

Hydrogéologie de la zone sourcière de Madiq Caza de Kesrouane (Liban)

Diala Ghanem*

Résumé

La source de Madiq (1500 l/s) se situe à 152 m d'altitude dans le cours de Nahr Ibrahim. Ses eaux jaillissant des calcaires de l'Aptien (C2b + C2a), sont en liaison avec l'aquifère des calcaires et dolomies du Jurassique moyen (J4) qui ne fournissent que 90 l/s aux résurgences de Ghochraïya.

Les analyses chimiques montrent des eaux strictement similaires dans les deux secteurs, avec des concentrations identiques des éléments chimiques majeurs.

Un projet pilote a été exécuté à Madiq, où cinq puits artésiens ont été forés à une profondeur de 80 mètres pour fournir 75.000 m³/j à l'étiage. Les eaux sont transportées vers le littoral de Kesrouane et de Jbeil par un tunnel de 4100 m de long et 3,7 m de diamètre, avec un important réseau de réservoirs et de lignes d'adduction.

Mots-clés : Karst, Hydrogéologie, Hydrochimie, Captage, Forages artésiens, Tunnel de transfert d'eau.

* Université libanaise, Département de géographie, section (1) et (2), d.ghanem @ul.edu.lb

Introduction

La zone sourcière de Madiq se situe dans le cours de Nahr Ibrahim à la limite entre les Cazas de Kesrouane et de Jbeil (Fig. 1). La source principale de Madiq jaillit de la rive gauche du fleuve et alimente, depuis bien un siècle, la zone littorale allant de Tabarja jusqu'à la ville de Jbeil par des conduites d'eau et des canaux d'irrigation.

Les besoins toujours croissants en eau potable de la côte allant de Jounieh jusqu'à Aamchit, a poussé à rechercher de nouvelles ressources et à augmenter le débit consacré à l'utilisation domestique, en essayant de rabattre la nappe de la source de Madiq en période d'étiage (B.T.D, 1996).

Le but de cet article est de jeter la lumière sur un projet pilote très réussi qui a pu assurer les besoins de la zone concernée en eau potable et de passer de 20.000 m³/jour à presque 75.000 m³/j. En plus, nous insistons sur la liaison souterraine entre le grand aquifère jurassique de Ghochraïya-Yahchouch et l'aquifère des calcaires de l'Aptien à partir duquel sourdent les eaux de la zone sourcière de Madiq.

I. Matériels et méthodes

a. Géologie

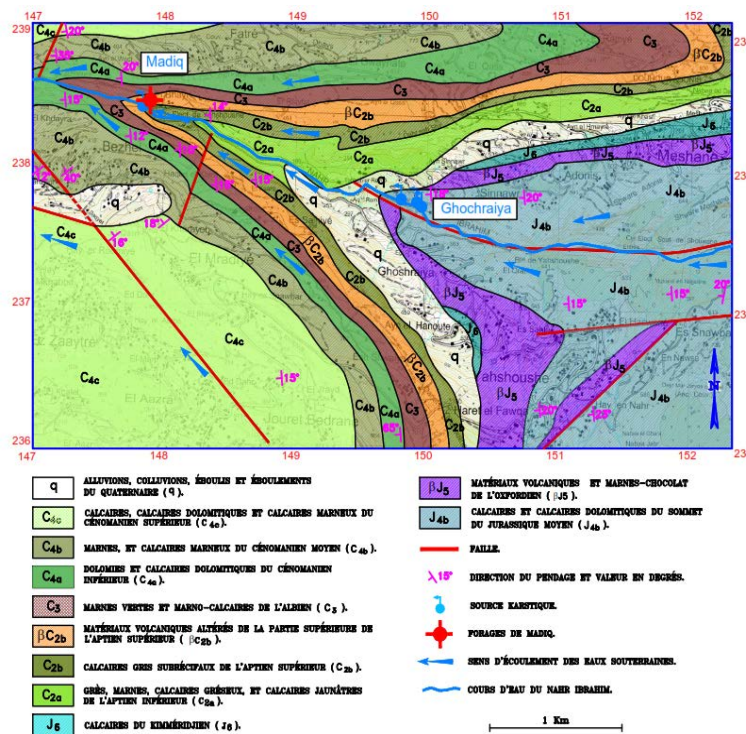
Les calcaires gris de l'Aptien supérieur (C2b, 60m d'épaisseur) et les calcaires jaunâtres de l'Aptien inférieur (C2a, 80 m), plongent de 20° vers l'Ouest (Fig.1). Ils sont bloqués par les marnes vertes de l'Albien (C3, 80 m) et les basaltes altérés de la partie supérieure de l'Aptien supérieur (β C2b, 100 m). Les eaux des calcaires sont ainsi mises en charge par l'ensemble imperméable (C3+ β C2b), de sorte que la zone sourcière de Madiq déborde en surface, en rive gauche, et jaillit d'une manière diffuse dans le cours du fleuve de Nahr Ibrahim.

Le débit de la source principale s'élève à 1500 l/s en moyenne par an (Tableau 1), auquel il faudrait ajouter les résurgences diffuses.

Tableau 1 : Débits en l/s de la source de Madiq (d'après BTD, 1985).

Nov 1983	Déc 1983	Janv 1984	Fév 1984	Mars 1984	Avr 1984	Mai 1984	Juin 1984	Juil 1984	Août 1984	Sep 1984	Oct 1984
987	1127	1305	3095	3165	4450	2700	1015	982	900	850	950

Figure 1 : Géologie et Hydrogéologie de la zone sourcière de Madiq – Ghochraiya (B. Hakim, 1996)



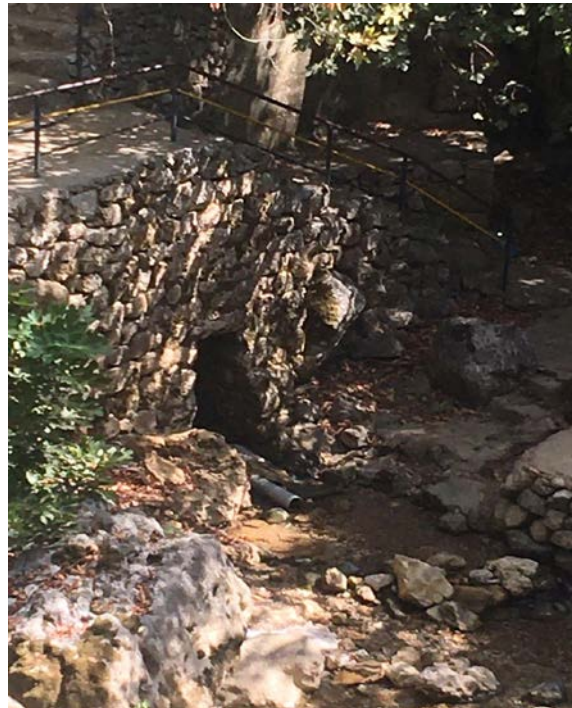
Un tel débit ne peut pas être mis au compte du seul aquifère aptien, qui fournit ailleurs (partout au Liban) des débits allant de 50 à 75 l/s. Les sondages effectués par le Bureau Technique pour le Développement (BTD) tout le long du fleuve, avaient montré une liaison sûre avec l'aquifère des calcaires et dolomies du Jurassique moyen (J4) (Fig.1), dont l'étendue et la surface d'alimentation occupent plusieurs dizaines de km², sans oublier les pertes qui peuvent survenir à partir du cours d'eau subaérien de Nahr Ibrahim qui coule d'une manière permanente toute l'année. Or, les résurgences du Jurassique moyen (J4) qui sourdent à Ghochraiya à l'aval de Yahchouch (3 sources localisées, Fig.1), jaillissent à 270 m d'altitude et ne fournissent qu'un débit minime de l'ordre de 90 l/s en moyenne (Tableau2 et Photo 1).

Tableau 2 : Débits en l/s de la zone sourcière de Ghochraiya (d'après BTD, 1985).

Sourc e	Nov 198 3	Déc 198 3	Janv 198 4	Fév 198 4	Mar s 1984	Avr 198 4	Mai 198 4	Juin 198 4	Juil 198 4	Aoû t 198 4	Sept 198 4	Oct 198 4
Gh.1	41	42	40	41	43	noyée	45	44	30	32	31	35
Gh.2	17	17	19	18	20	noyée	20	20	16	17	15	16
Gh.3	41	41	38	23	42	noyée	41	36	32	33	31	33
Total	99	100	97	82	105	-	103	100	78	82	77	84

Il est donc légitime de constater qu'un abouchement souterrain s'opère entre l'aquifère jurassique (J4) d'une part, et celui de l'aquifère des calcaires aptiens (C2) d'autre part. De la sorte, la zone sourcière de Madiq serait une manifestation pure et simple du grand aquifère jurassique qui va du Jabal Moussa au Sud jusqu'aux hauteurs du Jabal Jaj au Nord.

Photo 1 : Source No. Gh1 de Ghochraïya. Aquifère du Jurassique moyen (J4) et débit modeste. (Cliché D. Ghanem, le 29/09/2020).



II. Résultats et discussions

a. Hydrochimie des eaux de Madiq et de Ghochraiya.

Une campagne d'analyses physico-chimiques a eu lieu le 24/10/2016 (les annexes 1 et 2 représentent un spécimen des fiches issues du laboratoire). Elle prouve que tous les éléments chimiques majeurs, ainsi que la conductivité et le pH, sont parfaitement identiques (Tableau 3) et que la température augmente de 15,2°C à 16,2°C, compte tenu de l'altitude et du degré géothermique.

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la zone sourcière de Madiq (Laboratoire Jabre-Ghorra, Beyrouth).

Nom du point d'eau	Nabaa Ghochraïya	Nabaa El Madiq	Forages de Madiq
Altitude en m	270	152	152

Date	24/10/2016	24/10/2016	24/10/2016
Température (°C)	15.2	16.0	16.2
Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$	353	354	347
pH	7.35	7.4	7.3
TDS (mg/l)	270	265	260
Calcium Ca^{++} (mg/l)	55.1	56.2	54.6
Magnésium Mg^{++} (mg/l)	20.2	18.6	18.7
Sodium Na^+ (mg/l)	6.31	5.85	4.69
Potassium k^+ (mg/l)	0.99	0.97	0.8
Chlorures Cl^- (mg/l)	5.0	7.0	5.0
Sulfates SO_4^{--} (mg/l) 4	5.0	8.0	7.0
Nitrates NO_3^- (mg/l) 3	3.1	3.1	0.4
Nitrites NO_2^- (mg/l) 2	0.01	0.01	<0.01
Bicarbonates HCO_3^- (mg/l) 3	292	280	293
Coliformes totaux (UFC/100ml)	3	438	0
Coliformes fécaux (UFC/250ml)	0	27	0
Streptocoques fécaux (UFC/250ml)	0	5	0
Pseudomonas Aéruginosa (UFC/250ml)	0	0	0

Les eaux sont bicarbonatées-calci-magnésiennes.

La teneur en Calcium (Ca^{++}) est de l'ordre de 55 mg/l.

La teneur en Magnésium (Mg^{++}) est de l'ordre de 19 mg/l. Tandis que les Bicarbonates (HCO_3^-) avoisinent les 290 mg/l.

Les éléments gypseux et salins augmentent ³ légèrement, tandis que les Nitrates (NO_3) et les Nitrites (NO_2) sont presque les mêmes.

Par ailleurs, les eaux des forages de Madiq ont exactement le même faciès chimique, avec des concentrations minimales en ce qui concerne les indicateurs chimiques de pollution, à savoir les Nitrites (< 0,01 mg/l) et les Nitrates 0,4 mg/l contre 3,1 mg/l pour les eaux des sources (Tableau3).

Notons que, le pH est de l'ordre de 7,35 et la conductivité se situe autour de 350 μ Siemens/cm.

Enfin, en ce qui concerne les tests bactériologiques, les eaux de Ghochraïya semblent propres, avec uniquement 3 coliformes totaux dans 100 ml d'eau. Par contre, la source de Madiq affiche une pollution fécale très avancée avec une numération de 438 (UFC/100 ml)¹ de Coliformes totaux (Annexe 2),

¹ UFC = Unité Formant Colonie.

27 (UFC / 250 ml) de Coliformes fécaux,

5 (UFC / 250 ml) de streptocoques fécaux.

Cette contamination est due à l'infiltration des eaux du fleuve vers le captage de Nabaa Madiq. Elle est issue de l'affluent d'égout de Yahchouch et Ghochraiya se déversant à l'état brut dans le cours de Nahr Ibrahim en amont de la source.

Curieusement, les eaux profondes des forages de Madiq ne présentent aucun signe de pollution, ce qui constitue un avantage quant à l'exploitation des eaux extraites.

b. Aperçu de l'édifice de captage des eaux de Madiq

Le captage rudimentaire de Madiq, qui date des années trente, a constitué un pôle d'attraction des hydrogéologues libanais qui ont bien émis l'idée de surexploiter la nappe aptienne (C2), à l'exemple de la source du Lez près de Montpellier au Sud de la France et ceci depuis 1986.

- Cinq forages ont été exécutés en 2002 pour une profondeur de 80 m chacun et un diamètre final de 14 pouces (Photos 2 et 3).

Tous ces forages se sont avérés artésiens avec la possibilité de pomper plus que 15.000 m³/j de chacun d'entre eux en cas de besoin, c'est-à-dire pendant les années sèches (comme celles que nous avons traversées à partir de 2014) et pendant la période d'étiage quand le débit qui sort naturellement de la source et des forages, décroît d'une manière sensible.

- Les eaux sont envoyées dans un dessableur acheminant l'eau par une conduite vers l'entrée du tunnel de Madiq (altitude 148 m), qui se trouve à presque 700 m à l'Ouest.
- Le tunnel a été creusé entre Madiq et le village de Maaïra-Qoualé (alt. 140 m) près de l'embouchure du Nahr Ibrahim. Ce tunnel a une longueur de 4100 m et un diamètre de 3,7 m. Il a été conçu pour recevoir un canal d'irrigation et un conduit d'eau potable. L'exigüité du terrain, au fond de la gorge du Nahr Ibrahim et l'état de l'infrastructure routière, avaient poussé vers l'adoption de la solution-Tunnel.
- L'adduction de l'eau vers la ville de Jounieh au Sud et la ville de Jbeil au Nord s'est effectuée par l'Autoroute de Beyrouth-Tripoli avant même d'entamer sa réhabilitation en 2004.

Ce projet qui fonctionne d'une manière impeccable depuis 2010, constitue la pierre angulaire de l'alimentation en eau potable de la ville de Jounieh et du littoral de Kesrouane et de Jbeil, assurée par l'Établissement des Eaux de Beyrouth et du Mont-Liban (EBML).

Photo 2 : Les cinq forages de Madiq en pleine action le 29/09/2020. Ils assurent une eau potable propre à la côte allant de Nahr El Kalb jusqu'à la ville de Jbeil.



Photo 3 : Emplacement des forages de Madiq dans le lit de Nahr Ibrahim, avec l'édifice de captage de la source de Madiq et le grand bâtiment du dessableur (Cliché D. Ghanem, le 20/03/2018).



Conclusion

La karstification profonde des aquifères libanais permet dans certains cas de surexploiter les réserves contenues au-dessous des niveaux des sources actuelles. La zone sourcière de Madiq s'est montrée riche en eau souterraine. Elle a été sollicitée par cinq forages qui assurent un débit important pendant la période d'étiage et pendant les années qualifiées de sèches.

Cette pratique pourra être étendue à d'autres sources karstiques pour extraire une eau souterraine qui se renouvelle périodiquement sous le climat actuel du Liban.

Nos recherches ont pu montrer que les eaux de Madiq (152 m d'altitude et 1500 l/s), issues des calcaires de l'Aptien (C2), sont alimentées par les eaux de l'aquifère du Jurassique moyen (J4) qui ne donnent que des sources modestes et peu productives à Ghochraïya (270 m d'altitude et 90 l/s seulement).


Les analyses chimiques prouvent que les eaux des sources de Ghochraïya et Madiq ainsi que les forages artésiens de Madiq ont le même profil chimique, avec des pH et des conductivités identiques.

Références


- Bureau Technique pour le Développement (B.T.D.), (1985). *Étude hydrogéologique et géotechnique du projet de barrage de Yahchouch*. Min. des Ressources Hydrauliques et Électriques, 85 p., 38 fig., 6 tabl., (Manuscrit inédit).
- Bureau Technique pour le Développement (B.T.D.), (1996). *Water supply of Kesrouan Coastal zone from El Madiq spring*. M.R.H.E, 160 p., 30 fig., 61 tabl., 2 cartes, (Manuscrit inédit).
- Castany G., (1982). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Paris : Dunod, 238 p., 119 fig., 35 Tableau.
- Ghanem D., (2014). *Karst de la région de Mechme.h (Caza de Jbail): Géomorphologie, Hydrogéologie et Pollution*. Mém. de Master, Un. Libanaise, 84 p., 4 fig., 16 tabl., 28 photos h.t., 4 cartes h.t.
- Ghanem D., (2017). *Karst du Jabal Jaj entre Nahr El Jaouz et Nahr Ibrahim (Géomorphologie, Géologie et Hydrogéologie)*. Thèse Doctorat Géographie Physique, Un. Libanaise, 302 p., 27 fig., 19 tabl., 43 photos, 4 annexes, 6 cartes h.t.
- Hakim B., (1985). *Recherches hydrologiques et hydrochimiques sur quelques karsts méditerranéens : Liban, Syrie et Maroc*. Publ. de l'Un. Libanaise, 710 p., 106 fig., 54 tabl., 6 cartes h.t.
- Hakim B., (1996). *Étude géologique de la région de Madiq (Nahr Ibrahim)*. Bureau Technique pour le Développement et M.R.H.E, avec une cartographie au 1/20.000.
- United States Bureau of Reclamation, (1957). *Water resources investigations (Nahr Ibrahim Basin)*. USA Department of the Interior, Operation mission to Lebanon, Beirut, 87 p., 16 tabl., 10 pl. photos, 53 cartes.

Annexes

Annexe 1 : Fiche d'analyse physico-chimique de la source de Madiq effectuée au Laboratoire Jabre-Ghorra



JABRE-GHORRA
LABORATOIRE D'ANALYSES MÉDICALES



R.C. 59366

Dr Thérèse Jabre Ghorra
Pharmacien biologiste
A.M. 57/30

Dr Danielle Ghorra Raad
Pharmacien biologiste
A.M. 86/3062

Pr M-Gabrielle Ghorra Hindi
Pharmacien biologiste
A.M. 94/3591

Dr Pierre Fouad Ghorra
Médecin biologiste
A.M. 92/5905

Analyse N° **6237**

Date du prélèvement **24/10/2016**

Date de réception **25/10/2016**


Date du rapport **29/10/2016**

Demandeur : DIALA GHANEM
Echantillonnage : EAU DE SOURCE - TEMPERATURE = 16°C
Lieu : SOURCE DE MADIQ (NAHR IBRAHIM)

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES
Normes Libanaises - Eau Potable

		Seuil maximum toléré	Résultats
Alcalinité (CaCO₃)			
Conductivité	$\mu S/cm$	1500.00	354.00
Ph		6,5 - 8,5	7.40
TDS	mg/L	< 500	265.00
Dureté Totale (TH) °F	°F	< 50	
Dureté totale (CaCO ₃)	mg/L	250.00	
Turbidité avant décantation	NTU	10.00	
Turbidité après décantation	NTU	10.00	
Cations (ions positifs)			
Calcium(Ca)	mg/L	(OMS) 200	56.20
Magnesium(Mg)	mg/L	50.00	18.60
Potassium(K)	mg/L	12.00	0.97
Sodium(Na)	mg/L	150.00	5.85
Anions (ions négatifs)			
Bicarbonates(HCO ₃)			280.00
Chlorures (Cl)	mg/L	200.00	7.00
Nitrates (NO ₃)	mg/L	45.00	3.10
Sulfates (SO ₄)	mg/L	250.00	8.00
Substances indésirables			
Ammonium	mg/L	0.50	
Baryum	mg/L	0.50	
Bore	mg/L	(UE) 1.00	
Cuivre	mg/L	1.00	
Fluorure	mg/L	0.70	
Fer	mg/L	0.30	
Manganèse	mg/L	0.05	
Nitrites	mg/L	0.05	0.01
Phosphates	mg/L	1.00	
Zinc	mg/L	5.00	

Le chef de laboratoire






Achrafieh
Sioufi, rue Amine Gemayel
Imm. Jabre-Ghorra
Tél./Fax : 01-398636/7/8
01-398393

Sin-el-Fil
Rue Fouad Chehab
Imm. Kazandjian
Tél./Fax : 01-481331
01-489680

Jdeidé
Rue New Jdeidé
Imm. Khoury
Tél./Fax : 01-889636/7

E-mail
labghorra@yahoo.fr

Annexe 2 : Fiche d'analyse bactériologique de la source de Madiq. Laboratoire Jabre-Ghorra.

		<h1>JABRE-GHORRA</h1> <h2>LABORATOIRE D'ANALYSES MÉDICALES</h2>			
R.C. 59366	Dr Thérèse Jabre Ghorra Pharmacien biologiste A.M. 57/30	Dr Danielle Ghorra Raad Pharmacien biologiste A.M. 86/3062	Pr M-Gabrielle Ghorra Hindi Pharmacien biologiste A.M. 94/3591	Dr Pierre Fouad Ghorra Médecin biologiste A.M. 92/5905	Quality ISO 9001 
Analyse N° 6237		Date du prélèvement		24/10/2016	
		Date de réception		25/10/2016	
		Date du rapport		29/10/2016	
Demandeur : DIALA GHANEM Echantillonnage : EAU DE SOURCE-TEMPERATURE = 16°C Lieu : SOURCE DE MADIQ (NAHR IBRAHIM)					
ANALYSES BACTERIOLOGIQUES					
Normes Libanaises - Eau Potable			Résultats		
Coliformes totaux UFC/100 ml	0				438
Coliformes fécaux UFC/250 ml	0				27
Streptocoques fécaux UFC/250 ml	0				5
Pseudomonas aeruginosa UFC/250 ml	0				0
<p>Conclusion : Cet échantillon d'eau reçu au laboratoire le 25-10-2016 n'est pas conforme aux normes nationales et internationales concernant l'eau potable</p> <p style="text-align: center;">Le chef de laboratoire</p> <p style="text-align: center;">Le Résultat de cette analyse ne peut être utilisé à des fins publicitaires</p> <p style="text-align: center;">يحظر استعمال نتيجة هذا الفحص المخبري في سبيل الدعاية.</p>					
Achrafieh Sioufi, rue Amine Gemayel Imm. Jabre-Ghorra Tél./Fax : 01-398636/7/8 01-398393		Sin-el-Fil Rue Fouad Chehab Imm. Kazandjian Tél./Fax : 01-481331 01-489680		Jdeidé Rue New Jdeidé Imm. Khoury Tél./Fax : 01-889636/7	
				E-mail labghorra@yahoo.fr	