Aperçu géomorphologique et hydrologique de la grotte de Bouakkous (Hammamet-Tébessa, Algérie)

Hichem Zerrouki*[1], Feyrouz Hafid [2], Ghrieb Lassaad [3] & Larbi Djabri [4]

[1] *Département des Sciences de la terre, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.*
[2] *Département des Sciences de la terre, Université de Tébessa, Algérie.*
[3] *Département de Biologie, Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie.*
[4] *Département de géologie, Université Badji Mokhtar, BP12, Annaba 23000, Algérie.*

Révisé le 03/05/2012
Accepté le 18/12/2012

ملخص

الأعمال على التعرف ووظيفة الموائد المائية الكارستية محدودة والواقع أن الأبحاث الأخيرة على كهف بوعكوس هي قديمة جدا . هذه الوضعية تمنع بعث الدراسة الى ابعد من هذا . و لأداء هذا العمل ، ركزنا على الشكل الخارجي للكهف . والنتائج التي تظهر شكل مانج يعكس وجو د الفجوات الصخرية الصغيرة ، فهي تسمح تسلل المياه إلى الفجوات . تظهر الدراسة وجود ينابيع على الجانب الأيمن من الكهف تحت الكارست العلوي . هذه الملاحظة سمحت لنا أن نستنتج عدم التماثل العام للتشققات. و الواقع، أن الجانب الأيسر من الكهف غير نفوذي، فليس هناك أي تدفق يذكر فبالعكس، الجانب الأيمن كثير التشققات ، الذي يعزز عمليات التسلل وحركة المياه . إمدادات المياه وتسلل مياه الأمطار إما مباشرة أو غير مباشرة من الجبال المحيطة بالكهف، مثل جبل تازبنت، الذي يقع علي ار تفاع أكبر . قياس تدفق المجاري المائية الخارجة من الكهف تختلف باختلاف الموسم وسقوط الأمطار. وبالتالي فإن التدفقات الخارجة من الكهف هامة وتصل إلى 1913 ل / ثانية ، و بعكس ذلك، على مستوى واد بوعكوس التدفق لا يتجاوز 10 ل/ ثانية. وتظهر قياسات التدفق المتباينة نفاذية تقدر بـ 541ل/ ثانية. دراسة تغيرات الموصلية الكهربائية مع الارتفاع يدل على ان مياه المنابع الأربعة لديها نفس المصدر، مع تدرج 1 µs/ سم / م.

كلمات المفتاحية: *الكهف - المجرى - جبل- تدفق - كارست.*

Résumé

Les travaux portant sur la connaissance et le fonctionnement des aquifères karstiques sont limités et les dernières recherches effectuées sur la grotte de Bouakkous sont très anciennes. Cette situation empêche de pousser l'étude plus loin. Pour réaliser notre travail, nous nous sommes intéressés à la morphologie externe de la grotte. Le constat réalisé montre une morphologie gondolée traduisant la présence de petites dolines. Ces dernières permettent l'infiltration des eaux dans les cavités. L'étude réalisée montre également la présence de sources sur la partie droite de la grotte en dessous de l'épikarst. Ce constat nous a permis de déduire une dissymétrie de la fissuration. En effet le coté gauche de la grotte est étanche, aucun écoulement ne se fait ; par contre, le coté droit est très fissuré, ce qui favorise l'infiltration et la circulation des eaux. Les apports en eau sont soit directs, par infiltration des eaux de pluies soit indirects à partir des Djebels entourant la grotte, tel que le Djebel Tazbent, situé à plus haute altitude. Les débits jaugés à la sortie de la grotte varient en fonction des saisons et leur pluviosité. De ce fait, à la sortie de la grotte les débits sont importants et peuvent atteindre 1913 l/s, par contre au niveau de l'oued Bouakkous caractérisant la zone aval, le débit n'excède pas 10 l/s. Les jaugeages différentiels effectués montrent une infiltration de 541 l/s. L'étude de la variation de la conductivité en fonction de l'altitude montre que les eaux issues des quatre sources ont la même origine, avec un gradient de lµs/cm/m.

Mots clés : *Grotte – Doline – Djebel – Débit – Karstique.*

Abstract

The studies on the understanding and functioning of karstic aquifer are limited. Indeed, the latest studies on the cave of Bouakkous are very old. This situation prevents to take the study. To perform our work, we focused on the external morphology of the cave. The observation shows a wavy morphology reflecting the presence of small sinkholes; they allow the infiltration of water into the cavities. The study also shows the presence of springs on the right side of the cave below the épikarst. This observation allowed us to infer an asymmetry of cracking. Indeed, the left handside of the cave is sealed, no flow is observed. However, the right side is cracked, which promotes infiltration and water movement. The water supply comes from either direct infiltration of rainwater or indirectly from the Jebels surrounding the cave, such as Jebel Tazbent, located at higher altitudes. Streamflow gauges out of the cave vary according to season and rainfall. Thus, at the out let of the cave, the flows are important and can reach 1913 l/s. However, at the river Bouakkous which characterizes the downstream zone, the flow does not exceed 10 l/s. The discharge measurements show differential infiltration of 54 l/s. The study of conductivity variation with altitude shows that water from the four sources have the same origin, with a gradient of lµs/cm/m.

Keywords: *Cave - Sinkhole - Djebel - Flow - Karst.*

**Auteur correspondant : geohichem@yahoo.fr*

1. INTRODUCTION

La ressource en eau exploitée dans de nombreux pays, particulièrement en Europe, provient des réservoirs karstiques. En Algérie, faute de spécialistes, le karst n'a pas encore divulgué tous ses secrets. Les quelques travaux réalisés concernent l'Ouest du pays, particulièrement les monts de Tlemcen et Mascara [1, 2]. Le présent travail s'appuie sur les résultats issus des travaux de Quinif et de Guefaifia [3, 4] ; il s'inspire des travaux réalisés par les chercheurs des universités de Besançon et d'Avignon.

Considérées comme une importante réserve d'eau de qualité et de fraîcheur, les sources de Youkous sont devenues légendaires. Le présent travail, traitera de la grotte de Bouakkous (Fig. 1) et de son environnement immédiat, ce qui permettra de dégager les relations de causes à effet existantes entre les deux paramètres.

2. DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DU SITE

La grotte de Bouakkous (Fig. 1), nichée au fond d'une reculée, constitue l'aval d'un réseau de drainage. La reculée entaille particulièrement les calcaires du Maastrichtien qui constituent l'ossature du plateau de Chéria. Ces calcaires reposent sur les marnes du Sénonien moyen, lesquelles forment un niveau de base imperméable.

De bas en haut, les calcaires se subdivisent en une dizaine de mètres de calcaires marneux blancs, crayeux (Campanien) qui se détachent sur les versants sous forme d'une barre rocheuse, une centaine de mètres de calcaires marneux blancs et enfin, une dernière centaine de mètres de calcaires blancs, massifs et bien lités. Plus au sud, sur le plateau, la suite de la série comprend des marnes dano-montiennes surmontées de calcaires éocènes. Ces derniers, karstifiés et aquifères, n'influencent pas la grotte.

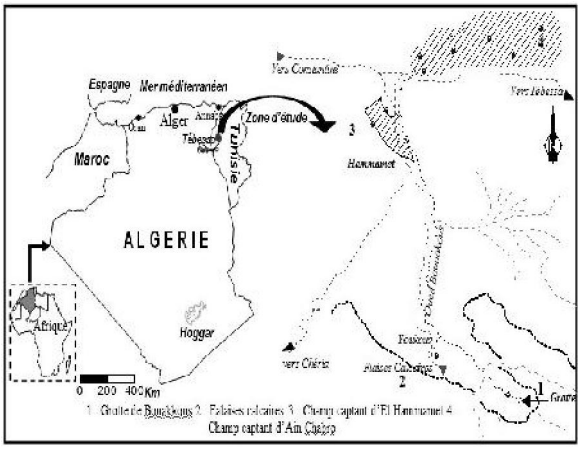

Figure 1. Situation géographique de la zone étudiée.

Trois parties morphologiquement distinctes se suivent (Fig. 2) : les salles d'entrée, la grande galerie semi-noyée et la salle du fond. La grande galerie se vide régulièrement par l'émergence au bas de la grotte, cette dernière se remplissant à nouveau lors des crues.

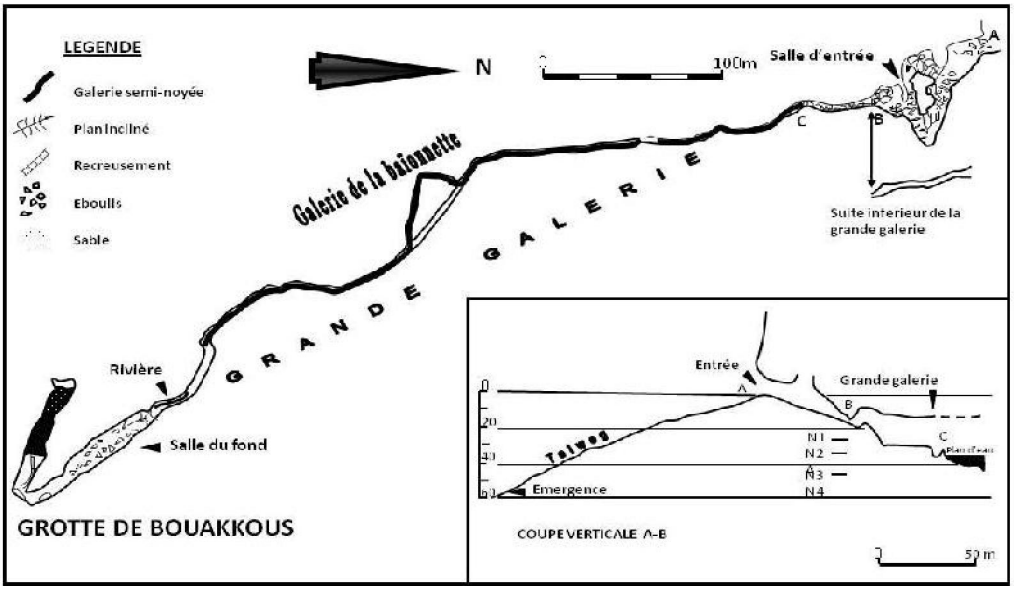

Figure 2. Plan de la grotte de Bouakkous.

3. COMPORTEMENT HYDRAULIQUE DE LA CAVITE

En étiage (mesures de juillet et août), la surface de l'eau dans la grande galerie est située à 25 mètres au-dessus de l'émergence nichée au fond d'un lac. Lors des crues provoquées par la fonte des neiges à la fin de l'hiver ou par une suite d'orages d'été, la cavité se remplit complètement et les eaux sortent alors par l'entrée de la grotte. Ensuite, la galerie se vide lentement par les émergences inférieures, l'apport de la petite rivière en amont ne suffisant pas à compenser l'évacuation par l'émergence. L'alimentation du réseau de Bouakkous est constituée par les infiltrations dispersées sur quelques 45 km^2 de plateau (en tenant compte d'un coefficient d'infiltration de 30% [4] et d'un volume évacué annuellement de 6.10^6 m^3). Aucune perte massive ou partielle d'oued n'a été décelée par les prospections. Le drainage concentré est dû au faisceau de grandes diaclases verticales, qui guident en grande partie l'orientation de la grotte. Le lieu d'émergence se trouve à l'intersection de ces diaclases de différentes directions et de la fin de la faille de Youkous au fond de la reculée [5].

L'étude des écoulements est basée sur l'analyse des débits classés en provenance de la grotte pour le cycle hydrologique 2002/2003.

3.1 Points de mesure des jaugeages différentiels

Nous avons choisi huit points pour réaliser des jaugeages différentiels, ce qui nous permettra de suivre les variations des débits (Fig. 3).

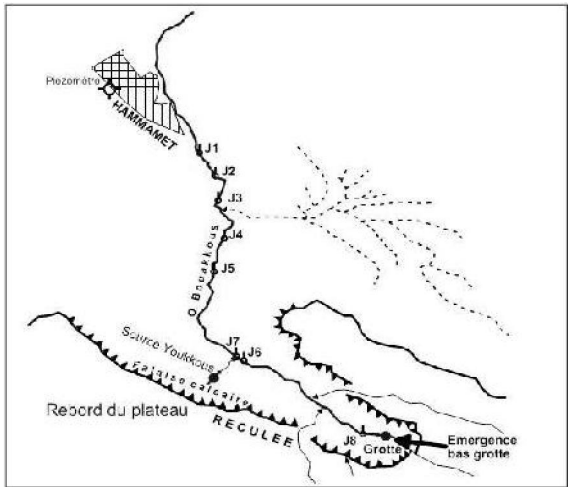

Figure 3. Emplacements des jaugeages de J1 à J8.

3. 2 Distribution des fréquences des débits

Nous nous sommes intéressés à la distribution des débits classés en provenance de la grotte sur le cycle hydrologique 2002/2003 [6].

L'examen de l'histogramme des distributions des fréquences (Fig. 4) montre :

- la présence d'un seul mode lié aux faibles débits dus à la longue saison sèche,
- une répartition sur une large gamme de classe de débits, centrée sur la moyenne de 200 l/s,
- qu'un pic proche du plus haut débit peut être parfois observé. Il est lié aux apports élevés mais réguliers au moment des précipitations et de la fonte des neiges.

La fréquence maximale se situe entre 2 et 66 l/s soit 72% des observations.

Ces premières observations ne permettent pas de tirer des conclusions à long terme. Elles montrent que les débits ne sont pas très importants et ne dépassant pas 66 l/s en étiage. Ce qui explique les quelques débordements observés en surface.

Les données recueillies ont également permis l'établissement de la courbe de récession, en se basant sur les données correspondant à un tarissement bien marqué et de longue durée.

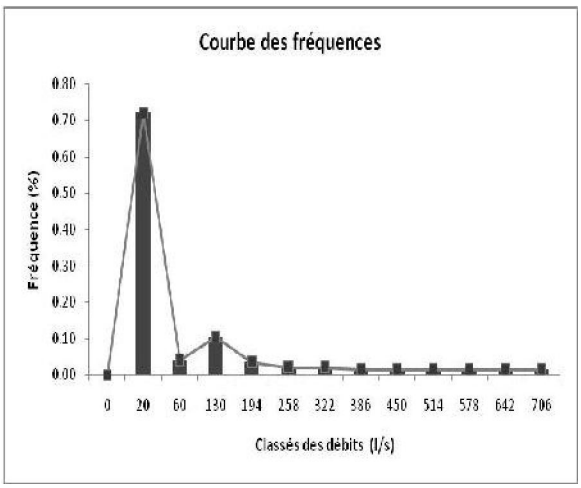

Figure 4. Polygone des fréquences cycle 2003.

4. ANALYSE DE LA COURBE DE RECESSION

4.1 Présentation de la méthode

La courbe de récession est la partie décroissante de l'hydrogramme (Fig. 5), elle rend compte des modalités des ruissellements et la vidange des différents aquifères alimentant le cours d'eau en période non influencée (courbe de tarissement).
Mangin [6] a appliqué ce principe au système karstique, en supposant que la courbe de décrue était caractéristique du mode d'infiltration et du ruissellement souterrain, tandis que la courbe de tarissement traduisait la vidange des zones capacitives de l'aquifère (zone noyée).

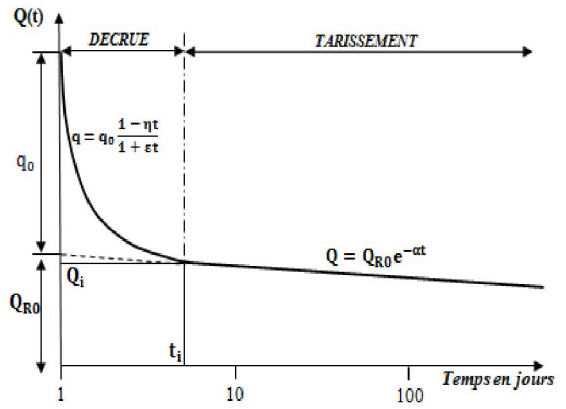

Figure 5. Décomposition de la récession selon la méthode Mangin [6].

La méthode consiste à considérer comme phase de récession, la résultante d'un écoulement de base relatif au karst noyée ($Q_R(t)$) et un écoulement lié à l'infiltration ($Q^*(t)$), uniquement observable durant la phase de décrue :

$$Q(t) = Q^*(t) + Q_R(t) \quad (1)$$

Alors :

$$Q(t) = q_0 \frac{1-\eta t}{1+\varepsilon t} + Q_{R0} e^{-\alpha t} \quad (2)$$

Où t : représente le temps.

α, η, ε : sont des paramètres exprimés en inverse du temps.

q_0 , Q_{R0} : sont des débits caractéristiques de la crue définis sur la figure 5.

- **<u>la courbe de tarissement</u> :**

$$Q_R(t) = Q_{R0} e^{-\alpha t} \quad (3)$$

Q_{R0} : débit caractéristique de la crue est l'ordonnée de la courbe de tarissement à t=0.

α : constante appelée coefficient de tarissement

Cette constante est obtenue à partir de la formule suivante :

$$\alpha = \frac{\log Q_1 - \log Q_2}{0.4343(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

Avec : $Q_1 > Q_2$ et $t_1 < t_2$,

α est exprimé en jour $^{-1}$. Il indique la facilité des réserves des karsts noyés à se vidanger.

- **<u>la courbe de décrue</u> :**

$$Q^*(t) = q_0 \frac{1-\eta t}{1+\varepsilon t} \quad (5)$$

La courbe de décrue s'obtient d'abord graphiquement, en retranchant point par point à l'hydrogramme de décrue Q(t) la part relative à l'écoulement de base représenté par la courbe de tarissement $Q_R(t)$ avec :

$$Q^*(t) = Q(t) - Q_R(t). \quad (6)$$

A cette courbe expérimentale $Q^*(t)$, on ajuste une fonction homographique de type :

$$Q^*(t) = q_0 \frac{1-\eta t}{1+\varepsilon t} \quad (7)$$

avec : $q_0 = Q_{t0} - Q_{R0}$

et

$$\eta = \frac{1}{t_i} \quad (8)$$

η : coefficient de vitesse d'infiltration, varie entre 0 et 1, la borne supérieure traduisant une infiltration rapide. Avec t_i : l'instant où l'infiltration cesse.

ε : indice d'hétérogénéité, il caractérise la concavité de la courbe de décrue, des valeurs faibles (0.01 à 0.001) caractérisent une infiltration lente alors que des valeurs élevées (1 à 10) traduisant une décrue très rapide qui sera ultérieurement ralentie.

avec:

$$\varepsilon = \frac{q_0 - Q^*(t)}{t \times Q^*(t)} - \frac{\eta \times q_0}{Q^*(t)} \quad (9)$$

©UBMA - 2013

- **Classification des systèmes karstiques**

Il est possible de classer les systèmes karstiques à partir de leur fonctionnement hydrodynamique. Pour cela, Mangin [6] a proposé deux paramètres qui dérivent de l'étude des courbes de récession :

– Un paramètre appelé « i », traduit les retards à l'infiltration. Il est égal à la valeur de la fonction homographique deux jours après la pointe de crue. Ce coefficient caractérise la forme de l'hydrogramme de décrue et donnera le degré de complexité du système qui augmente avec la valeur de i (i variant de 0 à 1).

– Un paramètre « k » en relation avec la zone noyée est appelée pouvoir régulateur. Ce paramètre est égal au rapport entre le volume dynamique (V_d) obtenu sur une grande période et le volume de transit interannuel sur la même période, appelé aussi volume de transit moyen annuel (V_t). La valeur de « k » traduit l'aptitude de la zone noyée du karst à stocker les précipitations et les restituer progressivement dans le temps, c'est-à-dire son pouvoir régulateur.

Le volume dynamique est calculé de la manière suivante :

$$V_{dyn} = \int_0^{\infty} Q_i \times e^{-\alpha t} = \frac{Q_i}{\alpha} \times c \qquad (10)$$

Avec Q_i : débit au moment où le tarissement devient effectif.

Si Q_i est exprimé en m^3/s et t en jour, la relation devient :

$$V_{dyn} = \frac{Qi}{\alpha} \times 86400$$

Le volume de transit annuel se calcule de la manière suivante :

$$V_t = Q_{moy} \times 86400 \times 365$$

Avec : Q_{moy} exprimé en m^3 / s.

En fonction des résultats acquis sur les différents systèmes karstiques, Mangin [6] a établi une classification, en se basant sur les paramètres « i, k ».

Il a distingué cinq domaines :

- Domaine **1** (i<0.25 et k<0.1) : système très karstifié en aval, domaine des réseaux spéléologiques très développés.
- Domaine **2** (i<0.25 et 0.1<k<0.45) : réseau spéléologique très développé débouchant en aval sur un important karst noyé.
- Domaine **3** (0.25<i<0.5 et 0.1<k<0.5) : système plus karstifié en amont qu'en aval avec des retards dans l'alimentation dus soit à des terrains non karstiques, soit à une couverture neigeuse.
- Domaine **4** (i>0. 5 et k<0.5) : système complexe.
- Domaine **5** (i>0. 5 et k>0.5) : système peu ou pas karstique.

4. 2 Analyse des données expérimentales de la récession

La courbe de récession (Fig. 5) correspond au cycle 2003 ; les dernières décrues du printemps se sont produites à la fin du mois de mars et au début du mois de mai. Le début de tarissement correspond à la mi-mai. On remarque que le temps nécessaire à l'apparition du tarissement est de 36 à 40 jours (moyen). Le coefficient d'hétérogénéité ε, atteint 0.023, caractérisant une infiltration assez lente.

4. 3 Volumes évacués

✓ Le volume dynamique $V_{dyn} = (Q_i/\alpha) \times 86400$

L'application numérique donne une valeur de 103 680m^3.

✓ Le volume de transit $V_t = Q_{moy} \times 86\,400 \times 365$

Application numérique : $V_t = 4\,162\,752\ m^3$.

Donc :

k = 0.025
i= 0.98

⇨ Domaine **4** (i>0.5 et k<0.5) : système complexe

4. 4 Relation conductivité - altitude

Les valeurs de conductivité mesurées in-situ sont faites au moyen d'un appareil multi-paramètres. Les données sont reportées sur un graphe (Fig. 7) qui montre la relation de la

conductivité avec l'altitude pour chaque source. Une légère variation de la conductivité avec l'altitude est observée, ce qui laisse supposer que le facteur altitude n'influe pas beaucoup la minéralisation.

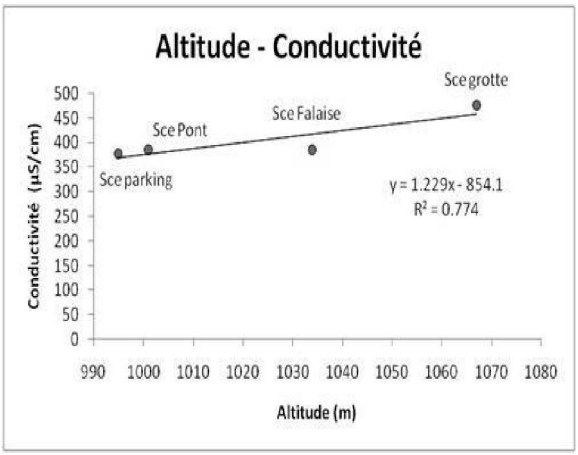

Figure 7. Variations de la conductivité en fonction de l'altitude.

En effet, sur cent mètres d'altitude, la conductivité diminue d'environ 100µs/cm, soit lµs/cm/m. Ceci laisse supposer l'absence d'apports d'eaux minéralisées, les sources sont toutes issues d'un même aquifère.

Les points de mesure se situent à la sortie de la grotte (P1), le second point est intermédiaire au niveau de la falaise, le troisième point est situé sur le pont. Ce choix est fait pour éviter le mélange des eaux. En effet, à quelques mètres du pont, se trouve une arrivée latérale d'eau par la source de Hammamet.

5. CONCLUSION

Le travail réalisé porte sur une thématique peu étudiée à l'heure actuelle. Ainsi, nous avons travaillé sur une zone qui reste vierge. Les parties développées ont montré une certaine homogénéité des paramètres déterminés.

L'approche réalisée en utilisant les jaugeages différentiels a montré que le volume transitant atteint respectivement pour le cycle 2003, 4162 752 m^3 et pour le cycle 2004, 1442 060 m^3. L'analyse de la récession à mis en évidence un système karstique complexe. Les graphes réalisés montrent une certaine stabilité de la conductivité en fonction de l'altitude.

REFERENCES

[1] Bensaoula F., 2006. Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise au point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen, Ouest Oranais). Thèse de Doctorat en sciences. Université de Tlemcen. Algérie 203p.

[2] Collignon B., 1986. Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des monts de Tlemcen (Algérie). Thèse de doctorat, Université d'Avignon, France. 282 p.

[3] Quinif Y., 1983. La reculée et le réseau Karstique de Bou Akous (Hammamet, Algérie de l'Est) Géomorphologie et aspects évolutifs. *Revue Belge de Géographie,* Vol. 4, 89-111.

[4] Guefaifia O., 2007. Identification et caractérisation d'un milieu Karstique et sa contribution à l'alimentation d'un champ captant : Cas de la zone de Bouakous-Hammamet, région de Tébessa. Thèse de doctorat en sciences, Université d'Annaba, Algérie. 256p.

[5] Dubourdieu G. & Durozoy G. 1950. Observations tectoniques dans les environs de Tébessa et de l'Ouenza (Algérie). *Bulletin de la Société Géologique de France,* Vol. 20, 257-266.

[6] Mangin A., 1975. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de doctorat d'état, Université de Dijon, France. 332p.