



Cit this : *JOWSET*, 2019 (04), N°01, 443-451

Etude géologique et qualités physico-chimique et bactériologique des eaux thermales de la source "Ain Hamra" de la Province de Taza (Rif Oriental - Maroc).

Hanan Taybi^{1*}, Kaoutar Bargach¹, Mohamed Boulfia¹, Fatima Lamchouri¹

^[1] Laboratoire Matériaux, Substances Naturelles, Environnement & Modélisation (LMSNEM), Faculté Polydisciplinaire de Taza, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, Maroc.

*Corresponding Author: Hanan Taybi; Tel.: +212535211976/77; Fax: +212535211978; Email: hanan.taybi@usmba.ac.ma

The Moroccan thermal spring of Ain Hamra is located 1 km from the provincial road connecting Aknoul to Bourd and a few kilometers from Ajdir (Province of Taza). It's used by many curists for its healing properties. This study aims a hydro geochemical and bacteriological analysis of Ain Hamra waters to determine the correlation between the geological structure and the physicochemical composition and to prevent the health risk related to the use of these waters.

This study showed that this water is particular by high iron and carbon dioxide content, and its high natural mineralization. The tectonic analysis by computer processing of the faults allowed deducing the emergence fault, the origin of the CO₂ which is infracrustal as well as the iron resulting from the waters of the basement alteration cuirasses and the metamorphic rocks (FeCO₃). The results of the bacteriological analyzes of Ain Hamra spring waters, showed the total absence of the germs responsible of the nonconformity of the waters and revealed that these waters are of excellent bacteriological quality.

Received: 24 May 2018

Accepted: 28 December 2018

Available online : 28 December 2018

Keywords :

Ain Hamra;
Province of Taza;
Morocco ;
Geological study;
Physico-chemistry;
Bacteriology;
Strong mineralization;
Iron and CO₂.

Introduction

Le Maroc compte plus d'une centaine de sources thermales, réparties sur six zones thermales : Nord-Est et Sud Rifain, Maroc centrale, Moyen-Atlas, Haut-Atlas, Anti-Atlas et Sahara marocaine. Plus de 50% de ces sources appartiennent à la chaîne rifaine [1].

Notre région d'étude d'Ain Hamra appartient au domaine Méso rifain, plus précisément aux nappes d'Aknoul et de Bou-Haddoud (nappe intrarifaine) qui forment de vastes unités qui s'empilent les unes sur les autres et font partie de la chaîne rifaine orientale.

Les eaux thermales de la source Ain Hamra, acquièrent un grand intérêt et aussi constituent une richesse inestimable pour ses fidèles visiteurs. Ses vertus curatives indiquées sur une plaque en marbre accrochée à l'intention des visiteurs et des curistes, font état de ses bienfaits thérapeutiques sur l'anémie, les maladies respiratoires, les maladies hépatiques et de l'appareil digestif et rhumatismales et articulations, d'où un flux important des populations, non seulement du nord-est marocain, mais également de tout le Maroc. L'eau de cette source, riche en fer, est semblable par son goût et sa saveur à celle de la célèbre source thermale française de Vichy[2]. Dans la nature, l'eau n'est pas toujours source de vie, elle peut être

non conforme aux normes d'eau potable, et peut véhiculer de nombreux micro-organismes, bactéries, virus et protistes de tout genre, qui y vivent et s'y développent. L'analyse bactériologique est donc un outil incontournable de l'enquête sanitaire, car il permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Elle permet également de contrôler l'efficacité des mesures de protection ou de traitement. L'évaluation de la qualité de l'eau consiste en un dénombrement des bactéries indicatrices d'une contamination d'origine fécale ou en une détection de la présence des bactéries pathogènes en utilisant des méthodes normalisées ou validées de microbiologie [3].

Peu d'études scientifiques étaient menées sur la source thermale d'Ain Hamra, le premier qui a parlé de ses vertus médicinales est le docteur Chano en 1956 [2] et par la suite au début du 21^{ème} siècle, d'autres études hydrogéologiques sur cette source thermale ont été réalisées par El Morabeten 2000 [4] et Benmakhouloufen 2001[5].

En effet, la qualité d'une eau est définie par la nature des terrains géologiques traversés qui détermine ses paramètres physiques, chimiques et biologiques.

Pour pallier au manque d'études scientifiques menées sur la source Ain Hamra, notre travail a pour objectif de faire une étude tectonique de la région pour déterminer la faille d'émergence où se trouve la source thermale Ain Hamra et aussi faire une analyse des qualités physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux, et ce en vue de caractériser le milieu et afin de prévenir le risque sanitaire lié à l'utilisation de ces eaux par de nombreux curistes.

Matériel et méthodes

1-Présentation de la zone d'étude

1-1-Cadre géographique

La source "Ain Al Hamra" ou "Ain Ar-Rahma" se situe à une altitude de 1158 m. Ses coordonnées GPS sont X= 03°56'47.9" et Y= 34°44' 24.8"N. Cette source appartient au village nommé Ain Hamra ou Tala Tazegwaght qui provient des mots « tala » et « tazegwaght » qui signifient respectivement « source », et « rouge » situé au nord-est du Maroc. Elle fait partie du domaine rifain oriental à l'extrême nord de la province de Taza.

Le climat du domaine rifain est de caractère méditerranéen, à la fois tempéré et chaud, marqué par deux saisons fondamentales : un été chaud et sec et un hiver aux précipitations souvent brutales, quant à la température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,5°C. La température maximale se localise durant le mois de Juillet, alors que la température minimale est observée durant le mois de Janvier [6].

1-2-Cadre géologique, stratigraphique et structural

La région d'Ain Hamra est dénommée autrefois par « zone de fenêtre » [7]. Cette nomination de « zone de fenêtre » est

maintenue récemment par Frizon de Lamotte en 2017[8]. La région de Ain Hamra appartient aux unités méso et intrarifaines du domaine externe rifain. Les formations affleurant appartiennent à la nappe de Bou Haddoud d'âge sénonien et miocène (InfraKetama) et à la nappe d'Aknoul (Supra Ketama) est une nappe gravitaire [9] ; caractérisée par sa position structurale supérieure dans l'édifice des nappes intrarifaines. Elle est particulièrement constituée par une série monoclinale au sommet et à la base par une série métamorphique (Fig. 1).

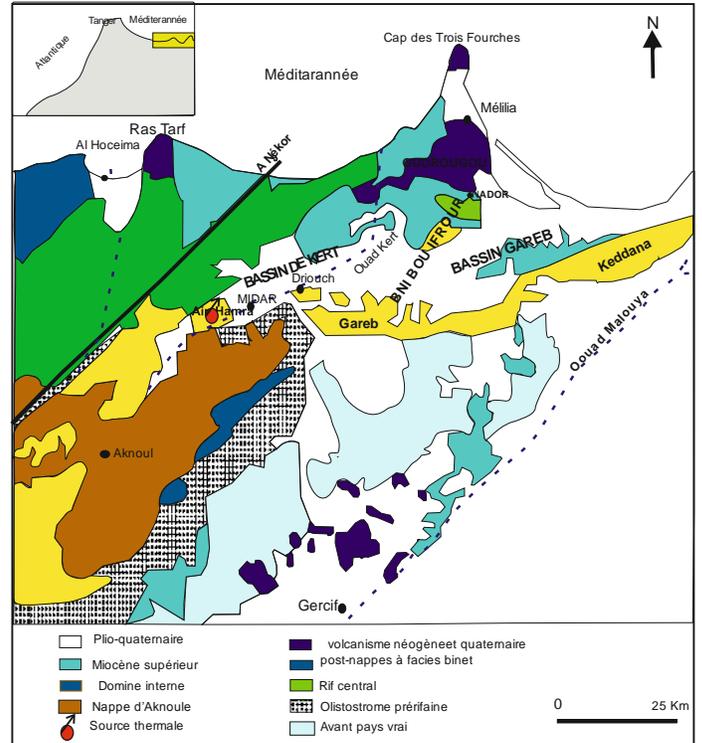


Fig.1. Carte géologique du Rif oriental. D'après Frizon de Lamotte, 1985 [11], redessiné et modifiée

Au sud d'Ain Hamra apparaissent des pélites noires de type « flysch ». Elles sont très homogènes, peu gréseuses et contiennent que rarement des bandes de marnes ou de calcaires marneux clairs comparables à celles que l'on trouve dans le « flysch crétacé » des autres nappes intrarifaines. Il s'agit très probablement d'Aptien-Albien[10]. Ces pélites noires sont recouvertes par des calcaires marneux à patine blanche avec des intercalations tendres de marnes jaunes et dont l'âge est cénonien [10] puis une série des marnes gris-bleu assez foncé avec des rares bancs calcaires viennent se déposer en discordance. Cette dernière, présente des amas de sidérose (carbonate $FeCO_3$) et de barytine. Il renferme également de très nombreux petits filons de calcite de type « beef » [11]. Au-dessus de ce Crétacé, viennent des calcaires détritiques en gros bancs massifs à patine blanc grisâtre d'âge éocène [9]. Cette série calcaire contient parfois des niveaux à silex dont la base,

plus marneuse, a livré des faunes du Paléocène supérieur[10]. Au-dessus de la barre calcaire, la sédimentation redevient très marneuse avec des dépôts noirs qui se caractérisent par des remaniements abondants.

2- Echantillonnage et méthodes d'analyses

2-1-Etude géologique

Notre secteur d'étude est composé d'une série miocène monoclinale à pendage NE (Fig.2 A, et B), affectée par une schistosité de fracture de direction générale N105 à N135 (Photo 1).



Photo 1- A. Nappe chevauchante B. Plan de faille décrochante. C. systèmes des «beefs»

Nous avons mesuré sur le terrain les plans des failles de 13 stations et par la suite nous avons traité informatiquement ces mesures à l'aide de la méthode de «Redes de Busqueda» (RB)[12-13] pour déterminer les trois axes de contrainte σ_1, σ_2 et σ_3 et leur rapport axial « R » à fin de réaliser une projection stéréographique de tous les stations dans l'hémisphère inférieur.

2-2-Analyse structurale

Le cadre structural d'Ain Hamra est en lien étroit avec la géologie de la chaîne rifaine et l'activité tectonique récente régionale ;aussi qu'il existe une relation entre la tectonique cassante polyphasée et l'hydrothermalisme[14-15-16-5].

Cette chaîne (Fig2. A) est affectée par des accidents à jeu senestre de directions E-W et NE- SW. Ces failles senestres se sont développées dans la région orientale et centrale de la chaîne, et dans certains cas dans la partie frontale de cette chaîne [17-18-19]. Ces failles ont été actives au début Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire[20-21-22-23-24-17], tandis que des nouvelles failles plus jeunes se sont développées comme la faille de Fès-Tissa-Taïnest et la faille Sidi Fili-Bou Draâ [17-18-19].

Par conséquent, les données gravimétriques[17](Fig. 2 .B)ont montré que la croûte rifaine est nettement plus épaisse sous le Rif central et occidental que sous le Rif oriental(Fig. 2 .B et C). Or, l'amincissement lithosphérique invoqué se trouve bien confirmé par les études géophysiques et les études gravimétriques[25]; qui montrent une relation entre la géothermie et la ligne chaude (Fig. 2. B, et C). Ce qui explique bien la distribution de la majorité des sources hydrothermales

dans cette ligne chaude (Fig.2. B et C) dont font partie les sources thermales du Rif oriental tel que la source de Fezouan; la source de Ain chifa Ainsi que la source d'Ain Hamra qui fait l'objet de cette présente étude.

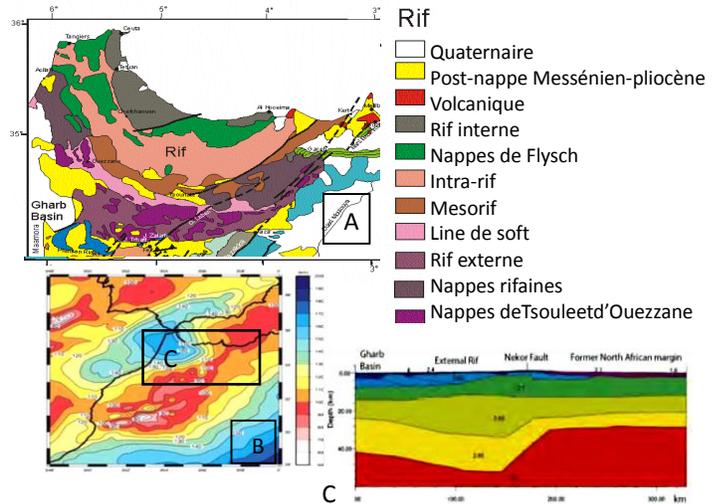


Fig. 2 : Cadre régional à l'échelle crustale.

A. Carte structurale du Rif et une trace rouge de la coupe (D'après carte structurale 1/500 000 et carte du Maroc 1/1000 000). B.Topographie de la limite lithosphère-asthénosphère sous le Maroc et les domaines adjacents, modèle basé sur l'anomalie du géoïde [26]. La zone de lithosphère amincie concerne l'Anti-Atlas au Sud, le Haut Atlas Central, le Moyen Atlas, et semble se poursuivre au Nord en mer d'Alboran. C. Tomographie ondes S de l'arc de Gibraltar, vue en 3D, montrant un slab « en cuillère » plongeant vers le nord sous le Rif, vers le sud, sous les Bétiques occidentales, et vers l'est dans sa partie profonde[27].

L'analyse microtectonique d'Ain Hamra, a démontré la présence au moins deux phases tectoniques (Photo1) compressive dont la première phase est de direction N-S génératrices de schistosité qui ont été décrites par Andrieux (1971)[10]. Ces mouvements ont procédé aux plissements à toutes les unités intra et méso-rifaines et sont terminés par les formations de failles inverse profondes dont le jeu a entraîné des chevauchements provoquant ainsi l'individualisation des nappes méso-rifaines (nappe de Bou Haddoud) [5]. Cette première phase est suivie par une seconde phase compressive postérieure au plissement. Également, nous avons visualisé sur le terrain un ensemble d'accident décrochant senestre généralement de direction N35 à N60 d'âge fin Miocène d'après Andrieux, 1971[10]; Comme, nous avons opéré sur le terrain des failles normales généralement de direction N110 à N 170 qui sont liées à des structures distensives probablement récentes. Ces failles normales à fortes pendages sont soit vers le SW soit vers le NE, parmi lesquelles nous découvrons la faille responsable de l'émergence de l'eau de la source thermale de

Ain Hamra de direction N120 55 SW. Cette faille normale sépare les marno-calcaires détritiques miocènes de son conglomérat. Le traitement informatique par la méthode de « Redes de Busquida » [12-13] de la région d’Ain Hamra de l’ensemble des failles mesurées au terrain a décelé un rapport axial de valeur de 0,77 qui présente un ellipsoïde de contrainte type oblate donc un régime extensif dominant NNE-SSW responsable de la formation de ces failles normales notamment la faille d’émergence (Fig. 3. A et B). Ces failles normales sont probablement le résultat d’un relâchement secondaire sous l’effet du glissement de coin crustal au SW [15-16].

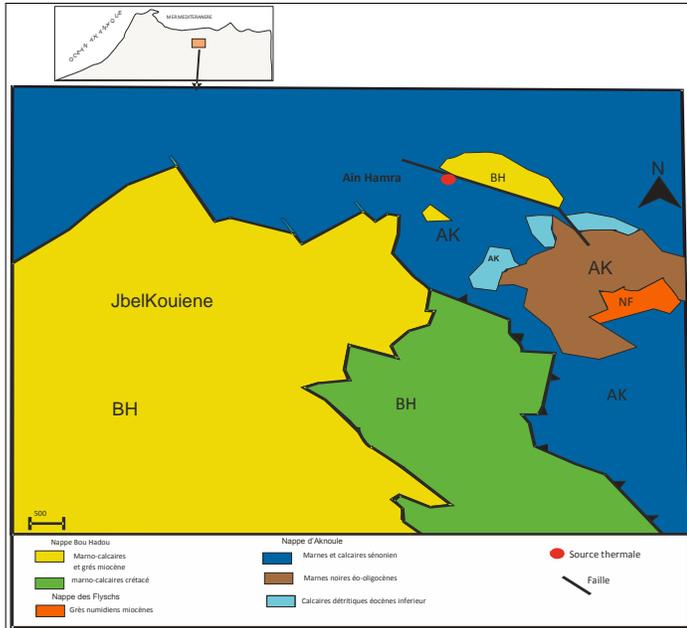


Fig. 3. A. Carte géologique simplifiée d’Ain Hamra. D’après Benmakhoulouf 2001 [5] redessiné et

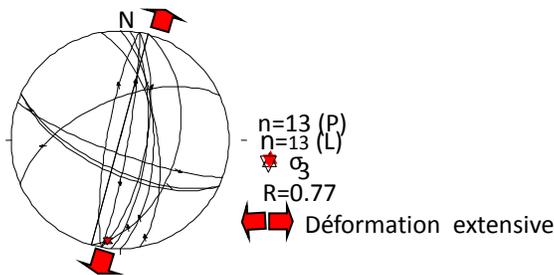


Fig.3. B. Projection stéréographique des failles de la source d’Ain Hamra (Equal area projection, lower hémisphère)

Tab 1 : Méthodes d’analyses physico-chimiques des eaux

Paramètres	Références de la méthode d’analyse
Turbidité	ISO7027
Nitrate	NF-T-90-045
Nitrites	NM ISO 6777
Ammonium	NM ISO 7150-1
Phosphore total, Orthophosphates	NM ISO 6878-1
Oxygène dissout	NM 03.7.029
CO ₂ libre	NM 03.7.031
Cyanures	Méthode potentiométrique
Chlorures	NF T90-014
Sulfates	NF T-90-040
Calcium	NF T90-016
Dureté THT, Magnésium	NF T-90-003
TA, TAC, Bicarbonate	NM ISO9963-1
Oxydabilité	NM 03.7.015
Résidu sec	NM 03.7.027
As, Cd, Mn, Se, B, Ni, Fe	EN ISO1185/ENISO17294

2-3- Analyse physico-chimiques

L’échantillonnage a été fait au mois d’Octobre 2017, Les échantillons d’eau, prélevés au niveau de la source (Photo2), pris dans des bouteilles de 1,5L, ces dernières ont été étiquetées et mis dans une glacière d’une température de 4 °C. Ils ont été ensuite acheminés au laboratoire pour être analysés. L’étude physico-chimique a porté sur la mesure du pH, de la conductivité, de la température de l’eau sur place à l’aide d’un multi-paramètre analyser Type CONSORT– Modèle C535, puis sur la détermination des autres paramètres: La Turbidité, La dureté, l’Oxygène dissout, CO₂ libre, Ammonium, Nitrites, Nitrates, Chlorures, sulfates, orthophosphates, phosphore total, cyanures, potassium, sodium, Calcium, Magnésium, Bicarbonate, As, Cd, Mn, Se, B, Ni, et le fer au laboratoire selon les normes en vigueur (Tableau1).

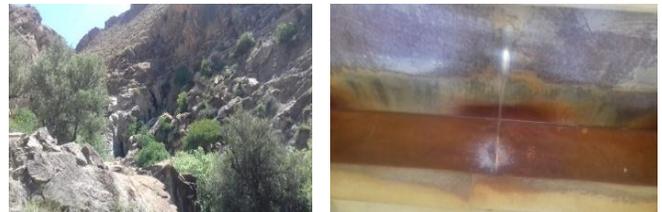


Photo 2: Source d’Ain Hamra

2-4- Analyse bactériologiques

Les prélèvements ont été effectués d’une façon aseptique, dans des flacons en verre stériles de 500 mL à partir de la source thermique d’Ain Hamra au mois d’Octobre 2017, ensuite

les échantillons ont été transportés au laboratoire dans une enceinte isotherme à 4°C et analysés dans les huit heures qui suivent le prélèvement.

L'étude bactériologique a porté sur le dénombrement des coliformes totaux (37°C) et des coliformes fécaux (44°C), des germes totaux à 22°C, des *Streptocoques* fécaux (37°C), des *Staphylocoques* à 37°C et a été menée selon les méthodes indirectes décrites par Rodier et collaborateurs [28] et qui consiste en un dénombrement après culture sur un milieu solide et de filtration sur membrane pour les coliformes. Le suivi microbiologique des germes a été déterminé selon les méthodes standards en utilisant des milieux sélectifs et en travaillant dans des conditions strictement stériles sous une poste de sécurité microbiologique.

2-4-1- Méthode de dénombrement des coliformes

Nous avons procédé à la filtration sur membrane de 100 mL d'eau puis la membrane est mise en culture sur une gélose lactosée au Tergitol 7 auquel nous avons rajouté le TTC (chlorure 2-3-5-tréphényl tétrazolium), ensuite les boîtes ont été incubées à 44°C pour la recherche des coliformes fécaux et à 37°C pour la recherche des coliformes totaux.

Après l'incubation, les coliformes recherchés sont considérés comme les colonies qui présentent une coloration jaune orangée (indication de l'acidification du lactose et réduction du TTC en formazan insoluble) ensuite les résultats sont exprimés en UFC/100 mL.

2-4-2- Méthode de dénombrement des streptocoques fécaux

La technique utilisée est la méthode indirecte de dénombrement sur milieu solide de Slanetz et Bartley (SB) un milieu sélectif pour les *Streptocoques*.

La technique est basée sur l'étalement de 1 mL de la suspension mère et les dilutions décimales 1/10 et 1/100 à la surface d'une boîte de Pétri contenant le milieu SB, l'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures, ensuite les colonies de taille moyenne, roses ou rouges ont été comptées.

2-4-3- Méthode de dénombrement des germes totaux

Le dénombrement s'effectue par la méthode indirecte sur milieu solide de la gélose nutritive. 1 mL de la suspension mère et les dilutions décimales 1/10 et 1/100 ont été ensemencés dans des boîtes de Pétri stériles qui contiennent le milieu de culture stérile. La lecture se fait à 22°C pendant 24 h à 48 heures.

2-4-4- Méthode de dénombrement des staphylocoques

Le dénombrement s'effectue par la méthode indirecte sur milieu solide de Chapman. C'est un milieu de dénombrement des staphylocoques à 37°C. 1 mL de la suspension mère et les dilutions décimales 1/10 et 1/100 ont été ensemencés dans des boîtes de Pétri stériles qui contiennent le milieu de culture stérile. La lecture se fait à 37°C pendant 24 h à 48 heures.

Résultats et discussions

1-Interprétations hydrogéologique

Le Rif orientale a été longtemps reconnu comme une zone possédant de nombreuses anomalies géothermales régionales. De nombreuses sources thermales apparaissent liées à des systèmes de failles tectoniquement actifs dans l'orientale parmi eux la source d'Ain Hamra. Cette dernière est caractérisée par sa richesse minérale et une forte teneur en gaz de dioxyde de carbone qui sont mobilisés dans ces eaux à travers des failles profondes affectant toute l'épaisseur de la lithosphère. Les études hydrogéologiques permettent de donner des indications sur l'origine de ces eaux thermales. Il s'agit d'une eau d'origine hybride : Eaux métamorphiques contaminées par leurs émergences dans des sédiments dans des formations miocènes. Cependant, la présence du gaz carbonique dans les eaux de la source est en relation avec l'activité néotectonique récente de la région et qui est accompagnée par une intense activité sismique. En profondeur, sous pression, le CO₂ dissous acidifie l'eau et provoque une diminution de son poids spécifique et favorise sa montée vers la surface [29]. La thermalité des eaux d'Ain Hamra avec des hautes teneurs en CO₂ est moindre par rapport aux eaux avec peu de CO₂, ceci est dû à ce qu'une partie d'énergie est absorbée par l'expansion du CO₂. Ceci explique bien la température de la source qui ne dépasse pas 24°C. D'ailleurs, les températures de profondeur (°C) pour cette source thermale obtenues par les différents géothermomètres chimiques [5] révèlent un intervalle de température oscillant entre 60°C et 125°C.

Ain Hamra fait partie des sources du Rif oriental carbogazeuses dont le CO₂ est d'origine infracrustal et mantélique.

Les faciès chimique des eaux souterraines donnent des informations pertinentes sur la lithologie des formations aquifères et sur leur comportement hydrogéologique, ainsi que le type d'usage auxquels les eaux souterraines peuvent servir.

La variation des faciès hydrogéochimiques des sources thermales au sein d'une région est liée surtout à la nature des terrains traversés [30]. La classification hydrochimique des eaux de la source Ain Hamra à partir du diagramme triangulaire de Piper (Figure 4) montre que ses eaux sont principalement des eaux Bicarbonatée calcique et magnésienne.

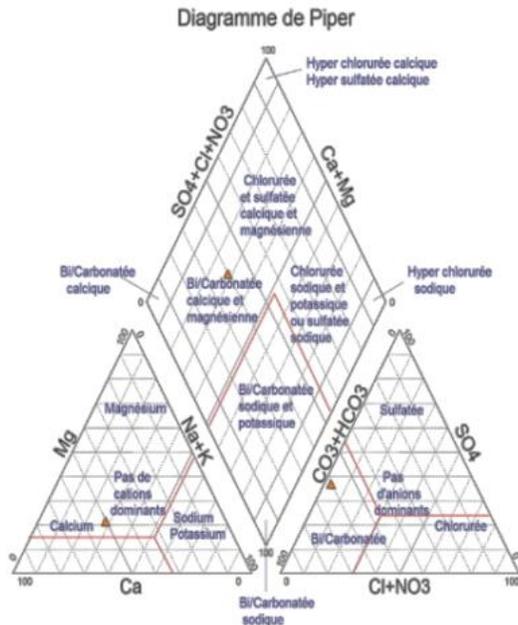


Fig.4 : Projection sur le diagramme de piper des analyses des eaux de la source Ain Hamra.

2-Paramètres physico-chimiques

La température est la principale caractéristique des eaux étudiées du fait qu'elle influence presque la totalité des mécanismes physiques, chimiques et biologiques [31], aussi il est possible d'avoir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

Selon leurs températures, les eaux sont classées en 4 catégories : les eaux froides, elles ont une température d'émergence inférieure à 20°C, les eaux hypothermales d'une température entre 20 et 30°C, les eaux thermales d'une température entre 30°C et 45°C et les eaux hyperthermales de température supérieure à 45°C.

La température moyenne des eaux de la source Ain Hamra est de 24°C, nous pouvons donc les classer parmi les eaux hypothermales.

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau et dépend de facteurs multiples, il est indissociable de la température, de l'oxygène dissous, de la minéralisation totale et il influence la plupart des mécanismes chimique et biologique.

Le pH des eaux étudiées est de l'ordre de 6,19, cette valeur ne se trouve pas dans l'intervalle de norme de potabilité d'après les normes marocaines (NM 03-7-001). La valeur du pH pour ces eaux est influencée par la concentration en CO_2 [5].

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de

1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. Elle désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, et traduit globalement la teneur d'une eau en sels dissous, elle est d'autant plus élevée que la minéralisation est importante, directement liée aux formations des terrains géologiques traversées. Dans notre cas, la valeur obtenue est égale 2450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ qui est acceptable selon la norme marocaine des eaux potables. La valeur élevée de la conductivité électrique des eaux d'Ain Hamra traduit leur forte minéralisation, est due à la présence des sels évaporitiques et des bicarbonates [5].

La turbidité est un paramètre physique très important pour le contrôle de qualité des eaux et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou/et à diffuser la lumière, causée par la présence des particules inorganiques (limon, argile et composés chimiques naturels tels que le carbonate de calcium). La teneur de turbidité enregistrée de 18 NTU dépasse largement la valeur limite acceptable pour les eaux destinées à la consommation humaine et plus de trois fois supérieure aux normes marocaines. En effet, celles-ci exigent une valeur maximale admissible de 5 NTU.

La dureté de l'eau est de 128°F, c'est un indicateur du niveau de calcaire dans l'eau, elle correspond à sa teneur en calcium et en magnésium. L'augmentation de la dureté pourrait être attribuée au contact des eaux avec les formations rocheuses.

Une eau dure, n'est pas nuisible pour la santé et la dureté acceptable par le public peut varier, selon les conditions locales. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une dureté inférieure à 15 °F est une eau potable de bonne qualité. Elle est acceptable jusqu'à 50 °F mais si elle dépasse 60 °F, elle peut causer des problèmes d'entartrage des réseaux de distribution.

Les sulfates existent à l'état naturel dans de nombreux minéraux, dont la baryte (BaSO_4), l'epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [32].

Le sulfate peut procurer à l'eau un goût distinct et peut favoriser la corrosion de l'acier doux dans les systèmes d'alimentation [33], Il est l'un des anions les moins toxiques. La dose létale chez l'Homme est de 45 g sous forme de sulfate de potassium ou de zinc. La dose létale minimale de sulfate de magnésium signalée chez des mammifères est de 200 mg/kg [34].

La valeur de ce paramètre dans les eaux étudiées est très élevée de l'ordre de 660 mg/L. Cette valeur dépasse largement la norme d'eau potable (Fig. 5).

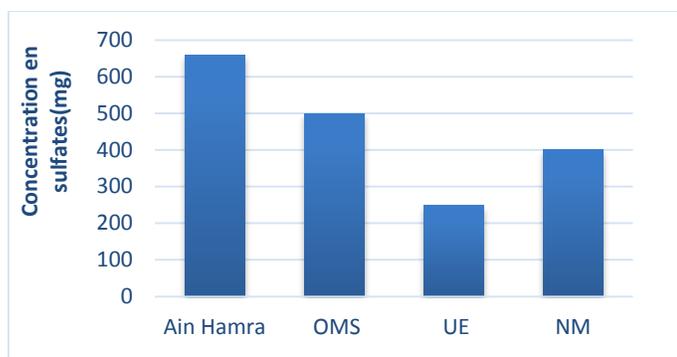


Fig. 5: Concentration en sulfates

En ce qui concerne les teneurs en éléments nutritifs à base d'azote (nitrites, nitrate et ammonium) et de phosphore (orthophosphates et phosphore total), elles ont été très faibles dans les eaux étudiées, les teneurs en ces éléments restent très inférieures aux valeurs maximales admissibles par les normes marocaines, françaises ou par l'O.M.S pour une eau potable.

Les concentrations enregistrées en potassium, sodium, calcium et magnésium sont importantes ce qui explique la forte minéralisation des eaux de la source thermale de Ain Hamra. Selon l'OMS, l'eau de bonne qualité contient une quantité d'oxygène qui varie de 5 à 7 mg/L.

Alors que, sa concentration pour les eaux de notre source ne dépasse pas 0,3mg/L.

La concentration en bicarbonates de calcium (CaCO_3) est très élevée de l'ordre de 1403mg/L.

Dioxyde de carbone : CO_2

La source d'Ain Hamra est particulière vue sa richesse en gaz carbonique CO_2 , sa concentration est de 717,2mg/L. L'eau naturellement gazeuse dissout les roches avec lesquelles elle entre en contact, d'où sa forte minéralisation (magnésium, calcium, fer...) et ses vertus thérapeutiques importantes. Il existe quelques études scientifiques qui démontrent que les eaux minérales gaso-carboniques, à cause de leur taux élevé de bicarbonate, peuvent provoquer une certaine distension abdominale [35], [36], d'un autre côté, on utilise parfois une eau riche en bicarbonate pour dissoudre les calculs rénaux [37], [38]. Un autre bienfait de l'eau gazeuse est sa capacité à réduire le risque de maladie cardiovasculaire chez les femmes, lors de la phase qui suit la ménopause [39].

En profondeur, sous pression, le CO_2 dissous forme une émulsion avec l'eau, en présentant un caractère agressif, selon Maisonneuve et Risler (1979)[29]. Yarriah (1986) [40] indique qu'au cours de sa montée vers la surface vers les derniers vingt mètres avant d'atteindre l'émergence, se produit le refroidissement de l'eau thermale, probablement dû à l'expansion adiabatique de CO_2 .

Les métaux lourds

L'analyse des eaux de la source Ain Hamra dévoile la présence des métaux lourds tel que le Mn, Cd, As, B, Ni et ce en quantités faibles. Seul le Fer présente une concentration élevée de valeur de 1,8mg/L ; ce qui explique la coloration en brun/rouille observée sur les dalles de la source (photo 1). La concentration de Fe est largement au-dessus des seuils des concentrations recommandées par les normes marocaines, européennes et l'OMS (Fig.6).

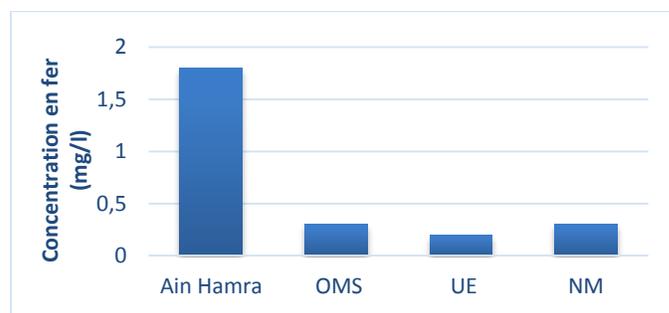


Fig. 6 : Concentration en Fer

La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines, le fer est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Comme, il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle.

3-Paramètres bactériologiques

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux de source Ain Hamra ont montré l'absence totale des germes responsables de la non-conformité des eaux (Tableau 1). Ainsi, ces résultats ont révélé que ces eaux sont de qualité bactériologique excellente.

Tab.4: Valeurs moyennes des paramètres bactériologiques étudiés.

Type de bactéries	Eau de source
Germes totaux à 22°C(UFC/mL)	0
Coliformes totaux à 37°C(UFC/100mL)	0
Coliformes fécaux à 44°C(UFC/10mL)	0
Streptocoques à 37°C(UFC/mL)	0
Staphylocoques à 37°C(UFC/mL)	0

L'analyse des résultats nous permet de dire que la qualité globale de l'eau de source Ain Hamra est excellente, nos résultats sont similaires aux résultats obtenus par Houti et ses

collaborateurs qui ont déclaré une absence totale des germes dans les trois stations thermales de Fès (station thermale Moulay Yaâcoub, station thermale Ain Allah, station thermale Sidi Harazem)[41]. De même, les analyses bactériologiques ont montré l'absence des microorganismes pathogènes dans les eaux de fontaines des deux stations Ain Allah et Moulay Yaâcoub[42].

Conclusions

A la lumière des résultats obtenus de cette étude qui est la première en son genre sur la source d'Ain Hamra, nous pouvons dire que les eaux thermales de la source Ain Hamra de pH acide, appartiennent aux eaux hypothermales. Leurs caractéristiques physicochimiques montrent qu'elles sont riches, en Fer qui provient de l'altération de sidérose (carbonate FeCO_3), et en gaz carbonique (CO_2) qui est d'origine infracrustal, la concentration de ces eaux en sulfates et la teneur de turbidité enregistrée dépassent largement les valeurs limites acceptables pour les eaux destinées à la consommation humaine. L'analyse bactériologique montre une qualité excellente des eaux de la source Ain Hamra.

Bibliographie :

1. H Slimani, A Hmioui. Investissement touristique et développement durable au Maroc : Cas de la Station Balnéaire de Saïdia, Thème : Le développement local : mécanismes, stratégies et gouvernance Communication au colloque organisé par la Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales, Agadir, 25 et 26 février 2011.
2. Docteur Chano: Wikipédia, academic.com/dic.nsf/frwiki/1602619, 1956.
3. P Payment, A Berte, M Prévost, B Ménard, B Barbeau. Occurrence of pathogenic micro-organisms in the Saint-Lawrence River (Canada) and comparison of health risks for populations using it as their source of drinking water. Canadian Journal of Microbiology. 2000, 46, 565.
4. K El Morabiti. Contribution à la connaissance géologique, hydrochimique et isotopique des eaux thermales du Maroc septentrional. Thèse d'Etat, Rabat, 2000.
5. M Benmakhlou. Les sources thermales du Maroc septentrional : relation entre la tectonique et le thermalisme, Thèse d'Etat, Rabat, 2001.
6. T. Amil. Etablissement du plan d'aménagement du centre d'Ain Hamra, commune rurale d'Ajdîr, province de Taza, 2012.
7. J Marçais et W Van Leckwyck. Sur la géologie et les glissements de lignite de la plaine de Guercif. C.R. 7^{ème} Congr. Int. Mines, Métal. et Géol. appl., Paris, t.1, 1936, p.289-300.
8. D Frizon de Lamotte, M NZaghloul, F Haissen, G Mohn, R Leprêtre, O Gimeno-Vives, A Atouabat, M El Mourabet, A Abassi. Rif externe : comment comprendre et expliquer le chaos apparent ? Géologues. 2017, 194, 13.
9. D Leblanc. Etude géologique du Rif externe oriental au Nord de Taza (Maroc). Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat. 1979, 281, 159p.
10. J Andrieux. La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique en compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. 1971, 235, 155p.
11. D Frizon de Lamotte. La structure du rif orientale (Maroc) ; rôle de la tectonique longitudinale et importance des fluides. Mémoire des Sciences de la Terre. Académie de Paris ; Université Pierre et Marie Curie. 1985, 436 p.
12. J Galindo-Zaldívar and F González-Lodeiro. Faulting phase differentiation by means of computer search on a grid pattern. Annales Tectonicae. 1988, 2, 90.
13. J Galindo-Zaldívar. Geometría y cinemática de las deformaciones neógenas en Sierra Nevada (Cordilleras Béticas). Tesis Doctoral, Universidad de Granada, Granada. 1990, 319 pp.
14. J.P Gibert, D Sorel, P Vergely. Tectonique cassante polyphasée et émergences d'eaux thermales: le site de Chaudes-Aiguës (Cantal). Bull. Soc. géol. Fr. 1975, (7), XVII, 4, p.622.
15. J Dazy Et J C Grillot. Le thermominéralisme péri-alpin : exemple de la région savoyarde (France). Rev. géol. dyn. géogr. phys., Paris, XXIII. 1981-1982, 4, pp.319-328.
16. J.C. Grillot et J Dazy. Photo-interprétation, tectonique cassante et thermalisme : exemple du domaine alpin (France). Géologie alpine. 1983, t.59, pp.45-60.
17. A Chalouan, J Galindo-Zaldívar, A J Gil, K Bargach. Déformation active du Rif : GPS, sismicité et géologie montrent l'expulsion d'un coin crustal sud-occidental. Géologues. 2017, 194, 16.
18. K Bargach. Les déformations plio-quaternaires dans la partie frontale de la chaîne du Rif (Rides pré-rifaines et bassin du Saïss). Un exemple de la tectonique en coin expulsés. (Thèse de Doctorat) Université Mohammed V, Rabat. 2011.
19. A Chalouan, J Galindo-Zaldívar, M Akil, C Marin, A Chabli, P Ruano, K Bargach, C S De Galdeano, M Benmakhlouf, M Ahmamou, L Gourari. Tectonic wedge escape in the southwestern front of the Rif Cordillera (Morocco), in: Moratti, G., Chalouan, A. (Eds.), Tectonics of the Western Mediterranean and North Africa. Geological Soc Publishing House, Bath, 2006. pp. 101–118.
20. P H Olivier. L'accident de Jebha-Chrafate (Rif, Maroc). Revue De Géologie Dynamique et Géographie Physique. 1981, 22, 201.
21. M Ahmamou & A Chalouan. Distension synsédimentaire plio-quaternaire et rotation anti-horaire des contraintes au Quaternaire ancien sur la bordure nord du bassin du Saïss (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat. 1988, 12, 19.
22. J L Morel. Evolution récente de l'orogénèse rifaine et de son avant pays depuis la fin de la mise en place des nappes (rif – Maroc). Géodynamique, Paris. 1988, 4, 584 p.
23. K Bargach, P Ruano, A Chabli, J Galindo-Zaldívar, A Chalouan, A Jabaloy M Akil, M Ahmamou, C Sanz De Galdeano, M Benmakhlouf. Recent Tectonic Deformations and Stresses in the Frontal Part of the Rif Cordillera and the Saïss Basin (Fes and Rabat Regions, Morocco). Pure and Applied Geophysics. 2004, 161, 521.
24. J Galindo-Zaldívar, O Azzouz, A Chalouan, A Pedrera, P Ruano, A Ruiz-Constán, C Sanz de Galdeano, C Marín Lechado, A C López-Garrido, F Anahnahet, M Benmakhlouf. Extensional tectonics, graben development and fault terminations in the eastern Rif (Bokoya–Ras Afraou area). Tectonophysics. 2015, 663, 140.
25. A Michard, A Soulaïmani, H Ouanaimi, Y Raddi, L Aït Brahim, E.C Rjimati, Baïdier L, O Saddiqi. Saghro Group in Ougnat Massif (Morocco), an evidence for a continuous Cadomian basin along the northern West African Craton. C.R. Geoscience. 2017, 349, 81.
26. J Fulleaurchulategui, M Fernández, H Zeyen. Lithospheric structure in the Atlantic-Mediterranean transition zone (southern Spain, northern Morocco): A simple approach from regional elevation and geoid data. Comptes Rendus Geosciences. 2006, 338, 140.
27. I Palomeras, S Thurner, A Levander, K Liu, A Villaseñor, R Carbonell, M Harnafi. Finite-frequency Rayleigh wave tomography of the western Mediterranean: mapping its lithospheric structure, Geochem. Geophys. Geosyst. 2014, 15, 140.
28. J Rodier, B Legube, N Merlet. L'Analyse de l'Eau. 9^{ème} Edition. Dunod, Paris, France. 2009, 1579 pp.
29. J Maisonneuve et J Risler. La ceinture péri-alpine "carbo-gazeuse" de l'Europe occidentale. Bulletin du B.R.G.M., III. 1979, 2, 109.
30. K El Morabiti, J C Ceron, A Pulido Buch, M Benmakhlouf, A Chalouan et KhEl Hajaji. Consideraciones sobre las aguas termales de la región de Rharb-Saïss (Marruecos). Geogaceta. 1998, 23, p. 35-38.

31. D Chapman, V Kimstach. Selection of water quality variables. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed., E & FN Spon, London, **1996**. 59-126.
32. N N Greenwood, A Earnshaw. Chemistry of the elements. Pergamon Press, Oxford, UK. **1984**.
33. T E Larson. Corrosion phenomena causes and cures. Dans: Water quality and treatment. A handbook of public water supplies. 3^{ème} Edition. McGraw-Hill Publishing Co., New York. **1971**.
34. D Arthur, I Little. Water quality criteria data book. Vol. 2. Inorganic chemical pollution of freshwater. Water Pollut. Control Res. Ser. No. DPV 18010, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. **1971**.
35. M Bertoni, F Olivieri, M Manghetti, E Boccolini, MG Bellomini, C Blandizzi, F Bonino, M Del Tacca. Effects of a bicarbonate-alkaline mineral water on gastric functions and functional dyspepsia: a preclinical and clinical study, Pharmacol Research. **2002**, 46, 525.
36. Gasbarrini, M Candelli, RG Graziosetto, S Coccheri, F Di Iorio, G Nappi. Evaluation of thermal water in patients with functional dyspepsia and irritable bowel syndrome accompanying constipation, World J Gastroenterology. **2006**, 12, 2556.
37. G Coen, D Sardella, G Barbera, M Ferrannini, C Comegna, F Ferazzoli, A Dinnella, E D'Anello, P Simeoni. Urinary composition and lithogenic risk in normal subjects following oligomineral versus bicarbonate-alkaline high calcium mineral water intake. Urology International. **2001**, 67, 49.
38. A Trinchier, N Esposito, C Castelnovo. Dissolution of radiolucent renal stones by oral alkalinization with potassium citrate/potassium bicarbonate. Arch Ital Urol Androl. **2009**, 81, 188.
39. S Schoppen, AM Pérez-Granados, A Carbajal, P Oubiña, FJ Sánchez-Muniz, JA Gómez-Gerique, MP Vaquero. A sodium-rich carbonated mineral water reduces cardiovascular risk in postmenopausal women. Journal of Nutrition. **2004**, 134, 1058.
40. J Yerriah. Le thermominéralisme carbo-gazeux du Sud-Est de la France (domaine sédimentaire) dans son contexte sismotectonique. Thèse de 3^{ème} cycle: Hydrogéologie: Montpellier 2: **1986**.
41. A Houti, K Fikri Benbrahim, A El Oualilalami, L Zbadi et SRachiq. Qualité physicochimique et bactériologique de trois stations thermales dans les régions de Fès, au Maroc». Afrique Science, **2014**, 10, 158.
42. A Houti, K Fikri Benbrahim, S Rachiq, L Zbadi, R Belfqih, A El Oualilalami. Contrôle de qualité des eaux minérales de deux stations thermales de la région de Fès (Maroc): Ain Allah et Moulay Yaâcoub. J. Mater. Environ. Sci. **2015**, 6, 3530.