Document généré le 12 oct. 2024 05:04

Revue des sciences de l'eau
Journal of Water Science

Arguments hydrogéochimiques en faveur de Trias évaporitique non affleurant dans le massif du Djurdjura (dorsale kabyle, élément des Maghrébides)

Hydrogeochemical arguments for a non out cropping Triassic formation in the Djurdjura massif (Kabyle ridge, an element of the Maghrebides range)

M. Abdesselam, J. Mania, J. Mudry, J. P. Gélard, P. Chauve, H. Lami et C. Aigoun

Volume 13, numéro 2, 2000

URI : https://id.erudit.org/iderudit/705387ar
DOI : https://doi.org/10.7202/705387ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)
1718-8598 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Abdesselam, M., Mania, J., Mudry, J., Gélard, J. P., Chauve, P., Lami, H. & Aigoun, C. (2000). Arguments hydrogéochimiques en faveur de Trias évaporitique non affleurant dans le massif du Djurdjura (dorsale kabyle, élément des Maghrébides). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, *13*(2), 155–166. https://doi.org/10.7202/705387ar

Résumé de l'article

L'analyse des eaux pose à nouveau la question de l'importance des faciès gypso-salifères dans le Trias de la dorsale kabyle du Djurdjura. Cette dernière est un élément de l'orogène alpin périméditerranéen où le Trias est décrit comme étant formé essentiellement de grès et de pélites avec des niveaux marneux et dolomitiques. Dans les régions telliennes, plus méridionales, il est représenté par des formations marno-gypsifères de grande épaisseur (Trias tellien), en position tectonique constamment anormale. On ne rencontre généralement pas de formations évaporitiques en surface dans le massif du Djurdjura. Les analyses chimiques de la majorité des sources le confirment. Toutefois la source de Tinzert, dont l'impluvium est constitué essentiellement de calcaires montre un cortège d'éléments d'origine évaporitique (fortes teneurs en chlorures, sodium et sulfates et la présence du strontium) et plaide pour la présence de niveaux évaporitiques du Trias, à la base de l'aquifère drainé par cette source. Le rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} (en ‰) de la source de Tinzert ($3 < Sr^{2+}/Ca^{2+} < 8,7$) qui est nettement supérieur à celui des autres sources ($Sr^{2+}/Ca^{2+} < 1,5$) le confirme.

Tous droits réservés © Revue des sciences de l'eau, 2000

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

REVUE DES SCIENCES DE L'EAU, Rev. Sci. Eau 13/2(2000) 155-166

Arguments hydrogéochimiques en faveur de Trias évaporitique non affleurant dans le massif du Djurdjura (dorsale kabyle, élément des Maghrébides)

Hydrogeochemical arguments for a non outcropping Triassic formation in the Djurdjura massif (Kabyle ridge, an element of the Maghrebides range)

M. ABDESSELAM [1], J. MANIA [2], J. MUDRY [*, 2], J.-P. GÉLARD [3], P. CHAUVE [2], H. LAMI [1], C. AIGOUN [1]

Reçu le 13 juillet 1999, accepté le 8 juin 2000**.

SUMMARY

Water analyses raise the question of the importance of gypsum and salty layers in the Triassic of the Kabylian ridge of the Djurdjura. This ridge is indeed an element of the peri-Mediterranean alpine orogene, where the Triassic system is formed by limestones and pelites with marly and dolomitic layers. In the southern Tellian regions, it is formed by thick marly and gypsum formations (Tellian Triassic formations), which always outcrop in an abnormal tectonic situation. Generally, evaporitic formations are never observed at the surface in the Djurdjura massif. The chemical content of a majority of the springs confirms this structural observation. Nevertheless, Tinzert spring, the intake area of which is dominated by limestone, shows several evaporitic chemical tracers (chloride, sodium, sulphate and strontium), suggesting the existence of evaporitic layers in the Triassic formations, in the lower part of the aquifer that is drained by this outlet. The Sr^{2+}/Ca^{2+} ratio (‰) of Tinzert spring, which is much higher than the ratios of all the other springs, corroborates this reasoning.

Objectives

The Kabyle ridge of Djurdjura (Algeria, DURAND-DELGA, 1969) is bordered by the basement to the north, which overthrusts it, and flyschs to the south which it overthrusts. Its structure corresponds to highly piled dipping thrust sheets. N140 transversal faults laterally cut them. The different structural units, mainly calcareous, which form the inner, central and southern ridge (FLANDRIN, 1952; FLANDRIN *et al.*, 1952; COUTELLE, 1979; GELARD, 1979

1. Université de Tizi Ouzou, Route de Hasnaoua, 15000 Tizi Ouzou, Algérie.
2. Équipe d'accueil « Déformation, écoulement, transfert », et Institut des sciences et techniques de l'environnement, Faculté des sciences, 16 route de Gray, 25030 Besançon cedex, France.
3. Université du Maine, Laboratoire de géologie, route de Laval, 72017 Le Mans cedex, France.

* Correspondance. E-mail : jacques.mudry@univ-fcomte.fr

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 15 mai 2001.

and NAAK, 1988), isolated by low permeability layers, constitute independent drainage units (ABDESSELAM, 1995). The massive and thick lower Liassic and Eocene limestones are highly karstified and constitute the main aquifers (ABDESSELAM *et al.*, 1990).

FALLOT (1942) summarises the stratigraphy of the Djurdjura Triassic layers: conglomerates and red sandstones (Permo-Triassic), pale sandstones (Werfenian), dolomites and vermiculate limestones (Muschelkalk), variegated marls and cellular dolomites (Keuper), limestones (Rhetian).

The lithostratigraphy of the Triassic of the Kabyle ridge is very differentiated from one unit to another (FLANDRIN, 1952; GELARD, 1979). This fact reflects an early sedimentary segmentation of the tethysian passive margin from the north to the south. The Kabylian Triassic (inner zones) contains gypsum and salty formations only very rarely. Thus, in the Djurdjura, evaporites are very rarely mentioned at the surface (LAMBERT, 1947; FLANDRIN, 1952; COUTELLE, 1979; GELARD, 1979; NAAK, 1988; TEFIANI *et al.*, 1991; DURAND-DELGA and TEFIANI, 1994), when the early authors (FALLOT, 1942; GIGNOUX, 1946) suspected the presence of a tectonised salty Triassic in the Djurdjura.

Overall, the evaporitic outcrops are insignificant, compared to the Triassic ones of the Djurdjura. The Triassic layers however frequently bear vacuolar dolomites and cellular dolomites associated with variegated clays that can have been accompanied with gypsum and salt, which can have migrated with or without tectonic compressions.

Water analysis is used to answer the question of the importance of gypsum and salty formations in the Kabylian Triassic.

Methodology

In an area where gypsum and salty layers rarely outcrop, chemical analyses of spring waters are used to demonstrate their importance in the Triassic of the Kabylian Dorsale of the Djurdjura. A hydrochemical study was carried out on the main perennial springs of the whole Djurdjura: chemical type, Sr content, Sr^{2+}/Ca^{2+} molar ratio.

Strontium is a tracer bound to evaporites. High Sr^{2+} content in waters can only be explained by Celestite dissolution ($SrSO_4$), a mineral that is associated with gypsum; Sr is thus a good tracer of the existence of evaporites. The Sr^{2+}/Ca^{2+} ionic ratio (molar concentrations) is characteristic of an evaporitic origin if it equals or exceeds 1‰ (BAKALOWICZ, 1988). It is higher than 5‰ in the Alpine Triassic layers (MEYBECK, 1984).

Results

A hydrochemical study enabled us to determine the water types: calcium bicarbonate for the most, with a second sulfate trend; Tinzert spring has a sodium chloride type (figure 2). It is situated at the lowest point to the west of the western Djurdjura, where the ridge is the widest (5 km). Its discharge ranges from 60 $l \cdot s^{-1}$ to 2 $m^3 \cdot s^{-1}$. Its water tastes very salty in the low water periods and the concentrations of evaporitic tracers are high: chlorides (> 1000 $mg \cdot L^{-1}$), sodium (> 500 $mg \cdot L^{-1}$), sulfates (> 200 $mg \cdot L^{-1}$) and potassium (> 25 $mg \cdot L^{-1}$).

During flood periods, because of dilution and quick conduit flows in the upper calcareous zones, the water type becomes calcium bicarbonate. During this period, waters flowing out of the spring are traced by the limestone shallow waters (transit of epikarstic waters). On top and upstream from Tinzert, less than 20 metres to the South, Tala Agouni Lansar displays a very different chemical type, calcium bicarbonate. This fact demonstrates that Tinzert sodium chloride content is acquired by water which stays in the deep satura-

ted zone (figures 3 and 4), and that longitudinal faults divide the lithological units into segments.

Analyses of strontium in waters demonstrate that most of the springs (ABDESSELAM, 1995) have low Sr^{2+} contents (0.06-0.23 mg·L^{-1}). Tinzert spring has a much higher content (0.35-1.83 mg·L^{-1}; table 1). The use of the Sr^{2+}/Ca^{2+} ratio (‰) enabled us to distinguish among aquifers completely developed in limestones, others related to Triassic sandstones and one related to salty layers. The map of Sr^{2+}/Ca^{2+} ratios indicates that the springs related to Triassic outcrops have the higher values (figure 3).

According to the Sr^{2+}/Ca^{2+} ratio (‰), three groups can be distinguished:

- **springs related to limestones, with no relationship with Triassic formations, have a low Sr^{2+}/Ca^{2+} ratio (< 1‰: Adarchi, Aghvaïlou-1 et 2, Tiksra, Thebout and Mendes; table 1);**
- **outlets directly limited by red sandstones Triassic formations (Taliouine et Tabourt Lansar), have a Sr^{2+}/Ca^{2+} ratio ranging between 1 and 1.5 ‰;**
- **Tinzert spring, with a Sr^{2+}/Ca^{2+} ratio that ranges between 3 and 8.77 ‰. This Sr^{2+}/Ca^{2+} ratio (> 5‰) classifies this water into the category of waters originating from the alpine Triassic evaporites (MEYBECK, 1984). This high ratio is coupled with the high sulfate, and especially the chloride and sodium content of these waters.**

This spring is situated on the trace of a north-east thrust sheet sole that probably includes Triassic in its lower part, which concerns the whole Haïzer massif of about 8 km. The water transit is probably either in the upper thrust sheet, or in the lower one, following the East-West axis lowering of the structure.

The springs of the Djurdjura display well-differentiated hydrochemical responses. Several springs that only drain limestone have a standard calcium bicarbonate chemical type (Sr^{2+}/Ca^{2+} < 1 ‰). Other springs (Sr^{2+}/Ca^{2+} = 1 - 1.5 ‰) are characteristic of waters that have flowed in the sandstone and dolomitic Triassic layers, which are observed on the outcrops. Tinzert spring at least, which drains the middle part of the limestone range (Fig. 4, Sr^{2+}/Ca^{2+} = 3 - 8.77 ‰), is characterised by waters which have transited through the evaporitic Triassic. The waters of Tinzert spring have also high chloride, sodium and sulfate contents.

In the Djurdjura, where evaporitic Triassic formations do not generally outcrop, except in very small lenses, an argument can be made for the existence of deep evaporitic Triassic deposits on the basis of the hydrochemical response of perennial springs.

Key-words: *Djurdjura, Maghrebides, evaporites, Triassic system, hydrochemistry, spring, strontium.*

RÉSUMÉ

L'analyse des eaux pose à nouveau la question de l'importance des faciès gypso-salifères dans le Trias de la dorsale kabyle du Djurdjura. Cette dernière est un élément de l'orogène alpin périméditerranéen où le Trias est décrit comme étant formé essentiellement de grès et de pélites avec des niveaux marneux et dolomitiques. Dans les régions telliennes, plus méridionales, il est représenté par des formations marno-gypsifères de grande épaisseur (Trias tellien), en position tectonique constamment anormale. On ne rencontre généralement pas de formations évaporitiques en surface dans le massif du Djurdjura. Les analyses chimiques de la majorité des sources le confirment. Toutefois la source de Tinzert, dont l'impluvium est constitué essentiellement de calcaires montre un cortège d'éléments d'origine évapori-

tique (fortes teneurs en chlorures, sodium et sulfates et la présence du strontium) et plaide pour la présence de niveaux évaporitiques du Trias, à la base de l'aquifère drainé par cette source. Le rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} (en ‰) de la source de Tinzert ($3 < Sr^{2+}/Ca^{2+} < 8,7$) qui est nettement supérieur à celui des autres sources ($Sr^{2+}/Ca^{2+} < 1,5$) le confirme.

Mots-clés : *Djurdjura, Maghrebides, évaporites, Trias, hydrochimie, source, strontium.*

1 - INTRODUCTION

La composition chimique des eaux des sources est majoritairement acquise lors de la traversée du sol et de son séjour dans le réservoir. L'eau, au contact de l'encaissant, acquiert une charge minérale caractéristique des roches traversées. Les produits évacués en suspension et en solution sont informatifs sur la nature de l'aquifère traversé.

Les calcaires massifs du Djurdjura (Algérie) sont très épais et appartiennent au Lias inférieur et à l'Eocène (respectivement 400-500 m et 50-100 m) ; ils sont remarquablement développés (diversement selon les unités). Ils sont fortement karstifiés et constituent les principaux aquifères du massif (ABDESSELAM *et al.*, 1990). La majorité des sources à gros débits leur sont rattachées. Les précipitations annuelles sur le massif vont de 500 mm au piémont sud à plus de 1 000 mm sur la chaîne (jusqu'à 4 000 mm certaines années en altitude). Les principales périodes de précipitation sont comprises entre novembre et mai, avec des maximums en décembre et mars-avril, et les sommets sont abondamment enneigés l'hiver. Au cours de la période d'étude, un déficit de l'ordre de 15 % était observé (neige et précipitations).

L'étude hydrochimique a été menée sur plusieurs sources pérennes réparties sur l'ensemble du Djurdjura.

2 - STRUCTURE GÉOLOGIQUE DU DJURDJURA

La dorsale kabyle (DURAND-DELGA, 1969), qui marque la limite entre les zones internes et externes de la chaîne, est encadrée par le socle cristallophyllien au nord qui la chevauche, et les flyschs crétacés au sud, qu'elle chevauche. C'est l'équivalent des dorsales bétique (dans le Sud de l'Espagne), rifaine (au Nord du Maroc) et péloritaine (en Sicile).

La structure générale du Djurdjura (FLANDRIN, 1952 ; FLANDRIN *et al.*, 1952) correspond à un empilement d'écailles de direction N70 fortement redressées et à vergence sud. L'ensemble de la structure, qui s'abaisse progressivement d'est en ouest, s'ennoie sous les formations molassiques nummulitiques à partir du méridien de Tala Guilef. Des accidents transversaux, de direction N140, les délimitent et les découpent latéralement. Les écailles sont armées par les masses

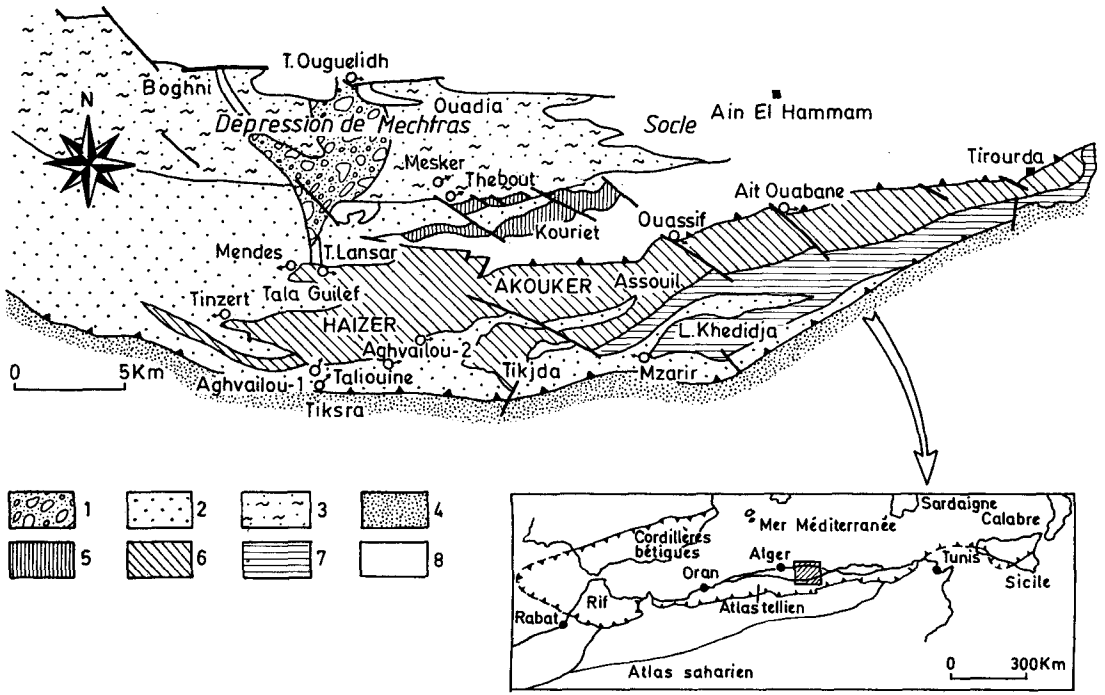

Figure 1 Situation et contexte géologique du Djurdjura, et position des sources (d'après NAAK, 1988).

1 : Cône de déjection quaternaire de Mechtras ; 2 : Couverture molassique éo-oligocène de la Dorsale ; 3 : Flyschs nord-kabyles ; 4 : Flyschs sud-kabyles. Dorsale calcaire : 5 : interne ; 6 : médiane ; 7 : externe ; 8 : Socle kabyle.

Situation and geological context of the Djurdjura, and location of the springs (after NAAK, 1988).

1: Mechtras Quaternary debris fan; 2: Molassic Eocene and Oligocene cover of the Dorsale; 3: North Kabylian flyschs; 4: South Kabylian flyschs. Calcareous Dorsale: 5: inner; 6: middle; 7: outer; 8: Kabylian basement.

calcaires du Lias inférieur et de l'Eocène (*figure 1*). On y rencontre également diverses formations : schistes primaires, grès permo-triasiques, dolomies (Trias moyen et Infralias) et des niveaux détritiques du Nummulitique supérieur.

Les différentes unités structurales, à dominante carbonatée, qui forment la dorsale interne, médiane et méridionale (FLANDRIN, 1952 ; FLANDRIN *et al.*, 1952 ; COUTELLE, 1979 ; GELARD, 1979 et NAAK, 1988), structuralement séparées et isolées par des matériaux peu perméables comme ceux du Paléozoique et du Permo-Trias, constituent des unités de drainage, ou des ensembles hydrogéologiques, indépendants comme l'ont montré les premières expériences de traçage des écoulements (ABDESSELAM, 1995). Cette structure géologique en écailles et le relief vigoureux induisent de forts gradients hydrauliques qui permettent l'écoulement d'eaux très récentes vers les exutoires pérennes.

Il existe une relation décroissante entre débit et teneur en tritium : les sources écoulent lors des crues de saison hivernale des eaux à faible teneur en tritium, comme les pluies qui les ont engendrées.

3 – LE TRIAS « KABYLE »

À la fin du Paléozoïque, se déposent des grès et conglomérats rouges du « Permien » auxquels font suite ceux du Trias. C'est à FALLOT (1942), LAMBERT (1947), FLANDRIN (1952) que nous devons l'essentiel de nos connaissances sur le Trias kabyle à partir d'observations faites précisément dans le Djurdjura.

FALLOT (1942) résume ainsi la stratigraphie du Trias du Djurdjura : conglomérats et grès rouges (Permo-Trias), grès clairs (Werfénien), dolomies et calcaires vermiculés (Muschelkalk), marnes bariolées puis cargneules (Keuper), calcaires à *Avicula contorta* (Rhétien). FLANDRIN (1952) introduit un second niveau de grès rouges au-dessus des calcaires vermiculés (dans l'unité de l'Haïzer). Dans le Ras Timedouine-Akouker, au massif de la cote 1567, les calcaires vermiculés sont surmontés par les grès et conglomérats rouges, les calcaires ont été datés de l'Anisien et les grès sus-jacents du Ladinien (TEFIANI *et al.*, 1991) ;

La lithostratigraphie du Trias de la Dorsale kabyle est très différenciée d'une unité à l'autre (FLANDRIN, 1952 ; GELARD, 1979). Cela reflète la segmentation sédimentaire précoce de la marge passive téthysienne du nord au sud.

Contrairement au Trias tellien (zones externes), le Trias kabyle (zones internes) ne comporte que très rarement des formations gypso-salines. Ainsi, dans le Djurdjura, les évaporites sont très rarement signalées en surface (FLANDRIN, 1952 ; LAMBERT, 1955 ; COUTELLE, 1979 ; GELARD, 1979 ; WILDI, 1983 ; NAAK, 1988 ; TEFIANI *et al.*, 1991 et DURAND-DELGA et TEFIANI, 1994), alors que les premiers auteurs (FALLOT, 1942 ; GIGNOUX, 1946) soupçonnaient la présence d'un Trias « salifère » tectonisé dans le Djurdjura.

Les endroits où le Trias évaporitique a été rencontré sont situés :

- dans l'Azerou Aïcha (LAMBERT, 1947) lors du percement de la galerie de l'assif El Hammam ;

- à l'extémité orientale de l'unité de l'Haïzer près d'Aït Aziz (GELARD, 1969) sous forme de gypse saccharoïde lenticulaire (1 m maximum) intercalé dans une série à pélites rouges à bancs de calcaires vermiculés attribués au Muschelkalk ;
- à 500 m au NW de Tizi n'Kouilal, le long de la route conduisant à Tikjda.

Au total, cela représente très peu comparé aux affleurements triasiques du Djurdjura. Toutefois, le Trias comporte fréquemment des dolomies vacuolaires et des cargneules associées avec des argiles bariolées, dont on peut penser qu'elles ont dû être accompagnées de gypse et de sels, ayant par la suite migré avec ou sans l'aide des compressions tectoniques.

L'analyse des eaux pose à nouveau la question de l'importance de formations gypso-salifères dans le Trias kabyle.

4 - LES FACIÈS CHIMIQUES

L'étude hydrochimique a permis de déterminer les faciès des eaux des différentes sources. Les eaux sont de type bicarbonaté-calcique pour l'essentiel, avec une seconde tendance sulfatée. La source de Tinzert se distingue nettement avec un faciès chloruré sodique (*figure 2*). Les sulfates et le magnésium constituent un deuxième pôle important.

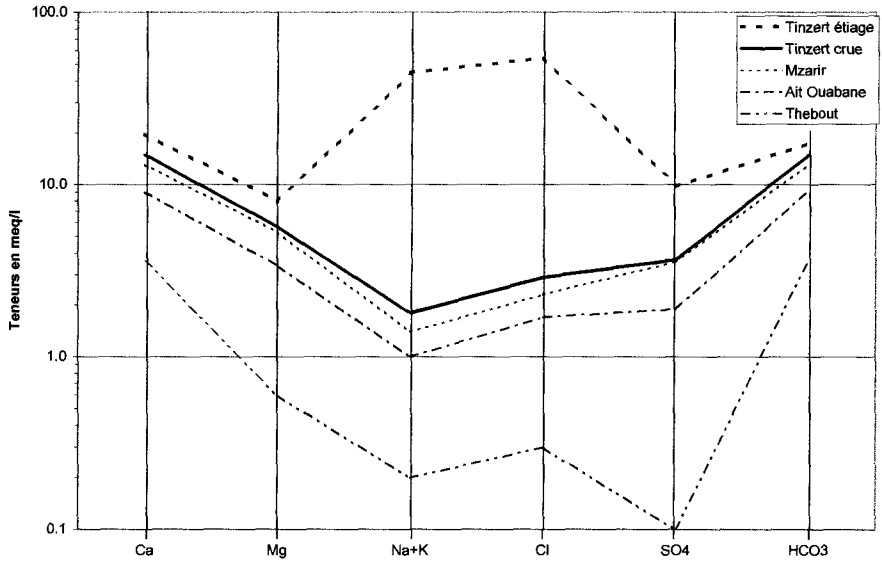

Figure 2 Diagrammes semi-logarithmiques et faciès chimiques des principales sources du Djurdjura.

Semi-logarithmic scattergrams and chemical type of the main springs of the Djurdjura.

La source de Tinzert est située au point le plus bas à l'Ouest du Djurdjura occidental, là où la dorsale présente son développement maximum avec 5 km de largeur. Son débit varie entre 60 $l \cdot s^{-1}$ et 2 $m^3 \cdot s^{-1}$. Son eau a un goût salé très prononcé en étiage (faciès chloruré sodique). Les concentrations en éléments d'origine évaporitique sont élevées : chlorures (> 1 000 $mg \cdot L^{-1}$), sodium (> 500 $mg \cdot L^{-1}$), sulfates (> 200 $mg \cdot L^{-1}$) et potassium (> 25 $mg \cdot L^{-1}$).

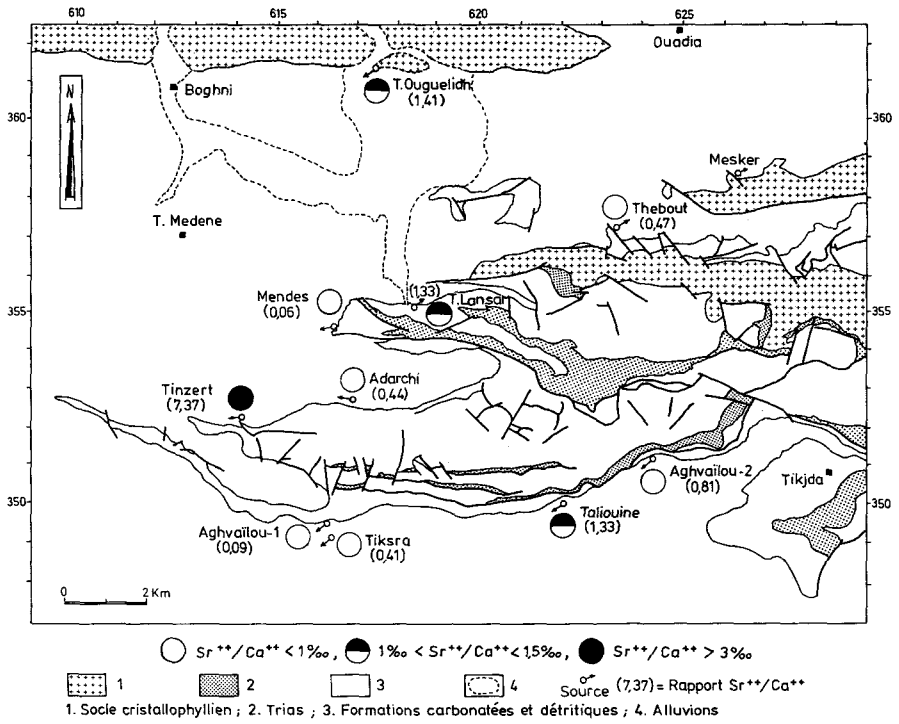

Figure 3 Carte des principales formations géologiques du Djurdjura occidental, localisation des sources et rapports Sr^{2+}/Ca^{2+} (‰) en relation avec le Trias.

Map of the main geological formations of the western Djurdjura, location of the springs and Sr^{2+}/Ca^{2+} ratios (‰), related to the Triassic system.

En crue, à la suite de la dilution des éléments et aux circulations rapides dans les conduits des zones calcaires les plus hautes, le faciès de l'eau devient bicarbonaté calcique franc. Durant cette période, les eaux qui transitent à la source portent la marque du réservoir superficiel qui est carbonaté (arrivée des eaux de l'épikarst). Au dessus et en amont de Tinzert, à moins de 20 mètres plus au Sud, l'eau de Tala Agouni Lansar présente un faciès chimique totalement différent, bicarbonaté calcique. Ceci montre que la minéralisation chlorurée sodique de Tinzert est acquise par l'eau séjournant dans la zone noyée profonde (*figures 3 et 4*), et que les failles longitudinales segmentent les unités lithologiques.

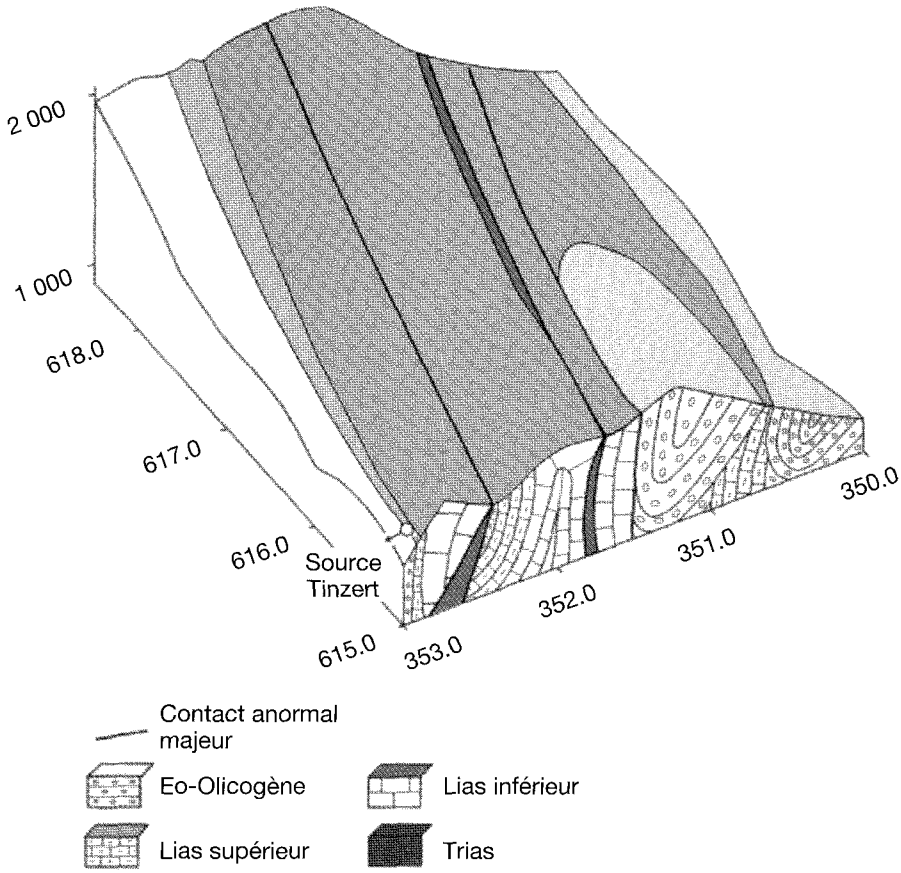

Figure 4 Bloc-diagramme du massif de l'Haïzer, et situation de la source Tinzert.
Block diagram of the Haizer massif, and situation of Tinzert spring.

5 – ÉTUDE DU STRONTIUM

Le strontium est un élément lié aux évaporites. Il est très faiblement intégré dans le réseau des carbonates et est peu adsorbé par les argiles. Les fortes teneurs en Sr^{2+} dans les eaux ne s'expliquent que par la dissolution de la Célestite ($SrSO_4$) minéral associé au gypse. Il forme ainsi un bon marqueur de la présence des évaporites (CARRE, 1975). Le strontium permet ainsi de distinguer les sulfates provenant de l'oxydation de sulfures (teneurs faibles) de ceux issus de la dissolution d'évaporites (teneurs élevées).

Le dosage du strontium dans les eaux des sources du Djurdjura (effectué sur un spectromètre d'absorption atomique - flamme) montre que la plupart des sources étudiées (ABDESSELAM, 1995) possèdent de faibles teneurs en Sr^{2+} (entre 0,06 et 0,23 $mg \cdot L^{-1}$). Seule la source de Tinzert se démarque avec des concentrations allant de 0,35 à 1,83 $mg \cdot L^{-1}$ (*tableau 1*).

Tableau 1 *Teneurs en élements chimiques et rapports des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} (‰) dans les eaux des sources étudiées.*

Table 1 *Chemical contents and Sr^{2+}/Ca^{2+} (‰) molar ratios in the studied spring waters.*

Source	Date	Débit $l.s^{-1}$	HCO_3 $mg.L^{-1}$	Cl $mg.L^{-1}$	SO_4 $mg.L^{-1}$	Ca $mg.L^{-1}$	Mg $mg.L^{-1}$	Na $mg.L^{-1}$	K $mg.L^{-1}$	Sr $mg.L^{-1}$	Sr/Ca ‰
Adarchi	24/07/1989	0,5	167,0	7,6	4,7	60,0	1,8	2,4	0,5	0,06	0,44
Mendes	24/07/1989	3	225,7	10,0	7,4	73,0	7,7	4,1	0,4	0,01	0,06
Mendes	29/09/1989	2	225,0	10,8	7,7	72,0	7,7	4,3	0,7	0,001	0,01
T. Lansar	02/04/1989	10	152,0	8,5	9,6	47,0	6,8	3,4	0,7	0,14	1,26
T. Lansar	23/07/1989	7	162,8	8,7	10,3	48,6	7,3	3,5	0,8	0,15	1,33
T. Lansar	29/09/1989	5	158,4	8,2	11,1	49,2	7,6	3,7	0,7	0,15	1,37
T.Ouguelidh	23/07/1989	30	238,7	12,8	9,6	65,0	14,0	5,2	1,1	0,23	1,49
Thebout	23/07/1989	8	206,1	10,5	6,9	65,0	7,1	4,3	0,9	0,07	0,46
Thebout	08/08/1989	5	208,3	9,2	6,9	67,0	6,8	4,0	0,7	0,07	0,46
Thebout	29/09/1989	4	227,8	11,9	6,5	72,0	7,3	4,2	1,0	0,09	0,57
Aghvaïlou-1	23/07/1989	20	206,1	10,7	4,3	50,9	12,1	3,5	0,5	0,01	0,09
Tiksra	23/07/1989	5	208,3	8,0	5,0	55,8	11,5	3,6	0,5	0,05	0,41
Aghvaïlou-2	23/07/1989	30	119,3	5,9	4,1	34,0	5,0	2,1	0,5	0,06	0,81
Taliouine	23/07/1989	15	154,1	7,5	10,8	41,2	11,4	2,3	0,5	0,12	1,33
Tinzert	14/12/1988	1004	123,0	394,0	40,5	57,5	10,1	209,0	4,2	0,52	4,14
Tinzert	17/12/1988	808	128,0	248,0	33,1	50,9	8,9	137,0	2,9	0,35	3,14
Tinzert	24/12/1988	623	128,0	270,0	37,1	55,8	8,6	163,0	3,2	0,41	3,36
Tinzert	28/12/1988	623	128,0	330,0	39,8	59,9	12,6	196,0	4,1	0,47	3,59
Tinzert	30/12/1988	623	128,0	340,0	39,2	59,2	12,5	200,0	4,1	0,46	3,55
Tinzert	04/02/1989	380	143,2	497,0	47,3	61,2	13,2	308,0	5,8	0,67	5,01
Tinzert	10/02/1989	295	147,6	543,0	50,0	64,3	13,8	319,0	6,0	0,73	5,21
Tinzert	24/07/1989	150	149,7	1029,0	95,8	81,9	18,8	598,0	15,5	1,32	7,37
Tinzert	21/09/1989	93	149,7	1420,0	117,4	95,3	25,7	817,0	15,8	1,83	8,78
Tinzert	22/09/1989	93	147,6	1438,0	118,1	95,7	25,7	851,0	15,1	1,72	8,22
Tinzert	26/09/1989	137	145,4	1420,0	113,4	96,0	25,7	824,0	14,9	1,70	8,10
Ait Ouabane	crue		255,0	26,0	20,0	61,0	20,0	9,7	1,1		
Ait Ouabane	étiage		349,0	50,0	85,0	109,0	34,0	19,0	1,9		
Mzarir	crue		210,0	14,0	37,0	65,0	16,0	7,2	1,0		
Mzarir	étiage		231,0	20,0	80,0	80,0	23,0	9,5	1,0		

Le rapport ionique (en concentrations molaires) Sr^{2+}/Ca^{2+} est caractéristique d'une origine évaporitique s'il est égal ou supérieur à 1 ‰ (BAKALOWICZ, 1988). Il est supérieur à 5 ‰ dans les évaporites du Trias alpin (MEYBECK, 1984)

La carte des rapport Sr^{2+}/Ca^{2+}, qui résume les résultats obtenus dans la partie occidentale du Djurdjura, montre que les sources en liaison avec les affleurements triasiques présentent les plus fortes valeurs (*figure 3*).

Les valeurs du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} (exprimé en ‰) permettent de distinguer trois groupes différents :

- les sources liées aux calcaires du Lias et de l'Eocène (ainsi qu'à l'Oligocène : Aghvaïlou-1) sans liaison avec les formations triasiques possèdent un rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} inférieur à 1‰ : Adarchi, Aghvaïlou-1 et 2, Tiksra, Thebout et Mendes (tableau 1). Ces sources ont des teneurs en sulfates voisines de 5 $mg \cdot L^{-1}$.
- les émergences directement limitées par les formations triasiques à grès rouges comme Taliouine et Tabourt Lansar ont un rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} compris entre 1,3 et 1,5 ‰. Leur teneur en sulfates avoisine les 10 $mg \cdot L^{-1}$.
- la source de Tinzert avec un rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} qui varie entre 3,1 et 8,8 ‰. Cette valeur du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} (supérieur à 5 ‰) range les eaux de cette source dans la même catégorie que les eaux issues des évaporites du Trias alpin (MEYBECK, 1984). Ce rapport élevé s'ajoute aux grandes concentrations en sulfates et surtout en chlorure et sodium de ces eaux.

Cette source est située sur le tracé de la base d'une écaille Est-Ouest comprenant probablement du Trias à sa partie inférieure, et qui intéresse tout le massif de l'Haïzer sur environ 8 km. Le cheminement des eaux doit se faire vraisemblablement soit dans l'écaille supérieure, soit dans l'écaille inférieure en suivant le plongement axial Est-Ouest de la structure. Le rapport Sr/Ca permet de démontrer l'origine évaporitique des fortes teneurs en sulfates.

6 - CONCLUSION

Les sources du Djurdjura montrent des réponses hydrochimiques différenciées. Certaines sources (Adarchi, Mendes, Thebout, Aghvaïlou-1 et Aghvaïlou-2) qui drainent seulement des massifs calcaires présentent un faciès chimique bicarbonaté calcique classique. Leur rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} est inférieur à 1 ‰. D'autres sources (Taliouine, T. Lansar et T. Ouguelidh) à rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} compris entre 1,3 et 1,5 ‰ sont caractéristiques d'eaux qui ont circulé sur le Trias gréso-dolomitique que l'on connaît en affleurement. La source de Tinzert enfin, qui draine la partie médiane de la chaîne calcaire (fig. 4) possède des rapports Sr^{2+}/Ca^{2+} élevés (3, à 8,8 ‰), valeurs qui caractérisent des eaux ayant circulé sur le Trias évaporitique. Les eaux à la source de Tinzert contiennent aussi des teneurs élevées en chlorures, sodium et sulfates. Ces mêmes valeurs élevées en chlorures, sodium et sulfates se retrouvent dans les eaux des sources du Djurdjura central et oriental (Ait Ouabane et Mzarir, tableau 1) pour lesquelles le strontium n'a pas été dosé. Elles pourraient drainer elles aussi des formations évaporitiques du Trias non affleurantes en surface.

Dans le Djurdjura où le Trias évaporitique n'affleure généralement pas, sauf dans de toutes petites lentilles, une argumentation peut être apportée par les réponses hydrochimiques de certaines sources sur la présence du Trias évaporitique profond.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDESSELAM M., 1995. Structure et fonctionnement d'un karst de montagne méditerranéenne : exemple du Djurdjura occidental en Grande Kabylie (Algérie). *Th. Doct. Univ.*, Franche-Comté, Besançon, 490, 233 p.

ABDESSELAM M., LAMI H., MANIA J., 1990. Le Djurdjura, aquifère karstique de montagne de type alpin (Algérie). Internat. Conf. on Water resources in mountainous regions. 27 août-1 sep. 1990, Lausanne, Suisse. *Mém of the 22nd Congress of IAH*, 22, 434-443.

BAKALOWICZ M., 1988. La formation des travertins : aspects géochimiques. Essai de synthèse et discussion n° XVII, U.A. 903 CNRS et ATP PIREN Aix en Provence.

CARRE J., 1975. Géochimie du Strontium dans les eaux de nappes et de surface de la région parisienne. Thèse 3e cycle Univ. Paris VI.

COUTELLE A., 1979. Géologie du Sud-Est de la Grande Kabylie et des Babors d'Akbou. Thèse Paris.

DURAND-DELGA M., 1969. Mise au point sur la structure du nord-est de la Berbérie. *Publ. Serv. Géol. Algérie*. NIle. Sér., 39, 89-131

DURAND-DELGA M., TEFIANI M., 1994. Problèmes posés par le Trias des zones internes des Maghrébides et des cordillères bétiques. *Mém. Serv. Géol. de l'Algérie*. TRIAS'93, 41-56.

FALLOT P., 1942. Observations sur le Trias d'Algérie. *C. R. Somm. Bull. Soc. Géol. France*, 5-XII-1, 57-71.

FLANDRIN J., 1952. La chaîne du Djurdjura. XIXe Cong. Géol. Internat. Alger, *Monogr. Région. 1re série*, 19, 48 p.

FLANDRIN J., CLARACQ P., FABRE CI., LAURIOL E., PAYAN J., 1952. Carte géologique de la chaîne du Djurdjura au 1/50 000e. Serv. Carte Géol. Algérie, feuilles n° 66 et 67, coupure spéciale Alger.

GELARD J.P., 1969. Recouvrement de socle dans l'aile orientale du massif de Grande Kabylie (Algérie). *C. R. Acad. Sc.*, 268, 1905.

GELARD J.P., 1979. Géologie du nord-est de la Grande Kabylie. Thèse Dijon, 335 p.

GIGNOUX M., 1946. Remarques sur la répartition des faciès du Trias en Algérie. *C.R. Somm. n° 1-2, Bull. Soc. Géol France*, 5, XVI, 20-22.

LAMBERT A., 1947. Sur l'existence du Trias salifère de la Kabylie du Djurdjura. *C.R. Somm. n° 11, Bull. Soc. Géol. France*, 5, 225-226.

LAMBERT A., 1955. Nouvelles données sur le Trias du Djurdjura (Algérie). *C.R. Somm. Bull. Soc. Géol France*, 7, 121-128.

MEYBECK M., 1984. Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Paris VI, ENSup.

NAAK M., 1988. Étude géologique de la dorsale interne du Djurdjura. Interprétation généralisée à l'ensemble de la chaîne et proposition d'un modèle d'évolution géodynamique de ce tronçon de la paléomarge continentale kabyle. *Thèse magister*, Alger, 145 p.

TEFIANI M., BAUDELOT S., BOURMOUCHE R., 1991. Datations palynologiques du Trias du Djurdjura (Algérie). Implications géodynamiques. *C.R. Acad. Sci.* Paris, 313, Série II, 451-456.

WILDI W., 1983. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 24 (3), 201-258.