

Caractéristiques de ressources en eau des plateaux de Akkar au Nord du Liban*

Characteristics of water resources in Akkar plateaus in north Lebanon

J. HALWANI*, **B. OUDDANE****, **A.R. IBRAHIM*****, **M. WARTEL****

* Université Libanaise, Faculté de Santé Publique, B. P. 246, Tripoli, Liban – Email: jhalwani@cyberia.net.lb

** Université des Sciences et Technologies de Lille, Laboratoire de Chimie Analytique et Marine, (EP 1750 CNRS), 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France. Email: Baghdad.Ouddane@univ-lille1.fr

*** Université Libanaise, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, B. P. 246, Tripoli, Liban.

RÉSUMÉ

L'analyse chimique de 20 ressources en eau des plateaux de Akkar au Nord du Liban a été effectuée avec une recherche des éléments à l'état de trace par ICP-AES. Les résultats obtenus révèlent l'absence d'une pollution chimique, le caractère doux des eaux et la diversité chimique des sources étudiées. Confrontées avec les connaissances sur les aquifères de la région, les sources se regroupent en fonction de la formation géologique des plateaux. Néanmoins certaines sont uniques; c'est le cas de la source de Ain Al-Jaouzé à Hrar qui se caractérise par son aspect très faiblement minéralisé (conductivité $63 \mu/cm$), par la quasi absence des ions majeurs (Na, Ca, K, Mg) et la présence à l'état de trace des oligo-éléments (Fe, Mn, Si, Al); la source de Ain Al-Aarbit à Barqayel qui se distingue par son pH légèrement acide (5.6), par la faible teneur en Mg et par la présence du Ba et du Cr à l'État de trace, alors que la source de Ain El-Helzane à Jebayel est la plus fortement minéralisée (conductivité $310 \mu/cm$), c'est elle qui contient le plus de Ca, K, Na, Mg, Ni, B, quant à la source de Ain El-Delbet à El-Qamouaa, elle se caractérise par sa pureté exceptionnelle et son pH légèrement basique (8.13). Cette première étude sur la caracté-

risation des sources en eau à Akkar pourrait servir de base à l'exploitation de certaines de ces sources.

Mots clés: Liban, Ressources en eau, Aquifères, Caractéristiques chimiques, Oligo-éléments.

SUMMARY

The chemical analysis of 20 water resources of the Akkar plateau's in North Lebanon, was performed by ICP-AES with a research on the trace elements. In spite of the high content in water of this area, the majority of the inhabitants consume polluted water. Indeed, fault of good management of these resources, and the quasi absence of sewerage systems, the majority of the natural sources is polluted from the microbiological point of view. Indeed, the first microbiological study carried out on the mountainous sources [Hamze, 1996] showed that 75% of them were polluted. Although a chloration was introduced into the majority of the sources forming part of the existing network of adduction which serves less than one third of the population of the area; the Ministry for Health indicated [Baltagi, 1997] that out of 55 samples analysed in 1996 by the Health Central Laboratory, 27 of them (47%)

* Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme franco libanais CEDRE.

are polluted from the microbiological point of view. On another side, the study of the quality of underground water of the plain of Akkar [Halwani, 1998] had revealed a significant microbiological pollution (63%), a worrying contamination by nitrates (86%) and a salinity excessive.

The obtained results proved the absence of chemical pollution, the soft characters as well as the diversity of resources were studied. Confronted with the knowledge of the aquifers of the region, the resources are grouped on the geological formation of the plateau. Some of these resources were unique, such as the case of « Ain Al-Jaouze » spring in Hrar, which is characterised by its weakening minerals (conductivity $63 \mu/cm$), by the near absence of major ions (Na, Ca, K, Mg) & the presence of some trace elements (Fe, Mn, Si, Al); the « Ain Al-Aarbit » spring in Barqayel which is distinguished by its nearly acid pH (5.6), weak presence of Mg & the presence of Ba & Cr in significant concentrations. The highly mineralised is « Ain El-Helzane » in Jebrayel (conductivity $310 \mu/cm$), this spring contains the highest Ca, K, Na, Mg, Ni, B; while « Ain El-Delbet » in El-Qamouaa, is especially characterised by its purity & its nearly basic pH (8.13). This general feasibility study could start later on from the dynamic point of view at the sameness in time and space, an appreciation of modifications of the variation of the physicochemical composition of water of the sources of Akkar during one year, in connection with varied factors: pluviometry, litholo-

gical, hydrological and morphological, in order to have a global vision of the characteristics of the sources out of water with Akkar for the exploitation of some of them. It is quite obvious that this study does not only suffice for it to make the final observation, but it is the first stone in a more general study, it would be necessary initially, to found a perimeter of protection around these sources in order to back up them faecal pollution (human or animal), then, to look further into hydrological knowledge and to study the total colony count of these sources, to carry out clinical studies, and finally to check the stability of biological and chemical qualities during the year.

This first study on the characteristics of water resources in Akkar plateau's is considered a head start which can help as a basis for future investigation of springs.

Key Words: Lebanon, Water resources, Aquifers, Chemical characteristics, Trace elements.

INTRODUCTION

La région de Akkar au Nord du Liban de superficie 650 km^2 , est caractérisée par sa diversité morphologique (fig. 1); de la Mer Méditerranée à l'ouest, se développe vers l'est une plaine triangulaire, basse, agricole entre la frontière syrienne et le delta du Naher El-Bared, elle compte 12 km de largeur au droit du Nahr El-Kebir et se rétrécit très

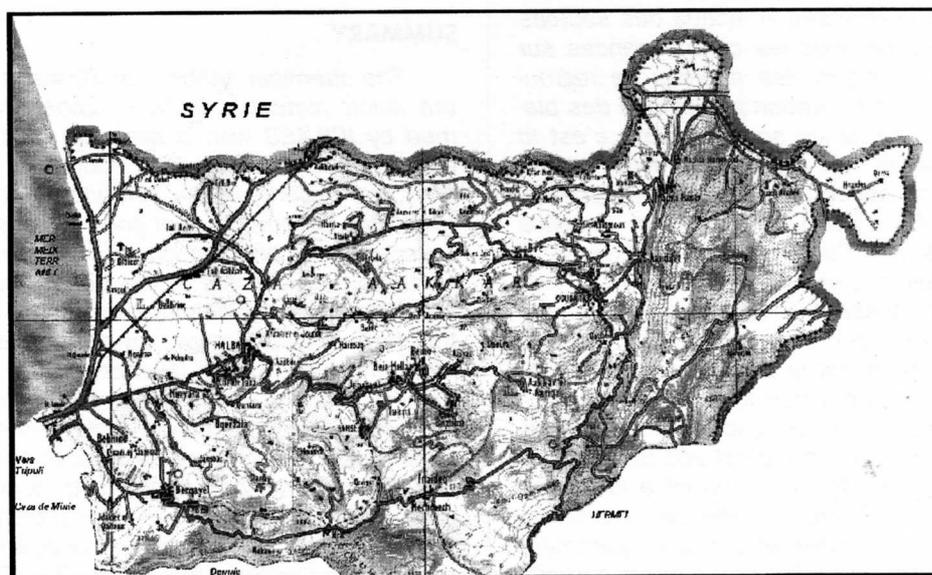


FIGURE 1. – Vue d'ensemble de la région de Akkar.
Global vision of Akkar Plateau's.

vite vers le sud. Des plateaux et des collines disposés en amphithéâtre dominant la plaine de Akkar. Au nord, des plateaux volcaniques d'altitude modeste 300 à 500 m se relèvent lentement vers l'est en direction de la ride montagneuse de l'Akroum et dominant la petite plaine de la Bqāia. Au sud, des plateaux calcaires de Bzal leur font suite : ils ont de 300 à 600 m d'altitude mais sont profondément entaillés par un grand nombre de vallées. L'altitude s'élève ensuite très vite vers le sud-est jusqu'à El-Qamouaa (2200 m), hauts plateaux de calcaires cénomaniens. Ainsi à l'exclusion de la plaine de Akkar, la morphologie de cette région est accidentée, ils en ressort 4 rivières permanentes : N. El-Kebir, N. Ostouene, N. Arka et N. El-Bared qui se jettent toutes à la mer. Cette morphologie spéciale a conféré à la région un réservoir d'eau souterraine très important et un jaillissement de plus de 500 sources naturelles. Celles-ci sont alimentées par des eaux de pluies et de la fonte de neige (de 800 à 1000 mm par an), la région étudiée est caractérisée par un climat méditerranéen avec des précipitations concentrées en hiver et un été sec.

Malgré la richesse en eau de cette région, la plupart des habitants consomme de l'eau polluée. En effet, faute de bonne gestion de ces ressources, et de la quasi absence de réseaux d'égoûts, la majorité des sources naturelles est polluée du point de vue microbiologique. En effet, la première étude microbiologique effectuée sur les sources montagneuses [Hamze, 1996] a montré que 75% des sources étaient polluées, bien qu'une chloration ait été introduite dans la majorité des sources faisant partie du réseau d'adduction existant qui dessert moins d'un tiers de la population de la région ; le Ministère de la Santé a indiqué [Baltagi, 1997] que sur 55 échantillons analysés en 1996 par le Laboratoire Central de la Santé, 27 d'entre eux (47%) sont pollués du point de vue microbiologique. D'un autre côté, l'étude de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Akkar [Halwani, 1998] avait révélé une pollution microbiologique importante (63%), une contamination inquiétante par les nitrates (86%) et une salinité excessive au nord de la plaine.

A l'heure actuelle, une analyse microbiologique des sources faisant partie du réseau d'adduction est réalisée régulièrement par les 2 offices du département, par contre aucun contrôle chimique systématique n'est effectué, aucune base de données existe sur les caractéristiques chimiques et physico-chimiques des sources naturelles des eaux à Akkar, ce qui constitue un handicap majeur dans

le processus de l'exploitation des sources existantes et un manque dans la procédure du contrôle sanitaire de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Il était donc important et urgent de faire un état des lieux de la situation du point de vue chimique et de procéder à une analyse précise et globale des caractéristiques chimiques et physico-chimiques des principales sources de la région.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Quand c'était possible, les échantillons ont été prélevés directement à la source, dans le cas contraire, au lieu de consommation. 20 Échantillons représentatifs des sources montagneuses ont été sélectionnés, la figure 2 donne leur situation approximative sur la carte de la région. Le tableau 1 indique les principaux renseignements sur les sources choisies. L'ensemble de l'étude porte sur 20 échantillons effectués les 2 (échantillons 1-12) et 5 (échantillons 13-20) février 1998. A noter que plusieurs habitations ou restaurants sont construits au-dessus de l'émergence de certaines sources (échantillons 6-7-9-10-11-12-16-19).

Les analyses ont été effectuées en France au Laboratoire de Chimie Analytique et Marine de l'Université des Sciences et Technologies de Lille.

Le dosage des métaux (Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Si, V, Zn) a été effectué par spectrophotométrie d'émission atomique ICP à l'aide d'un spectrophotomètre à torche de plasma Varian Liberty Serie II (observation axiale), Les raies d'émission, les limites de détection et les conditions opératoires sont résumées dans le tableau 2. Les étalons pour les différents métaux ont été préparés à partir de solutions mères (titrisol, Merck) et d'eau ultra pure issue d'un système Millipore (Milli-Q plus) alimenté par une eau de ville préalablement déminéralisée par des résines échangeuses d'ions (ELGA).

Les anions (Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) ont été déterminés en se référant aux méthodes décrites dans les normes françaises [AFNOR, 1995]. Un contrôle par chromatographie ionique (Dionex) a été effectué sur 3 échantillons pour avoir une confirmation de l'absence d'autres anions que ceux déjà analysés.

Il a été jugé inutile de faire l'analyse des pesticides et des hydrocarbures polycycliques aromatiques étant donné qu'il n'y a pas d'activité industrielle ou agricole significative dans les environs des sources.

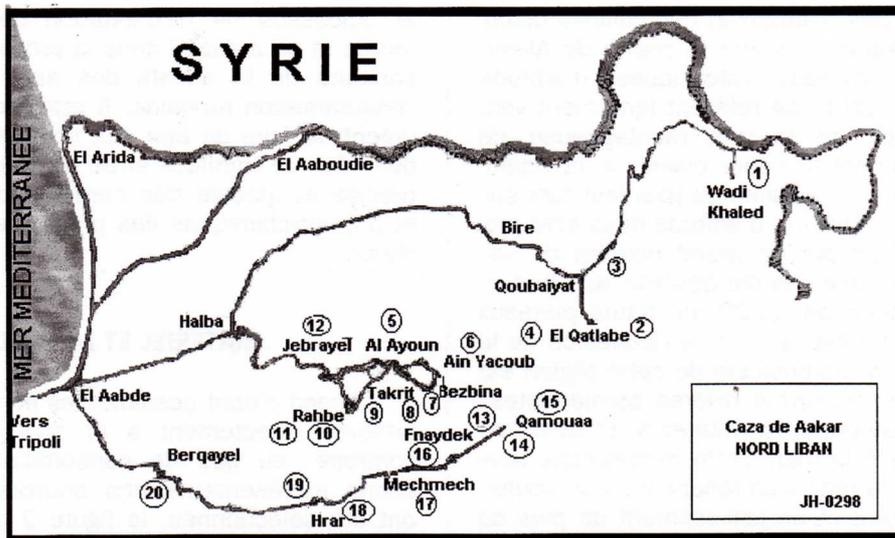


FIGURE 2. - Points de prélèvements des échantillons.
Sampling stations.

RÉSULTATS

Les résultats sont donnés aux tableaux 3 et 4. Les valeurs obtenues pour les éléments As, Be, Cd, Co, Cu, Li, Pb, V, n'y figurent pas car ils sont inférieurs aux limites de détection de l'ICP et les eaux analysées ne contiennent donc aucun de ces éléments [Ouddane, 1997].

Se référant aux normes françaises [décret 89/3, 1995], et à l'Organisation Mondiale de la Santé [OMS, 1993], les analyses démontrent l'absence d'une pollution chimique métallique [RODIER, 1984], et révèlent la diversité chimique des sources [Bontoux, 1993] et leur caractère doux (dureté calcique comprise entre 14.6 et 24.7°F, excepté l'échantillon 18 dont la dureté est égale à 1.8°F). Certaines sources sont uniques, c'est le cas de la source Ain Al-Jaouzet à Hrar qui se caractérise par son aspect très faiblement minéralisé (conductivité 63 μ/cm), par la quasi absence des ions majeurs: Ca, Mg, Na, et K et la présence à l'état de trace de: Al, Si, Fe, Mn. La source de Ain Al-Aarbit à Barqayel se caractérise par son pH légèrement acide (pH = 5.6), par la faible teneur en Mg et par la présence du Ba et du Cr en quantité significative. La source de Ain El-Helzane à Jebraïel est la plus minéralisée de toutes les sources analysées (conductivité 310 μ/cm), c'est elle qui contient le plus de Ca, K, Na, Mg, Ni, B. Quant à la source de Ain El-Delbet à El-Qamouaa, elle se caractérise par sa pureté exceptionnelle et son pH légèrement basique (pH = 8.13). Les autres sources se regrou-

pent en fonction du caractère hydrogéologique des bassins de la région. En effet, les sources de l'aquifère Jurassique à Al-Aayoune, Nabaa Ain Yaacoub, Nabaa Bazbina, Ain Al-Aarousse, Ain Al-Fouar et Ain Al-Masad ainsi que les eaux souterraines de Al-Aayoune, Bazbina et Michmich, sont toutes de type bicarbonatées calciques. Alors que les sources de Nabaa Al-Safa, Nabaa El-Cabou, Nabaa El-Jaouz, Nabaa Fnédiq, Ain El-Banat, Ain Al-Houet et Ain Al-Delbet, provenant de l'aquifère cénomaniens, sont aussi caractérisées par une minéralisation à prédominance carbonatées avec une légère augmentation du taux de magnésium.

D'un autre côté, une analyse microbiologique a été effectuée sur les 4 premiers échantillons par l'Office des Eaux de Koubayat, les résultats obtenus sont donnés au tableau 5, qui montrent que de la pollution fécale est encore présente pour certaines sources.

Les analyses effectuées par le Ministère des Ressources Hydrauliques et Electriques sur 13 sources d'eau (puits et Nabaa) faisant partie du réseau d'eau potable de l'Office des Eaux de Akkar (dont les sources 5, 13, 14) indiquent que 6 d'entre elles présentent une contamination fécale (46%), alors que l'analyse du pH, de l'oxygène dissous, et des ions NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl⁻, calcium, magnésium est conforme aux normes en vigueur [MRHE, 1997].

Ech.	Site	Point d'eau	Altitude (m)	Aquifère	Remarques
1	Wadi Khaled	Nabaa Al-Safa	380	Cénomanién	Grande source du réseau d'adduction
2	Qatlabé	Nabaa El-Cabou	700	Cénomanién	Voir a
3	Koubayat	Eau souterraine	560	Cénomanién	Voir b
4	Qatlabé	Nabaa El-Jaouz	840	Cénomanién	Voir c
5	Al-Aayoune	Eau souterraine	584	Jurassique	Voir d
6	Ain Yaacoub	Nabaa Ain Yaacoub	695	Jurassique	
7	Bazbina	Nabaa Bazbina	670	Jurassique	Débit 300 m ³ /j
8	Bazbina	Eau souterraine	670	Jurassique	Voir e
9	Tikrit	Ain Al-Aarousse	561	Jurassique	Débit 500 m ³ /j
10	Rahbet	Ain El-Qarqah	551	Jurassique	
11	Rahbet	Ain Al-Fouar	560	Jurassique	
12	Jebrayel	Ain El-Helzane	429	Cénomanién	
13	Fnédiq	Nabaa Fnédiq	1300	Cénomanién	
14	Fnédiq	Ain Al-Houet	1340	Cénomanién	
15	Al Qamouaa	Ain Al-Delbet	1460	Cénomanién	Débit 1800 m ³ /j
16	Fnédiq	Ain El-Banat	1140	Cénomanién	Débit 1500 m ³ /j
17	Michmich	Eau souterraine	1063	Jurassique	Voir f
18	Hrar	Ain Al-Jaouzé	935	-	
19	Hrar	Ain Al-Masad	900	Jurassique	
20	Barqayel	Ain Al-Aarbit	298	Miocène	

TABLEAU 1. – Échantillonnage.
Sampling.

1. Échantillon pris dans une habitation à Aandket. Débit 700 m³/1.
2. Puits n° 1/3 de l'Office des Eaux de Koubayat, profondeur 275 m environ, débit 1300 m³/j.
3. Échantillon pris à l'Office des Eaux de Koubayat, débit 2000 m³/j.
4. Échantillon pris à la sortie de la station de pompage de l'Office des Eaux de Akkar. Une chloration est effectuée sur les 4 forages existants (profondeur 50 m).
5. Fontaine publique, puits privé, profondeur 45 m environ.
6. Fontaine publique, puits privé, profondeur 15 m environ.

Elément	Longueur d'onde (nm)	Limite de détection (µg/l)
Al	396.152	0.70
As	228.812	3.30
B	249.773	1.00
Ba	455.403	0.02
Be	234.861	0.02
Ca	422.673	0.10
Cd	228.802	0.20
Co	238.892	0.21
Cr	267.716	0.30
Cu	324.754	0.13
Fe	259.940	0.11
K	766.490	25
Li	670.784	0.25
Mg	279.806	2
Mn	257.610	0.02
Na	330.237	0.40
Ni	231.604	0.28
Pb	220.353	0.60
Si	251.611	0.10
V	292.402	0.64
Zn	213.856	0.05

Puissance (kW)	1.0
Tension du Photomultiplicateur (V)	650
Temps d'intégration (s)	3
Correction de fond	mode dynamique
Débit d'argon plasmagène (l/min)	15
Débit d'argon auxiliaire (l/min)	1.5
Vitesse de pompe péristaltique (rpm)	15
Pression de nébulisation (kPa)	300

TABLEAU 2. – Conditions opératoires de l'analyse des métaux par ICP-AES.
Operational conditions of the analysis of metals by ICP-AES.

Concentration Maximale Admissible		Ca	K	Mg	Na	Si	HCO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄	F	PO ₄
Ech.	Localité	Point d'eau	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	Wadi Khaled	Nabaa Al-Safa	72,41	1,14	30,49	1,21	2,69	17,05	9,25	10	0,40	0,12
2	Qatlabé	Nabaa El-Cabou	92,07	0,89	20,71	1,20	3,72	15,25	3,10	22	0,08	0,07
3	Koubayat	Eau souterraine	94,88	0,79	31,06	1,40	5,42	18,45	7,90	14	0,06	0,11
4	Qatlabé	Nabaa El-Jaouz	66,56	0,82	31,21	0,95	2,11	14,20	3,50	9	0,02	0,06
5	Al-Aayoune	Eau souterraine	98,40	1,46	38,49	1,43	3,08	19,50	16,70	19	0,00	0,05
6	Ain Yaacoub	Nabaa Ain Yaacoub	76,56	0,78	28,64	0,99	2,22	14,20	4,85	8	0,01	0,05
7	Bazbina	Nabaa Bazbina	76,91	0,81	25,37	0,99	2,28	14,20	4,40	11	0,00	0,08
8	Bazbina	Eau souterraine	76,86	0,84	25,22	0,96	2,26	14,20	5,70	11	0,00	0,07
9	Tikrit	Ain Al-Aarousse	87,85	1,01	38,74	1,30	2,80	18,10	6,60	9	0,01	0,15
10	Rahbet	Ain El-Qarqah	77,80	0,89	26,88	1,01	2,64	14,90	9,25	9	0,00	0,08
11	Rahbet	Ain Al-Fouar	80,53	0,89	30,01	1,14	3,23	15,60	4,40	21	0,00	0,07
12	Jebraïel	Ain El-Helzane	98,94	2,15	36,12	2,21	4,54	28,40	15,50	20	0,01	0,12
13	Fnédik	Nabaa Fnédik	71,12	0,91	31,40	0,84	1,72	11,35	10,10	7	0,00	0,05
14	Fnédik	Ain Al Houet	58,50	1,09	28,77	0,80	1,64	11,00	7,90	8	0,01	0,07
15	Al Qamoua	Ain Al Delbet	66,17	0,53	33,21	0,86	1,20	11,00	3,10	7	0,01	0,07
16	Fnédik	Ain El Banat	68,89	0,90	28,98	0,89	1,91	11,35	11,90	8	0,00	0,08
17	Mechmech	Eau souterraine	95,25	1,34	36,03	1,51	2,44	17,05	20,70	24	0,00	0,08
18	Hrar	Ain Al Jaouzé	7,413	0,62	2,71	0,92	5,12	12,45	16,70	7	0,00	0,11
19	Hrar	Ain Al Masad	93,50	0,91	21,32	1,36	3,80	18,10	10,55	33	0,01	0,05
20	Berqayel	Ain Al Arbit	81,64	0,60	7,15	1,34	4,30	19,5	6,60	6	0,01	0,06

TABLEAU 3. - Concentrations des constituants majeurs.
Concentrations of major constituents.

Ech.	Concentration Maximale Admissible		pH	Dureté	Conduct.	Al	B	Ba	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
	Localité	Point d'eau											
1	Wadi Khaled	Nabaa Al-Safa	7,30	18.1	234	68	6	4	2,62	0	0	9	0
2	Qatlabé	Nabaa El-Cabou	7,05	23	241	67	0	2	2,24	0	5	2	23
3	Koubayat	Eau souterraine	7,85	23.7	283	79	7	6	2,81	0	3	11	0
4	Qatlabé	Nabaa El-Jaouz	7,08	16.6	225	55	0	2	3,45	0	1	14	179
5	Al-Ayoune	Eau souterraine	7,26	24.6	309	65	0	4	2,14	0	2	8	0
6	Ain Yaacoub	Nabaa Ain Yaacoub	7,26	19.1	235	56	0	1	2,14	0	0	8	0
7	Bazbina	Nabaa Bazbina	7,58	19.2	221	61	0	2	2,05	0	0	0	0
8	Bazbina	Eau souterraine	7,60	19.2	216	61	0	2	2,18	0	3	0	26
9	Tikryt	Ain Al-Aarousse	7,89	22	283	70	0	3	3,45	0	0	0	0
10	Rahbet	Ain Al-Qarqah	7,60	19.5	230	64	0	2	5,49	0	0	7	0
11	Rahbet	Ain Al-Fouar	7,47	20.1	245	77	0	3	2,94	3	3	5	0
12	Jebrayel	Ain El-Helzanc	7,54	24.7	310	74	8	7	1,89	0	0	16	0
13	Fnédik	Nabaa Fnédik	7,24	17.8	230	65	0	4	2,05	0	0	9	0
14	Fnédik	Ain Al-Houet	7,48	14.6	199	56	0	4	2,18	0	3	0	0
15	Al-Qamoua	Ain Al-Delbet	8,13	16.5	215	67	0	3	1,33	0	0	0	0
16	Fnédik	Ain El-Banat	7,79	17.2	220	71	0	4	2,09	0	0	0	18
17	Michmich	Eau souterraine	8,14	23.8	288	70	0	13	3,19	0	0	5	12
18	Hrar	Ain Al-Jaouzé	6,30	1.8	63	105	0	0	2,67	33	15	12	0
19	Hrar	Ain Al-Masad	7,96	23.4	249	75	0	4	4,65	0	5	19	22
20	Barqayel	Ain Al-Aarbit	5,60	20.4	248	64	0	39	15,57	0	0	7	13

TABLEAU 4. – Concentrations des éléments mineurs et caractéristiques physico-chimiques des sources en eau analysées.
Concentrations of trace elements & Physico-chemical characteristics of water springs studied.

N.	Echantillon	Coliformes totaux (colonies)	<i>E. Coli</i> (colonies)
1	Wadi Khaled: Nabaa El-Safa	8	0
2	Qatlabé: Nabaa El-Cabou	1	0
3	Koubayat: Eau souterraine	8	2
4	Qatlabé: Nabaa El-Jaouz	1	0

TABLEAU 5. – Résultats de l'analyse microbiologique effectuée par l'Office des Eaux de Koubeyat.
Microbiological results effectuated by Koubeyat Water Authority.

DISCUSSION - CONCLUSION

Comme nous l'avons précédemment signalé, les différents aquifères à prédominance calcaire caractérisent les eaux de sources des plateaux de Akkar. Leur résurgence dépend étroitement de la lithologie et de la structure géologique des formations du Jurassique, du Crétacé et du Plio-quatenaire.

Les principaux aquifères des plateaux de Akkar sont d'après les dernières études [GUERRE 1969, PNUD 1970]:

- * Les aquifères des calcaires du Jurassique.
- * Les aquifères du Cénomano-Turonien.

Les aquifères jurassiques sont constitués par des dolomies et calcaires dolomitiques [Hakim, 1985], ils sont représentés au fond des vallées de Nahr Ostouène à Akkar Al-Aatika dans la partie amont du Nahr El-Bared ainsi qu'au sud de Koubayat. Ses couches sub-horizontales plongent au contact des épaisses assises imperméables du Crétacé Inférieur constituées par des grés et d'une série terrigène avec intercalation de niveaux volcaniques. Ces formations constituent une barrière hydrogéologique sérieuse et continue dont il ressort des sources en eau très importantes. Ces sources débordent soit par le contact stratigraphique soit par l'intermédiaire d'une faille. Parmi ces sources, nous citons: Nabaa Ain Yaacoub, Nabaa Bazbina et Ain Al-Arousse (Tikrit). Par ailleurs, nos analyses des eaux souterraines appartenant à cet aquifère ont été portées sur les forages de Bazbina, El Aayoun, et de Michmich. Dans l'ensemble des échantillons, les taux relativement élevés en bicarbonate et en calcium ainsi qu'en magnésium, semblent être liés à la composition de la roche et aux épaisses couches karstifiées du Jurassique, le rapport Mg/Ca est compris entre 0.33 et 0.44, il est de 0.50 pour les sources dont l'aquifère est plus dolomitique.

Les aquifères céno-mano-turonien sont constitués de: calcaires, de dolomies et de marno-calcaires

(600 m d'épaisseurs). Ces couches sub-horizontales en haute montagne, constituent une nappe perchée dont le substratum imperméable est formé par le complexe du Crétacé Inférieur. Donc certaines sources déversent aux pieds de hautes montagnes, d'autres débordent dans les moyens et bas plateaux, soit par contact stratigraphique, soit par des failles. En effet, l'excurgence de la petite source de Ain Al-Delbet (1460 m) semble être liée à l'arrivée des eaux au contact stratigraphique qui sont infiltrées surtout de la fonte des neiges. Ceci expliquerait la faible teneur en Ca (66 mg/l) et le pH un peu élevé (8.13). Les sources de Ain Al-Houet (1340 m) et Nabaa Fnédîq (1300m) seraient liées au contact stratigraphique, quant à Ain El-Banat (1140 m) à Fnédîq qui a priori est liée à Ain Al-Houet, elle dépend indirectement de la nappe du Crétacé par l'intermédiaire de la nappe associée aux dépôts des éboulis, en partie d'origine néogène. La source de Ain El-Cabou (700 m) est déterminée par la structure faillée de cette zone dont la cassure la plus importante est celle de la faille libano-syrienne de Yammounet. Dans la basse et moyenne montagne, les aquifères céno-mano-turonien aux structures plisso-faillées sont souvent représentés par des sources de débordement. La source de Ain El-Helzane à Jebrayel (429 m) dénote une forte teneur de minéralisation. Celle-ci s'expliquerait par sa situation dans une zone de transition avec les terrains volcaniques et sédimentaires. La nappe ainsi formée est à l'origine enrichie de magnésium provenant du lessivage de niveaux basaltiques.

La source Ain Al-Jaouzé à Hrar est un cas spécifique et unique parmi toutes les autres sources de la région, elle présente la particularité d'être très faiblement minéralisée avec une quasi absence des ions majeurs (Ba, Ca, Mg, K) et présence à l'état de trace de l'Aluminium et de certains oligo-éléments comme le Fe, Mn et le Si. L'oxyde de fer est visible dans la roche qui entoure la source, le manganèse est généralement associé au fer quoiqu'en quantité plus faible, ces résultats s'expliquent si l'on rappelle le mode de gisement de cette

nappe. En effet, la prédominance des grès ferrugineux et argileux de l'aptien inférieur lessivés par les eaux de pluies qui s'infiltrent enrichit les eaux en fer, silicium et aluminium. Rappelons que d'après les études cliniques sur les oligo-éléments présents dans l'eau [Chapuis, 1995], le fer est un élément essentiel à la santé de l'homme, il entre dans la constitution de l'hémoglobine, de la myoglobine et de nombreux systèmes enzymatiques; le manganèse est nécessaire à de nombreux métabolismes en particulier dans la régulation de la glycémie et dans la formation du squelette; quant au silicium, il est impliqué dans la croissance de l'os jeune et dans la constitution des cartilages des articulations.

La source de Ain Al-Aarbit à Barqayel se caractérise par son pH légèrement acide (5.6) et par la présence du Ba et du Cr à l'État de trace et par la faible teneur en Mg. Cette source de débordement liée à la présence d'une faille, s'individualise par rapport aux autres sources étudiées du fait de son mode de gisement (formation semi-perméable). Ceci pourrait expliquer les faibles teneurs en Mg, K, SO_4 alors que la teneur en Ca est comparable à celle des autres nappes. La faible teneur en HCO_3 serait liée à la petite aquifère du Miocène.

Cette étude préliminaire pourrait déclencher ultérieurement dans une perspective dynamique à

la fois dans le temps et dans l'espace, une étude d'appréciation des modifications de la composition physico-chimique des eaux des sources de Akkar au cours d'une année, en liaison avec des différents facteurs: pluviométrie, lithologie, hydrologie..., afin d'avoir une vision globale des caractéristiques des sources d'eaux d'Akkar, en vue de l'exploitation de certaines d'entre elles.

Il est bien évident que cette étude ne suffit pas à elle seule pour faire la constatation définitive, mais c'est la première pierre dans une étude plus générale. Il faudrait en premier lieu, instaurer un périmètre de protection autour de ces sources afin de les sauvegarder des pollutions fécales (humaines ou animales), ensuite, approfondir les connaissances hydrologiques et étudier la flore bactérienne de ces sources, effectuer des études cliniques, et enfin vérifier la stabilité des qualités biologiques et chimiques au cours de l'année.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le CNRS libanais pour le soutien accordé à la réalisation de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- Afnor: (1995) « *Recueil des normes françaises, Eaux-Méthodes d'essai* », Paris.
- Baltagi A.: (1997) « *Général aspects of water quality control by Ministry of Public Health* ». WHO seminar on drinking water quality, 24-26 June, Beirut.
- Bontoux J.: (1993) « *Introduction à l'étude des eaux douces* ». Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris
- Chapuis Ph., Favier A.: (1995), « *Les oligo-éléments en nutrition et en thérapeutique* », SFERETE - Lavoisier TEC & DOC- Editions Médicales Internationales, Paris.
- Décret 89/3 modifié: (1995) « *Eaux destinées à la consommation humaine* », Ministère de la Santé Publique et de l'Assurance Maladie, Paris.
- Guerre A.: (1969) « *Contribution à l'étude hydrologique de la plaine d'Akkar et ses confins (Liban-Syrie)* ». 1^{re} Thèse 3^e cycle, Montpellier.
- Guerre A.: (1969) « *Étude comparative du tarissement des principales sources karstiques du Liban* ». 2^e Thèse 3^e cycle, Montpellier.
- Hakim B.: (1985) « *Recherches hydrologiques et hydrochimique sur quelques Karsts Méditerranéens, Liban, Syrie et Maroc* ». Publications de l'Université Libanaise, Beyrouth.
- Halwani J., Hamze M.: (1998) « Pollution chimique et microbiologique des eaux souterraines de la plaine du Akkar (Liban du Nord), et leurs conséquences éventuelles sur la santé humaine ». *Lebanese Scientific Research Reports*, vol. 3, No. 1, p. 33-47.
- Hamze M.: (1996) « Résultats préliminaires des examens bactériologiques des eaux de 58 sources et puits dans le nord du Liban », *Lebanese Science Bulletin*, vol. 9, p. 45-56.
- Mrhe: (1997) « *Résultats d'analyse des puits de l'Office de Akkar en 1996* », Ministère des Ressources Hydrauliques et Electriques - Beyrouth, Rapport interne.
- Oms: (1993) « *Directives de qualité pour l'eau de boisson* », volume 1: Recommandations, 2^e édition. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- Onu: (1970) « *Études des eaux souterraines au Liban* ». PNUD, Programmes des Nations Unies pour le Développement, Beyrouth.
- Ouddane B.: (1997) « *Comportement des métaux en milieu estuarien* », Habilitation à Diriger des Recherches, H161, Université de Lille 1.
- Rodier J.: (1984) « *L'analyse de l'eau* », 7^e édition, Dunod, Paris.