baryum, Silicium et des éléments sous forme de traces (oligo-éléments) Fer, Manganèse, Cuivre, Vanadium, Arsenic, Molybdène, Sélénium, ainsi que des éléments radioactifs. Tous ces éléments secondaires jouent un rôle capital dans le cycle des réactions biochimiques de l'organisme humain. Les dégagements gazeux provenant des zones profondes facilitent la remontée des eaux, les gaz sont en relation avec le magma, le volcanisme et les zones faillées. Le gaz carbonique est le plus fréquent, avec des traces d'azote, hélium, d'argon et de radon. Le dégagement du gaz carbonique provoque en surface des dépôts spectaculaires de bicarbonates comme les fontaines incrustées ou pétifiantes (FOURMARIER, 1958).

Les eaux thermales sont riches en minéraux, elles présentent des propriétés différentes en fonction de la localisation de leur source. Les caractéristiques chimiques des eaux permettent de les différencier :

- **Eau sulfurée ou sulfatée:** eau riche en soufre utilisée pour le traitement des voies respiratoires et des problèmes de peau.

Les eaux sulfurées constituent une catégorie d'eau ayant d'importantes propriétés dans le traitement des voies respiratoires. La composition chimique mal connue jusqu'à présent, les eaux sulfurées ont la particularité d'avoir un élément chimique le soufre sous plusieurs états différents d'oxydation. Depuis la forme la plus oxydée: (H_2S) , (HS) , $(\text{S})_2$, (RS) (R est un radical organique), polysulfures $(\text{HS})_n$, $(\text{S}_n)_2$, soufre élémentaire (S_8) , thiosulfates $(\text{S}_2\text{O}_3)_2$, sulfates $(\text{SO}_4)_2$.

Les eaux sulfurées ont un potentiel redox très négatif conduisant à une réactivité importante et à la coexistence d'espèces oxydées et réduites. Ces eaux sont instables et se combinent facilement avec l'oxygène. Elles peuvent aussi former sous l'action de la lumière soit du soufre élémentaire insoluble (S_8) apparaissant comme des particules jaunes dans les piscines thermales, soit avec l'oxygène de l'air des sulfates. En présence de composés organiques les sulfures forment des mercaptans qui sont souvent odorants. Les teneurs en sulfures

(exprimées en $(\text{H}_2\text{S})^-$ $(\text{H}_2\text{S}) + (\text{HS})^- + (\text{S})_2^-$ en milli mole/litre-mm/L) S'échelonnent entre 0,01 Mm/ L. (Respectivement 0,3 mg /L) pour les moins sulfurées à 4,3Mm/L (150 mg/L) pour les plus sulfurées. Des teneurs en sulfures inférieures à 0,01 m M/L ne sont pas caractéristiques d'eaux sulfurées mais résultent essentiellement d'une réduction accidentelle de sulfates en sulfures par voies microbienne et non chimique. La répartition entre les formes réduites est fonction du pH de l'eau: en milieu alcalin, les espèces $(\text{HS})^-$ et $(\text{S})_2^-$ prédominent sur (H_2S) tandis qu'en milieu neutre (H_2S) et $(\text{HS})^-$ sont prépondérants ce qui explique leur odeur d'œuf pourris dans les piscines. Les eaux sulfurées se répartissent en deux sous-catégories : Les eaux sulfurées sodiques et Les eaux sulfurées calciques (FOURMARIER, 1958).

Les eaux sulfatés $(\text{SO}_4)_2$ combinés au calcium et au magnésium provenant de la dissolution du gypse des couches géologiques profondes ; Selon leurs proportions de calcium/sodium/magnésium, ces eaux sont appelées eaux sulfatées calcique, sodique (rare en France) ou a mixtes lorsqu'elles contiennent des proportions non négligeables de sulfate et de chlorure de sodium. La solubilité du sulfate de calcium dépend de la température passe par un maximum à 38°C. Elles contiennent le plus souvent du magnésium avec des quantités parfois importantes de strontium naturel (jusqu'à 10 mg/L). Dans cette catégorie on rencontre les eaux de Vittel, Contrexéville, Dax exploitées pour les troubles urinaires et les maladies métaboliques.

- **Eau chlorurée:** eau chargée en chlorure de sodium préconisée pour favoriser la croissance.

Elles contiennent un ion dominant, les chlorures (Cl) combinés au sodium. Ces eaux ne sont jamais embouteillées. Elles sont principalement exploitées en rhumatologie dans les établissements thermaux en raison de leur température optimale et d'une densité plus importante que les eaux de distribution publique. Il existe deux sous-catégories:

- ✚ Les eaux chlorurées sodiques froides et très minéralisées ; ces eaux résultent de la dissolution naturelle dans le sous-sol de chlorure de sodium (halite), les teneurs pouvant atteindre la saturation (300g/L). Elles sont très corrosives vis-à-vis des installations métalliques et en sont généralement jamais utilisées en bains ou douches à l'état pur.
- ✚ Les eaux chlorurées sodiques chaudes et moyennement minéralisées leur minéralisation totale est généralement inférieure à quelques grammes par litre mais ces eaux sont corrosives vis-à-vis des installations métalliques.

- **Eau bicarbonatée** : eau contenant un taux de bicarbonate, pour les affections gastro-intestinales et dermatologique.

Toute eau souterraine généralement des hydrogénocarbonates (bicarbonates) (HCO_3^-) de sodium associés à du CO_2 en quantité plus ou moins importante; on pourrait le dénommer « eaux bicarbonatées » mais le CO_2 libre leur confère des propriétés spécifiques qui justifient ainsi de les classer dans une catégorie particulière. Il faut donc que le taux de dioxyde de carbone soit au moins supérieur à 250 mg/litre pour être une eau minérale naturellement supérieure à 1g/L en (HCO_3^-). Il convient de faire une distinction entre les équilibrées celles qui ne le sont pas en raison des teneurs en CO_2 libre et CO_2 lié (c'est l'équilibre calco-carbonique). Si l'impact de la répartition du CO_2 libre entre CO_2 incrustant, le CO_2 équilibrant et le CO_2 agressif est important pour les installations et les canalisations (précipités de fer, de carbonate de calcium dans les piscines et catégorie dans une particulière baignoire, corrosions diverses des tuyaux), il ne semble pas que son rôle soit important sur l'efficacité médicale. Le PH de ces eaux est généralement faible (5,5- 6,5) et l'anion dominant est généralement du sodium à des teneurs supérieures à 1g/L et plus rarement du calcium (FOURMARIER, 1958).

- **Eaux peu minéralisées** : Ce sont des eaux faiblement minéralisées (minéralisation inférieures à 500mg/L) et sans élément spécifique permettant de les classer dans une des familles précédentes.

Ce sont souvent des eaux peu minéralisées, parfois très faiblement minéralisées contenant quelques dizaines de milligrammes par litre d'hydrogénocarbonate de calcium et parfois de magnésium. Dans cette catégorie on trouve les eaux oligo-minérales. La présence d'éléments traces comme le cuivre, l'arsenic le sélénium, le zinc ou le vanadium à des teneurs d'absorption atomique, et de nos jours, de masse maintenant couplée à une torche à plasma; il est difficile d'attribuer une activité thérapeutique à des éléments traces contenus dans l'eau à des teneurs de l'ordre du microgramme par litre (LAUNAY, 1899).

- **Eaux ferrugineuses** : Il ne s'agit pas à proprement parler d'une catégorie spécifique puisque le fer dissous (de l'ordre du milligramme par litre) n'est jamais l'élément prépondérant.

Le fer et le manganèse sont toujours associés à un autre élément (des bicarbonates), le fer et le manganèse sont toujours associés à un autre élément (bicarbonates), quelquefois plusieurs ions comme les chlorures et les sulfates de sodium et de calcium des catégories précédentes

ainsi que souvent du CO_2 en quantité importante. Le fer pourrait constituer une sous-catégorie d'eaux énumérées précédemment, à l'image des eaux ayant des traces de sulfures qui n'en sont pas réellement. Le fer soluble est présent sous forme de $(\text{Fe})_{2+}$ à des teneurs comprises entre 0,5 et 20 mg/L, ces eaux sont en général des eaux d'origine profonde, pauvres en oxygène et comportant également du manganèse soluble sous la forme $(\text{Mn})_{2+}$ (LAUNAY, 1899).

En présence d'oxygène consécutif à une aération de l'eau durant le transport, le stockage ou les thermes dans une baignoire ou piscine, ces éléments sont oxydés le cas échéant en $(\text{Fe})_{3+}$ ou en $(\text{Mn})_{4+}$ et précipitent sous forme hydroxyde ou de carbonate de fer.

I.3. Origine des eaux termo-minérales

I.3.1. Origine artésienne.

L'origine des eaux thermales a longtemps passé pour mystérieuse; leur température anormale, leur forte minéralisation habituelle, leurs propriétés spéciales, vraies ou supposées, conduisaient facilement à établir, entre elles et les sources simples, une démarcation absolue, qui n'a pas, de raison d'être et les philosophes (au sens ancien du mot, ou les géologues ne faisaient qu'obéir à cette tendance générale, en cherchant des explications très compliquées de ce phénomène, considéré comme surnaturel.

C'est ainsi que, jusqu'à une époque des plus récentes, on a vu attribuer la chaleur de ces eaux à la combustion de couches de houille invisibles, à l'oxydation de masses de pyrite, à de colossales batteries galvaniques, produites par la disposition relative des roches en profondeur (Fodéré, Socquet, Anglada), ou enfin, par une hypothèse encore en faveur auprès de bien des esprits, à une action volcanique directe, toutes les eaux chaudes étant alors considérées comme une émanation, une fumerolle des magmas ignés profonds, le résultat d'une sorte de rochage des éléments aqueux et salins, emprisonnés sous l'écorce terrestre avant sa consolidation (CASTANY, 1967).

La même tendance, appliquée aux phénomènes géologiques anciens, avait, conduit toute une école à expliquer inversement, par ces sources thermales, par ces geysers volcaniques, une foule de réactions susceptibles d'une interprétation plus simple, telles que la silicification de bancs sédimentaires, la formation de cristaux de fluorine, de strontianite ou de pyrite, le dépôt d'amas de gypse, de sel, de soufre ou de substances diverses dans les terrains stratifiés, etc.

Albert le Grand, Descartes, Laplace, Elie de Beaumont et M. Daubrée admettent que, l'hypothèse que tout au moins quelques sources thermales, dites géothermales, devaient

résulter de la circulation artésienne d'infiltrations superficielles, échauffées et minéralisées dans leur parcours souterrain.

II. Les eaux thermales en Algérie

L'Algérie dispose d'un potentiel thermal considérable d'eaux thermo-minérales, réparties sur l'ensemble du territoire national. Ce potentiel, dont une grande partie des sources le constituant est encore à l'état naturel, est caractérisé par la diversité des vertus thérapeutiques avérées et représente une base solide pour le développement d'un « tourisme thermal, de soins et de bien-être » compétitif, en offrant d'énormes opportunités d'investissement.

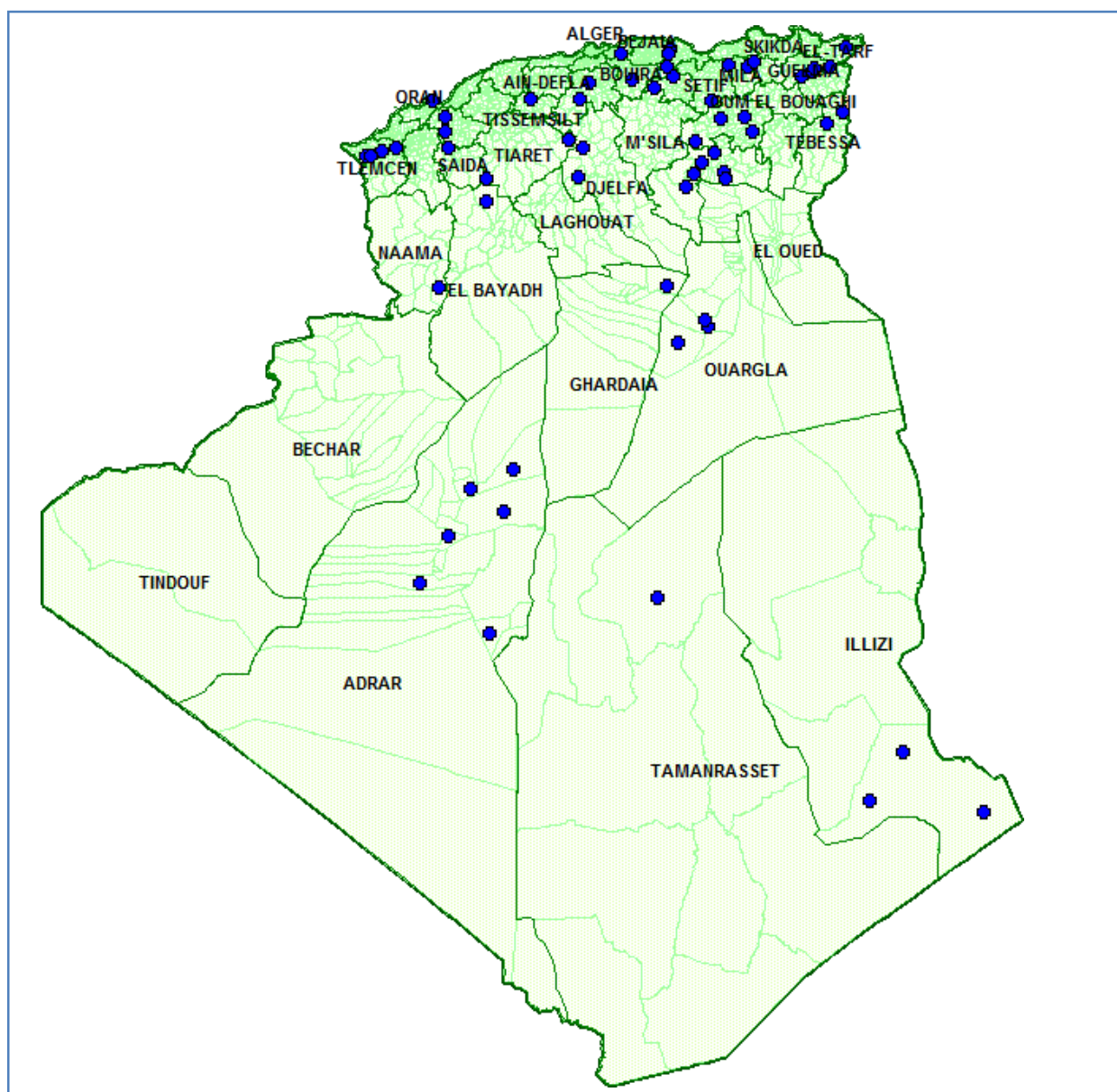


Figure 5 : Répartition spatiale des cent (100) sources thermales sur le territoire national
(source : ministère du tourisme et artisanat, 2017)

L'étude d'actualisation du bilan thermal réalisée en 2015, sur l'ensemble du territoire national, a permis d'identifier **282 sources thermales** (émergence naturelle et forage). En plus des concessions déjà octroyées, et tenant compte des caractéristiques physico-chimiques et des valeurs thérapeutiques des eaux thermales, il existe actuellement près de 100 sources thermales pouvant être exploitées pour la réalisation de nouveaux projets. Parmi ces 100 sources thermales pouvant abriter des projets d'investissement, plus d'une trentaine de sources sont exploitées actuellement en bains thermaux traditionnels et constituent une priorité pour l'investissement vu leurs vertus thérapeutiques avérées.

II.1. Classification des sources thermales identifiées en Algérie

 Selon le facies chimique

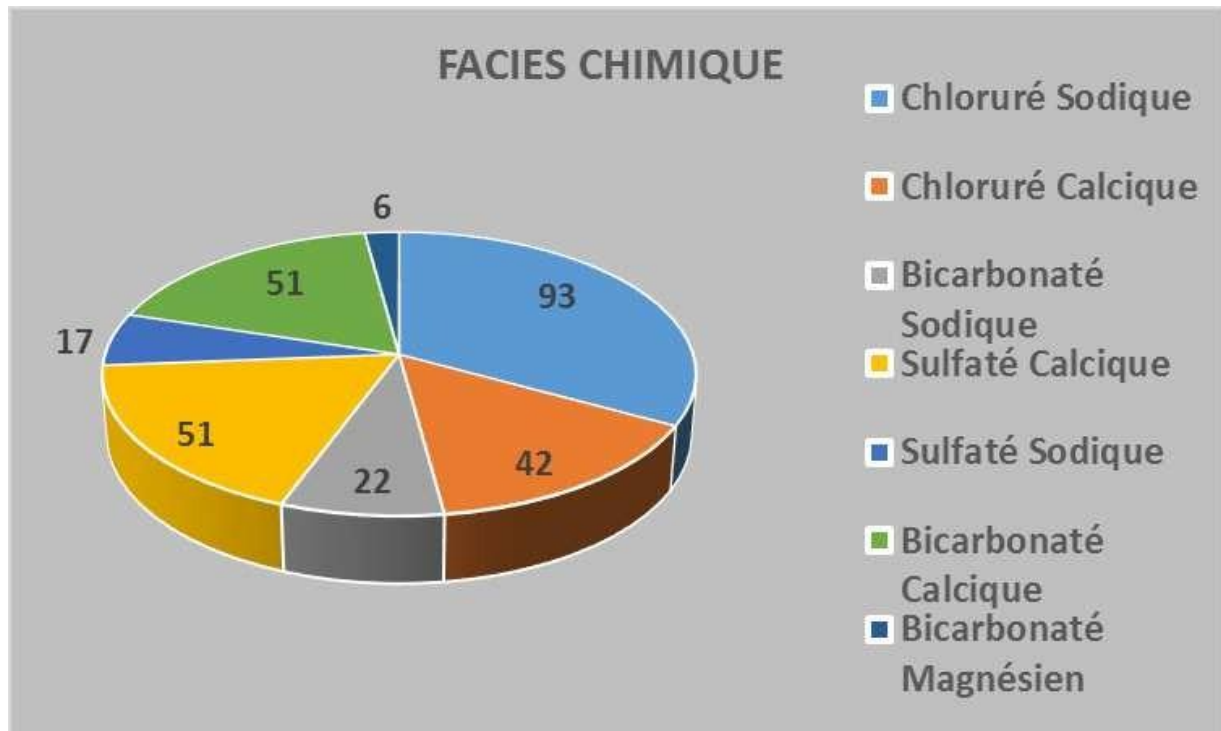


Figure 6 : Classification des eaux termo-minérales en Algérie (Source : Ministère du Tourisme et Artisanat, 2017)

On distingue dans le territoire algérien, sept faciès chimiques : chloruré sodique, chloruré calcique, bicarbonaté sodique, sulfaté calcique, sulfaté sodique, bicarbonaté calcique et bicarbonaté magnésien.

Selon le Débit

Tableau N° 1 : Classement des eaux thermo-minérales en Algérie selon leurs débit

(source : Ministère du Tourisme et Artisanat, 2017)

Classe	Nombre de sources thermales
Débit fort supérieur à 10 l/S	98
Débit moyen entre 5 et 10 l/S	48
Débit faible inférieur à 5 l/S	136

Le tableau ci-dessus, représente le débit de différentes sources thermo-minérales recensées en Algérie, le débit maximum ne dépasse pas les 10 l/S.

Selon la température

Tableau N°2 : Classement des eaux thermo-minérales en Algérie selon leurs températures (source : Ministère du Tourisme et Artisanat, 2017)

Classe	Nombre de sources thermales
hyperthermales T supérieur 50°C	80
Mésothermales T entre 35 °C à 50°C	81
hypothermales T entre 20°C à 50°C	102
eaux froides T inférieur à 20°C	19

Le tableau ci-dessus, représente la température de différentes sources thermo-minérales recensées en Algérie, on distingue quatre classes : hyperthermales, Mésothermales, hypothermales et eaux froides.

II.3. Cadre réglementaire de l'exploitation des eaux minérales en Algérie

Caractérisée par quelques imperfections et une situation de pseudo vide-juridique pour un traitement spécifique recommandé, la législation appliquée en Algérie jusqu'à juillet 2004, en matière d'exploitation et de production des eaux conditionnées, a engendré une situation de non contrôle et de confusion, notamment en matière de qualité.

Cette situation a poussé les pouvoirs publics à adopter une série de textes relatifs à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de sources embouteillées. Ces textes reflètent bien la volonté des pouvoirs publics de concrétiser la mise à niveau de l'ensemble du dispositif réglementaire aux normes internationales. Les textes

adoptés répondent à deux objectifs fondamentaux, à savoir le respect des qualifications requises pour la sélection de ces types d'eaux et pour leur consommation et le respect de l'environnement (Hazzab, 2011). Ainsi, et conformément aux dispositions des derniers textes adoptés (**Arrêté interministériel du 22 janvier 2006**), (**Décret exécutif no 04-196 du 15 juillet 2004**), l'autorisation des pouvoirs publics centraux est devenue incontournable pour l'exploitation, la production et la commercialisation des eaux minérales et des eaux des sources. Auparavant, et en application du décret relatif à la concession des travaux de recherche et de captage d'eau (Décret no 86-227 du 2 Septembre 1986), cette autorisation s'effectuait au niveau local. Avec les nouveaux textes, cette démarche n'est devenue qu'une étape pour l'obtention de l'autorisation d'exploitation. Celle-ci est désormais subordonnée à l'étude et à l'analyse de la nature de l'eau à exploiter, aux études environnementales et aux études d'impacts, rendues obligatoires par la nouvelle réglementation. Ces études sont suffisantes pour l'appellation eau de source. La dénomination d'eau minérale n'est toutefois accordée qu'après un suivi rigoureux de la qualité de l'eau produite. Ce suivi est réalisé pour une période d'une année et doit prouver la stabilité des caractéristiques physico-chimiques de l'eau mise en exploitation. Quant à la commercialisation du produit conditionné, elle est subordonnée au respect d'un nouvel étiquetage qui comporte obligatoirement l'indication des éléments contenus dans les eaux commercialisées. Ces précautions réglementaires visent à protéger le consommateur et à l'aider dans son choix d'une eau minérale appropriée selon le goût et éventuellement les vertus thérapeutiques recherchées (Hazzab, 2011).

CHAPITRE III

Caractérisation des eaux de hammam chiguer et boughrara

I .Etude Des Paramètres Physico-Chimiques

Le diagramme suivant montre la variation des paramètres physico-chimiques des eaux des sources thermales de hammam boughrara et hammam ben chiguer.

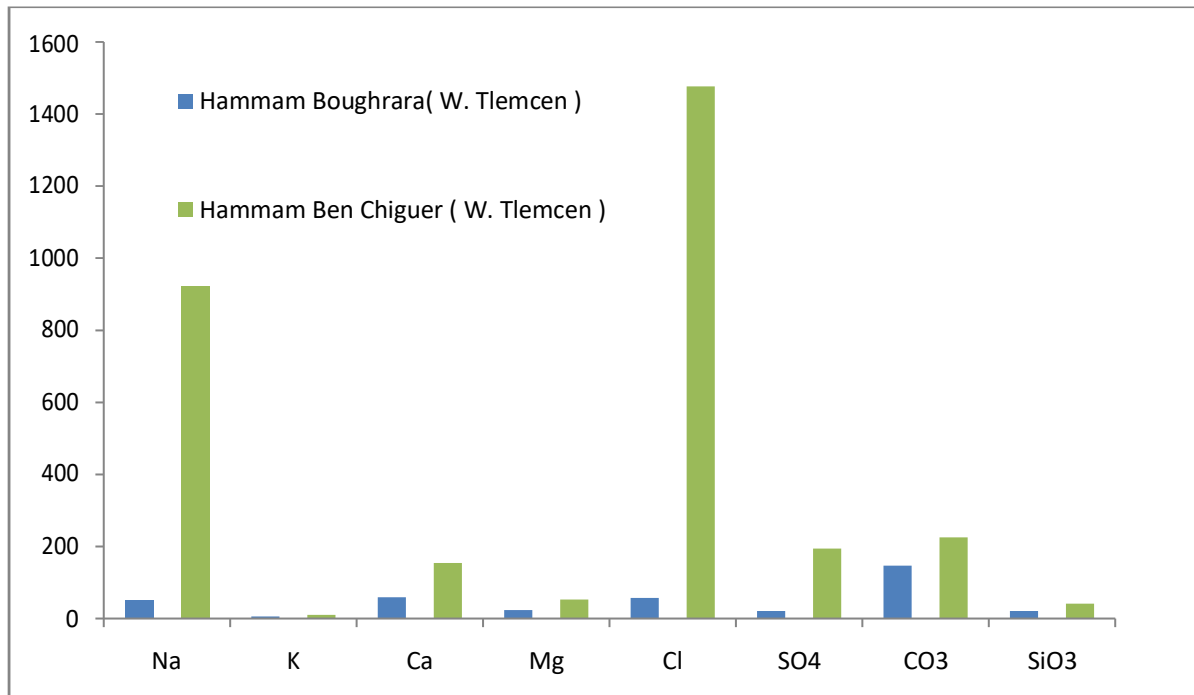


Figure 7 : Diagramme de la variation des paramètres physico-chimiques des eaux thermales

On remarque pour Hammam Ben Chiguer des valeurs très importantes ont été enregistrés pour les chlorures Cl (jusqu'à 1480 mg/l) et le Sodium Na (jusqu'à 900 mg/l). Des concentrations moyennes ont aussi retenues pour les sulfates et les bicarbonates et le calcium. Tandis que toutes les sources marquent des faibles concentrations dans la zone de en potassium et en magnésium et en Sillicium, dont la valeur maximale est de 80 mg/l (figure).

Pour Hammam Boughrara ; On remarque que toutes les valeurs dans ce Hammam sont très faible par rapport de Hammam Ben Chiguer. On note ; pour les chlorures (jusqu'à 57 mg/l), le Sodium Na (jusqu'à 52 mg/l), le potassium K (jusqu'à 5, 25 mg/l), le calcium Ca (jusqu'à 59 mg/l), le sillicium SiO3 (jusqu'à 21 mg/l).

II. Analyse du diagramme de piper

On a utilisé l'ensemble des données pour tracer les diagrammes de Piper. Nous représentons ici les résultats relatifs aux deux sources étudiés. Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r %) de chaque cation et anion. Les deux points sont reportés sur un losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme présente l'avantage de pouvoir regrouper un grand nombre d'analyses.

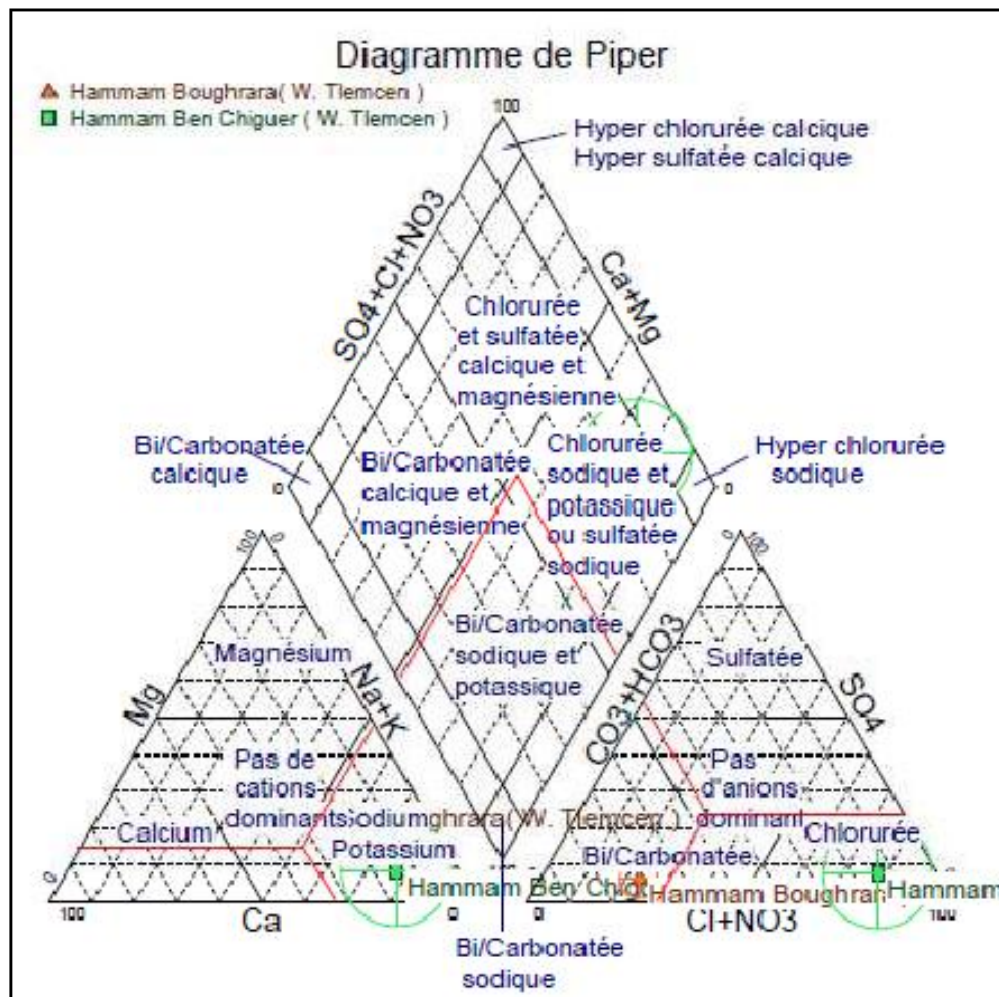


Figure 8 : diagramme de Piper pour les sources de hammam bouhrara et hammam ben chiguer

On classe l'eau de source de Hammam Bouhrara dans la classe des Eaux sulfurées sodiques issue d'un faciès sulfurée.

On classe l'eau de source de Hammam Ben Chiguer dans la classe des Eaux chloro-sulfurées issue d'un faciès sulfurée.

III. Analyse du diagramme de berkaloﬀ et scheller

Le diagramme de Schoëller-Berkaloﬀ permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les deux sources qui représentent les différents éléments chimiques.

On a utilisé l'ensemble des données pour tracer les diagrammes de Schoeller-Berkaloﬀ. Nous représentons ici les résultats relatifs aux deux sources d'eaux étudiées.

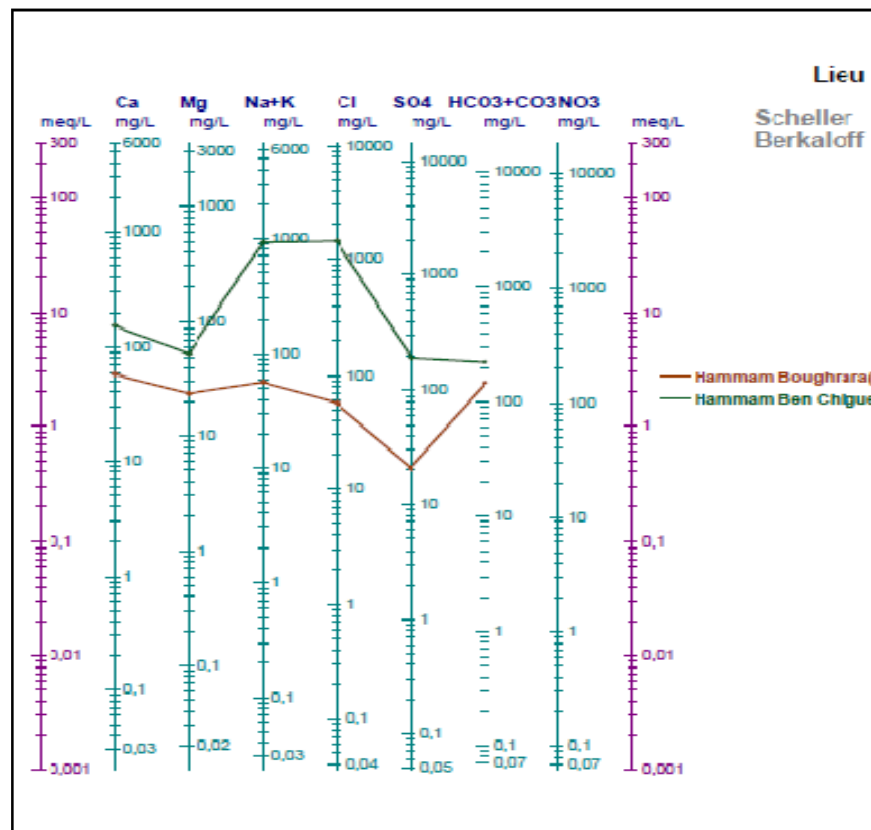


Figure 9: Diagramme de Schoeller-Berkaloﬀ pour les sources de hammam boughrara et hammam ben chiguer

Le diagramme tracés pour les deux sources de la nappe de hammam Ben Chiguer et Hammam Boughrara, confirme la prédominance du faciès sulfurées sodiques et chloro-sulfurées permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée essentiellement aux ions chlorure, sulfure et sodium.

L'appauvrissement en calcium des eaux thermales peut provenir de la précipitation de minéraux avec la roche encaissante, l'appauvrissement en sulfates et en bicarbonates peut être lié à de la réduction de cet élément en sulfures ou bien à la précipitation d'un minéral de sulfate comme le gypse. On remarque aussi l'enrichissement en sodium et en potassium.

IV. Analyse diagramme de STABLER

Les données sont exploitées pour tracer ce diagramme pour les deux sources étudiées pour savoir le degré d'alcalinité de ces eaux.

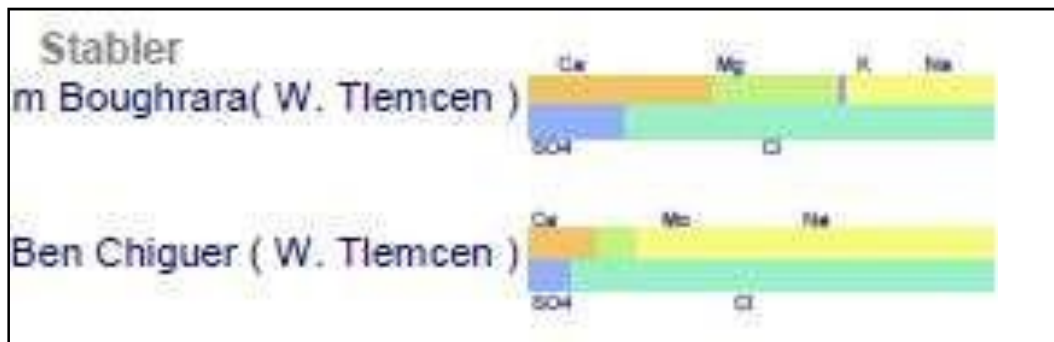


Figure 10 : Diagramme de Stabler pour les sources de hammam bouhrara et hammam ben chiguer

On remarque sur ce diagramme la prédominance des chlorures et les sulfures. Le sodium et le magnésium marquent des valeurs moyennes caractérisant le sous-faciès de ces sources étudiées.

V. Etude des rapports caractéristiques

L'utilisation de certains rapports entre les éléments chimiques permet de préciser le milieu de provenance des eaux thermo-minérales, de comparer leur concentration en éléments chimique et de confirmer les résultats précédents.

L'étude des rapports caractéristiques a concerné les rapports suivants:



Le rapport Cl-/SO4

Représente une approche de la connaissance des variations des teneurs en chlorures dans le sous-sol. Ce rapport permet de distinguer les eaux qui ont circulé à travers des roches évaporitiques en dissolvant les sels sulfatés, principalement le gypse; dans ce cas, on obtient

des valeurs inférieures à 1, de celles qui ont dissout des sels chlorurés, fondamentalement la halite, avec des valeurs supérieures à 1 (El morabiti et *al.*, 2008).

Le rapport Mg+2/Ca+2

Permet d'apprécier la part du Magnésium (provenant de roches dolomitiques) par rapport au Calcium. Une valeur élevée serait liée à la présence de dolomies et/ou à un temps de séjour long (Barbieri et *al.*, 2005). Si les valeurs de ce rapport sont faibles, ceci est dû à leur enrichissement en ion calcium, qui aurait pour origine l'échange cationique inverse entre l'eau et le substratum marneux. L'enrichissement en magnésium et l'appauvrissement en calcium sont dus essentiellement aux réactions d'échange ionique.

Le calcul des rapports caractéristiques a donné les résultats suivants (Tab. N°) :

Nomenclatures	Mg^{+2}/Ca^{+2}	$Cl / SO4$	$Na^{+2}/Ca+2$	$Na+/Mg+2$
Hammam Boughrara	0,4	2,76	0,88	2,19
Hammam Ben Chiguer	0,34	7,62	6,04	17,57

- Le rapport Cl- / SO4-2 est important. Il est de l'ordre de 2,76 indiquant de fortes teneurs en chlorures prédominantes par rapport aux sulfates.
- Le rapport Na+/Ca+2 est inférieur à 20 pour les deux sources, ce qui indique une faible teneur en sodium par rapport au calcium.
- Le rapport Na+/Mg+2 est moyennement élevé pour les sources traduisant ainsi la prédominance des alcalins sur les alcalino-terreux.
- Le rapport Mg+2/Ca+2 est inférieur à 1 pour les deux sources, ce qui traduit la prédominance du magnésium et inversement, une augmentation notable du calcium.

Discussion

Les eaux thermo-minérales étudiées sont liées à un système très complexe traduisant la circulation des eaux en profondeur. Le contact des eaux de ces sources avec des terrains argileux ou marneux, ou des formations évaporitiques ou carbonatées, conduit souvent aux échanges qui influencent le chimisme et la minéralisation originelle de l'eau acquise dans le réservoir.

La caractérisation de ses eaux est nécessaire à la compréhension des phénomènes qui se produisant dans les systèmes aquifères. Elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et d'estimer leur origine.

La température des eaux échantillonnées dans le nord d'Algérie, varie de 16°C à 65 °C, elle. Cette variation de température des eaux thermales peut être fonction de la profondeur de l'aquifère et de leurs origine géothermique. Selon Verdeil (1986) et A. Issaadi (1992), On put classer suivant la température la source Ben chiguer dans la classe des eaux Méso-thermales, la température à l'émergence entre 22°C et 37°C. La source de Boughrara dans la classe des eaux Orto-thermaux, la température à l'émergence entre 37°C et 45°C. D'après « élément de l'Atlas géothermique de l'Algérie », du bulletin des énergies renouvelables (Ouali S, 2018) ; que les températures les plus élevées du réservoir albien se trouvent vers le nord-est (eau captive). Les températures sont minimales au sud-ouest (zone d'affleurement de la nappe).

On remarque également les teneurs en **Calcium** oscillent en général entre 59,91 et 154,5 mg/l, en bordure des formations carbonatées et des marnes avec des lentilles de gypse d'âge Sénonien, donc ces fortes concentrations proviennent essentiellement de la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) de bordure, et des gypses contenus dans les marnes. Les teneurs croissent dans le sens de l'écoulement des eaux.

Les concentrations en **Magnésium**, varient de 24,54 à 53,73 mg/l. On note que Ces teneurs faibles sont observées dans la parité Nord-Ouest du synclinal au piémont sud du flanc nord. Les ions (Mg^{2+}) proviennent, comme les ions (Ca^{2+}), de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomites : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2(\text{CO}_3^{2-})$), comme peuvent se traduire également par la dissolution des formations salifères, ou il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite: $\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$).

Les concentrations du Sodium varient entre 52,34 et 923,5 mg/l. Ces concentrations peuvent se traduire par la dissolution des formations salifères contenues et augmentent progressivement lorsque en allant vers le Nord-Est.

Les teneurs en Chlorures varient entre 56,4 à 1476,5 mg/l. Ces fortes concentrations peuvent se traduire par la dissolution des formations gypsifères dans la bordure. Des hautes eaux et basses eaux mettent en évidence l'effet du lessivage des formations traversées. Les évaporites constituent la source principale de cet enrichissement. L'influence marine, la proximité des bassins endoréiques (Chotts, Sebkhass), peuvent aussi être à l'origine de cet élément.

Les teneurs en Bicarbonates varient entre 146 à 225 mg/l. Ils proviennent de la dissolution des formations carbonatées (calcaire, dolomie) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) selon l'équation suivante: $\text{CaCO}_3(\text{S}) + \text{H}_2\text{O}(\text{L}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$.

Les concentrations en Sulfure oscillent entre 20,94 et 194,84 mg/l. Ces fortes valeurs peuvent s'expliquer par la dissolution des sels minéraux (gypses) contenus dans les formations Sénoniennes et par le lessivage des formations gypsifères.

Les teneurs du Potassium oscillent entre 2 et 10 mg/l. Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste) et les formations argileuses riches en potassium contenus dans l'Albien.

Les teneurs en Silicium oscillent entre 20 mg/l et 42,50 mg/l. Il s'agit de la forme minéralogique de la silice, celle du grain de sable, sable des grès **vosgiens triasiques**, sables verts de Champagne, toutes sortes de sable. Ces grains sont constitués de quartz pur sous la forme la plus fréquente dans le règne minéral.

Concernant les origines géologiques de ces éléments dans les eaux thermo-minérales échantillonnées dans l'ouest Algérien ; on peut conclure que :

La source de Hamam Bouhrara est de faciès sulfurés ; avec une eau sulfatée sodique dérivant d'une eau sulfatée sodique. L'origine de ces éléments est les poudingues marnes sableuses du Miocène inférieur et de roche éruptive témoignant de la dislocation des sédiments Miocènes.

L'eau de source de Ben Chiguer est une Eau chloro-sulfurée dérivant d'une eau chlorurée ; cette source est de faciès sulfurée. L'origine de cette eau est la faille qui met en contact les tufs rhyolitiques du Miocène moyen et les marnes du Miocène inférieur.

La représentation des résultats des eaux thermo-minérales sur le diagramme de Piper indique qu'il y a peu de diversité. Les eaux étudiées sont du type chloro-sulfurée et sulfurée sodique. La classification tient compte de la teneur des constituants ioniques (sodium Na^{2+} , chlorures Cl^- , sulfates SO_4) d'après les classements des eaux minérales adoptés par (Belitz et *al.*, 2009 ; Hubert et *al.*, 2002 ; Huret, 2010 ; Krachler et Shotyk, 2009 ; Lourenc, o, 2010 ; Petraccia et *al.*, 2006, Vander Aa, 2003).

Conclusion

Conclusion

Ce travail a mis en évidence l'importance géologique, hydrogéologique et hydrogéochimique pour la compréhension des processus souterrains à l'origine de l'eau thermo-minérale et sa minéralisation dans les deux sources étudiés dans l'ouest algérien. Les conclusions obtenues peuvent se résumer en plusieurs points:

L'ouest d'Algérie possède de nombreuses sources thermo-minérales. Les températures retenues à l'émergence varient entre 22°C et 37°C. Les sources thermo-minérales sont étroitement liées aux différents réservoirs aquifères rencontrés dans Le nord d'Algérie. Les principaux réservoirs sont généralement de nature bicarbonatée ou sulfurée ou chlorurée. Ils correspondent aux formations du Crétacé inférieur, aux formations la dolomie **Triasique** et marnes **Albiennes**, les tufs rhyolitiques du **Miocène moyen** et les **marnes du Miocène inférieur et les marnes Schisteuses** ; les calcaires du **Crétacé inférieur**, les marnes **Secondaires** ou **Tertiaires**. L'étude des caractéristiques hydrochimiques des eaux thermo-minérales étudiées montrent que la majorité des sources échantillonnées appartiennent au faciès sulfatée sodique et sulfurés. Leur salinité est surtout contrôlée par les chlorures et le sodium. Les zones les plus chargées sont en liaison direct avec les formations évaporitiques du Trias.

La présente étude a permis de donner des indications précises concernant les eaux thermo-minérales dans l'ouest d'Algérie. Ces indications peuvent servir à la mise en place d'une base des données pour toutes questions qui concernent l'étude des eaux minérales en Algérie, aussi bien pour les questions économiques, hydrogéologiques, géochimiques que juridiques

Références bibliographiques

- **GUIGUE S., 1947.** “ Les sources thermo minérales del’Algérie”, Etude géochimique, Bulletin du service de la cartogéologie de l’Algérie, série 3, volume 2.
- **BOUGHALALI M, 2003.** “Thermalisme et thalassothérapie en Algérie”, communication, Revue la Presse thermale et climatique 2003, pp 140,165. Société française d’hydrologie et de climatologie médicale, 2003
- **L’Algérie Touristique, Février 1930.** Chapitre 3 : EAUX THERMALES EN ALGÉRIE Cahiers Du Centenaire De l’Algérie, N° V ; Publications Du Comité National Métropolitain Du Centenaire De l’Algérie, Alger, Février 1930: [Http://Alger-Roi.Fr/Alger/Algerie Touristique/Textes/Chapitre3.Htm](http://Alger-Roi.Fr/Alger/Algerie_Touristique/Textes/Chapitre3.Htm)
- **ALAIN LE MARECHAL, 1976.** Géologie et géochimie des sources thermo-minérales -Du Cameroun, travaux et documents de l’ORSTOM N°59. **ORSTOM-PARIS, 1976.**
- **LAUNAY (L. de), 1899.** Recherche, Captage et Aménagement des sources thermo-minérales. Librairie Polytechnique Baudry Paris, 642 p.
- **CASTANY (G.), 1967.** Traité pratique des eaux souterraines (chap. 23 : Eaux thermo-minérales, p. 588-645). Dunod, Paris, 2^e éd., 661 p.
- **FOURMARIER (P.), 1958.** Hydrogéologie (3^e partie : Les eaux thermales et les eaux minérales p. 237-259). Masson, Paris, 2^e édition, 294 p.
- **CADISCH (J.), 1969.** Die Mineralquellen der Schweiz. Internat. Geol. Congr., 23^e Sess, 1968, vol. 18, p. 133-137.
- **LOPEZ DE AZCONA (J.M.), 1969.** Aguas minerales y termales de Espana. Internat. Geol. Congr., 23^e Sess., 1968, t. 18, p. 113-125.
- **Hazzab Abdelkrim, 2011.** Eaux minérales naturelles et eaux de sources en Algérie Article in Comptes Rendus Geosciences · January 2011. DOI: 10.1016/j.crte.2010.11.00.