



Résumé :

Le Maroc possède un patrimoine thermal précieux, en particulier dans la région orientale où de nombreuses sources pourraient constituer une richesse appréciable en raison des propriétés thérapeutiques de leurs eaux. Malgré l'intérêt porté à certaines sources thermales, la majorité d'entre elles reste encore peu valorisée. Dans ce contexte, la présente étude porte sur trois sources thermales : Ain Hamra, Ain El Haouamed et Ain Mkbarta. L'objectif principal consiste à évaluer la qualité physico-chimique, microbiologique et géothermique de ces eaux, ainsi que de déterminer l'origine de leur minéralisation par des approches géologiques et géochimiques. Par ailleurs, afin d'approfondir la compréhension de l'environnement immédiat de ces émergences, une analyse physico-chimique des sols avoisinants a également été réalisée.

Les résultats des analyses physico-chimiques révèlent que les eaux des trois sources sont hypothermales et présentent une minéralisation élevée. Les eaux d'Ain El Haouamed et d'Ain Hamra se distinguent par des concentrations importantes en fer ainsi qu'une forte teneur en dioxyde de carbone (CO_2). En revanche, Ain Mkbarta se caractérise par une richesse en composés sulfurés et par une forte conductivité électrique. Généralement, les eaux des trois stations étudiées sont faiblement chargées en ions de nitrites, nitrates, ammonium et orthophosphates. Il ressort des résultats aussi que les eaux des trois sources thermales étudiées sont enrichies en éléments majeurs (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{2-}) et sont dépourvues d'éléments traces métalliques (Cr ; Cu ; Ni et Al). La richesse minérale, associée aux résultats de l'enquête menée auprès des usagers, montre que ces eaux possèdent un potentiel thérapeutique pour certaines affections, notamment les troubles digestifs, les pathologies rhumatismales et les troubles rénaux.

Concernant les analyses microbiologiques, la qualité de l'eau peut être considérée comme moyennement satisfaisante en raison de la présence de faibles concentrations de coliformes totaux et de germes revivifiables. Cette charge bactérienne pourrait être attribuée aux conditions environnementales entourant les sources, ainsi qu'à une influence anthropique possible. Cela exige de prendre les mesures nécessaires pour la surveillance et le contrôle de la qualité de ces eaux, en parallèle avec leur utilisation.

L'analyse géochimique et géothermique indique que ces émergences sont dominées par des eaux immatures, réparties selon trois systèmes de circulation distincts. La source Ain El Haouamed, caractérisée par un faciès Cl-SO_4 -Mg, correspond à une circulation profonde. À l'inverse, Ain Mkbarta, faciès Cl-Na-SO_4 , témoigne d'un circuit superficiel, tandis qu'Ain Hamra, faciès HCO_3 -Ca-Mg, s'inscrit dans une dynamique intermédiaire. Ces variations hydrochimiques confirment le rôle majeur des failles locale et régionale dans le contrôle des fluides, une donnée indispensable pour évaluer le véritable potentiel géothermique de ces sources.

Les analyses physico-chimiques des sols ont révélé des différences texturales et des variations des paramètres selon les sites étudiés. Par ailleurs, l'identification de plusieurs espèces végétales à proximité des sources thermales souligne l'intérêt écologique de ces zones et contribue à une meilleure connaissance de leur biodiversité.

Les résultats de cette étude permettent de proposer des stratégies visant à protéger les écosystèmes et à assurer une gestion durable des ressources en eau thermale. La mise en place d'un plan global et rigoureux de surveillance de la qualité des eaux des trois sources étudiées apparaît donc indispensable, en vue de leur valorisation future en stations thermales contribuant au développement économique du thermalisme.

Mots clés :

Sources thermales, Qualité physico-chimique, Etude géochimique, géothermomètre, Effet thérapeutique.

Physicochemical, geothermal, therapeutic study of thermal waters, and pedological characterization of the surrounding soils

Abstract:

Morocco possesses a valuable thermal heritage, particularly in the eastern region, where numerous springs could represent a significant resource due to the therapeutic properties of their waters. Despite the interest shown in certain thermal springs, the majority of them remain largely underutilized. In this context, this study focuses on three thermal springs: Ain Hamra, Ain El Haouamed, and Ain Mkbtra. The main objective is to assess the physicochemical, microbiological, and geothermal quality of these waters, as well as to determine the origin of their mineralization using geological and geochemical approaches. Furthermore, to deepen the understanding of the immediate environment surrounding these springs, a physicochemical analysis of the surrounding soils was also conducted.

The results of the physicochemical analyses reveal that the waters from the three springs are hypothermal and exhibit high mineralization. The waters of Ain El Haouamed and Ain Hamra are characterized by high concentrations of iron as well as a high content of carbon dioxide (CO_2). In contrast, Ain Mkbtra is characterized by a high concentration of sulfur compounds and high electrical conductivity. In general, the waters from the three studied sites have low concentrations of nitrite, nitrate, ammonium, and orthophosphate ions. The results also show that the waters from the three studied thermal springs are enriched in major elements (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{2-}) and free of trace metallic elements (Cr ; Cu ; Ni et Al). The mineral content, combined with the results of the user survey, shows that these waters have therapeutic potential for certain conditions, particularly digestive disorders, rheumatic conditions, and kidney disorders.

Regarding microbiological analyses, the water quality can be considered moderately satisfactory due to the presence of low concentrations of total coliforms and viable germs. This bacterial load could be attributed to the environmental conditions surrounding the springs, as well as to a possible anthropogenic influence. This requires taking the necessary measures to monitor and control the quality of these waters, in parallel with their use.

Geochemical and geothermal analysis indicates that these springs are dominated by immature waters, distributed across three distinct circulation systems. The Ain El Haouamed spring, characterized by a $\text{Cl-SO}_4\text{-Mg}$ facies, corresponds to a deep circulation system. In contrast, Ain Mkbtra, with a Cl-Na-SO_4 facies, reflects a shallow circulation system, while Ain Hamra, with an $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ facies, exhibits an intermediate circulation pattern. These hydrochemical variations confirm the major role of local and regional faults in controlling fluid flow, a key factor for assessing the true geothermal potential of these springs.

Physicochemical analyses of the soils revealed textural differences and variations in parameters across the studied sites. Furthermore, the identification of several plant species near the hot springs highlights the ecological importance of these areas and contributes to a better understanding of their biodiversity. The results of this study enable the proposal of strategies aimed at protecting ecosystems and ensuring the sustainable management of thermal water resources. The implementation of a comprehensive and rigorous plan to monitor water quality at the three studied springs therefore appears essential, with a view to their future development as thermal stations that contribute to the economic development of thermalism.

Key Words:

Hot springs, Physicochemical quality, Geochemical study, Geothermometer, Therapeutic effect.