Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 127 (2004)

Artikel: Impact des rejets des eaux résiduaires sur la qualité physico-chimique et algologique du Naher Antélias

Autor: Saad, Z. / Slim, K. / Khalat, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89616

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IMPACT DES REJETS DES EAUX RÉSIDUAIRES SUR LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE ET ALGOLOGIQUE DU NAHER ANTÉLIAS

Z. SAAD[1,2], K. SLIM[1,2], G. KHALAF [2,3] & O. EL SAMAD[1]

[1] Commission Libanaise de l'Energie Atomique (CNRS), P.O.Box 11-8281

[2] Faculté des Sciences Université Libanaise.

[3] Centre National des Sciences Marines (CNRS)

Mots-clés : Rivière, Liban, conditions physico-chimiques, pollution, diatomées, bioindication

Key words : River, Lebanon, physical-chemistry, pollution, diatoms, bioindication

Résumé

L'Antélias, cours d'eau côtier libanais de 3 km de long qui fournit de l'eau dans le nord de Beyrouth, a fait l'objet d'une étude physico-chimique et algologique. Quatre stations représentatives de l'aspect morphodynamique de son bassin ont été choisies de la source jusqu'à l'embouchure. Les échantillons ont été collectés durant un cycle annuel (2000-2001). Les ions Cl^-, HCO_3^- SO_4^{2-}, NO^{3-}, les métaux majeurs (Ca, Mg, Na, K) et les métaux à l'état de trace (Cd, Pb, Cu, Mn, Fe, Cr, Ni, Zn) ont été analysés. Les résultats obtenus montrent la transformation d'une eau douce au niveau de la source en une eau dure et fortement polluée à l'embouchure. Cette eau est de nature bicarbonatée calcique avec une dissolution nette de l'anhydrite et de la dolomite reflétant une qualité basique (pH=8, 3). Les teneurs en cations et en anions varient selon l'ordre: Ca>>Mg>Na >K et HCO^{3-} >>Cl^- >SO_4^{2-} et correspondent aux valeurs obtenues dans la plupart des rivières libanaises. Les rapports du Na/Cl et du K/Cl mettent en évidence l'influence de l'aérosol marin. Des teneurs élevées en sulfates ont été trouvées surtout dans les zones urbaines et industrielles. Les concentrations des métaux à l'état de trace augmentent considérablement selon les conditions climatiques qui conditionnent l'évaporation et selon les influences anthropiques. L'étude de la flore algale confirme l'état de dégradation de ce cours d'eau. Les diatomées, qui sont des bioindicatrices fiables de la qualité des eaux, présentent une diversité très hétérogène entre les différentes stations, et reflètent une pollution aiguë surtout en période estivale.

Summary

Waters from the Antélias river that supplies water to the north of Beirut region, were sampled bimonthly during 2000-2001, and analyzed for major ions (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, NO^{3-}, HCO_3^-, and trace metal (Cd, Pb, Cu, Mn, Fe, Cr, Ni, Zn,). The major ion composition in the river is predominantly influenced by sea-salt aerosols in rain water, with a cationic dominance order Ca>>Mg>Na>K and anionic order

of $HCO_3^- >> Cl^- > SO_4^{2-}$. These results are very similar to the common natural major ion assemblages established for Lebanese rivers which tend to be predominantly influenced by chemical weathering of rocks and minerals. The mean concentrations of trace elements in the freshwater of the coastal stations increase remarkably. Increases in major ion and trace elements concentration are mainly due to climatic factors and anthropogenic activities resulting from urban and industrial effluents during the summer period. The mean concentration of the major ions, which decrease by a factor of 1.5-3.0 with decreasing water discharge, can be attributed also to the evaporation effects. The diatoms, that are the most reliable bioindicators of the water quality, present a heterogeneous biodiversity among the different stations and reflect an acute pollution especially during the summer season.

INTRODUCTION

La qualité de eaux de surface au Liban s'est dégradée sous l'influence de divers facteurs anthropiques (SLIM *et al.,* 2000). En effet, l'eutrophisation des eaux de surface due aux déchets d'origine humaine et agricole et la nitrification des eaux souterraines imputable aux pratiques agricoles ont touché de grandes parties de rivières au Liban (SAAD *et al.*, 2003 ; OULABI *et al.*, 1999). L'acidification des eaux de surface à cause de la pollution atmosphérique est un phénomène récent qui met en péril des organismes aquatiques dans bien des régions (SAAD *et al.*, 2000).

Le Naher Antélias est un cours d'eau libanais de 3 km de long situé à 5 km au nord de Beyrouth. Il coule dans un bassin versant caractérisé par la présence de restaurants au niveau de la source, d'habitations et de fermes dans sa partie moyenne et d'une grande agglomération urbaine et industrielle, le village d'Antélias, avant son embouchure dans la mer. L'ensemble des activités des riverains a affecté cet écosystème et a entraîné une modification physico-chimique et biocénotique de la qualité de ses eaux qui étaient reconnues pour leur potabilité et étaient encore utilisées à cette fin il y a une vingtaine d'année.

La présente note envisage:
- l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et des polluants minéraux sur un cycle annuel.
- la description des peuplements algaux de la source à l'embouchure, en rapport avec les modifications du milieu.

Les paramètres physico-chimiques généralement utilisés pour l'étude de la qualité des eaux sont les cations (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+) et les anions (Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-) connus collectivement comme étant des ions majeurs. Les concentrations de ces derniers sont des descripteurs de base de la qualité de l'eau sur lesquels se fondent bien des critères d'utilisation de l'eau potable ou de celle destinée à des fins agricoles et industrielles. Le calcium, le cation le plus communément trouvé dans les eaux de surface au Liban, dépend principalement des dépôts de carbonates ou de gypse. Les concentrations de magnésium dans l'eau ne sont guère dépendantes des activités humaines, c'est pourquoi il n'est pas utilisé comme indicateur de pollution.

Dans la plupart des cours d'eau libanais, les concentrations de sodium et de chlorures sont étroitement liées. Les deux proviennent en grande partie d'aérosols d'origine marine. La concentration des ions sulfates (SO_4^{2-}) est très variable et dépend en grande partie de l'intensité des activités industrielles (ACKERMAND *et al.*, 1970; NIKANOROV & TSIRKUNOV, 1984). L'analyse chimique est le principal moyen d'identifier la nature et les concentrations des polluants. Certains bioindicateurs maintenant assez bien connus permettent également de déterminer le type d'eau dans lequel ils vivent et son degré de pollution. Et cela grâce à leur capacité d'intégration des facteurs du milieu. Par exemple, les diatomées dépendent directement des nutriments disponibles et sont particulièrement sensibles aux formes d'azote et au phosphore présents dans les eaux résiduaires. Lorsque la teneur de ces éléments augmente, la mosaïque d'espèces se modifie rapidement: les espèces sensibles régressent au profit des plus résistantes.

CHOIX ET CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS

Le cours d'eau Antélias est alimenté par une résurgence, le Fouar Antélias. à 27 m d'altitude (800 l/s) et par deux sources, le Nabaa Tannour (200 l/s), et le Mquasbiyé (75 l/s). Ces eaux proviennent d'un cours d'eau souterrain situé en amont et qui alimente la région nord de Beyrouth. Cette relation a été mise en évidence par HAKIM & KARKABI (1988), par injection de fluorescéine dans le gouffre de Faour Dara distant d'une trentaine de km. Le colorant a été retrouvé à Antélias après 10 jours.

Les stations de mesures choisies par KHALAF (1997) ont été adoptées ici (fig.1) :

La station A: à la source, au voisinage d'un restaurant. Le fond est recouvert de blocs et de grands cailloux à moitié émergés. Cette station est caractérisée par la présence permanente de débris organiques provenant du restaurant.

La station B: à 1 km en aval de la source. Le fond est recouvert de roches et de cailloux de différentes tailles. Les plantes aquatiques et les algues filamenteuses se développent en abondance.

La station C: à 800 m en amont du village d'Antélias. Le fond est recouvert de galets et de graviers entre lesquels il y a des plages de sable. Ce secteur est caractérisé par la présence d'installations qui polluent sans cesse le cours d'eau (vidange des voitures, restaurants, laiterie…).

La station D: à 30 m de l'embouchure en mer et en aval du village d'Antélias. Le fond est meuble, caractérisé par la présence de sable et de limon réducteur de couleur noire et par l'absence de plantes immergées. Cette station est sujette au déversement continu des eaux d'égouts de l'agglomération d'Antélias.

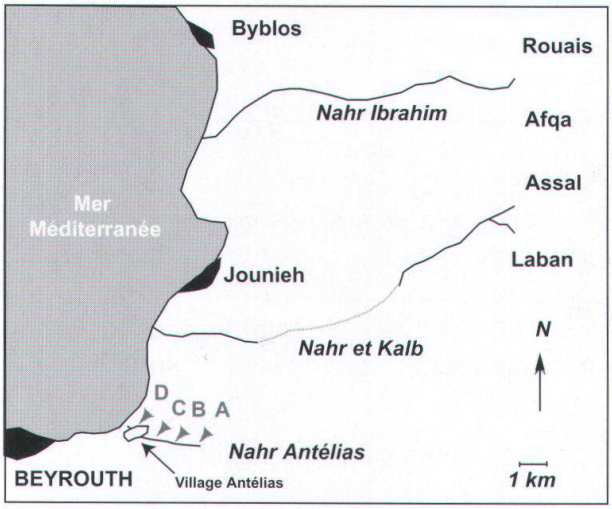

Figure 1: Localisation des stations le long du Nahr Antélias.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Mesures physico-chimiques

Un prélèvement bimensuel de 1 litre a été collecté durant la période allant de juillet 2000 à juin 2001 et conservé dans des bouteilles en polyéthylène préalablement traitées à l'acide nitrique 1%v/v. La mesure du pH a été effectuée sur le terrain en utilisant une électrode en verre combiné. Tous les échantillons ont été filtrés à travers un filtre Millipore 0, 45-µm. Une partie destinée à l'analyse des métaux a été acidifiée avec de l'acide nitrique 0, 2% v/v, et conservé à 4°C. L'étude des métaux a été réalisée à l'aide de la technique d'absorption atomique (Perkin Elmer, analyst 100 équipé d'un four en graphite HGA 800). Des méthodes standard d'analyses ont été suivies pour déterminer la concentration des différents métaux (ANDREW *et al.,* 1995). Une flamme air-acétylène a été utilisée pour la détermination des éléments majeurs tels que: Ca, Mg, Na et K. Pour éliminer les effets de l'ionisation, nous avons ajouté du chlorure de lanthanide. Pour les métaux (lourds et de transition) se trouvant en faibles concentrations, nous avons utilisé un four en graphite. Les concentrations des métaux qui se trouvent sous la limite de détection de l'appareil (Cd, Mn, Cu, Pb) ont été déterminées par une méthode de

préconcentration par digestion en milieu acide. Pour éliminer les phénomènes d'interférence, nous avons utilisé une matrice convenable pour chaque métal (MANNING & SLAVINI, 1983). Les ions tels que NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-} et SO_4^{2-} ont été mesurés par chromatographie ionique (Dionex IC 25). Les données analytiques des différents paramètres ont été interprétées en utilisant le programme AquaChem (Gww1996), qui a fourni la balance ionique des différents ions avec un rang variant entre 0, 1% et 6, 1%, ainsi que les pourcentages des différents minéraux dissous.

Etude des algues

Les diatomées épiphytes ont été séparées des algues filamenteuses et parfois des mousses récoltées dans les différentes stations. Des grattages des substrats naturels (essentiellement pierres immergées) ont été effectués afin de récupérer la microflore cyanobactérienne et diatomique. Une partie de l'échantillonnage a été traitée à l'acide nitrique chaud pendant 10 minutes, puis montée dans un baume à indice de réfraction élevé (Naphrax) pour la préparation sur lames de verre. L'examen microscopique a été effectué avec un microscope à fond clair

L'identification et la nomenclature des diatomées sont basées principalement sur HUSTEDT (1930, 1949) ; mais elles tiennent compte de la révision de LANGE-BERTALOT (1980) pour le genre *Fragilaria*. Les travaux suivants ont été aussi utilisés : EHRLICH (1973, 1995), FOGED (1980), GERMAIN (1981) et SCHOEMAN (1973).

Pour les Cyanophytes (algues bleues) les références taxonomiques principales sont GEITLER (1925) et BOURRELLY (1970), et pour les Chlorophytes (algues vertes), BOURRELLY (1966) constitue la référence principale.

RÉSULTATS ET DISCUSION

Etude physico-chimique

Le tableau 1 rassemble les valeurs des différents paramètres physiques et chimiques durant la période d'étude.

Les valeurs du pH des résidus après évaporation à 105°C (TDS=Total Dissolved Solid) et de la conductivité varient respectivement entre 6, 7 et 8.3, 250-573 mg/l et 350-741µscm^{-1}; elles caractérisent les eaux douces avec une tendance à la dureté (DREVER, 1988) ou polluées. La figure 2 illustre des variations en conductivité électrique et en TDS dans la station D par rapport aux autres stations, suite à des rejets intenses d'eaux résiduelles et urbaines.

La figure 3 présente les variations des anions et des cations dans les différentes stations.

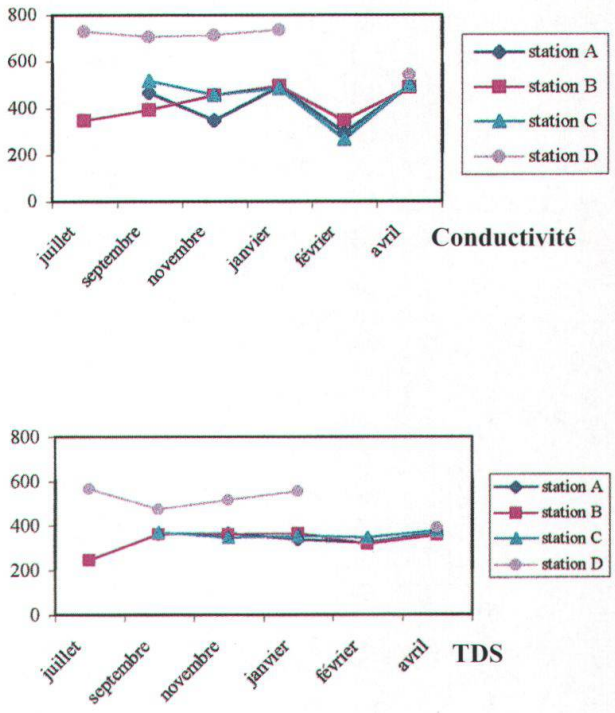

Figure 2: Variations de la conductivité et du TDS dans la rivière Antélias.

Mois	Station/ (débit m3/s)	pH	Conductivité μscm^{-1}	TDS mg/l	SO_4^{2-} mg/l	Cl^- mg/l	HCO_3^- mg/l	NO_3^- mg/l	NH_4^+ mg/l	Ca^{2+} mg/l	K^+ mg/l	Mg^{2+} mg/l	Na^+ mg/l	Na/Cl	Ca/Mg
Juil. 00	B (0.75)	8.0	351.0	250.0	0.9	16.0	93.2	7.6	0.11	95.1	1.1	10.3	8.0	0.5	9.5
	D	7.2	734.0	573.0	0.8	35.0	135.0	6.3	0.55	131.1	3.9	11.8	14.7	0.4	10.9
Sept. 00	A	8.1	470.0	365.0	5.1	15.0	110.0	5.8	0.14	109.3	0.5	10.7	6.9	0.5	10.9
	B (0.50)	8.2	395.0	366.0	0.1	18.0	105.0	5.7	0.18	109.9	0.6	10.7	7.0	0.4	10.9
	C	8.2	520.0	372.0	0.1	18.0	115.0	5.9	0.18	111.9	0.7	11.2	7.8	0.4	10.9
	D	7.9	711.0	480.0	0.1	35.0	120.0	0.3	0.92	103.9	2.9	12.1	14.2	0.4	7.3
Nov. 00	A	7.1	350.0	370.0	8.9	51.0	95.0	7.0	0.22	151.7	0.9	13.3	8.4	0.2	11.6
	B (1.50)	7.7	460.0	365.0	8.8	55.0	190.0	6.9	0.11	236.6	0.9	14.1	8.3	0.1	16.8
	C	8.1	460.0	348.0	9.2	32.1	170.0	6.0	0.21	208.8	13.8	13.8	0.9	0.1	16.1
	D	8.2	720.0	522.0	13.7	38.0	220.0	0.3	1.93	219.6	4.7	15.7	15.4	0.4	14.6
Janv. 01	A	7.4	495.0	340.0	12.6	9.2	85.0	4.9	0.19	103.1	1.0	9.2	7.6	0.8	11.4
	B (3.00)	7.7	500.0	370.0	14.0	14.0	94.0	4.8	0.23	99.9	2.5	9.2	12.6	0.9	11.1
	C	8.3	486.0	355.0	13.3	9.7	101.0	4.7	0.96	105.1	0.9	8.5	7.9	0.8	13.4
	D	7.7	741.0	560.0	17.9	24.2	120.0	3.2	2.01	113.3	4.6	9.9	32.8	1.4	11.3
Fév. 01	A	6.9	298.0	325.0	10.7	8.6	80.0	4.9	0.18	86.2	0.9	5.4	6.9	0.9	17.3
	B (3.50)	7.3	351.0	320.0	10.7	8.6	80.0	4.8	0.37	79.6	0.9	5.4	7.0	0.8	15.8
	C	7.1	269.0	350.0	11.5	10.9	88.0	5.2	0.50	79.5	1.4	9.2	10.2	0.9	8.6
Avril 01	A	6.7	495.0	370.0	11.6	8.6	89.0	4.7	0.21	87.9	1.1	7.7	7.1	0.8	11.4
	B (5.50)	7.1	493.0	360.0	12.0	9.1	88.9	5.2	0.47	85.8	1.2	7.6	7.7	0.8	12.1
	C	7.5	501.0	380.0	12.6	9.5	76.5	5.3	0.68	83.5	1.2	7.7	8.1	0.9	11.8
	D	7.3	547.0	395.0	13.6	12.7	100.0	6.3	4.33	92.0	1.9	8.3	14.1	1.1	11.5
Juin 01	A	7.4	495.0	485.0	10.5	9.3	75.5	3.0	0.67	75.5	1.5	9.5	5.6	0.6	8.3
	B (3.50)	7.7	500.0	450.0	13.9	14.0	85.5	6.5	0.88	80.9	2.5	12.9	12.6	0.9	6.1
	C	8.3	590.0	586.0	13.3	9.7	80.5	4.7	5.79	75.5	1.5	12.8	8.9	0.9	6.1
	D	7.7	741.0	522.0	17.8	24.5	100.5	3.5	10.20	85.5	4.6	9.5	32.9	1.3	9.5

Tableau 1: Variations des paramètres physico-chimiques dans la rivière Antélias.

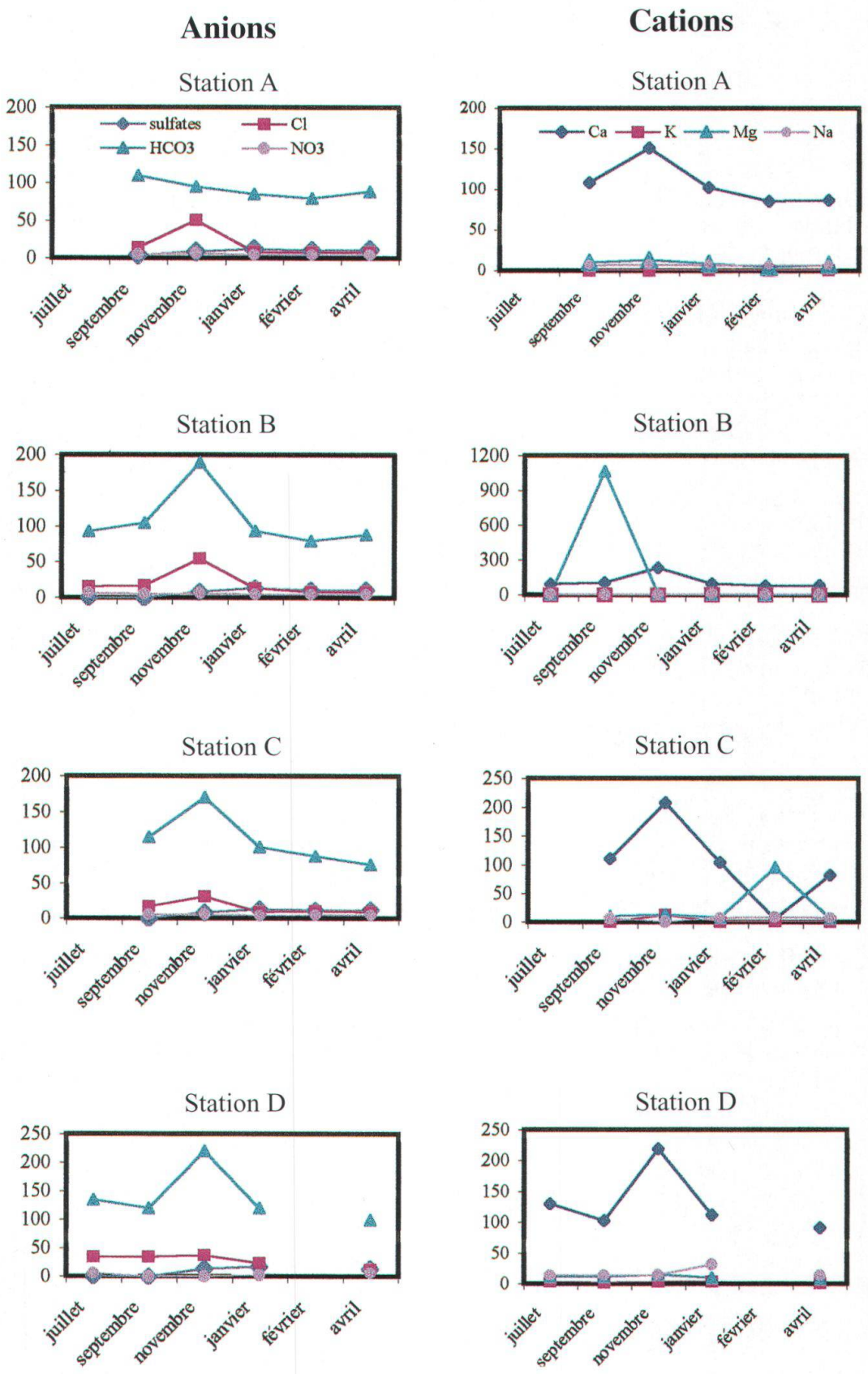

Figure 3: Variations des cations et des anions de la rivière Antélias.

Variations des anions

Les concentrations en bicarbonates HCO_3^- sont assez élevées (76-220) mg/l, indiquant la nature carbonatée calcique du bassin. Une gamme assez large a été trouvée pour les sulfates SO_4^{2-} : 0, 1-17, 9 mg/l. Les plus faibles valeurs en sulfate ont été obtenues durant la période d'été, indiquant une absence de dissolution. Celle-ci augmente progressivement avec l'accroissement du débit en période hivernale (10 m^3/sec) et entraîne une teneur remarquable en dolomite $CaMg(CO_3)_2$ et en anhydrite ($CaSO_4$), minéral considéré comme source principale d'ions SO_4^{2-}. Une présence très faible en NH_4^+ est obtenue dans les trois premières stations mais une augmentation considérable est observée dans la station D (0, 5-10,2 mg/l), conséquence d'une pollution d'origine anthropique (Buijisman, 1987). Les ions Cl^- fluctuent assez considérablement (8, 6-55, 0 mg/l) surtout de novembre à janvier (fig. 2). Ceci peut être attribué à l'apport élevé des aérosols marins, caractérisés par un rapport Na/Cl de 0.8 (Hem, 1985). La variation du rapport Na/Cl se manifeste sur l'ensemble de la rivière, de faible longueur et localisée près de la côte. La faible variation des nitrates (0,3 - 7,6 mg/l) est peut être due à l'absence d'activité agricole dans cette région industrielle et urbaine (Van Der Molen *et al.*1998, Halawani *et al.,* 1999). Les sulfates subissent une variation plus marquée, expliquée par l'érosion des roches et les rejets industriels (Saad *et al.,* 2002 , Markich *et al.,* 1998).

Variation des cations

Le potassium se trouve en faible teneur avec une variation assez restreinte (0,5 - 5,0 ppm), le rapport du K/Cl varie entre 0, 03 et 0, 20, les valeurs minimale et maximale étant en accord avec le rapport précipitations/eau de mer, un excès en potassium peut être relié à une pollution d'origine anthropique (Johnson, 1981). Le magnésium est plus présent que le potassium, conséquence de la dissolution de la dolomite $CaMg\ (CO_3)_2$, qui reflète la nature du sol dans le bassin versant. Les teneurs en calcium sont en général très élevées dans toutes les stations. On sait en effet que dans l'ensemble, les eaux du bassin sont essentiellement bicarbonatées calciques, résultat de la dissolution de la calcite et de la dolomite qui sont les constituants majeurs du sol libanais (Tixier, 1972, Wakim, 1968 et Slim *et al.*, 2000). Le rapport du Ca/Mg qui varie entre 6 et 17 confirme la dissolution très forte du calcium et du magnésium (Dojilodo, 1993).

En conséquence, les eaux de la rivière sont de type bicarbonatées-calciques avec des teneurs en ions variant selon l'ordre suivant : $Ca^{2+}>Mg^{2+}>Na^+>K^+$ pour les cations, et $HCO_3^->Cl^->SO_4^{2-}$ pour les anions, ce qui se retrouve dans la plupart des rivières mondiales (Meybeck & Helmer, 1989). L'eau de précipitation dans cette région suit le même ordre de variation des anions et des cations (Saad, 2000).

Concentrations des métaux traces (tab. 2)

On note une augmentation des teneurs de la source à l'embouchure, les eaux subissant l'influence des rejets urbains et industriels particulièrement en période d'étiage (juin à novembre). Une concentration particulièrement élevée en plomb est détectée dans les stations C et D : 65 et 66 µg/l (le taux maximal admissible est 30 µg/l selon l'OMS) ce qui confirme la présence d'une pollution d'origine industrielle (Cawse, 1974). Les stations C et D sont également riches en cadmium, en cuivre et en chrome, les valeurs mesurées étant élevées par rapport aux autres eaux libanaises (Slim *et al.*, 2000, Oulabi *et al.,* 1999). En général, le cuivre existe en faible teneur dans le sol libanais (Abbud & Aker, 1986). Les concentrations en zinc, nickel, manganèse et fer varient largement, suite à la dissolution, à l'évaporation, aux facteurs climatiques et aux

Mois	Station	Pb	Cd	Fe	Mn	Cr	Zn	Cu	Ni
Juil. 2000	B	6.21	0.11	17.29	0.81	0.29	23.26	1.91	31.32
	D	0.01	0.29	28.47	1.23	0.27	17.78	2.04	160.63
Sept. 2000	A	6.57	0.29	16.13	3.09	2.17	60.96	2.66	2.41
	B	45.73	0.30	71.31	5.23	2.08	51.20	1.97	13.25
	C	65.25	0.29	79.59	4.17	40.01	27.46	3.14	125.80
	D	66.77	2.03	397.32	83.51	21.75	696.80	9.73	329.11
Nov. 2000	A	17.31	0.62	9.31	25.66	19.72	49.27	2.19	6.96
	B	21.66	0.39	112.02	9.42	22.00	45.55	0.95	12.21
	C	25.11	1.19	213.68	32.75	21.64	43.89	7.67	114.84
	D	58.66	3.97	171.6	67.23	23.86	314.00	10.13	272.09
Fev. 2001	A	9.72	0.09	21.31	10.71	0.63	19.87	1.54	28.37
	B	29.31	0.14	63.54	25.89	4.13	27.03	1.99	18.42
	D	45.16	1.46	310.16	59.03	31.29	413.91	8.47	201.92
Avril 2001	A	11.75	0.09	26.52	0.99	0.61	16.28	0.81	8.48
	B	27.97	0.11	48.98	8.14	1.82	27.22	1.92	15.70
	C	30.24	0.92	93.61	27.71	2.07	35.91	3.36	92.80
	D	29.61	1.03	120.26	44.01	11.51	216.00	7.42	150.42
Juin 2001	A	6.03	0.09	19.45	0.09	0.33	24.25	1.01	26.10
	B	15.21	0.26	58.73	6.16	2.27	30.91	1.06	41.56
	C	20.90	0.33	105.84	6.05	2.97	30.89	3.51	52.44

Tableau 2: Concentrations en métaux-traces (µg/l).

activités anthropogéniques (SCOULLOS & HATZIANTIS, 1989).

Description sommaire de la flore algale et de son évolution au cours de l'année

Quatre-vingt deux espèces et douze variétés ont pu être identifiées. Les diatomées totalisent, à elles seules, 58 espèces dont 51 appartiennent aux Pennales (tab. 3).

Le répertoire des algues non siliceuses est pauvre par rapport aux diatomées et nous n'avons observé une quasi-constance que chez des chlorophycées filamenteuses comme *Chaetophora elegans* et *Stigeoclonium tenue* avec une poussée printanière. A la station D, *Draparnaldia glomerata* croissait sur les substrats naturels en milieu extrêmement pollué (juin) accompagnée de cyanobactéries durant les mois chauds: *Oscillatoria tenuis* , *Phormidium retzii* et *Microcoleus minimus.*

Les diatomées dominent de loin l'ensemble des algues de ce cours d'eau. Dans les quatre stations, on note la présence constante durant l'année de *Cocconeis placentula, Melosira varians* et *Fragilaria ulna.* Ces espèces sont accompagnées, avec divers degrés d'abondance, par *Achnanthes minutissima* var. *cryptocephala, Nitzschia palea* et *Navicula cryptocephala* .

La station D est toujours la plus riche et la plus diversifiée en espèces. En été, on y note une fleur d'eau de *Nitzschia spp* et notamment *N .palea* , *N. commutata,* accompagnées de *Navicula halophila* et *Epithemia zebra.* Par contre, à la station A, où la qualité des eaux est satisfaisante du point de vue chimique, la flore diatomique est constituée surtout de *Rhoicosphenia curvata, Achnanthes minutissima* var. *cryptocephala, Diatoma vulgare* et *Gomphonema parvulum.* En hiver, on observe une régression complète des communautés algales due aux

phénomènes dynamiques (vitesse du courant, remaniement du substrat du fond) et à l'amélioration de la qualité des eaux en raison de la dilution.

Effets de la pollution sur la distribution des diatomées

Ces algues dépendent directement des nutriments disponibles et sont particulièrement sensibles aux formes de l'azote et aux métaux fréquents dans les eaux polluées. Lorsque la teneur en ces éléments augmente, la mosaïque d'espèces se modifie rapidement: les espèces sensibles régressent au profit des espèces résistantes.

Le Naher Antélias est touché par la pollution et les paramètres qui la caractérisent (ammonium, métaux) progressent de la source à l'embouchure (0, 67 mg/l à 10.30 mg/l d'ammonium et des teneurs en métaux lourds très élevées à la station D).

Plusieurs espèces présentes dans les stations A et B telles que *Cymbella tumida, Pinnularia viridis* et *Fragilaria capucina* ne se retrouvent plus en aval de la rivière. D'autres espèces telles que: *Gomphonema micropus* et *Nitzschia commutata* sont abondantes. Elles caractérisent la station D qui est sujette à des déversements continus d'eaux résiduaires (produits de vidange et de graissage des voitures, déchets divers). Il faut noter toutefois que des espèces très polluorésistantes peuvent être fortement représentées dans la station A déjà, par exemple *Gomphonema parvulum*, *Navicula accomoda* ou *Nitzschia palea.* La prolifération des espèces de *Nitzschia*, qui résulte de la minéralisation des matières organiques, est une très bonne indication du degré d'eutrophisation. En plus, nous avons décelé des formes anormales ou tératogènes de *Diatoma vulgare* à la station (D). Pierre (1976) a noté la présence de formes anormales de *Surirella ovata* suite aux perturbations du milieu. Rizet (1977) a pu reproduire en culture certaines déformations chez *Fragilaria ulna* sous l'action de divers pesticides. Dans la liste de Palmer (1969), qui comprend les 80 espèces les plus caractéristiques d'une pollution organique, figurent 20 espèces du répertoire diatomique du cours d'eau Antélias, dont quelques-unes se placent en tête de la liste, telles que *Nitzschia palea, Fragilaria ulna et Melosira varians.*

CONCLUSION

Les résultats physico-chimiques montrent une variation considérable, dans le temps et dans l'espace, de la qualité des eaux du Naher Antélias. Depuis la source jusqu'à l'embouchure, nous assistons à une élévation des valeurs du TDS et de la conductivité électrique. Les eaux du bassin sont typiquement bicarbonatées calciques, reflétant la nature du sol libanais. Une élévation en sulfate est très marquée en période de haut débit, en raison de la dissolution de la dolomite et des rejets des eaux usées. L'influence de l'aérosol marin est mise en évidence par les rapports du Na/Cl et K/Cl. Les teneurs en métaux à l'état de trace, et spécialement du Pb, subissent une augmentation assez nette de la source à l'embouchure en raison de l'évaporation et des activités industrielles et ménagères.

Les peuplements de diatomées reflètent les caractéristiques chimiques des eaux (effet du calcium, eutrophisation, pollution). Elles suivent le gradient de pollution, et réagissent aux irrégularités des rejets. Il n'est dès lors pas étonnant de constater un changement important des communautés algales de la station A à la station D. En particulier, aux teneurs élevées en azote minéral et organique correspond la dominance des espèces résistantes et une diminution des espèces sensibles à ce type d'apport.

Tableau 3: Liste et distribution des algues du cours d'eau Antélias en 2000-2001.
Les lettres correspondent aux stations (voir p. 71). Les astérisques indiquent le degré d'abondance et le point noir les espèces indicatrices.

Les Cyanobactéries							
	Juil.	Oct.	Nov.	Dec.	Fev.	Avr.	Jui.
Dactylococcopsis irregularis *G.M. Smith*		C					
Mastococladus lamonisus *Cohn.*	D						
Merismopedia glauca *(Her) Näg.*	C						
Microcoleus minimus *Fermy*		C			D		D
M. vaginatus *(Vaucher) Gom.*	B,C						D
Oscillatoria amphibia *Ag.*	D**	C					
O. tenuis *Ag.*	C,D*	A,B				D	D
Phormidium retzii *(Ag.) Gom.*		C*			B,C	A-C	D
Plectonema boryanum *Gom.*					D		
P. purpureum *Gom.*	B-D*						
Pleurocapsa minor *Hansg.*		C					
Pseudoanabaena catenata *Lauterb.*	B	C				A	
Les Chlorophytes							
	Juil.	Oct.	Nov.	Dec.	Fev.	Avr.	Jui.
Chaetophora elegans *Ag.*	B,C	A	A	A	B	A-D	A
Closterium ehrenbergii *Menegh.*	C						
C. lunula *(Mull) Nitz*	C						
Coelastrum microsporum *Näg.*							
Cosmarium reniforme *(Ralfs) Arch.*	B,C					A	
Draparnaldia glomerata *Ag.*						D	D
Oedogonium sp.		A					
Scenedesmus acutus *Meyen*	C,D						
S. ecornis var. ecornis *Kamm.*	C,D				C*		
Spirogyra lambertiana *Truseau*	A,B	B				A,B	A,B
Stigeoclonium tenue *Kütz.*	D	B	B	B	B*-D*		
Ulothrix zonata *Kütz.*		A				D	
Les Diatomées							
	Juil.	Oct.	Nov.	Dec.	Fev.	Avr.	Jui.
Achnanthes exigua var. heterovalvata *Grun.*	A-D	D					
• A. lanceolata(*Bréb.) Grun.*	B	A	A-D	D	D	D	
• A. l. var elliptica *Cleve*		A					
A. minutissima var cryptocephala *Grun.*	A-D	A-D	A-D	A-D	D	C,D	B,C
• Amphora montana *Krasske*			A-C				
A.ovalis *Kütz.*	A						
A. o var pediculus *Kütz.*				A	D	D	D
Caloneis bacillum *(Grun.) Meresh.*	D		D		D		
Cocconeis placentula *Ehr.*	A-D	A-D	A-D	A-D	A-D	A-D	A-D
C.p.var euglypta *(Ehr.) Cleve*	A-D	A-D	A,B	A-C	A-C	A-C	A
• Cyclotella meneghinina *Kütz.*	C,D	C,D	C	C			A-D
Cymatopleura solea (*de Bréb.) W.Smith*							C,D
Cymbella affinis *Kütz.*	B-D	C,D	C,D	A,C	D		C
C. naviculiformis *Auerswald*		C					
C. sinuata *Greg.*	C*D				D		

C. tumida *(Bréb.) V. Heurck*						A	A,B
• C.ventricosa *Kütz.*	B				D		B,C
Diatoma elongatum var. minor *Grun.*					A	A-D	
D. vulgare *Bory*	A-D	A	A-C	A-C		A**-D	A-D
Epithemia zebra *(Ehr.) Kütz.*							D
Fragilaria biceps *(Kütz.) Lange B.*			A,B	C	C,D	C,D	
F. capucina *Desm.*	A,B						
F. construens *(Ehr.) Grun.*			D	A*-D	A-D		
F. intermedia *Grun.*				A**-D	A-D		
F. pinnata *Ehr.*	D						
• F. ulna *(Nitz.) Lange B.*	A-D	A-D	A-D	A-D	A-D	A-D	A-D
• F. u. var. oxyrhynclus *(Kütz.) Lange B.*							D
Gomphonema acuminatum var coronata *(Her.) W.Smith*							B
• G. micropus *Kütz.*						D	
G. clevei *Fricke*						D	
G. constrictum var. capitata *(Ehr.) Cleve*		A-D	A-D	A-D	D	A-D	A,B
G. gracile *Ehr.*						D	
G. grunowi *Patrick*		C					
G. lanceolatum *Ehr.*			C				A-C
G.olivaceum *(Lyngb.) Kütz.*		D					
• G. parvulum *Kütz.*	A-D	C,D	C,D		B-D	A-D	A-D
• G. p var. subelliptica *Cleve*	C,D	D	D		C,D	C,D	
Melosira arenaria *Moore*							D
• M. varians *C. A. Ag.*	A-D	A-D	A-D	A-D	A,B	A-D	A-D
Meridion circulare *Agardh*					A-D	B	
• Navicula accomoda *Hust.*					A-D	B	
N.cryptocephala *Kütz.*	A-D	A-C	A-C		A-D	C,D	B-D
N. gracilis *Ehr.*	A-D		A-D		D	A-D	A-D
N. halophila *(Grun) Cleve*						D	
• N. menisculus *Schum.*		A	A-D	A	A-D	D	A-D
N. pupula *Kütz.*	D				D		
N. rhynchocephala *Kütz.*		C				C	B,C
N. terminata *Hust.*						C*,D	
• N. viridula *Kütz.*		A-D					
Neidium affine *(Kütz.) Cleve*	A						
• Nitzschia amphibia *Grun.*	A-D**	A-D**	A-D	A	D**	C,D	D
• N.commutata *Grun.*							D**
N.intermedia *Hantzsch*	B		A-D	C		A-C	
N.interrupta *(Riechelt) Hust.*	A				C		
• N.palea *(Kütz) W.Smith*	C,D	A-D	C,D		B-D	C,D	A-D
N. thermalis *Kütz.*		C-D				D	D
N. t. var minor *Hilse*	C		C,D		D		
Pinnularia viridis *(Nitzsch) Ehr.*							A-B
Rhoicosphenia curvata *(Kütz.) Grun.*	A-B		A-B	A			A-B
Surirella angusta *Kütz.*	D	C,D	D		C	D	
• S. ovata *Kütz.*							A-B
• S. o. var. salina *W.Smith*	D				A-D	A-D	A-D
Synedra rumpens *Kütz.*	C-D						

BIBLIOGRAPHIE

ABBUD, M. & AKER, N. 1986. The study of the aquifers formation of Lebanon through the chemistry of their typical springs. *Leb. Sci. Bull.* 2: 5-21.

ANDREW, D. C., CLECERI, L. S. & GREENBER, A. E . 1995. Standard method for examination water and wastewater. *APHA, AWWA. WPCF 19th ed. Washington. D.C.*

ACKERMAND, W. C., HARMESON, R. H. & SINCLAIR, R. A. 1970. Some long-term trends in water quality of rivers and lakes. *EOS* 51 (6): 516-522.

BOURRELY, P. 1966. Les algues d'eau douce. Algues vertes. *Boubée. Paris*

BOURRELY, P. 1970. Les algues d'eau douce. Algues bleues et rouges. *Boubée. Paris*

BUIJISMAN, E., MASS, H. F. & ASMAN, W. A. H. 1987. Anthropogenic ammonium emission in Europe. *Atm. Envir.* 27: 83-94.

CAWSE, P. A. 1974. A survey of atmospheric trace elements in the U.K (1972-1973). AERE sediments from Southampton water, Southern England: a geochemical and isotopic study. *Envir. Sci. Tech.* 29: 1288-1296.

DREVER, J. I. 1988. Geochemistry of Natural Waters. *Prentice Hall. New Jersey. USA.*

DOJILIDO, J. R. & GERALD, A. B. 1993. Chemistry of water and water pollution. *Ellis Harwood limited* 73.

EHRLICH, A. 1973. Quaternary diatoms of the Hula Basin (Northern Israel). *Israel Geol. Surv. Bull.* 58: 1-39.

EHRLICH, A. 1995. Atlas of the Inland-water Diatom flora of Israel. *Geol.Surv. of Israel. Jerusalem.*

FOGED, N. 1980. Diatoms in Egypt. *Nova Hedwigia* 33: 629-707.

GEITLER, L. 1925. Cyanophyceae, Cyanochlridianeae = Chlorobacteriaceae. *In :* PASCHER, A. (HER.). Die Süsswasser-Flora Mitteleuropas. Heft 12. *Gustav Fischer Verlag. Jena.*

GERMAIN, H. 1981. Flore des diatomées. *Boubée. Paris.*

GWN (Ground Water for Windows). 1996. Aquachem. *Software.*

HAKIM, B. & KARKABI, S. 1988. Colorations du gouffre de Fouar Dara er de la grotte de Kassarat (Caza du Metn Nord-Liban). *Al Ouat Ouate* 3: 18-31.

HALAWANI, J. B; AGHDAD, O.; BAROUDI, N. & WALTE, M. 1999. Contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine d'Akkar au Liban du Nord. *Cahier de l 'Assoc. Sci. Eur. pour l'eau et la santé* 9: 219-223.

HEM, L. D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water and pH. Chemistry of iron of natural water. *U.S. Geol. Surv. Water supply paper 2254. 3rd ed. Washington D.C.*

HUSTEDT, F. 1930. Bacillariophyta (Diatomeae). *In:* PASCHER, A. (HER.). Die Süsswasserflora Mitteleuropas. Heft 10. (Rep.1976). *Gustav Fischer Verlag. Jena.*

HUSTEDT, F. 1949. Diatomeen von der Sinaï-Halbinsel und aus dem Libano-Gebiet. *Hydrobiologia* 2: 24-52.

JOHNSON, M. 1981. Hydrochemistry of the Botany Bay Region. PHD. *Dissertation of the University of South Wales. Sydney, Australia.*

KHALAF, G. 1997. Etude physico-chimique et biocénotique du cours d'eau d'Antélias (Liban). *Leb. Sci. Res. Rep.* 2 (1): 3-14.

LANGE-BERTALOT, H. 1980. Zur systematischen Bewertung der bandformigen Kolonien bei *Navicula* und *Fragilaria. Nova Hedwigia* 33: 732-287.

MANNING, D. C. & SLAVINI, W. 1983. The Determination of Trace Elements in Natural Waters Using the Stabilized Temperature Platform Furnace. *At. Absorpt. Newslett.* 37: 1-11.

MARKICH, S. J. 1998. Relative importance of natural and anthropogenic, influences on fresh surface water chemistry of the Hawkesbury-Nepean River, South-eastern Australia. *The Sci. of the Tot. Envir.* 217: 201-230.

MEYBECK, M. & HELMER, R. 1989. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution palaeogeogr. *Palaeoclimatol Palaeoecol* 75: 283-309.

NIKANOROV, A.M. & TSIRKUNOV, .V. 1984. Study of the hydro-chemical regime and its long term variations in the case of some rivers in USSR. *Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ.* 150: 288-293.

OMS. 1994. Directives de la qualité pour l'eau de boisson.1 (20). Recommandations. *Genéve.*

OULABI, M.; SAAD, Z. & SLIM, K. 1999. Study of metal concentration in water and sediment of some springs of Lebanon. *Jour. Europ. Hydro.* 30 (2): 239-254.

PALMER, M. 1969. A composite rating of algae tolerating organic pollution. *J. Phycol.* 5: 78-82.

PIERRE, J. F. 1976. Les algues et la qualité des eaux: bioindicateurs et biotests. *T.S.M. L'Eau* 71 (2): 83-87

RIZET, M. 1977. Culture de *Synedra ulna in vitro*, toxicité du cuivre et du zinc. C.R.22° congr. AFL Metz, Mai 1977. *Eau et l'Industrie*: 17-87.

SAAD, Z.; SLIM, K.; GHADDAR, A.; NASREDDINE, M. & KATTAN, Z. 2000. Chemical Composition of rain water in Lebanon. *Journal Européen d'hydrologie* 31 (2): 105-120.

SAAD, Z.; SLIM, K.; ELZEIN, G. & NASERDDINE, M. 2004 (sous presse). Evaluation de la qualité des eaux de la retenue de Karaoun (Liban). *Rev. de sci. de l'eau.*

SAAD, Z.; KAZPARD, V.; SLIM, K. & NABHAN, P. 2003. Influence des effets naturels et anthropiques sur la qualité des eaux de la rivière Nahr Ibrahim, Liban. *Journal Européen d'hydrologie* 34/1: 85-100.

SCHOEMAN, F.R. 1973. A systematical and ecological study of the Diatom flora of Lesotho with special reference to the water quality. *V&R Printers. Pretoria.*

SCOULLOS M. J. & HATZIANTIS, J. 1989. Dissolved and particulate trace metals in a wetland of international importance: Lake Mikri Prespa, Greece. *Water Air Soil Poll.* 44: 307-320.

SLIM, K. 1996. Contribution à l'étude de la flore algologique du bassin du Litani. *Leb. Sci. Res. Reports* 1: 65-73.

SLIM, K.; SAAD, Z. & KHALAF, G. 2000. Estimation de la qualité des eaux du Nahr Beyrouth: Utilisation de l'indice diatomique de polluo-sensibilité (IPS). *Cahier de l'Assoc. Sci. Eur. pour l'Eau et la Santé,* 5 (1): 30-47.

TIXIER, B. 1972. Le grès de base crétacé du Liban stratigraphique et sédimentatologique. Notes et mémoires sur le Moyen-Orient. *Musée National d'Histoire Naturelle. Paris.* 12: 207-213.

VAN DER MOLEN, D. T.; BREEUWSMA, A. & BERS, P. C. 1998. Agricultural nutrient losses to surface water in the Netherlands: Impacts, strategies and perspectives. *J. Envir. Quality* 27: 4-11

WAKIM, S. H. 1968. Petrography of basalt cretaceous sandstone of central Lebanon. *Dissertation of the American University of Beirut.*