

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en
Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

Contribution à l'étude des sources intermittentes. Cas de la source M'Chaki
(Jijel – NE Algérien)

Membres de Jury

Président : Djorfi Samir

Examineur : Cheddad Souhila

Encadrant : Debieche Taha-Hocine

Co-Encadrant : Mahdid Souhil

Présenté par :

- Attoui Fares

- Boustila Yasser

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu le tout puissant miséricordieux de nous avoir donné force et patience pour mener à terme notre travail.

*Nous adressons nos remerciements à notre encadrant **Monsieur Debieche T. H. et Mahdid S.** qui, après avoir accepté de prendre la direction du mémoire, ils nous ont laissé bien souvent gérer notre travail tout en apportant les critiques et conseils nécessaires lors de son élaboration. Vivement, nous les remercions pour l'intérêt qu'ils ont apporté à ce travail, pour leur encadrement, leur patience, leur compréhension et leur gentillesse durant toute la période de réalisation de notre mémoire et nous tenons à mentionner le plaisir que nous avons à travailler avec eux. Nous remercions d'avance les membres du jury pour l'intérêt qu'ils porteront à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous remercions également madame **S. Benessam** pour sa disponibilité et ses conseils pour la réalisation des analyses chimiques au Laboratoire de Génie Géologique (LGG) et le Laboratoire Pédagogique de la Biologie (Université de Mohamed Seddik Benyahia - Jijel).*

Enfin, Nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé ou encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont à tous les enseignants de la spécialité « Eau et Environnement ».



Yasser et Fares

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui ont Contribué de Près ou de loin

À l'élaboration de ce travail plus particulièrement :

A mon Père « Aïcen »

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A ma mère « Hayet »

« Tu m'as donnée la tendresse et le courage pour réussir tout ce que je peux offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour les sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée ».

A mon frère et ma chère sœur:

Ils sont présents dans tous mes moments d'examens par me soutenir moralement. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

A toutes mes amis « Mehdi, Hamza, Hassni, Fouad, Chouaib, Okba, Aboubaker, Maïssa ... »

A mon binôme : Fares.

Finalement, et si par inattention j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié.



Yasser

Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance...Aussi, c'est tout simplement que Je dédie ce mémoire

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A MES CHERS ET ADORABLE FRÈRES ET SŒURS

Samira, la prunelle de mes yeux, mouna, la douce, au cœur si grand, khiredidine l'aimable, adel le généreux, zineddine mon frère que j'adore.

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À mon binôme Yasser et MES AMIS DE TOUJOURS : Youcef, Hamza, Aymen, Hassni, Mouhamed, Mehdi, Nassim, Salah, Saleh, Oussama, ...

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.



Fares

Table de matières

Remerciements

Dédicace

Table de matières

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale..... 1

Chpitre I : Rappel bibliographique

I.1 Généralité :..... 2

I.2. Classification des sources 2

I.2.1. Classification des sources selon meinzer (1923) 2

I.2.2. Classification des sources selon springer et stevens (2009) 2

I.2.3. Classification des sources selon kresic (2010) 3

I.3. Typologie des sources 4

I.3.1 . Sources liées à une nappe libre 4

I.3.1.1. Source de débordement 4

I.3.1.2. Source de dépression 4

I.3.1.3. Source de déversement 5

I.3.1.4. Sources liées à une faille 5

I.3.2. Sources liées à une nappe captive 5

I.4. Source karstique 6

I.5. Source intermittente 8

I.5.1. source périodique 9

I.5.2. Source temporaire 9

I.5.3. Geyser 9

I.6. Classification des sources intermittentes : Gavrilovic (1967) a classé ces sources en trois types 9

I.6.1. Sources rythmiques permanentes 9

I.6.2. Sources rythmiques saisonnières 9

I.6.3. Sources rythmiques soudains 9

I.7. Mode de fonctionnement des sources intermittentes 10

I.8. Conclusion 11

Chapitre II. Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction	12
II.2. Situation administrative et géographique	12
II.3. Contexte géomorphologique.....	13
II.4. Contexte hydrologique	14
II.5. Contexte géologique	15
II.5.1. Introduction	15
II.5.2. Géologie régionale.....	15
II.5.2.1. Le domaine interne	15
II.5.2.2. Le domaine des flysch	16
II.5.2.3. Le domaine externe	16
II.5.3. Géologie local	16
II.5.4. Stratigraphie.....	17
II.5.4.1. Trias [<i>t</i>].....	18
II.5.4.2. Lias moyen [<i>L3-1</i>].....	18
II.5.4.2.1. Sinémurien.....	18
II.5.4.2.2. Domérien (Charmothien sup)	18
II.5.4.3. Crétacé : Crétacé inférieur [<i>C IV- VI</i>]	18
II.5.4.4. Emschérien [<i>C7</i>].....	18
II.5.4.5. Companien– Santonien [<i>C8</i>]	18
II.5.4.6. Oligocène [<i>mb</i>].....	19
II.6. Climatologie de la zone d'étude	21
II.7. Conclusion	22

Chapitre III. Matériels et Méthode

III.1. Introduction	23
III.2. Campagne de mesure et de prélèvement	23
III.3. Mesures hydrodynamiques	23
III.4. Prélèvement et conservation d'eau	23
III.5. Matériels et analyses chimique au laboratoire	25
II.6. Analyses chimiques	26
III.7. Conclusion	26

Chapitre IV. Fonctionnement hydrodynamique et chimique de la source

IV.1. Introduction	27
IV.2. Fonctionnement hydrodynamique de la source.....	27
IV.2.1. Ecoulement de la source	27
IV.2.2. Ecoulement intermittent (discontinu) de la source.....	27
IV.2.3. Evolution de la charge d'eau dans l'exutoire principale de la source Suivi de l'évolution de la charge durant l'écoulement intermittent	28
IV.3. Fonctionnement chimique de la source.....	29
IV.3.1. Introduction	29
IV.3.2. Composition chimique des eaux de la source	30
IV.3.2.1. Les mesures du Ph et CE des eaux lors de l'écoulement permanent	30
IV.3.2.2. Variation de la conductivité des eaux lors de l'écoulement permanent et intermittent	30
IV.3.2.3. Comparaison entre la conductivité des eaux de l'écoulement intermittent et permanent	31
IV.3.2.4. Variation de la chimie des eaux lors de la remontée de la charge dans l'exutoire principal de la source.....	32
IV.3.2.5. Schéma conceptuel du Fonctionnement hydrodynamique de la source M'chaki	34
IV.4. Conclusion	36
Conclusion générale	37

Liste des figures

Figure I.1: Source de débordement (les systèmes aquifères Jacques Beauchamp juillet 2006).....	4
Figure I.2: Source de dépression (d'émergence).	4
Figure I.3: Source par déversement.....	5
Figure I.4: Source de faille.....	5
Figure I.5: Source de nappe captive.....	6
Figure I.6: Sources karstiques	8
Figure I.7: Schéma représentatif du fonctionnement de des sources rythmiques (OGNJEN BONACCI & DAVOR BOJANIĆ (1991)).....	10
Figure II.1: Appartenance administrative de la source M'chaki.....	12
Figure II.2: Contexte géomorphologique de la source M'Chaki (carte topographique) (Echelle : 1/50 000).....	13
Figure II.3: Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djendjen.....	14
Figure II.4: Limites des bassins versants d'oued Rafrat et d'oued Ameer (extrait de la carte Topographique de Tamesguida).....	15
Figure II.5 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (Delga, 1969).....	16
Figure II.6: Carte géologique de la zone d'étude, extrait de la carte géologique de Tamesguida (Echelle : 1/50 000) (Ehrmann, 1946).....	17
Figure II.7: Formations géologiques observées au voisinage de la source M'Chaki.....	19
Figure II.8: Coupe géologique interprétative passant par l'exutoire de la source M'Chaki...	20
Figure III.1 : Exutoires principal et secondaires de la source M'Chaki.....	24
Figure IV.1 : Variation de la charge d'eau dans l'exutoire de la source en fonction du temps durant le cycle N°2.....	28
Figure IV.2 : Variation de la charge d'eau dans l'exutoire de la source en fonction du temps durant le cycle N°3.....	29
Figure IV.3: Ph et CE des eaux dès l'exutoires secondaires de la source M'chaki lors de l'écoulement permanent.....	30
Figure IV.4 : Variation de la conductivité durant deux cycles (1 et 2) de la source	31

Figure IV.5: Comparaison entre la conductivité des eaux des écoulements permanent et intermittent durant deux cycles (1 et 2).....	32
Figure IV.6 : Composition physico-chimique des eaux de l'exutoire principale de la source M'chaki.....	33
Figure IV.7: Schéma conceptuel du fonctionnement continu(A) et discontinu(B) de la source M'chaki	35

Liste des photos

Photo III.1: Arrêt et fonctionnement (à charges différentes, de 1 à 8) de la source M'chaki....	25
Photo III.2 : Schéma représentatif du dispositif utilisé pour analyser les éléments chimiques par la méthode volumétrique.....	26

Résumé

La source M'Chaki est une source intermittente très rare, on trouve dans le monde une centaine. Ce mémoire de master a pour objectif de donner des explications scientifiques à son fonctionnement hydrodynamique et chimique en se basant sur les approches géologique, hydrologique, hydrodynamique et hydrochimique.

Les résultats obtenus montrent que la source a un mode de fonctionnement hydrodynamique basé sur multi-siphon qui lui donne un écoulement intermittent. L'observation continue de l'écoulement de la source et des analyses chimiques nous ont permis de montrer l'existence de deux siphons au moins. Le premier se situe dans les formations bréchiques du Trias et le deuxième dans les formations carbonatées de Lias. En fin, un schéma conceptuel expliquant l'écoulement intermittent et l'écoulement permanent de la source est proposé.

Mots clés : M'chaki, source intermittente, hydrodynamique, hauteur d'eau, hydrochimique, siphon.

Abstract

The M'Chaki spring is a very rare intermittent springs, there are around a hundred in the world. The aim of this master's thesis is to give scientific explanations of its hydrodynamic and chemical functioning based on geological, hydrological, hydrodynamic and hydrochemical approaches.

The results obtained show that the spring has a hydrodynamic functioning mode based on multi-siphon which gives it an intermittent flow. Continuous observation of the spring flow and chemical analyzes have enabled us to show the existence of at least two siphons. The first is located in the breccia formations of the Triassic and the second in the carbonate formations of Lias. Finally, a conceptual diagram explaining the intermittent flow and the permanent flow of the springs is proposed.

Keywords: M'chaki, intermittent spring, hydrodynamic, Water's high, hydrochemistry, siphon.

المخلص

منبع المشاكي هو منبع متقطع نادر جداً ، يوجد حوالي مائة منبع في العالم. تهدف أطروحة الماستر هذه إلى تقديم تفسيرات علمية لعملياتها الهيدروديناميكية والكيميائية بناءً على المناهج الجيولوجية والهيدرولوجية والهيدروديناميكية والهيدروكيميائية.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن المنبع له وضع تشغيل هيدروديناميكي يعتمد على متعدد المستنزفات المائية مما يمنحه تدفقاً متقطعاً. مكنتنا المراقبة المستمرة لتدفق المنبع والتحليلات الكيميائية الترياسي والثاني في تكوينات الكربونات في اللياس. أخيراً، تم اقتراح رسم تخطيطي مفاهيمي يشرح التدفق المتقطع والتدفق الدائم للمصدر.

الكلمات المفتاحية: مشاكي ، مصدر متقطع ، الهيدروديناميكية، ارتفاع الماء، الهيدروكيميائية ، المستنزف المائي .

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Les sources intermittentes sont rares dans le monde et son mode de fonctionnement attire la curiosité des gens et des scientifiques. Dans ce mémoire de master nous allons étudier le fonctionnement hydrodynamique et chimique de la source M'chaki (Jijel, NE Algérien) et apporter notre contribution scientifique à la bonne compréhension de son fonctionnement. Cette source a été déjà faite l'objet d'un mémoire de master (Aidli et Gherib 2019) et deux articles scientifiques (debieche et al. 2019 et 2020) qui ont donné une première explication. Dans ce mémoire, dont son premier titre été la modélisation du fonctionnement hydrodynamique et chimique de la source M'Chaki, mais vu la pandémie du coronavirus et le confinement du pays pour se protéger contre ce virus, ont été obligé de changer le titre du mémoire pour le sujet suivant « Contribution à l'étude des sources intermittentes. Cas de la source M'Chaki (Jijel – NE algérien) ». Dans ce mémoire, nous allons présenter une recherche bibliographique sur les sources intermittentes ainsi que l'interprétation des données d'une campagne de prélèvement et de mesures hydrodynamiques réalisée 5/3/2020 avant l'arrivée du coronavirus en Algérie.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier intitulé « rappel bibliographique ». Il a pour objectif de donner des définitions, des concepts généraux et les classifications des sources et des explications sur le mode de fonctionnement des sources intermittentes.
- Le deuxième « présentation de la zone d'étude » a pour but de donner une présentation générale et locale de la source M'chaki selon le plan administrative, géomorphologique et géologique.
- Le troisième « matériels et méthode » a été consacré à la présentation de la campagne de mesure et l'échantillonnage, les prélèvements réalisées in-situ et les matériels et méthodes scientifique utilisées pendant la réalisation des analyses chimiques.
- Le quatrième « résultats et discussion », il est considéré comme le plus important dans notre mémoire où on discutera et interprétera nos résultats. Ce chapitre est subdivisée en deux parties : le premier pour l'hydrodynamique et l'autre pour l'hydrochimie avec un schéma conceptuel final pour expliquer le fonctionnement de la source M'chaki basé sur ces deux parties.

On termine notre mémoire par une conclusion générale qui englobe toutes les résultats achevés et des suggestions pour compléter cette étude.

Chapitre I

Rappel bibliographique

I.1. Généralité

Une source est un endroit où l'eau sort naturellement du sol. Elle est très souvent à l'origine d'un cours d'eau, d'un ruisseau, d'une rivière ou même d'un fleuve. Mais une source peut également être submergée dans un écoulement d'eau, une mare, un lac ou une mer. Une source qui coule en permanence est dite pérenne, sinon elle est dite temporaire ou intermittente. Dans la plupart des cas le débit d'une source est variable, sauf que les ouvertures entièrement artificielles, telles que les puits artésiens, ne sont pas considérés comme des sources.

La naissance des différentes sources provient de l'apparition de l'eau à la surface due à l'effet de deux paramètres considérables : la structure géologique et les caractéristiques topographiques. Les résurgences d'eau peuvent alors donner une formation des dépressions tout au long de contact lithologique s'il y a présence d'une formation de faible perméabilité supposée par une formation perméable (Castelli, 2012 ; Fetter, 2001). Les résurgences de grande quantité d'eau nécessitent la combinaison des plusieurs paramètres comme une aire de recharge importante et un haut taux de recharge. (Brian, 1919; Manga, 2001).

I.2. Classification des sources

Plusieurs auteurs ont proposé des classifications pour les sources selon le taux de décharge moyenne selon Meinzer (1923), géomorphologie, écoulement, géochimie des eaux et biologique selon Springer et Stevens (2009) et la nature de leur écoulement selon Kresic (2010) *in* (Castelli, 2012). Ci-dessous, nous allons développer ces classifications.

I.2.1. Classification des sources selon meinzer (1923)

Meinzer en (1923) a proposé une classification des sources basée sur le taux de décharge en deux classes de sources durables. Les sources durables continues et Intermittentes.

1^{ère} classe : les sources qui sortent d'une façon continue sont appelées « les sources durables »

2^{ème} classe : les sources qui sont caractérisées par ses résurgences naturellement intermittentes ou sporadique sont appelées « les sources intermittentes ». Ces sources peuvent avoir un écoulement régulier tel les geysers qui ont une périodicité d'environ une heure pour expulser leur CO₂. (Castelli, 2012).

I.2.2. Classification des sources selon springer et stevens (2009)

Springer et Stevens (2009) se sont basés dans leur classification sur la combinaison entre la classification d'Alfaro et Wallace (1994) et de Meinzer (1923) et ils ont ajouté des nouveaux catégories qui ne figurant pas dans aucune classification. Cette classification présente plusieurs catégories basées sur des considérations géomorphologique, les caractéristiques d'écoulement, la qualité de l'eau et la géochimie, les habitats, et les variations climatiques et biologiques incluant les micros habitats ainsi que les aspects de gestion de l'eau et du territoire (Castelli, 2012).

Tableau I.1 : Classification des sources selon Springer et Stevens *in* Castelli (2012).

Classe	Type	Description
Unité hydro stratigraphique	Roche mère de l'aquifère	Sédimentaire (roc ou sédiment non consolidé)
Environnement de résurgence	Caverne	Cas spécial, habituellement non considérée comme une source, car elle peut ne pas être directement exposée à l'atmosphère
	Subaérienne	Résurgence au-dessus du sol, cadre géo morphique
	Sub glaciaire	Résurgence au-dessus du sol, en dessous d'un glacier
Géomorphologie de l'orifice	Source par fracture	Exposé ou déchargée par de joint ou de fracture
	Source par contact	Écoulement déchargés le long d'un contact stratigraphique
Sphère de décharge	Caverne	Résurgence dans une caverne
	Geyser	Écoulement explosif
	Fontaine	Forme de fontaine artésienne
Consistance d'écoulement	Éternel	Écoulement continu
	Intermittent-régulier	Régulier – l'écoulement se produit sur un horaire régulier à l'heure, quotidiennement, saisonnier, annuel, ou variable.
	Intermittent-erratique	L'écoulement se produit seulement sur une base erratique, peut être notée avec des indicateurs végétatifs.
	Intermittent-sec	Aucun écoulement en tout temps pour prise de mesure.
Qualité de l'eau	Froide	Température ambiante sous la moyenne.
	Normal	Atteignant au moins 12.2°C de la température ambiante moyenne.
	Chaude	Significativement plus chaude que la température ambiante annuelle 37.8°C – 100°C.

I.2.3. Classification des sources selon kresic (2010)

Les sources souterraines sont regrouper généralement en deux groupes basés sur la nature de l'écoulement par rapport à l'aquifère duquel elles sont issues (Kresic, 2010).

1^{er} groupe : les sources à écoulement gravitaire (sources descendantes) : coulent dans les zones phréatique (sous les conditions non confiné) où il y a une interception entre le niveau statique de l'eau et la surface du terrain.

2^{ème} groupe : les sources artésiennes (sources ascendantes) : contrairement au 1^{er} groupe ce type se trouve dans les zones captive avec où il y a des pressions due aux conditions de confinement.

I.3. Typologie des sources

Selon la classification de (C. Alfaro - M. Wallace 1994), les sources sont classées en fonction de la nature et de la structure des formations géologiques et le type d'aquifère. En se basant sur ces trois critères, les deux auteurs ont donné les classes suivantes :

I.3.1. Sources liées à une nappe libre

On peut distinguer trois types selon la position structurale par rapport à la nappe libre existante :

I.3.1.1. Source de débordement

Située au contact du toit imperméable d'un aquifère, à la limite d'une nappe libre ou d'une nappe captive. (Shoeller, 1955 in Castany, 1977).

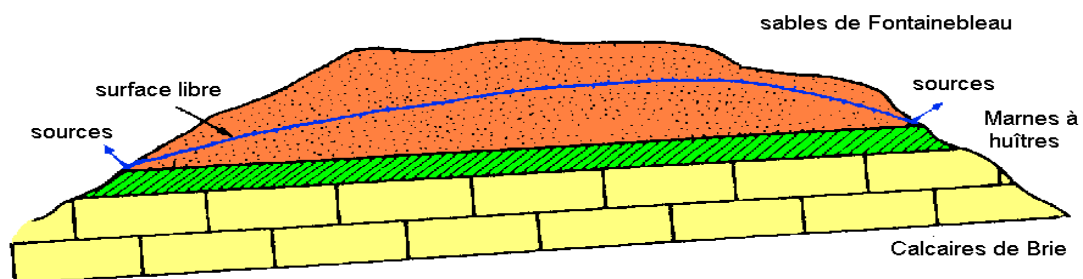
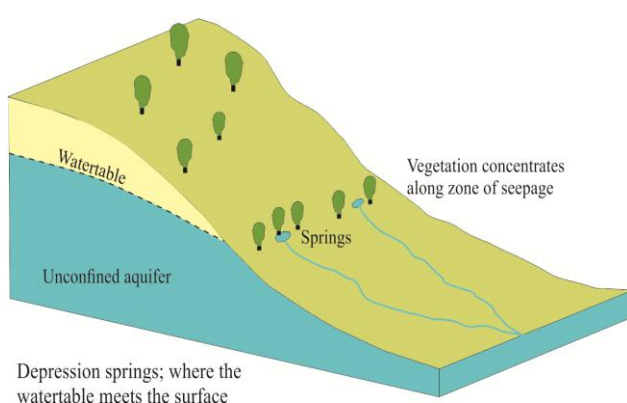


Figure I.1: Source de débordement (Beauchamp, 2006)

I.3.1.2. Source de dépression

Appelée aussi source d'émergence. Provoquée par l'intersection de la surface du sol avec la surface d'une nappe libre, sans incidence d'une limite imperméable de l'aquifère. (Boursault, 1900 ; Imbeaux, 1930 ; Dievert, 1932 ; Poitrée et Ollier, 1962).



Depression springs; where the watertable meets the surface

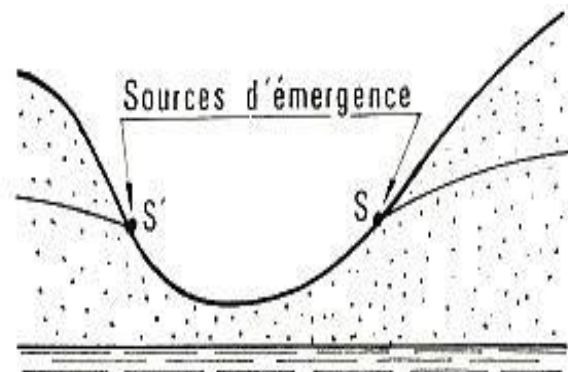


Figure I.2: source de dépression (Arfib, 2010).

I.3.1.3. Source de déversement

Située au contact du mur imperméable d'un aquifère, issue d'une nappe libre de déversement, non soutenue, et souvent comprise dans une ligne de sources. Se distingue d'une source de trop-plein et d'une source de débordement. (Haugt, 1911 in Castany, 1977).

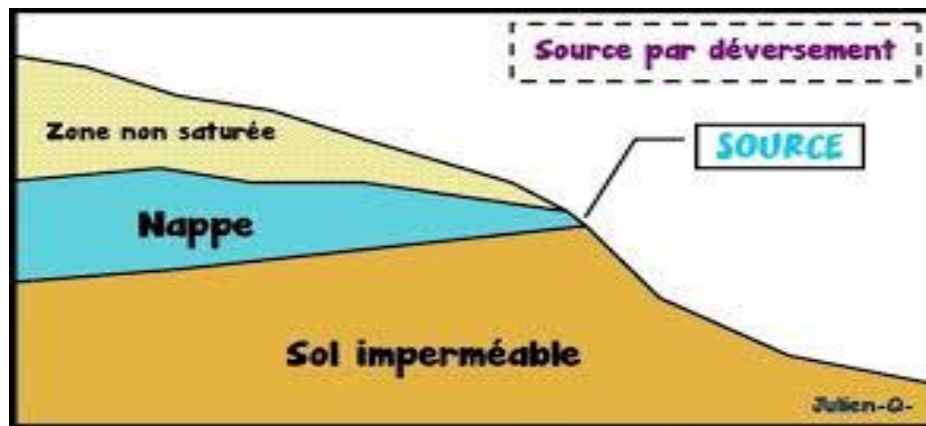


Figure I.3: source par déversement (Arfib, 2010).

I.3.1.4. Sources liées à une faille

Ce type de source se situe au contact d'une faille.

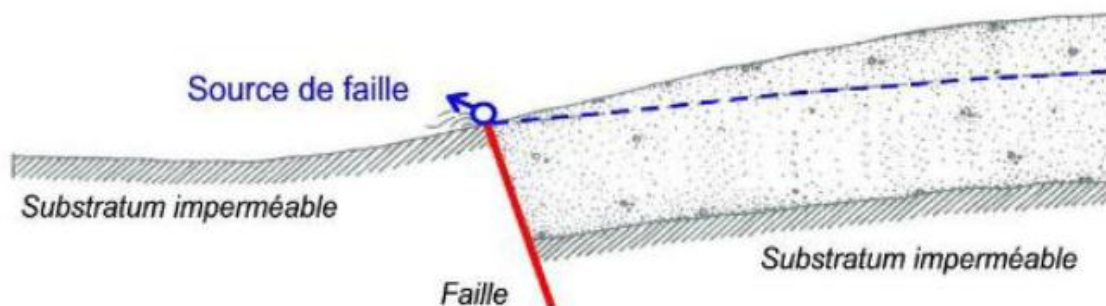


Figure I.4: source de faille

I.3.2. Sources liées à une nappe captive

Ils existent uniquement en cas de nappe captive sous charge. La surface piézométrique se situe au-dessus du sol. L'eau est contrainte de circuler en sous-sol vu la présence d'un toit imperméable (argile, limons...). Une conduite traversant la couche imperméable implique donc une source jaillissante.

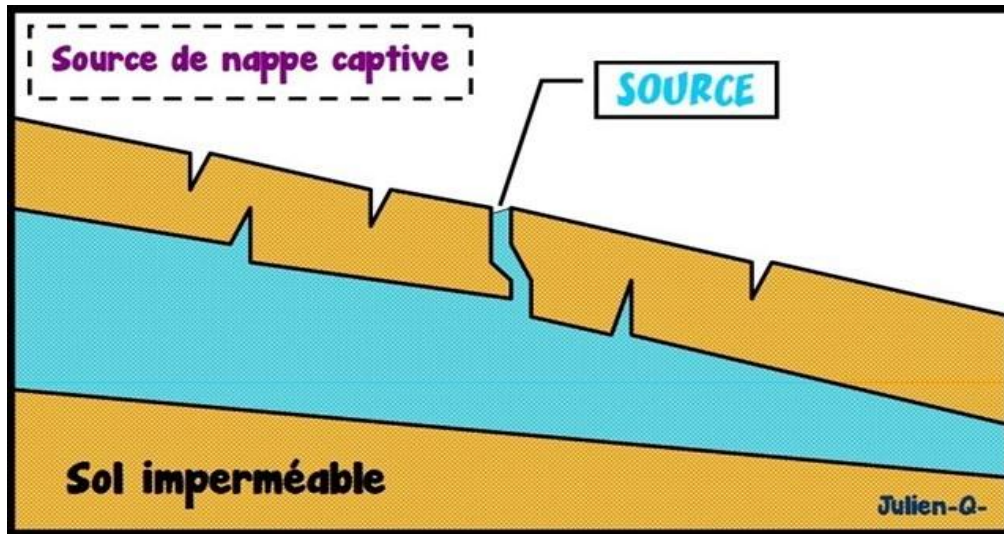
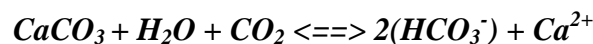


Figure I.5: Source de nappe captive (Arfib, 2010).

I.4. Source karstique

Les sources karstiques représentent l'exutoire naturel des nappes souterraines vers la surface, à travers les fissures qui apparaissent généralement dans les zones de contact des roches carbonatées et une limite imperméable (Alfaro et Wallace 1994). L'eau souterraine provient de l'infiltration dans le karst, soit directement des précipitations sur les roches calcaires, soit aussi de l'absorption d'une rivière par une perte. L'écoulement souterrain s'organise et ressort en une source, avec des variations de débit pouvant être spectaculaires en fonction des pluies. (Arfib, 2010).

Le processus chimique le plus commun dans la formation des sources karstiques est la karstification. Elle est le résultat de la dissolution des roches carbonatées au contact de l'eau chargée en acide carbonique (H_2CO_3), qui dérive du gaz carbonique de l'air, plus rarement de gaz carbonique d'origine profonde (associé à de l'hydrothermalisme). La dissolution de la roche calcaire par l'eau associée au gaz carbonique se fait selon la formule suivante :



Cette dissolution de formations carbonatées permet l'émargement et le développement du réseau des fissures et la possibilité d'apparition de nouvelles sources ainsi que l'augmentation de leur débit.

- **Source pérenne**

Ce type des sources est caractérisé par son écoulement permanent pendant toute l'année avec un débit variable mais ne tarit jamais. Son alimentation pendant l'étiage provient d'une nappe d'eau souterraine ou par l'écoulement d'une rivière souterraine à

écoulement libre jusqu'à l'exutoire. Sa position dépend du niveau de base de l'aquifère (Arfib, 2010).

- **Source temporaire**

Généralement, coule pendant la période des hautes eaux et forme son exutoire de vidange de l'aquifère lors de l'événement pluvieux exceptionnellement importantes. Elle peut être une ancienne source pérenne abandonnée due à l'abaissement de niveaux de base de l'aquifère. Elle se situe dans des altitudes supérieures que la source pérenne. Dans certains cas elle peut être considérée comme une source de trop-plein. (Arfib, 2010).

- **Source vauclusienne**

Son nom est inspiré de la célèbre fontaine de Vaucluse, où l'eau remonte de plus de 300 m de profondeur dans un puits noyé. Donc on utilise ce terme pour les sources qui ont ce genre des caractéristiques morphologiques souterraines spécifiques où l'eau draine dans un conduit de karst subverticale jusqu'à la surface depuis des profondeurs très inférieurs à celui de la source. (Arfib, 2010).

- **Source sous-marine**

Elle s'écoule directement dans la mer ; son griffon (orifice) est situé sous le niveau marin. L'eau de la source est généralement saumâtre, résultant d'un mélange entre l'eau douce de l'aquifère et l'eau de mer, qui se produit soit directement à l'émergence, soit en profondeur dans l'aquifère. (Arfib, 2010).

- **Sources minérale et thermale**

Elles sont caractérisées par la qualité physico-chimique de l'eau. L'écoulement souterrain à plus ou moins grande profondeur, et au contact de roches diverses, permet à l'eau de se réchauffer et (ou) d'acquérir une minéralisation. (Arfib, 2010).

- **Source intermittente**

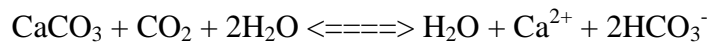
Caractérisé par un débit variable discontinu (de manière périodique). L'écoulement se fait selon des intervalles plus au moins régulières. Ces variations sont les résultats d'un phénomène hydraulique de vidange et de remplissage de l'aquifère. (Arfib, 2010). (Darcy, 1856 in Castany, 1977).

- **l'estavelle**

Elle est également nommée inversac, ou source-perte. Peut être considéré comme une source temporaire qui a la capacité d'absorber l'eau quand elle est à l'état de repos. Elle peut aussi fonctionner comme une point de sortie d'eau dans la période des hautes eaux ou bien une point d'entrée en fonction des périodes (Arfib, 2010).

- **Source pétrifiante**

Elle est caractérisée par les dépôts de tufs calcaires (ou travertins) qu'elle dépose à son émergence ou dans le lit du cours d'eau. (Arfib, 2010). Il est formé par la précipitation des calcaires naturellement dans l'eau, selon la formule suivante :



Le schéma général des sources karstiques est présenté dans la figure ci-dessous:

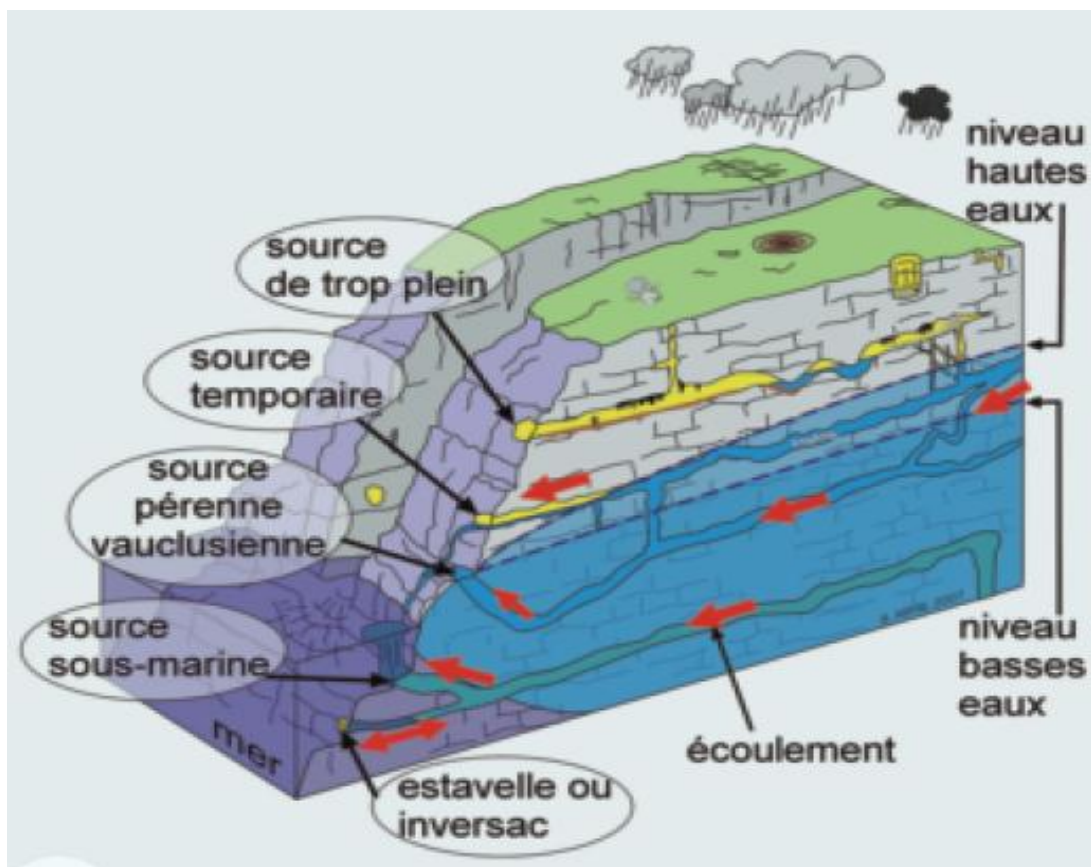


Figure I.6 : Sources karstiques

I.5. Source intermittente

Elle s'écoule avec un débit variable de manière périodique. Ces variations résultent d'un phénomène hydraulique de vidange et de remplissage de réservoirs en cascade en amont de la source (Arfib, 2010). Les sources intermittentes, en général, présentent trois types de sources : périodiques, temporaires et les geysers.

I.5.1. Source périodique

Elle montre un débit continu et variable lors certaines périodes au minimum. Généralement, d'une manière périodique, régulière et de courtes fréquences même en régime non influencé. (Castany, 1977).

I.5.2. Source temporaire

Caractérisée par un écoulement non persistant, débite seulement durant certaines périodes, de durée et d'espace variables (Paramelle, 1856 in Castany, 1977).

I.5.3. Geysier

Le geysier est une eau chaude jaillissant à intervalles réguliers et produisant de la vapeur d'eau. Les geysers sont des sources thermale intermittentes qui projetant une colonne d'eau très chaude (wikipédia, 2020).

I.6. Classification des sources intermittentes

Gavrilovic (1967) a classé ces sources en trois types :

I.6.1. Sources rythmiques permanentes

Ce type des sources est caractérisé par une vidange durant toute l'année par l'effet du siphon.

I.6.2. Sources rythmiques saisonnières

C'est le type le plus fréquent, elle fonctionne seulement pendant période des basses eaux, si le réservoir d'eau souterraine qui est vidée par l'effet du siphon dont il a une faible capacité et les niveaux d'eau souterraine sont faible et les recharges sont petits. Quand le réservoir est très large, il nécessite des grandes quantités d'eau pour le recharger, La source fonctionne comme une source rythmique seulement d'une manière saisonnière

Lors de la période pluvieuse, quand il y a des afflux de recharges suffisantes pour recharger le réservoir d'eau souterraine de telles sources ne doivent pas s'assécher (Bonnacci et Bojanic, 1991).

I.6.3. Sources rythmiques soudains

Elles sont localisées généralement dans les régions de circulation verticale d'eau souterraine dans le karst. Elles apparaissent justes après les fortes précipitations. De telles sources sont vidangées juste une ou plusieurs fois durant les précipitations et par la suite elles cessent. Ce type de source pourrait être classé avec les sources rythmiques saisonnières qui fonctionnent pendant les périodes pluvieuses (Bonnacci et Bojanic, 1991).

I.7. Mode de fonctionnement des sources intermittentes

Elles sont caractérisées par un fonctionnement de remplissage et de vidange expliqué par la théorie du siphon. Le fonctionnement de la source dépend de la présence d'une cavité ou plusieurs qui sont connectées à la surface avec un canal du siphon (canal ascendant-descendant) (Nikola Igračev, 2014), selon le schéma suivant :

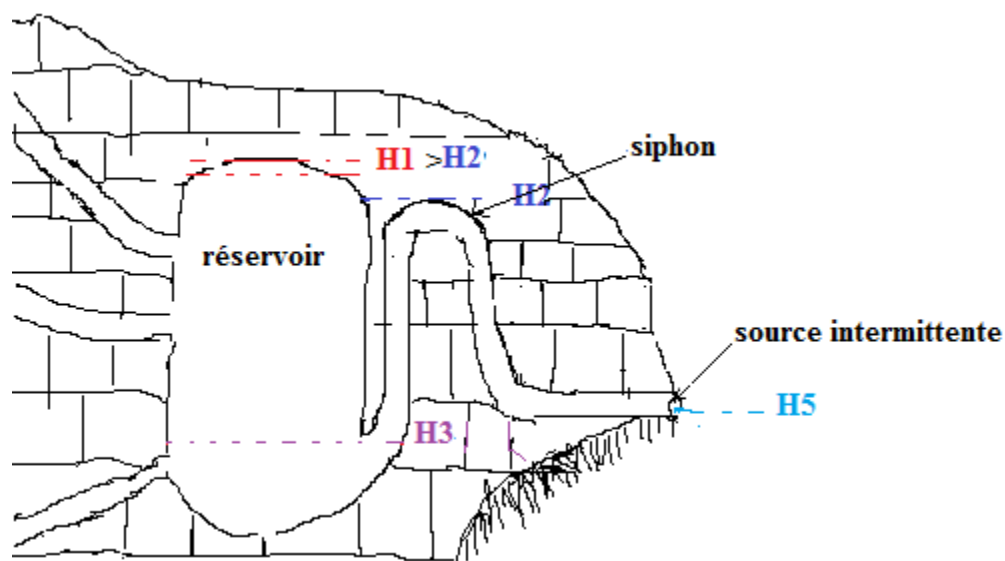


Figure I.7: schéma représentatif de fonctionnement de des sources rythmiques (Bonacci et Bojanic 1991)

Le réservoir souterrain remplit en eau par les canaux souterrains et les fissures dans les calcaires jusqu'à la courbe du canal du siphon (H2). La vidange du réservoir se fait par l'effet du siphon. Toute l'eau présente dans le réservoir entre les niveaux H2 et H3 commence à se couler depuis la partie descendante du siphon à cause de la gravité et la pression hydrostatique dans le réservoir. Une fois l'eau atteinte le niveau H3, l'air entrera dans le canal du siphon et coupera la continuité hydraulique, ce qui produit l'arrêt de la vidange du réservoir. La recharge du réservoir se poursuivra de nouveau jusqu'à atteindre le niveau H2.

Dans le cas de la saison humide, Quand le niveau d'eau est de H1, et les afflux à partir des canaux souterrains et des fissures dans la masse karstique sont supérieurs de la capacité du siphon, donc la source ne fonctionne plus d'une manière rythmique mais fonctionne comme toute d'autre source de débordement karstique. Par contre, pendant la saison sèche, les sources intermittentes peuvent être asséchées complètement pendant une longue période. La quantité d'eau déchargée lors d'un cycle d'activation dépend principalement sur le

volume du réservoir, mais aussi de la connexion entre les cavités souterraines. Le temps nécessaire pour vider le réservoir aussi dépend sur son volume, comme aussi sur le diamètre du canal de siphon. C'est le raison de la difficulté d'étude des sources intermittentes, qui est très compliquée et demande une observation détaillée et continue de plusieurs paramètres simultanément. (Igračev 2014 ; Bonacci & Bojanic 1991).

Bogli (1980) a expliqué la possibilité du fonctionnement des sources rythmiques dans les quatre situations suivantes :

- a) L'action intermittente continue tout le temps mais la durée de la période change avec l'approvisionnement en eau, car cela détermine la durée jusqu'à ce que le réservoir soit plein ;
- b) à un niveau d'eau élevé, le siphon est inondé et ne fonctionne pas en raison du manque d'air, mais il devient intermittent à des niveaux d'eau bas et moyens ;
- c) Lorsque l'afflux d'eau est faible, le siphon ne peut pas être remplie au-dessus du niveau H2 (FigI.7) mais avec un approvisionnement en eau croissant, l'action du siphon s'installe et est intermittente.

I.8. Conclusion

Cette recherche bibliographique nous a permis d'avoir un concept générale sur les classifications des sources et de ses modes de fonctionnement. On a pu avoir une idée sur les définitions et la classification des sources ainsi que l'explication scientifique du fonctionnement hydrodynamique des sources intermittentes.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II.1.Introduction

Ce chapitre a été consacré à la présentation de la zone d'étude de point de vue administrative, géographique, géomorphologique et géologique. Cela a pour objectif de permettre au lecteur de bien connaître le contexte local et régional de la source.

II.2. Situation administrative et géographique

La source M'Chaki est située au nord-est de l'Algérie dans la wilaya de Jijel et exactement dans la commune de Selma ben Ziada (figure II.1). Elle se trouve à environ 45 km au sud-ouest de la ville de Jijel et à environ 1.4 Km au sud de la ville de Selma Benziada (figure II.1).

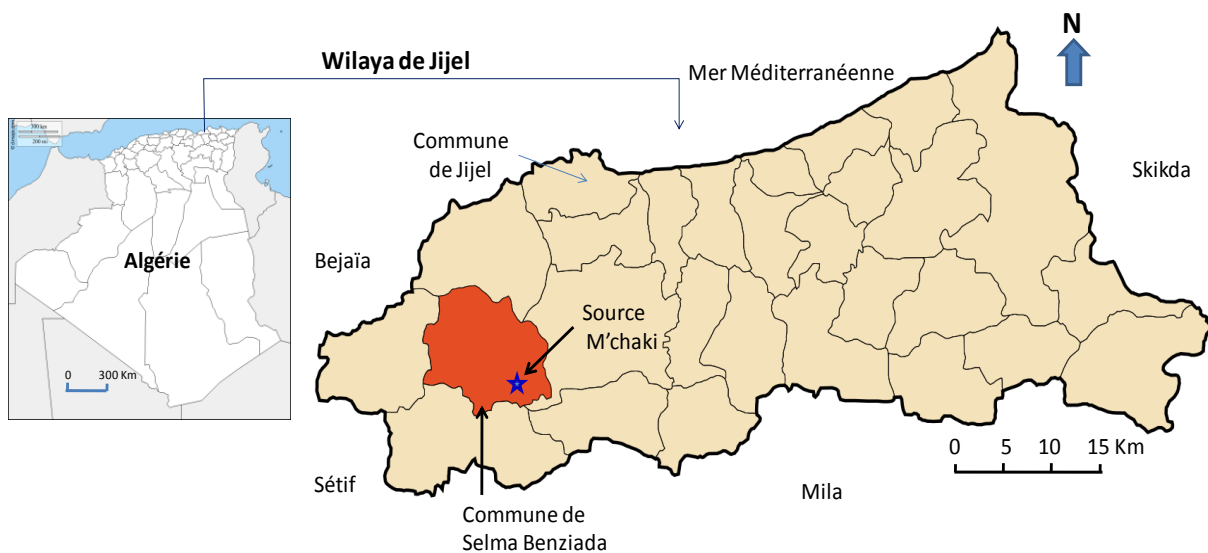


Figure II.1: Appartenance administrative de la source M'chaki

II.3. Contexte géomorphologique

La source M'Chaki se situe à une altitude de 545 m. Elle est localisée exactement au pied du Dra er Rokaba et à une distance de 5 m d'oued Rafrat. Cette source est entourée par trois monts, au nord par le mont de Cheria (1313 m), au Nord-Est par le mont de Fedj et Teffah (1320 m), à l'Ouest par le mont de Tazeguezaoul (1237 m) et enfin au sud par l'oued Djendjen.

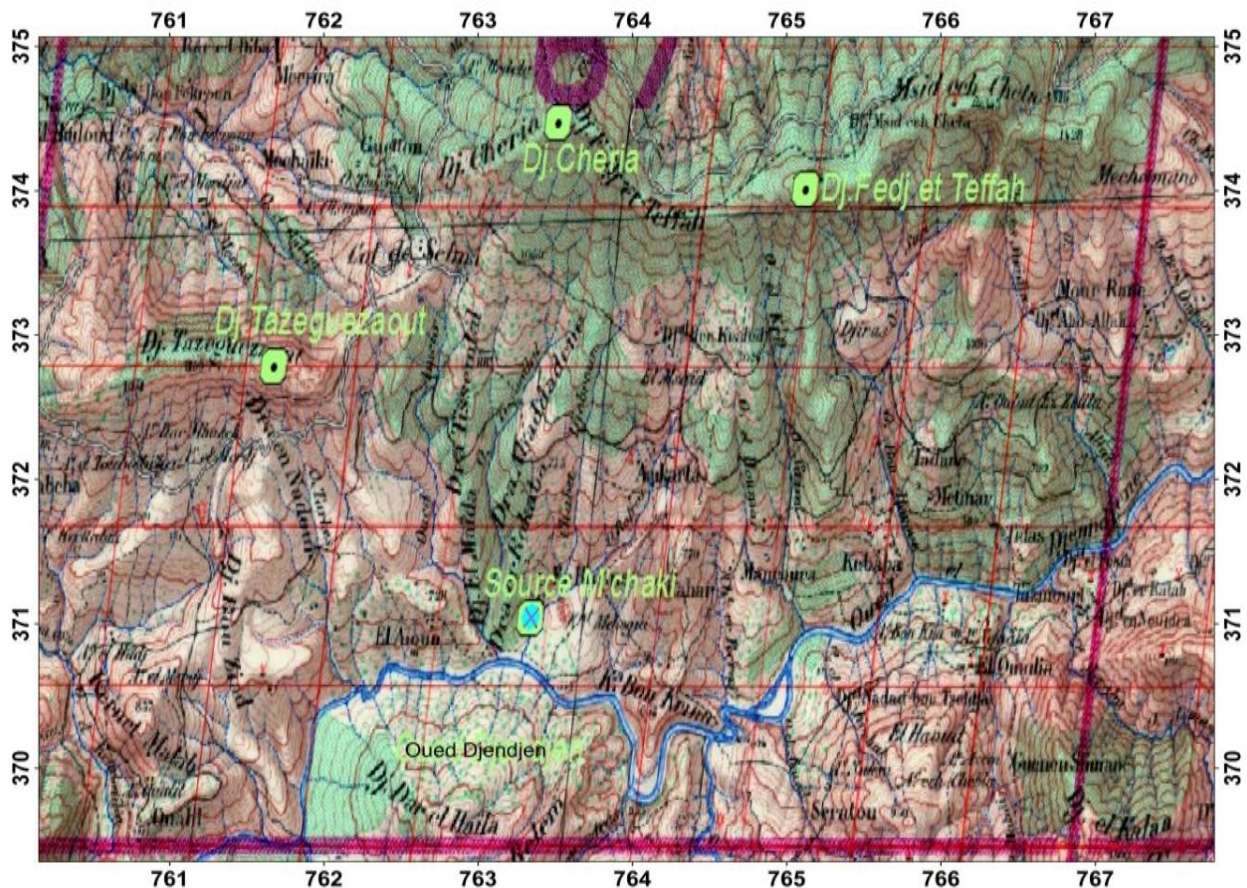


Figure II.2: Contexte géomorphologique de la source M'Chaki (carte topographique)

(Echelle : 1/50 000).

II.4. Contexte hydrologique

De point de vue hydrologique la source M'Chaki appartient au sous bassin versant d'oued Rafrat, qui fait partie du sous bassin Djendjen et ce dernier appartient au bassin versant « côtiers constantinois » numéro 03-04.

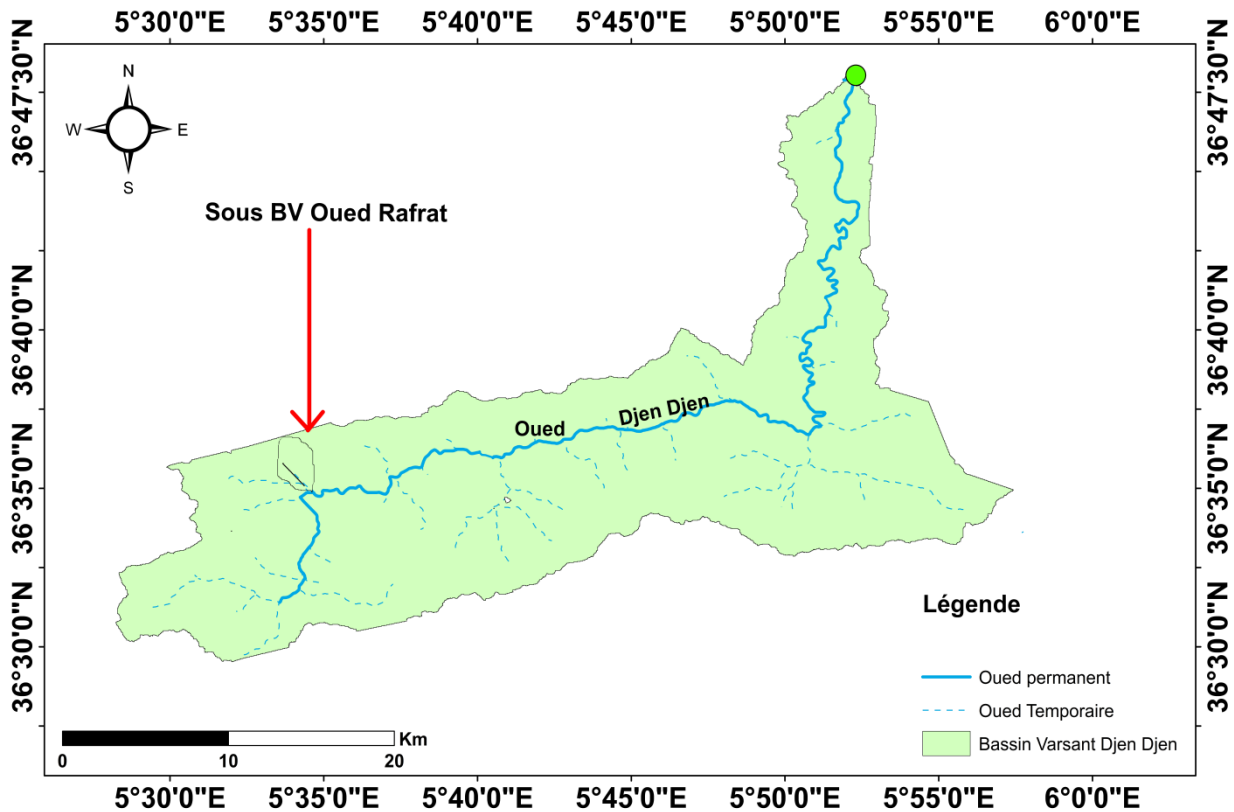


Figure II.3: Réseau hydrographique du bassin versant d'oued Djendjen

La source de M'Chaki appartient au bassin versant d'oued Rafrat qui s'étend sur une superficie de 3.5 Km² (figure 5) et dont l'altitude varie de 515 mètres à 1200 mètres et à l'ouest par le sous bassin versant d'oued Ameur qui s'étend sur une superficie de 4.7 Km² avec altitude varie entre 515 mètres à 1313 mètres. Les deux bassins versants se déversent dans l'oued Djendjen.

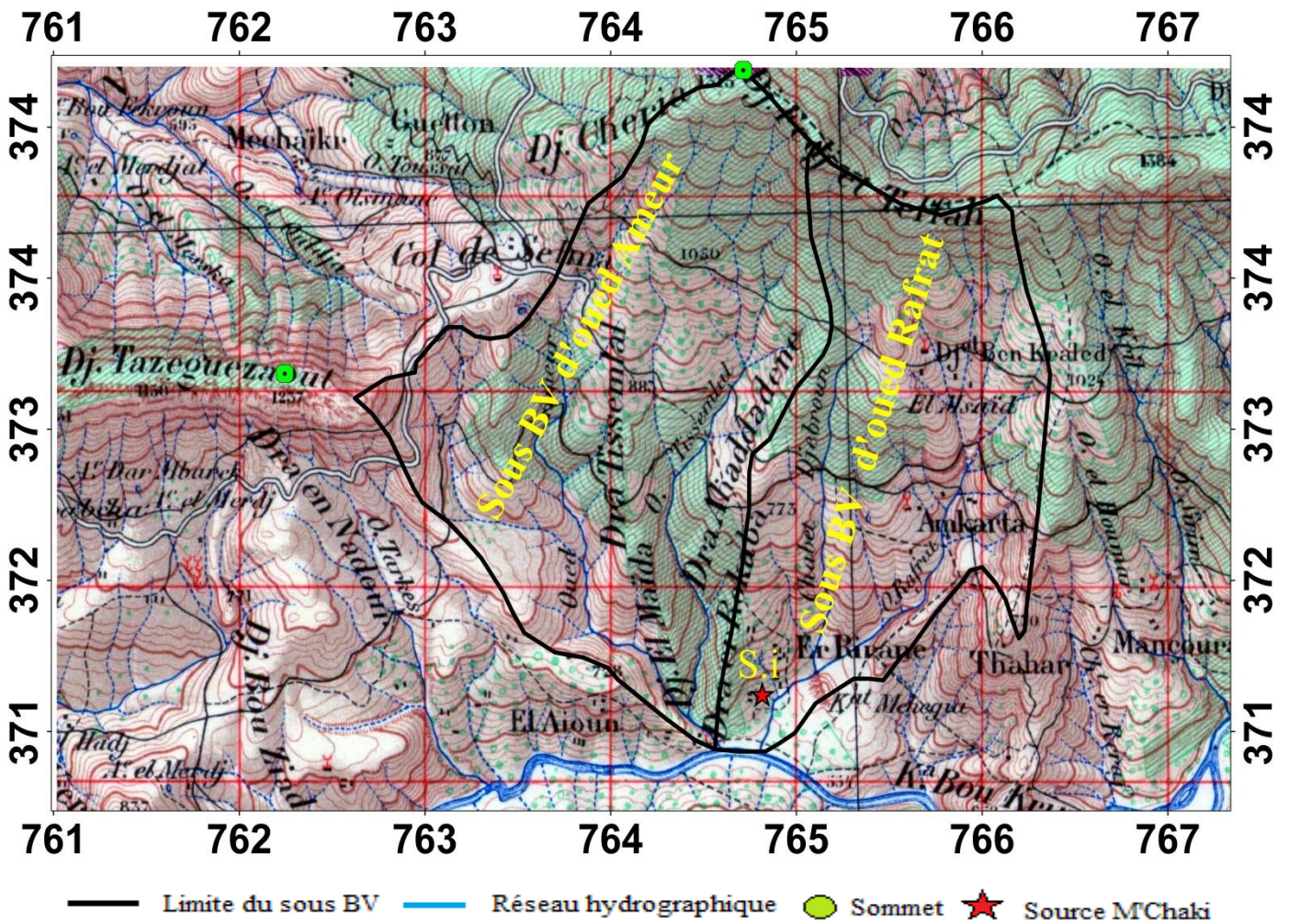


Figure II.4: Limites des bassins versants d’oued Rafrat et d’oued Aneur (extrait de la carte Topographique de Tamesguida).

II.5. Contexte géologique

II.5.1. Introduction

L'étude géologique est un outil fondamental pour l'étude hydrogéologique. Elle permet d'identifier les matériaux, définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs.

II.5.2. Géologie régionale

Du point de vue structural, les Maghrébides sont constitués de plusieurs nappes charriées sur la plate-forme africaine. Cette chaîne est subdivisée en plusieurs domaines (Figure II.5).

II.5.2.1. Domaine interne

Appelé aussi socle kabyle, est caractérisé par les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire (Durand Delga, 1969 ; Raoult, 1974 et Vila, 1980).

II.5.2.2. Domaine des flysch

Il est constitué des deux grands types de flysch. Ils sont les flyschs Mauritaniens au Nord et les flyschs massyliens au Sud (Vila, 1980).

II.5.2.3. Domaine externe

Appelé aussi domaine tellienne. Il s'agit de séries très épaisses à dominante marneuse issue du sillon Tellien. Elle est subdivisée en trois grandes séries (Vila 1980) qui sont du nord vers le sud : les séries ultra telliennes, les séries telliennes (sens strict) et les séries pénitelliennes.

La source de M'Chaki fait partie du domaine tellien (domaine externe), qui est représenté par les unités allochtones d'âge du jurassique au crétacé. La source M'Chaki se localise exactement dans la nappes ultra-telliennes, qui se composent essentiellement par des formations géologiques calcaro-dolomitique du lias et le complexe argilo-gypsifère du trias.

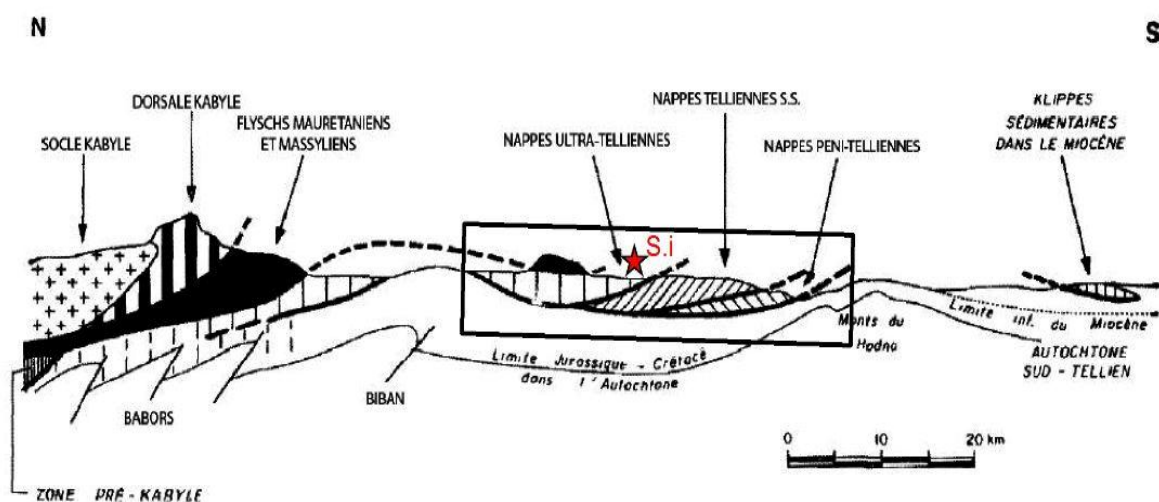
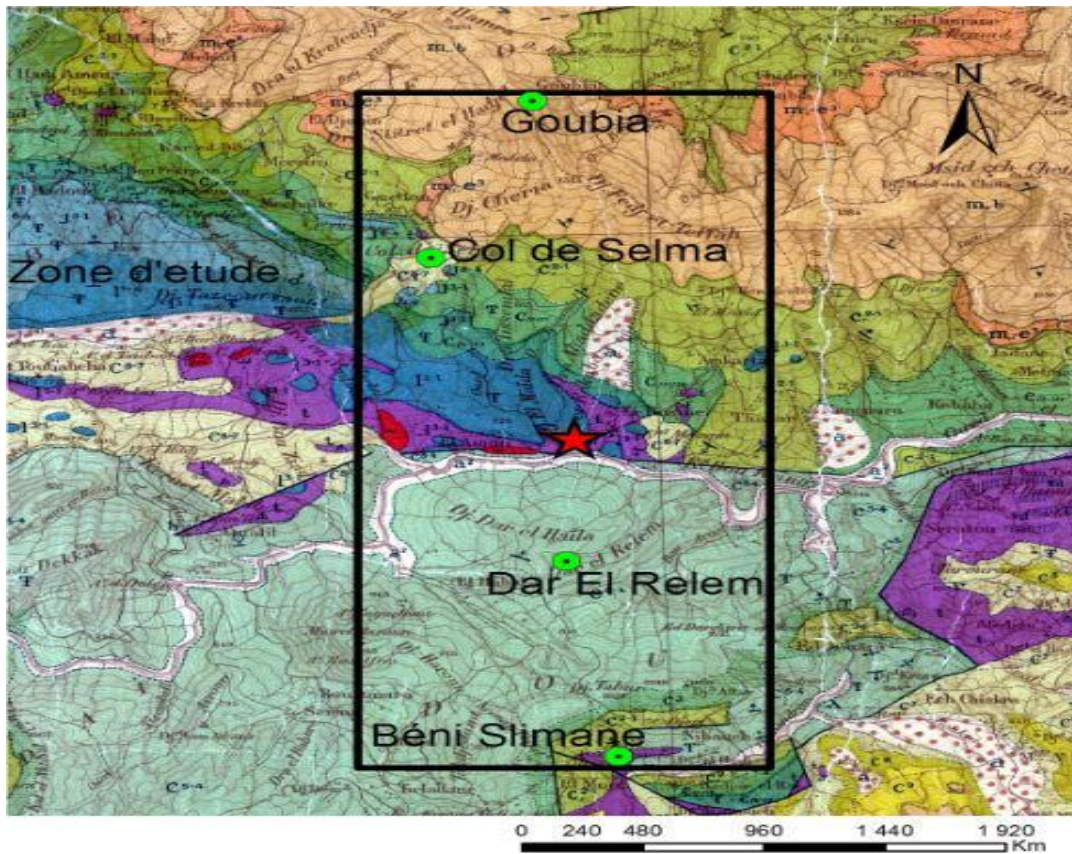


Figure II.5 : Rapports structuraux entre les différentes unités de la chaîne des Maghrébides (Delga, 1969)

II.5.3. Géologie local

La formation géologique de la région d'étude est obtenue à partir de la carte géologique de Tamesguida (numéro 49). La source M'chaki est situé entre deux formations géologiques, la formation triasique et la formation liasique. Elle est limitée de l'Est par le complexe triasique, à l'Ouest par Aalénien-Toarcienmarno-calcaire, au Nord par des formations d'âge jurassique et au Sud par les formations d'âge Cénomaniens.



Légende

<table border="1"> <tr><td>a</td></tr> <tr><td>a²</td></tr> <tr><td>m-c³</td></tr> <tr><td>e</td></tr> <tr><td>c²⁻¹</td></tr> </table>	a	a ²	m-c ³	e	c ²⁻¹	<p>Eboulis, brèche, consolidé</p> <p>Lit majeur des cours d'eau Alluvion actuelle et récentes</p> <p>Oligocène inférieur et Eocène supérieure Marne schisteuse et argile numidienne</p> <p>Eocène inférieure, calcaire à silex</p> <p>Cénomaniens</p> <p>Albien et flysch albo-aptien</p>	<table border="1"> <tr><td>C^{II-III}</td></tr> <tr><td>C^{III}</td></tr> <tr><td>J³⁻⁴</td></tr> <tr><td>J^{2-3V}</td></tr> <tr><td>I³⁻⁴</td></tr> <tr><td>I³⁻¹</td></tr> <tr><td>Td</td></tr> </table>	C ^{II-III}	C ^{III}	J ³⁻⁴	J ^{2-3V}	I ³⁻⁴	I ³⁻¹	Td	<p>Barrémien et flysch apto-barrémien</p> <p>Groupe néocomien</p> <p>jurassique</p> <p>Aalénien Toarcien marno-calcaire</p> <p>Charmouthien-sinemurien Calcaire divers, dolomie, brèche</p> <p>Td Calcaire dolomitique et cargneules T complexe triasique</p>
a															
a ²															
m-c ³															
e															
c ²⁻¹															
C ^{II-III}															
C ^{III}															
J ³⁻⁴															
J ^{2-3V}															
I ³⁻⁴															
I ³⁻¹															
Td															
	<p>Source M'Chaki</p>														

Figure II.6 : Carte géologique de la zone d'étude, extrait de la carte géologique de Tamesguida (Echelle : 1/50 000) (Ehrmann, 1946).

II.5.4. Stratigraphie

Selon la notice de la carte géologique de Tamesguida (Ehrmann, 1946), les formations géologiques qui composent la zone d'étude sont des âges suivants :

II.5.4.1. Trias[t]

Il est représenté par un complexe, du trias gypso-saline, bariolé, auquel s'ajoutant des conglomérats, poudingues ou galets reprise au paléozoïque, ainsi que des argiles schisto-gréseuse et grés. Calcaire plus ou moins cristallin ou marmoréens, comprenant des dolomies et cargneules. Le gypse est compact saccharoïde ou cristallin.

II.5.4.2. Lias moyen [L3-1]

Se subdivise en Sinémurien et Domérien (Charmothien sup).

II.5.4.2.1. Sinémurien

Apparaissent des calcaires lites à silex noir ou gris avec intercalation marneuse et banc dolomitique.

II.5.4.2.2. Domérien (Charmothien sup)

Constituée par des marno-calcaire et calcaire sublithographique à rognons siliceux

II.5.4.3. Crétacé : Crétacé inférieur [C IV- VI]

Constituée essentiellement par calcaire marneux et marne schisteuse avec intercalation de conglomérat à élément ancien et jurassique (p) avec passage latéral local ou faciès flysch. Ce dernier est des schistes et quartzites en bancs parfois puissantes ou en blanquettes.

II.5.4.4. Emschérien [C7]

La formation est constituée par marnes et argiles schisteuses, noirâtres, gris de plomb, séléniteuses, à quartz bipyramides corrodés, sels et autre éléments triasique reprise.

II.5.4.5. Companien– Santonien [C8]

Il s'agit de marne schisteuse et marno-calcaires à inocérames.

II.5.4.6. Oligocène [mb]

Représentés par des grès numidiens, transgressifs localement sur l'assise suivante avec conglomérat de base et petits poudingues intercalaire. Des formations géologiques existant au voisinage de la source M'Chaki est illustrée par la (Figure II.6).

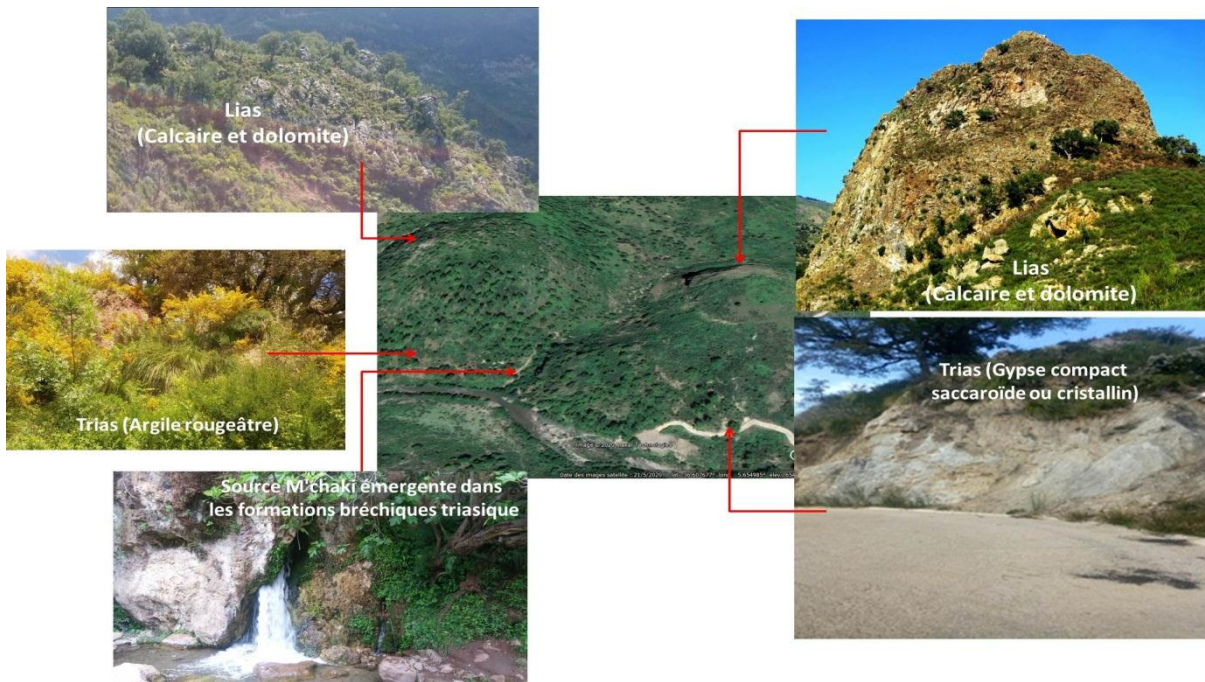
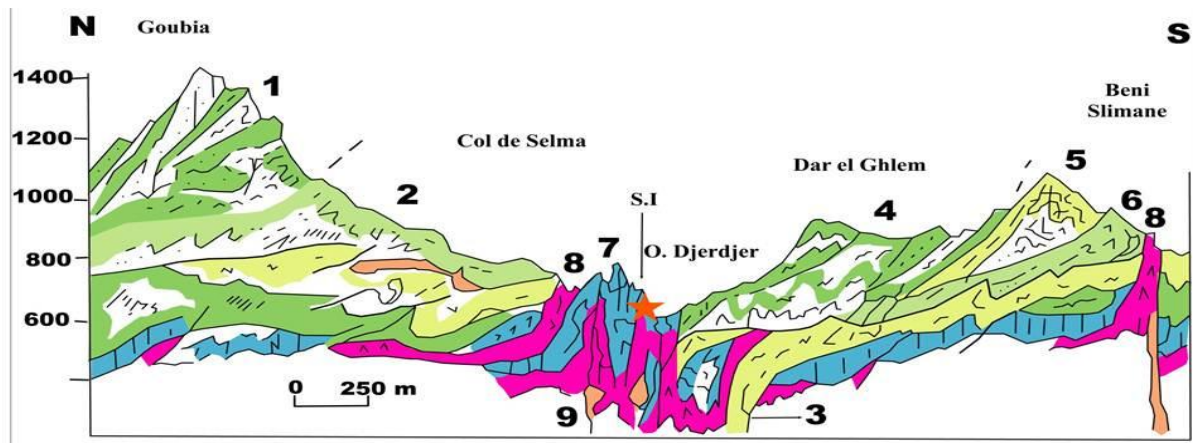


Figure II.7: Formations géologiques observées au voisinage de la source M'Chaki.

Une coupe géologique sur un extrait de la carte géologique de Tamesguida selon la direction Nord-Sud, Dj. Goubia – Dj. Béni-Slimane, passant par l'exutoire de la source M'chaki (figure10).



Légende :

- 1 : Nappe flottante de Guerrouche : flysch mauritanien. 2 : Nappe de flysch massylien schisto-gréseux (albo-aptien). 3 : Marnes telliennes d'âge sénonien. 4 ; 5 : Vracono-cénomaniens argilo-gréseux. 6 : Série argilo-carbonates tellien d'âge albo-aptien. 7 : Lias calcaro-dolomitique. 8 : Complexe argilo-gypsifère du trias, Présence d'ophite et grés rouge. 9 : Lambeaux de flysch gréséo-micacé. S.I : Source intermittente M'chaki

Figure II.8: Coupe géologique interprétative passant par l'exutoire de la source M'Chaki

La coupe géologique ci-dessus montre les principales structures géologiques présentes dans la zone :

- la partie nord de Goubia, il y a une formation de flysch mauritanien de nappe flottante de Guerrouche.
 - la partie de col de Selma, on trouve la nappe de flysch massylien schisto-gréseux (alboaptien).
 - partie central de l'exutoire de la source on observe des formations géologiques calcaro-dolomitique du lias et le complexe argilo-gypsifère du trias.
 - la partie de Dor el ghlem, on trouve les formations argilo-gréseux.
- au sud de Beni Slimane, on observe une série argilo-carbonates tellien d'âge Albo-Aptien et le complexe argilo-gypsifère du trias.

Le tableau ci-dessous montre le log hydro stratigraphique de la région d'étude

Tableau II.1 : Log hydro-stratigraphique de la zone d'étude

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Log Stratigraphique	Hydrogéologie	
					Perméabilité	Type de nappe
Quaternaire	Récent	sable	05-15		Perméable	Nappe du cordon dunaire
	Moyen	Sablo-Argileuse	0-20		Semi-Perméable	Nappe phréatique
	Ancien	Argile avec des lentilles sableuses	50-150		Imperméable à semi-perméable	Substratum
Tertiaire	Pliocène	Gravier et galets	10-150		Perméable	Nappe des graviers
	Miocène	Argile	250		Imperméable	Substratum
	Oligocène	Argilo-Gréseaux	150		Semi-Perméable	Numidienne
	Eocène inf	Calcaire massif fissuré	-		Perméable	Nappe karstique
Secondaire	Crétacé	Calcaire dolomitique	-		Perméable (carbonates) à Imperméable (argile)	Aquifère Substratum
	Jurassique	Dolomie fissurée	-			
	Trias	Dolomie, Calcaire, Argile et gypse	-			
Primaire	Supérieur	Micaschistes et gneiss	-		Semi-Perméable	Nappe du socle métamorphique
	Intermédiaire	Schiste	-			
	Inférieur	Gneiss	-			

II.6. Climatologie de la zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la région montagneuse de Selma Benziada. Elle est caractérisé par une pluviométrie élevée (1681.58 mm/an) avec une période humide (septembre à mai) où les précipitations mensuelles sont supérieures à 50 mm/mois et qui peuvent atteindre 275 mm/mois (Mars) et une période sèche (juin à août) où les précipitations sont inférieures à 50 mm/mois et qui peuvent atteindre 2 mm/mois (avril) selon les données pluviométrique de la station d'Erraguène (2011 – 2014). (Aidli et Gherib,2019)

Selon le bilan hydrique réalisé par Aidli et Gherib (2019), d'évapotranspiration réelle de l'ordre de 827.28mm/an et d'excédent de l'ordre de 854.30 mm/an.

II.7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de montrer la situation administrative et géographique de la source M'chaki ainsi que les contextes géomorphologique et géologique. Cette étude montre que la source M'Chaki se situe dans la dépression d'oued Rafrat à une altitude de 545 m et elle est entourée par trois monts (Fedj et Teffah (1320 m), Cheria (1313 m) et Tazeguezaoul (1237 m)).

Les formations géologiques de l'entourage de la source est composé des formations géologiques des âges triasique (gypse, brèche et argile) et liasique (calcaire). Ces formations peuvent contenir des réservoirs d'eau, en raison de leur grande solubilité dans l'eau et leur exposition à une tectonique dense qui facilite la circulation des eaux entre les formations géologiques.

Chapitre III :

Matériels et méthodes

III.1. Introduction

Dans cette partie on décrira les différentes méthodes et matériels utilisés pour faire les prélèvements d'eau et les mesures hydrodynamique *in-situ* et les analyses chimiques au laboratoire.

III.2. Campagne de mesure et de prélèvement

Une campagne de mesure et de prélèvement a été réalisée le 05/03/2020. Elle était consacrée aux tâches suivantes :

- Identification de la géologie locale de la source ;
- Mesures des variations de la charge au niveau de l'exutoire de la source ;
- Suivi de la durée des cycles de la source ;
- Suivi continu de la conductivité des eaux ;
- Prélèvement des échantillons d'eau.

III.3. Mesures hydrodynamiques

Les mesures hydrodynamiques ont été réalisées pendant une durée de 5 Heures (10:45-16:15). Les tâches réalisées sont :

- Inventaire des exutoires de la source ;
- Mesure des cycles de la source ainsi que le temps de fonctionnement et d'arrêt de l'écoulement ;
- Mesure de la variation de la charge dans l'exutoire principale de la source (figure ci-dessous).

III.3. Mesures physico-chimique

Un suivi continu de la conductivité a été réalisé seulement sur deux cycles (2 et 3) de la source avec un pas de temps de 30s. Lors du cycle 1, nous n'avons pas eu le temps pour installer les appareils et faire les mesures nécessaires. Nous avons aussi fait une mesure du pH pour chaque source secondaire.

Les appareils utilisés pour ces mesures sont : Conductimètre (HI 8733) et pH-mètre (HI 8424) de marque Hanna.

III.4. Prélèvement et conservation d'eau

Des bouteilles en polyéthylène, d'une capacité de 0.5 L, ont été utilisées pour les prélèvements d'eau. Avant le prélèvement, la bouteille a été rincée préalablement trois fois avec l'eau de la source, puis rempliée jusqu'au bord pour éliminer le maximum des bulles d'air. Puis les échantillons ont été conservés à l'abri de la lumière.

Au total, 10 échantillons ont été prélevés : 3 dans les exutoires secondaires (ES1, ES2 et ES3) (Figure III.1) et 7 dans l'exutoire principal (EP) à des niveaux différents (Figure III.1)



Figure III.1 : Exutoires principal et secondaires de la source M'Chaki

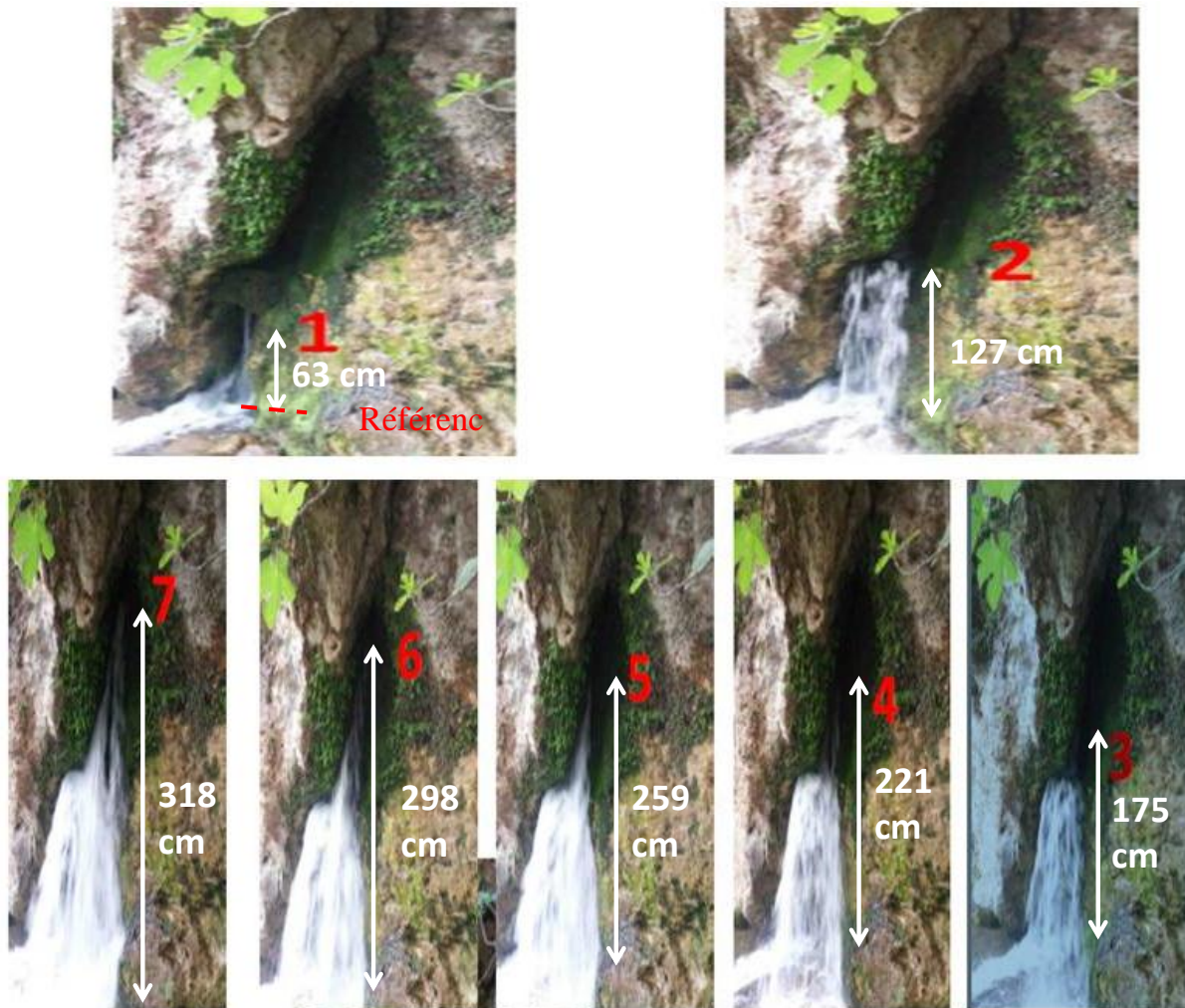


Photo III.1: Variation de la charge d'eau dans l'exutoire de la source M'chaki

III.5. Matériels et analyses chimique au laboratoire

Les analyses ont été effectuées 7 jours après le prélèvement des eaux, au laboratoire de Génie Géologie (LGG), par la méthode titrimétrique. Le matériel et les méthodes utilisées sont présentés comme suit :

A-Matériels scientifiques

Le matériel utilisé est composé d'une burette graduée, éprouvette graduée, fioles jaugée, pipettes graduée, pipeteur, Bécher, flacon, pissette, entonnoir, spatule, agitateur magnétique et barreaux magnétique. Le dispositif utilisé dans les analyses est représenté dans la figure ci-dessous :

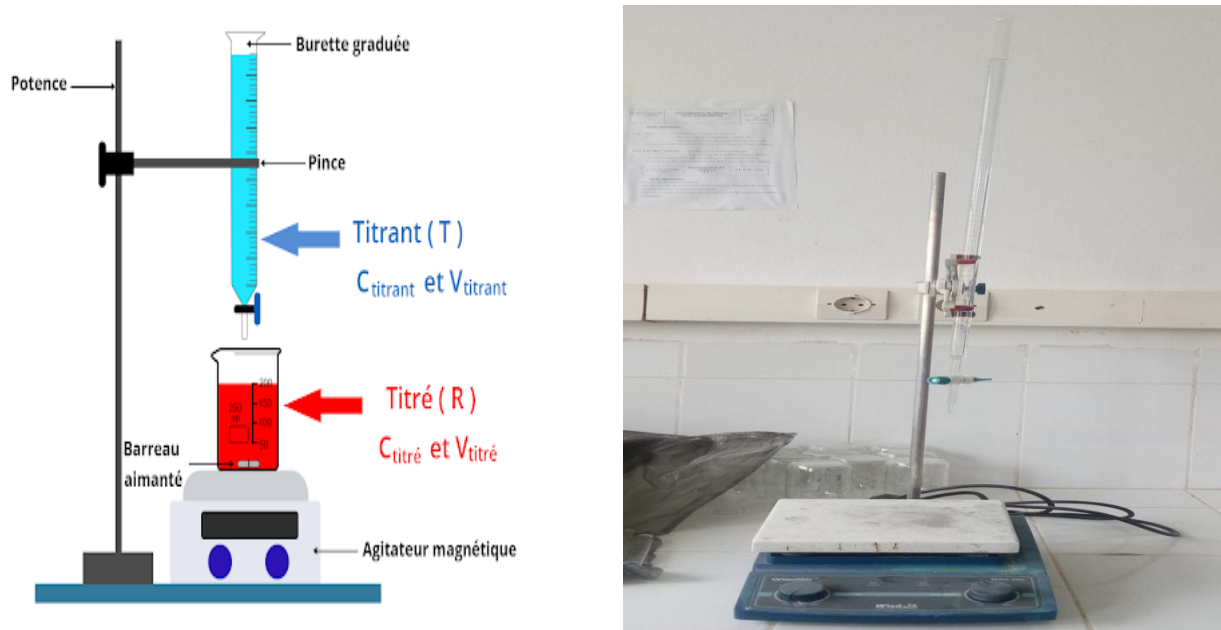


Photo III.2 : Schéma représentatif du dispositif utilisé pour analyser les éléments chimiques par la méthode volumétrique

III.6. Analyses chimiques

Nous avons dosé seulement quatre éléments chimiques (chlorures (Cl^-), bicarbonates (HCO_3^-), calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) ont été analysés par la méthode volumétrique ou titrimétrique (Annexe I). Les autres éléments majeurs n'ont pas été analysés à cause de l'absence des équipements scientifiques adéquate, dans le laboratoire, pour analyser ces éléments. Ce manque d'analyse nous a pas permet de faire la vérification de l'exactitude de nos résultats à l'aide de la balance ionique.

Cette méthode consiste à additionner un volume connu d'une solution de la substance à déterminer, un certain volume d'une solution d'un soluté réagissant quantitativement avec elle. Le volume ajouté au moment où la substance vient juste de disparaître totalement permet d'atteindre la concentration initiale. La méthode implique l'utilisation d'un dispositif permettant l'indication exact du terme de la réaction appelé « point d'équivalent ».

III.7. Conclusion

Cette description du matériels et méthodes, nous a permet d'avoir les conditions des prélèvements et d'analyses chimiques. Vu les conditions acceptables de prélèvement, la courte durée de conservation des échantillons et la rapidité des analyses chimiques, nous peuvent estimer que nous mesures et analyses chimiques sont fiables et peuvent être utilisés dans l'interprétation du fonctionnement hydrodynamique et chimique de la source.

Chapitre IV:

Fonctionnement hydrodynamique et chimique de la source

IV.1. Introduction

Afin de bien comprendre le fonctionnement de la source, nous avons réalisé un suivi hydrodynamique et chimique de la source durant l'écoulement permanent (continu) et intermittent (temporaire ou discontinu) de la source.

IV.2. Fonctionnement hydrodynamique de la source

IV.2.1. Ecoulement de la source

L'observation de l'écoulement de la source durant la journée du 5/3/2020, nous a permis de constater l'existence de deux types d'écoulement :

- un continu (permanent) avec un faible débit et qui sort de l'exutoire principal et secondaires de la source.
- et l'autre intermittent (discontinu) avec un fort débit et qui sort principalement de l'exutoire principal. On observe aussi une légère augmentation des débits des exutoires secondaires.

Ces observations nous ont permis de conclure que l'écoulement de la source M'chaki est lié à deux apports d'eau à cheminement différent l'un permanent et l'autre temporaire. L'écoulement permanent est lié à un système de cheminement (fissures, drains, réservoirs) simple sans la présence de forme siphonique et présente une alimentation moins importante, Par contre l'écoulement intermittent, il présente un cheminement qui contient un réservoir connecté à un drain de forme siphonique, ce qui donne un écoulement intermittent.

IV.2.2. Ecoulement intermittent (discontinu) de la source

Le suivi de la durée du fonctionnement et d'arrêt de l'écoulement intermittent de la source durant trois cycles est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau : Durée du temps d'arrêt et de fonctionnement de la source

Nombre du cycle	Durée du fonctionnement de l'écoulement intermittent	Durée d'arrêt de l'écoulement intermittent	Durée du cycle (arrêt + fonctionnement)
1	35 min	47 min	82 min
2	31 min	40 min	71 min
3	30 min	43 min	73 min

Ce tableau montre que les durées des cycles 2 et 3 sont comparables (71 min et 73 min respectivement) et ils sont moins importantes que la durée du cycle 1 (82 min). Une différence d'environ 10 minutes (4 min durant le fonctionnement et 6 min durant l'arrêt de l'écoulement intermittent). Cela indique que les apports d'eau de la source peuvent être comparables d'un cycle à un autre comme ils peuvent être différents.

L'écoulement intermittent de la source peut être expliqué par l'existence d'un drain de forme siphonique lié à un réservoir d'eau proche de l'exutoire de la source. Par contre la différence de la durée des cycles, peut indiquer la possibilité de l'existence d'un ou plusieurs réservoirs siphoniques liés à l'écoulement intermittent de la source.

Cependant l'augmentation du débit des exutoires secondaires avec l'écoulement intermittent indique qu'il y a une communication en aval des drains qui acheminent l'écoulement permanent et les drains liés au siphon.

➤ **IV.2.3. Evolution de la charge d'eau dans l'exutoire principale de la source durant l'écoulement intermittent**

Le suivi de la variation de la charge d'eau en fonction du temps durant le cycle 2 et cycle 3 est présenté dans les deux figures ci-dessous.

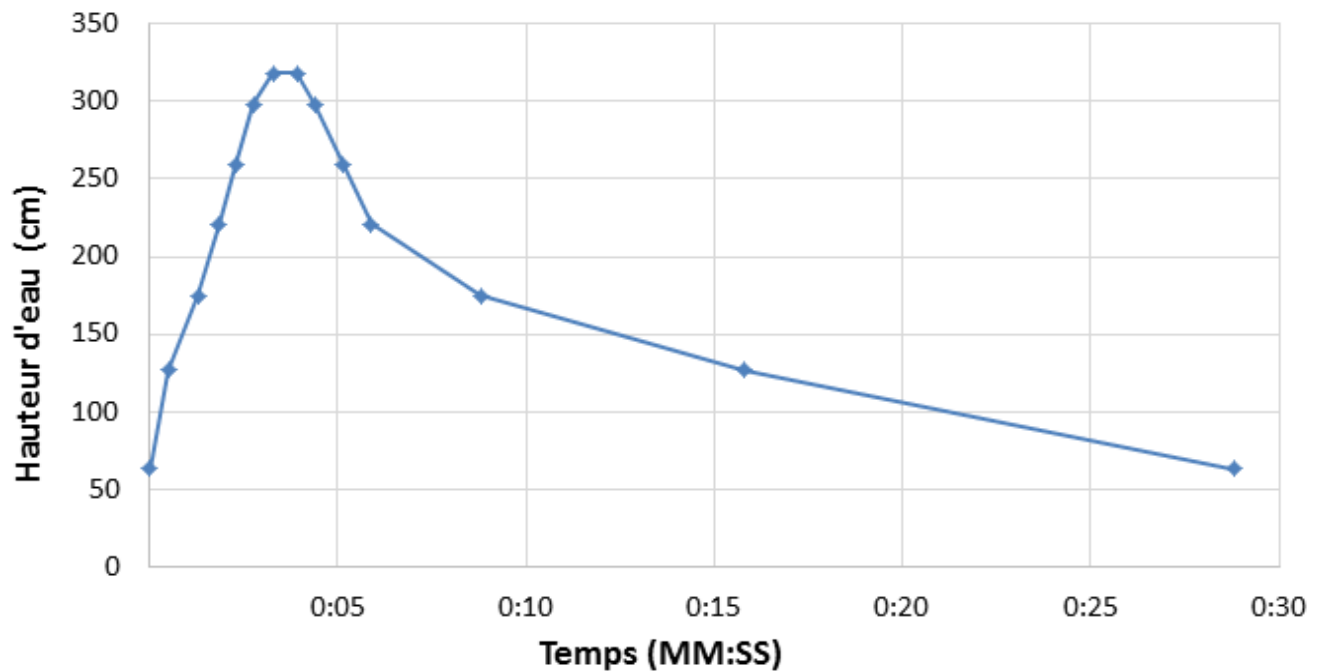


Figure IV.1 : Variation de la charge d'eau dans l'exutoire de la source en fonction du temps durant le cycle N°2

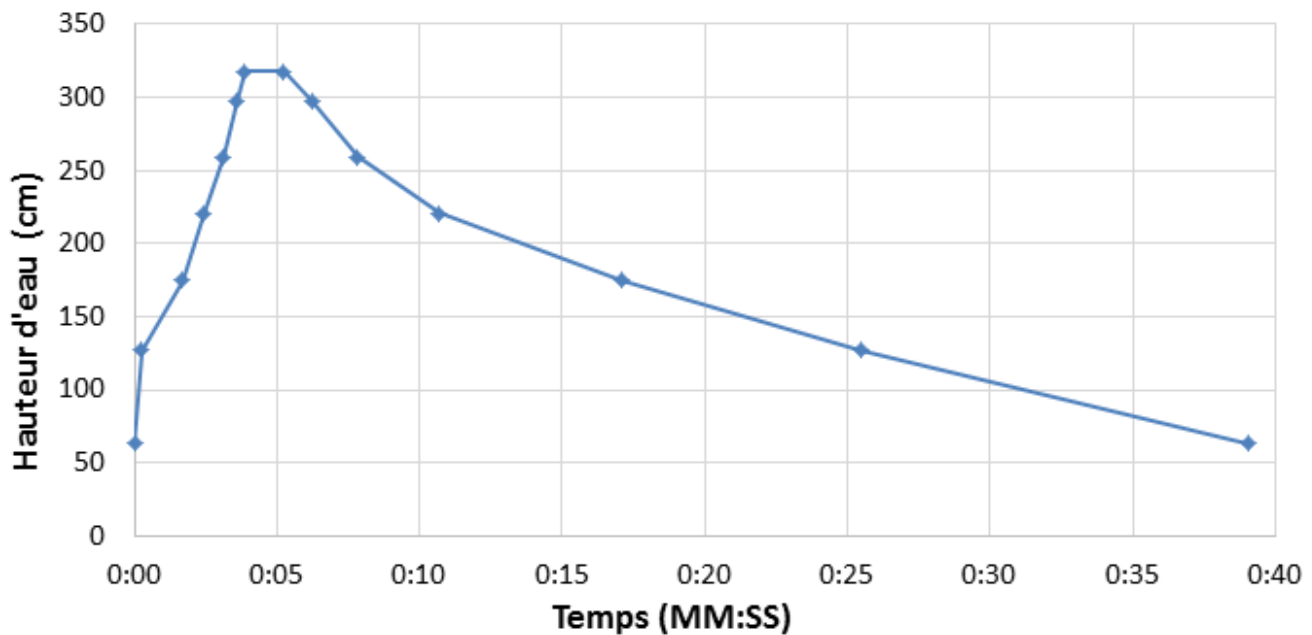


Figure IV.2 : Variation de la charge d'eau dans l'exutoire de la source en fonction du temps durant le cycle N°3

Ce graphique montre que lors de l'écoulement intermittent, le niveau d'eau augmente progressivement au niveau de l'exutoire principale de la source, jusqu'à une hauteur de 318 cm. Cela indique que tellement le débit sortant du réservoir siphonique est important que l'exutoire principalement de la source n'arrive pas à l'évacuer au même temps, ce qui produit une accumulation de l'eau à l'intérieur de drain et des chambre souterraines.

L'augmentation de la charge d'eau est rapide au début indique que le débit du siphon est supérieur à celui évacuer par l'exutoire de la source, puis il y a une stabilisation indiquant un équilibre entre les deux débits, et enfin une baisse progressive indiquant que le débit de l'exutoire est supérieur à celui du siphon.

IV.3. Fonctionnement chimique de la source

IV.3.1. Introduction

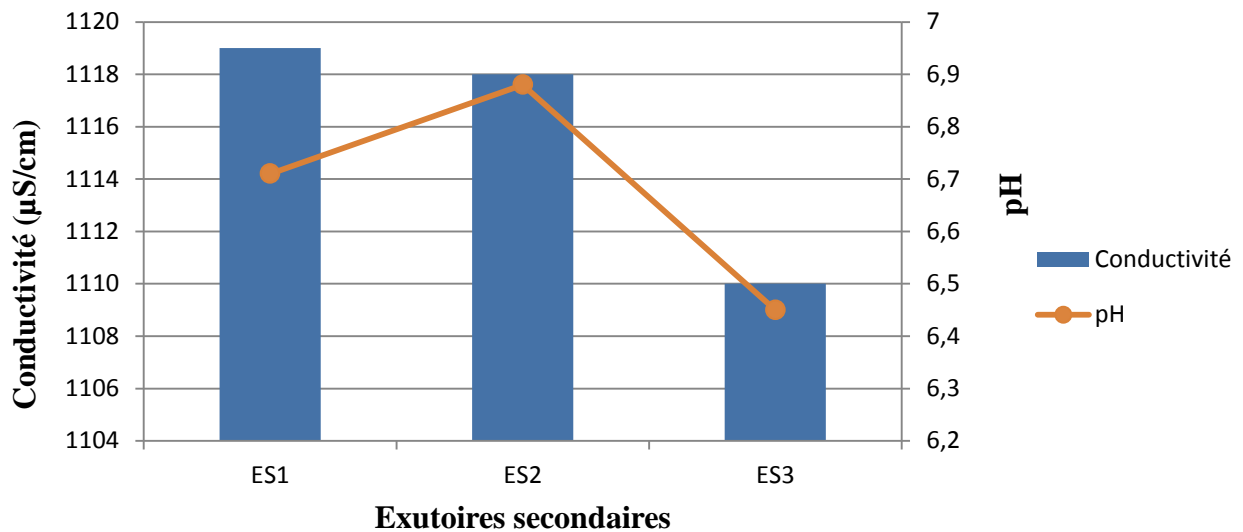
Lors de la circulation des eaux dans le sous-sol, elles acquièrent des caractéristiques physico-chimiques en relation avec les terrains traversées. Elle est considérée comme un traceur naturel du parcours des eaux. C'est dans cet objectif que cette étude a été menée, elle nous permettra d'identifier l'origine des eaux de la source.

IV.3.2. Composition chimique des eaux de la source

Afin de bien connaître les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source M'chaki, nous avons fait les mesures in-situ (conductivité et pH) et des prélèvements d'eau durant l'écoulement permanent et intermittent.

IV.3.2.1. Mesures du pH et CE des eaux lors de l'écoulement permanent

Les résultats de mesure et d'analyse physico-chimique des eaux des exutoires secondaires sont présentés dans la figure suivante :



Légende : ES1, ES2 et ES 3, exutoires secondaires 1 et 2

Figure IV.3: pH et CE des eaux des exutoires secondaires de la source M'Chaki lors de l'écoulement permanent

Cette figure montre que la conductivité des eaux des exutoires secondaires sont presque les mêmes. Elles varient entre 1110 et 1119 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et indiquent une même origine des eaux.

Pour le pH des eaux, il est légèrement acide (6.45 à 6.74) avec une moyenne de 6.69.

IV.3.2.2. Variation de la conductivité des eaux lors de l'écoulement permanent et intermittent

Des mesures de la conductivité ont été effectuées en aval (8 m) de la source, lorsque les eaux de l'exutoire principal et des exutoires secondaires se mélangent pour donner une seule eau, sur deux cycles (1 et 2) de la source et avec un pas de temps de 30 secondes. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :

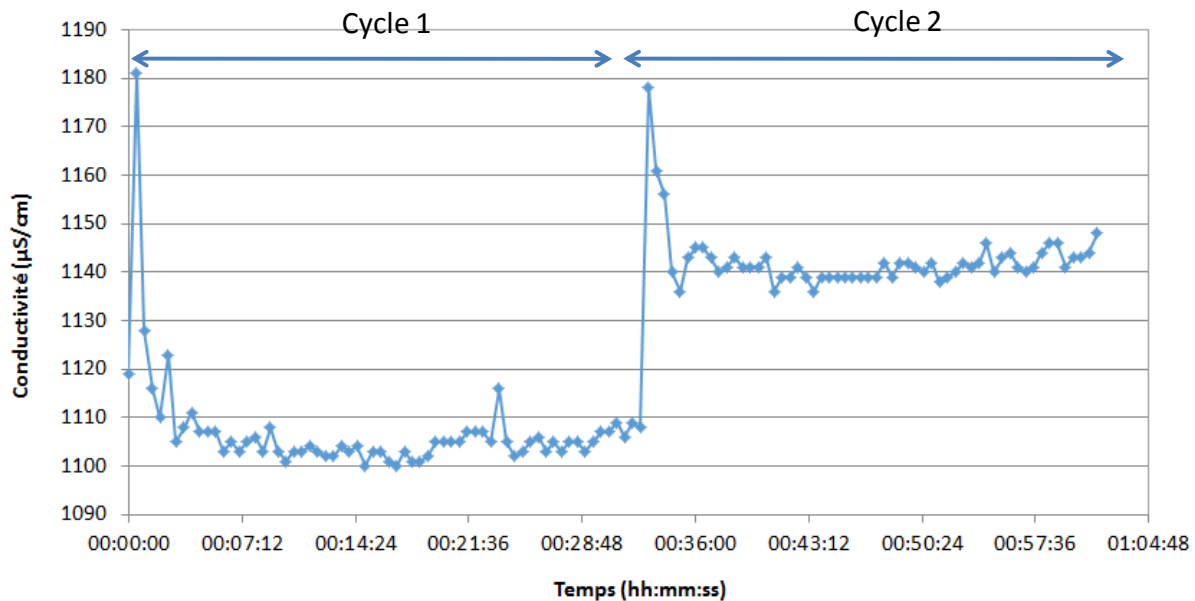


Figure IV.4: Variation de la conductivité durant deux cycles (1 et 2) de la source

Ce graphique montre que les premières arrivées d'eau (0 à 3 min) du cycle sont plus chargées (1181 $\mu\text{S}/\text{cm}$, $t = 30$ s) par rapport aux eaux de l'écoulement permanent (1119 $\mu\text{S}/\text{cm}$, $t = 0$ s), indiquant l'arrivée d'une eau chargée. Par contre après 3 min du fonctionnement de la source la conductivité baisse jusqu'à une valeur de 1100, indiquant une arrivée d'eau moins chargée. Cela implique probablement deux origines différentes des eaux : les eaux de l'écoulement intermittent sont chargées (1181 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cycle 1) et 1178 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cycle 2) et les eaux de l'écoulement permanent moins chargées (1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cycle 1) et 1136 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cycle 2).

La comparaison entre le cycle 1 et le cycle 2, nous indique que la stabilisation de la conductivité, qui indique l'écoulement permanent, est différente entre les deux cycles. Indiquant que l'écoulement intermittent a influencé sur l'écoulement permanent et a fait augmenter sa conductivité.

IV.3.2.3. Comparaison entre la conductivité des eaux de l'écoulement intermittent et de l'écoulement permanent

Pour connaître les variations de la conductivité au niveau des exutoires durant l'écoulement permanent et transitoire, des mesures de la conductivité ont été faites sur les eaux des exutoires secondaires. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :

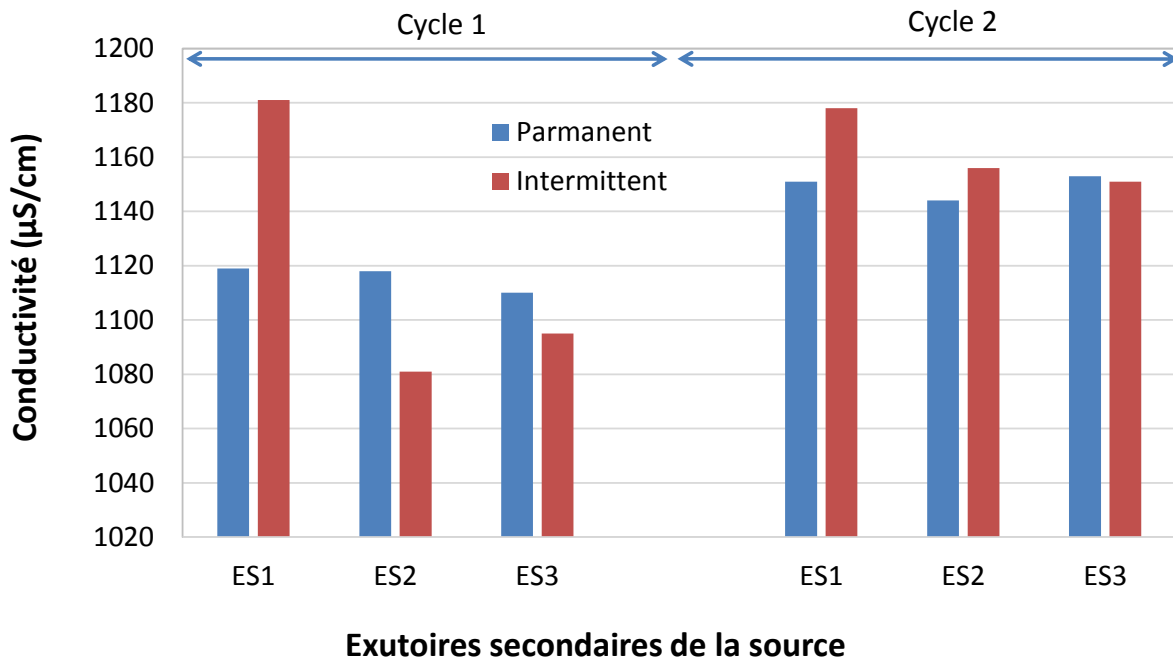
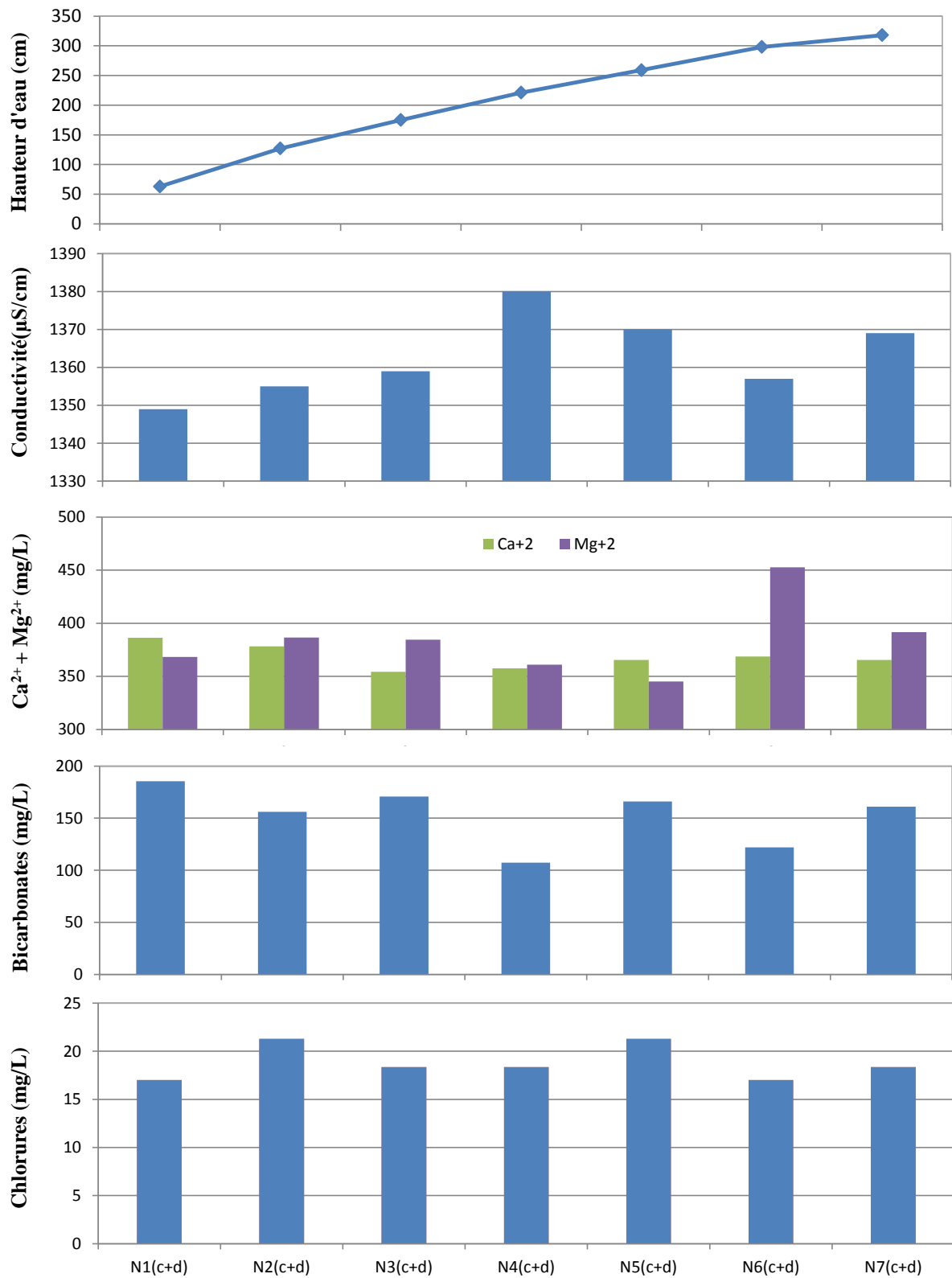


Figure IV.5: Comparaison entre la conductivité des eaux des écoulements permanent et intermittent durant deux cycles (1 et 2) dans les eaux des exutoires secondaires

Cette figure montre que l'écoulement permanent dans les trois exutoires est comparable dans le même cycle (cycle 1 varie entre 1010 et 1119 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et cycle 2 varie entre 1144 et 1153 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et différent d'un cycle à un autre (la moyenne pour le cycle 1 est 1115 et pour le cycle 2 est 1149). Cela indique une communication entre les trois exutoires, ce qui donne une conductivité comparable. Par contre la différence d'un cycle à un autre, elle indique l'influence des eaux de l'écoulement rythmique sur les eaux de l'écoulement permanent. Durant l'écoulement intermittent, la conductivité dans l'exutoire secondaire 1 est toujours supérieure à celle des exutoires secondaires (2 et 3). Cela s'explique par le fait que l'exutoire secondaire 1 est plus proche de l'exutoire principal.

IV.3.2.4. Variation de la chimie des eaux lors de la remontée de la charge dans l'exutoire principal de la source

Afin de déterminer la chimie des eaux de l'exutoire principal, nous avons fait les prélèvements à 7 niveaux (Figure III.1) durant le cycle 1. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure ci-dessous :



Légende : N : niveau ; c : écoulement continu ; d : écoulement discontinu

Figure IV.6 : Composition physico-chimique des eaux de l'exutoire principale de la source M'Chaki

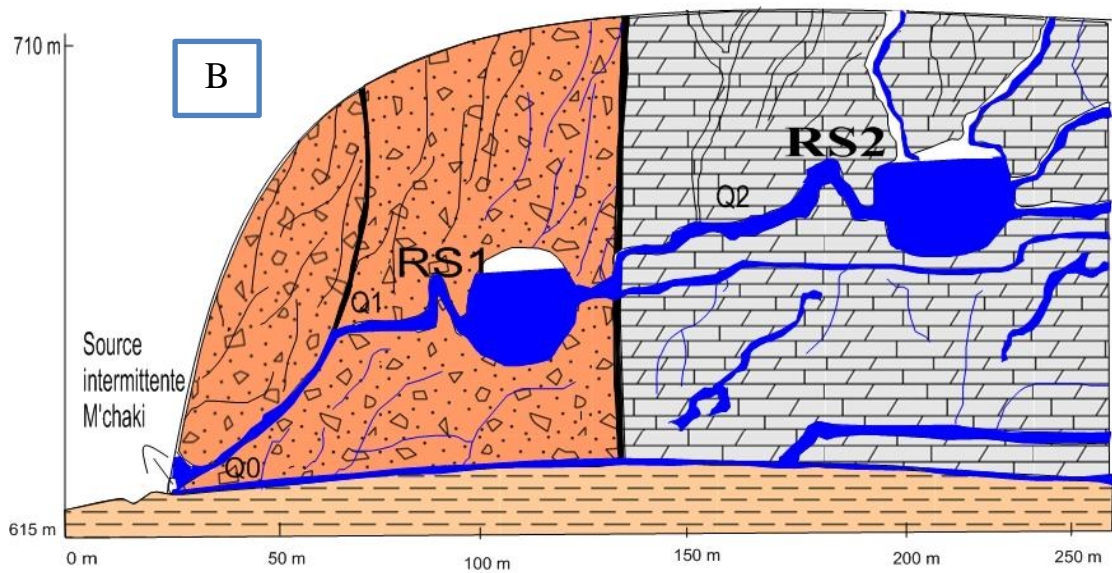
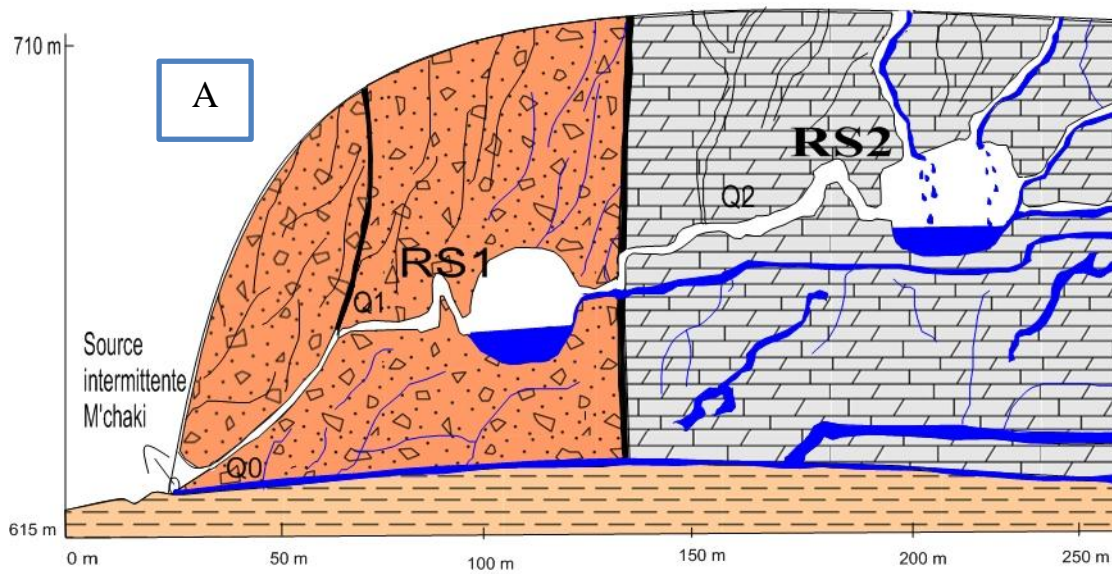
Cette figure montre une variation de la chimie des eaux lors de l'écoulement intermittent. On observe au début une remontée de la conductivité (de 1349 (N1) à 1380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (N4)) accompagnée par une baisse du calcium (de 386 (N1) à 357 mg/L (N4)) et des bicarbonates (de 185 (N1) à 107 mg/L (N4)). Cela indique des apports d'eau chargée et moins riche en carbonates. Probablement des eaux riches en éléments évaporitiques (Cl^- et SO_4^{2-}) vu la présence des formations triasiques au voisinage de la source.

IV.3.2.5. Schéma conceptuel du Fonctionnement hydrodynamique de la source M'chaki




En se basant sur les réponses hydrodynamiques et hydrochimiques de la source, nous avons proposé deux schémas conceptuels pour le fonctionnement de la source intermittente M'chaki: le premier (A) concerne l'écoulement minimum (permanent) de la source et le deuxième (B) concerne l'écoulement maximum (permanent + intermittent) de la source.

Les différents critères sur lesquels nous sommes appuyés pour adresser ce schéma sont :

- Les argiles triasiques sont localisées dans la partie basale et elles sont considérées comme le substratum du système aquifère ;
- Les formations bréchiques et carbonatées sont très fracturées et représentent le système aquifère ;
- Vu le fonctionnement intermittent de la source, nous avons présenté dans le schéma des réservoirs d'eau siphoniques ;
- En fonction de la chimie des eaux, riches en sulfates (debieche et al. 2020), calcium, magnésium et bicarbonates, nous avons placé un réservoir siphonique dans les formations bréchiques du trias et un autre dans les formations carbonatées du Lias.
- Les eaux coulent dans le système aquifère à travers les fissures et les drains. Ils s'infiltrent à partir du sol et coulent dans le système aquifère passant par les réservoirs siphoniques et émergent à travers la source.



légende :

-  Calcaire et dolomite du Lias
-  Brèche du trias
-  Argile triasique

Q0, Débit de base (permanent) ; Q1, Débit du réservoir siphonique 1; Q2, Débit du réservoir siphonique 2 ; RS : réservoir siphonique ; Q : débit

Figure IV.7: Schéma conceptuel du fonctionnement continu(A) et discontinu(B) de la source M'chaki.

IV.4 Conclusion

Cette étude montre la complexité du fonctionnement de la source M'Chaki. Son fonctionnement hydrodynamique est lié à deux types d'écoulement, l'un permanent et l'autre intermittent lié à des réservoirs siphoniques. Les eaux de l'écoulement intermittent sont plus minéralisées que les eaux permanentes. Selon la signature chimique de chaque eau, on peut déduire que les eaux intermittentes ont une origine évaporitique et les eaux permanentes ont une origine carbonatée.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

La source intermittente M'Chaki est une source très rare dans le monde. Elle est unique en Algérie. Ce projet de mémoire a pour objectif de donner notre contribution à la compréhension du fonctionnement de cette source. Pour cela, nous avons opté pour une approche multidisciplinaire (géomorphologique, géologique, hydrodynamique et hydrochimique). Les résultats de cette étude montrent que de point de vue :

- Géomorphologique : la source M'Chaki se situe à une altitude de 545 m. Elle se localise exactement au pied du Dra er Rokaba et à une distance de 5 m d'oued Rafrat et d'environ 100 m d'oued djendjen. Elle est entourée par trois monts, au nord par le mont de Cheria (1313 m), au Nord-Est par le mont de Fedj et Teffah (1320 m), à l'Ouest par le mont de Tazeguezaoul (1237 m).
- Géologique : La source M'Chaki est située dans la brèche des formations triasiques et au voisinage des formations liasiques (calcaire et dolomite).
- Hydrodynamique : la source M'chaki présente deux modes de fonctionnement, l'un permanent avec un faible débit et l'autre intermittent avec un fort débit. Selon notre suivi, les durées des cycles de fonctionnement de la source sont différentes, ce qui nous permet de proposer l'existence d'au moins deux réservoirs siphoniques.
- Hydrochimique : les eaux de la source présentent une minéralisation élevée (1119 $\mu\text{S}/\text{cm}$) caractérisées par une forte concentration des Bicarbonates, calcium et le magnésium qui indiquent une origine carbonatée (calcaire et dolomite du lias). La conductivité des eaux intermittentes est plus élevée que celle des eaux permanentes, indiquant des eaux plus chargées, probablement liées à la dissolution des formations triasiques.

Enfin, pour une meilleure compréhension et quantification de la source M'Chaki, il faut compléter cette étude par d'autres approches, telle que la géophysique, le traçage isotopique et un suivi plus long de l'hydrodynamique et de la chimie des eaux de la source.

Référence bibliographique

Références bibliographiques

- Aidli F et Gherib A. 2019. Etude du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique des sources intermittentes. Cas de la source M'chaki (Jijel, NE Algérien) ». Mémoire de Master. Univ. Jijel, pp34-37
- Alfaro Wallace C. (1994). Origin and classification of springs and historical review with current applications. PP119
- Bonnaci, O. et Bonajic, D. (1991), « Rhythmic karst springs ». Hydrogéological sciences – Journal – des sciences hydrologiques pp 36 -38.
- Bruno, Arfib. (2010), « les sources karstique », Association Francaise de Karstologie. Grottes et Karst de France, pp 30-31.
- Castany, G. et Margat, J. (1977), Dictionnaire français d'hydrogéologie, Edition BRGM, France. p 88
- Castelli, S. (2012), « hydrogéochimie des sources associées aux eskers de l'Abitibi, Québec ». Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maitrises science appliquées, université de Québec, pp 5-12
- Debieche Taha-Hocine, Bouzenoune Azzedine, Zahi Faouzi, Drouiche Abdelmalek, Mahdid Souhil, Rouikha Youcef, Chine Amal. 2020. Hydrodynamic functioning of rhythmic springs: a case of M'Chaki spring (Jijel – NE Algeria). Arabian Journal of Geosciences. 13:1094 pp. 1-14. DOI: 10.1007/s12517-020-06082-3
- Debieche Taha-Hocine, Bouzenoune Azzedine, Zahi Faouzi, Drouiche Abdelmalek, Mahdid Souhil, Rouikha Youcef, Mayache Boualem, Chine Amal, Gherib Asma, Aidli Fatima. 2019. Hydrodynamic functioning of intermittent springs. Case of the M'chaki spring (Jijel, NE Algerian). 2nd conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG). Sousse (Tunisia). P. 103
- Hadjem R. 2010. Les principales caractéristiques géologiques, pétrographiques, minéralogiques et géologiques des formations gréseuses du flysch numidien du Nord-Est Algérien : cas du Djebel Hadjar Nahal, région de Ain Berda». *Mémoire de Magister. Univ. Annaba*, pp11-19
- Igračev Nikola. 2014. Homoljska potajnica intermittent spring. J. Geogr. Inst. Cvijic, p.01

Sites Web

Wikipedia, <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Geyser>. Consulté le 20/07/2020

Wikipedia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Source_\(hydrologie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Source_(hydrologie)). Consulté le 02/08/2020

ANNEXE I

Mode opératoire des analyses chimiques

Le mode opératoire utiliser pour faire les analyses chimiques est le suivant :

Calcium (Ca^{+2})

- Prendre 25 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 1 ml de la solution NaOH à 2N.
- Ajouter une pincée de l'indicateur de Murexide.
- Titrer avec la solution EDTA 0.01 mol/l jusqu'au virage (violet).

Dureté (Ca^{+2} et Mg^{+2})

- Prendre 25 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de la solution tampon pH10.
- Ajouter 2 gouttes de l'indicateur de noir eriochrome (NET).
- Titrer avec la solution EDTA 0.01 mol/l jusqu'au virage (bleu).

Chlorures (Cl^-)

- Prendre 50 ml de la solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100ml (Coloration jaunâtre).
- Titre avec la solution nitrate d'argent ($AgNO_3$) à 0.02N jusqu'à (coloration rougeâtre).

Bicarbonate (HCO_3^-) :

- Prélever 25 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 3 gouttes rouges méthyl.
- Titrer par la solution H_2SO_4
- (0.002N) jusqu'au virage (coloration rose).