

CARACTERISATION ET CORRELATION DES PARAMETRES BIOTIQUES ET ABIOTIQUES DES EAUX DU NAHR EL BARED

G. Khalaf^{1,2}, K. Slim^{1,2}, C. Abi-Ghanem², K. Nakhlé² et M. Fakhri²

¹Université Libanaise, Faculté des Sciences, Fanar, Liban

²Conseil National de la Recherche Scientifique, Centre de Recherches Marines, Batroun,
Liban
bihar@cncrs.edu.lb

(Received 17 June 2008 - Accepted 3 March 2009)

RESUME

Le Nahr el Bared est un des principaux cours d'eau côtiers libanais. Occupant une vallée assez encaissée, il traverse plusieurs agglomérations urbaines et industrielles dont il recueille les eaux. Cette étude vise à mettre en évidence l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux de cette rivière. L'application des indices de diversité, de similitude et l'indice biologique normalisé IBGN, ainsi que les analyses statistiques et de corrélation, ont permis de caractériser un petit secteur exempt de pollution au niveau de la source et le reste de son cours en aval étant soumis à des perturbations d'origine anthropique qui dégradent la qualité des eaux à des intensités plus ou moins élevées en fonction des apports et de l'autoépuration. Une corrélation positive entre des indicateurs chimiques, biologiques et pollution bactériologique est mise en évidence.

Mots clés: cours d'eau, macroinvertébrés, bioindicateurs, pollution, Liban

ABSTRACT

Nahr el Bared is one of the main Lebanese coastal rivers. It crosses down a rather deep valley and passes by several urban agglomerations and industrial zones, which use its water as a discharge system of their waste. This study shows the impact of the anthropic activities on the water quality of this river. The application of the diversity and the similarity index, and the biological normalized index IBGN, as well as the statistical analyses of correlation permit to characterize a sector close to the source free of pollution whereas most of the course downstream is subjected to strong anthropic disturbances which degrade the quality of water to more or less high intensities according to the inputs and the self-purification. A positive correlation of the chemical, biological and bacteriological pollution indicators is highlighted.

Keywords: stream, macroinvertebrates, bioindicators, pollution, Lebanon

INTRODUCTION

L'étude de la qualité des eaux du Nahr el Bared revêt un intérêt particulier du fait que son bassin versant est assez peuplé et que la rivière est parcourue par plusieurs

agglomérations urbaines. Depuis ses principales sources dans le crénal jusqu'à son embouchure il est soumis à des stress d'origine anthropique, représentés par des déversements d'eaux usées, domestiques et industrielles. L'autoépuration permet d'améliorer la qualité des eaux et rééquilibrer légèrement l'écosystème dans son moyen cours, avant que d'autres rejets ne viennent altérer à nouveau la qualité des eaux et la dynamique des communautés vivantes. Dans son secteur terminal, peu avant l'embouchure, le Nahr el Bared subit les effets du camp des réfugiés palestiniens Nahr el Bared.

En vue de réaliser cette étude nous avons procédé à des analyses physico-chimiques, chimiques et bactériologiques, ciblées sur la présence des bactéries fécales, et à une étude biologique par application des méthodes indicielles. Un traitement statistique a été utilisé pour corrélérer les paramètres biotiques et abiotiques et définir les descripteurs les plus caractéristiques.

PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

Cadre géographique

Le Nahr el Bared (Fig.1), cours d'eau côtier libanais d'environ 31 km de long, coule sur le flanc occidental de la chaîne du Mont-Liban en descendant perpendiculairement à la côte, il subit une légère déviation vers le sud au niveau de son cours moyen pour reprendre son tracé vers le nord-ouest dans son cours inférieur. Plusieurs sources dans Jroud Akkar et Jroud Dinniyé alimentent cette rivière.

Une de ces principales sources, Fnaideq (Kammouah), située à 1180 m d'altitude, a été choisie comme première station (B1) de cette étude. Peu après cette source, le cours d'eau traverse successivement deux villages, Fnaideq (20000 ha.) et Michmich (16000 ha.) distants de 2 km l'un de l'autre, puis il coule dans des gorges étroites assez difficiles d'accès. Après un parcours de 5 km il reçoit le Wadi el Wati puis, 4 km plus loin, Nahr Ktaf en provenance de l'agglomération de Qemmamine (4000 ha.).

La rivière reprend son parcours dans des accidents tectoniques induisant de grandes failles au niveau de son cours moyen. A 20 km de la source un grand barrage, Moussa, se dresse au niveau du village Ouyoun Assamak (3000 ha.); ce barrage alimente une centrale hydroélectrique et sa retenue sert à des activités sportives et touristiques. En amont de ce barrage, le cours d'eau est connu localement sous le nom de Abou Moussa. L'affluent Sir Dinniyé conflue avec le cours principal directement en aval de ce barrage, une canalisation artificielle relie l'affluent à la retenue pour son alimentation en période d'étiage. Un second barrage, Raouda, se dresse dans le cours inférieur, à 26 km de la source, entouré par des plaines agricoles assez étroites surmontées par le village d'El Qaïtaa à 250 m d'altitude, une deuxième centrale hydroélectrique se trouve près de ce barrage. Avant sa confluence avec la mer, dans El Minié à 16 km au nord de Tripoli, le Nahr el Bared traverse une importante agglomération : le camp palestinien du Nahr el Bared (environ 50000 ha.).

Tout le long de cette rivière, des prises d'eau sont faites pour irriguer des terrains agricoles installés en terrasses dans les cours supérieur et moyen et en platiers dans le cours inférieur. L'ensemble des activités anthropiques et plus spécialement au niveau du camp palestinien, ne fait qu'entraîner la détérioration de la qualité des eaux de l'amont vers l'aval. Le processus d'autoépuration n'améliore que partiellement la qualité des eaux.

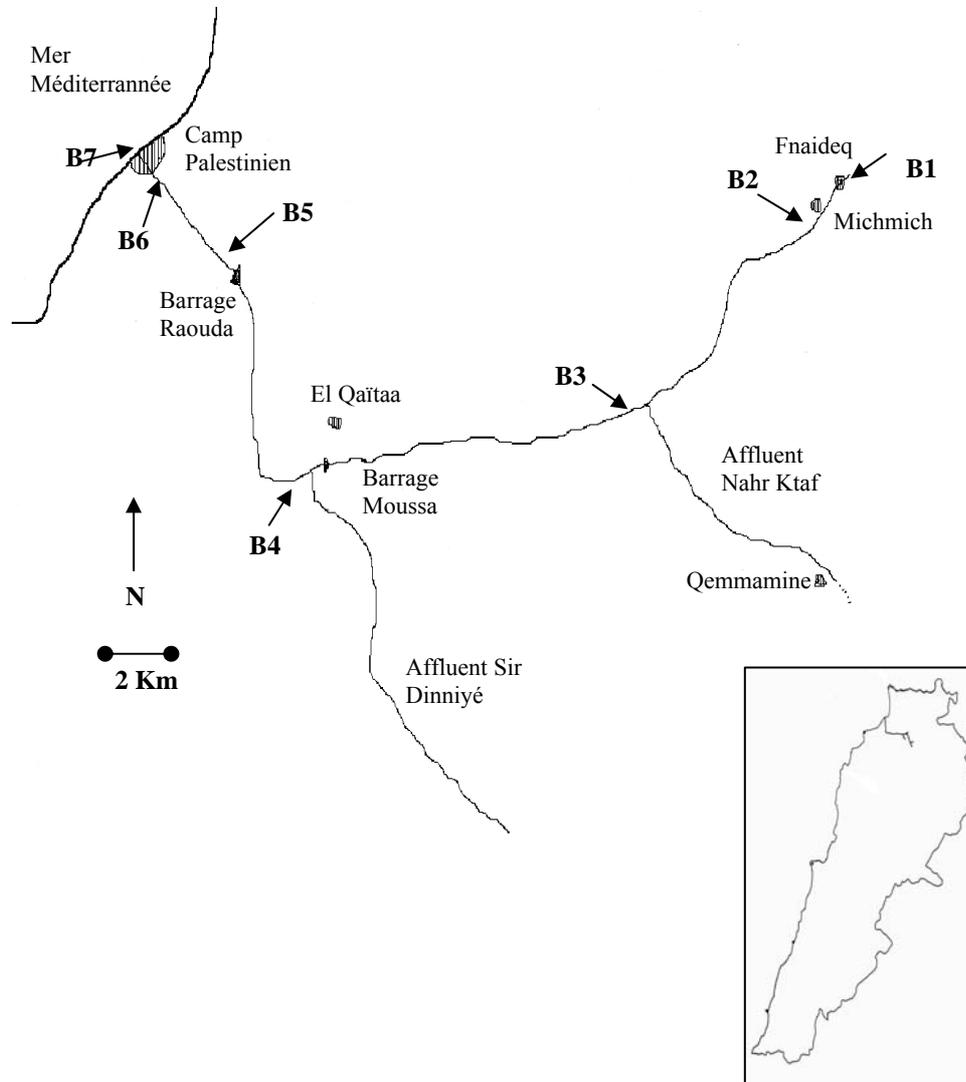


Figure 1. Tracé du Nahr el Bared avec emplacement des stations.

Choix et caractéristiques des stations

Pour la réalisation de cette étude, sept stations (de B1 à B7) ont été prospectées d'amont en aval sur ce cours d'eau (Fig. 1). Le choix de ces stations repose sur leur situation par rapport aux agglomérations, aux sources de pollution et à leur accessibilité. Quatre prélèvements ont été effectués les 11 janvier, 8 mars, 15 mai et 3 octobre 2006 dans chacune des stations sauf dans la station B6 lors de la première campagne, cette station n'ayant été

retenue qu'ultérieurement en raison de la présence du camp palestinien. Les différentes dates d'étude couvrent une succession de périodes humides et sèches. En période estivale (juillet, août et septembre) le cours d'eau était presque sec.

- La station B1 : se situe au niveau de la source Fnaideq. L'eau sort directement d'une galerie souterraine aménagée pour le captage de l'eau potable. La largeur du lit est de trois mètres, la largeur de l'écoulement varie entre deux et trois mètres entre janvier et août, la hauteur d'eau varie entre 10 et 40 cm. Le débit est estimé entre 0.5 et 1 m³/s. Le fond est formé de gros blocs qui émergent.

- La station B2 : se situe à 3 km de la source en aval du village Michmich à 975 m d'altitude. La largeur du lit est de 7 m, la largeur de l'écoulement varie entre 4 et 6 m, la profondeur entre 10 et 60 cm. Le débit est estimé entre 2 et 4 m³/s. Le fond est formé de gros blocs, de cailloux et de plages de sable sur les berges.

- La station B3 : se situe à 9 km de la source après la confluence de l'affluent Wadi Ktaf, à une altitude de 490 m. La largeur du lit est de 10 m, l'écoulement varie entre 8 et 10 m, la profondeur entre 10 et 70 cm. Le débit est estimé entre 2 et 9 m³/s. Le fond est formé de rochers, de blocs émergents et de gros galets avec quelques plages de sable sur les bords.

- La station B4 : se situe à 20 km de la source en aval du barrage Moussa, à une altitude de 190 m. La largeur du lit est de 12 m, la largeur de l'écoulement varie entre 4 et 8 m, la profondeur entre 10 et 40 cm. Le fond est formé surtout de graviers, de blocs et de plages de sable.

- La station B5 : se situe à 26 km de la source directement en aval du second barrage Raouda, à une altitude de 70 m. La largeur du lit est de 15 m, la largeur de l'écoulement varie entre 10 et 15 m, la profondeur de l'eau varie entre 50 et 70 cm. Le fond est formé de blocs, de cailloux et de graviers.

- La station B6 : se situe à 30 km de la source et à environ 800 m de l'embouchure en amont de l'autoroute. Son altitude est de quelques mètres. La largeur du lit est de 25 m, la profondeur varie entre 10 et 40 cm. L'ensemble du lit est recouvert par du gravier, de petits cailloux et de plages de sable.

- La station B7 : se situe à 30 m de l'embouchure. Sur ses deux rives, il existe différentes installations industrielles légères ainsi que des habitations du camp palestinien. La largeur du lit varie entre 15 et 20 m, l'écoulement couvre toute la largeur, la profondeur de l'eau varie entre 20 et 60 cm. Le fond est constitué par, de plages de graviers et de sable, de cailloux et de blocs.

Caractéristiques morphodynamiques

D'après le tracé du profil longitudinal du Nahr el Bared (Fig. 2), on peut distinguer trois secteurs : un cours supérieur de 9 km de longueur, à forte pente 7.6%, qui s'étale entre la station B1 au niveau de la source et la station B3, un cours moyen de 11 km de longueur, à pente moyenne 3.8%, qui s'étale entre la station B3 et B4, un cours inférieur de 11 km de longueur, à pente faible 1.7%, qui s'étale entre la station B4 et l'embouchure.

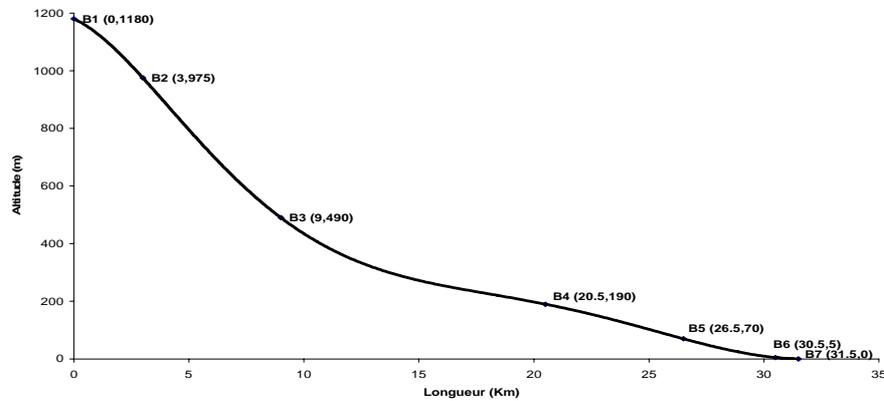


Figure 2. Profil longitudinal du Nahr el Bared (les chiffres entre parenthèses correspondent à la distance de la source en km et à l'altitude en m).

Comme tous les fleuves côtiers libanais, le régime de ce cours d'eau est pluvial, torrentiel, avec des débits assez élevés en périodes de fortes eaux entre janvier et juin et des débits faibles en périodes sèches entre juillet et octobre.

MATERIEL ET METHODES

Analyse physico-chimique et chimique

Analyse physico-chimique

La température, le pH, l'oxygène dissous et la conductivité ont été mesurés à l'aide d'un multiparamètre de terrain WTW multiline F/SET-3.

Analyse chimique des nutriments

Azote ammoniacal

La méthode utilisée pour déterminer l'azote ammoniacal dans l'eau de mer est une variante de la méthode proposée par Aminot et Marcel (1983) qui mesure la totalité de l'azote ammoniacal.

Ions nitrites NO_2^-

La méthode utilisée est celle de Bendschneider et Robinson qui est fondée sur la réaction de Griess (Aminot & Marcel, 1983).

Ions nitrates NO_3^-

La méthode est la même que celle utilisée pour les ions NO_2^- après la réduction des ions NO_3^- par leur passage sur une colonne de cadmium.

Ions phosphates

Se fait par la méthode de Murphy et Riley (1962) les ions phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe que l'on réduit par l'acide ascorbique; cette forme réduite est mesurée par spectrophotométrie.

Etude bactériologique

En bactériologie la méthode d'analyse utilisée pour le traitement des échantillons est la filtration sur membranes (OMS/PNUE, 1995).

Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques

Les prélèvements de faune invertébrée ont été effectués en milieu courant à l'aide d'un filet Surber de 500 μm de vide de maille et de petites dimensions 10 x 20 cm, mieux adapté aux milieux temporaires et à leurs différents biotopes (Bouzidi & Giudicelli, 1994). En eau calme, l'échantillonnage a été pratiqué à l'aide d'un troubleau. La méthode utilisée consiste à gratter le fond de la rivière pendant 5 minutes et à soulever pierres et cailloux de façon à ce que les organismes soient entraînés dans le filet. A chaque station 10 prélèvements, de 1/10 de m^2 chacun, sont effectués pour couvrir les différents types de faciès. Les échantillons récoltés sont ramenés au laboratoire dans une solution de formol à 4 %. La détermination des macroinvertébrés benthiques a été réalisée en se référant aux travaux de Tachet *et al.* (1974), Richoux (1982) et Kraiem (1994).

Etude statistique des données

L'interprétation a porté sur la détermination des coefficients de corrélation de Pearson et l'analyse en composantes principales (ACP). Pour homogénéiser ces résultats nous avons éliminé les résultats de B6.

Traitement des données de la faune

L'étude quantitative et qualitative de la faune benthique est basée sur l'analyse de la fréquence des taxons ainsi que sur le calcul de divers indices :

l'indice de Shannon et Weaver (1948) $H = - \sum p_i \text{Log}_2 p_i$ où p_i = fréquence d'un taxon,

l'indice biologique global normalisé IBGN (Afnor, 1992) qui exprime l'aptitude d'un cours au développement de la macrofaune benthique, considérée comme expression synthétique de la qualité générale,

l'indice de similitude de Jaccard (1902) $j = 2c/a+b*100$ où a = nombre de taxons du peuplement A, b = nombre de taxons du peuplement B et c = nombre de taxons communs à A et B.

RESULTATS ET DISCUSSION

Paramètres abiotiques

Paramètres physico-chimiques (Tableau 1)

Le pH a des valeurs comparables à celles que l'on trouve dans la plupart des cours d'eau côtiers libanais soumis à des stress anthropiques (Khalaf, 1984; 1997; 2003; Slim *et al.*, 2000); ces valeurs qui sont relativement élevées en janvier et octobre, subissent une baisse pour les prélèvements de mars et mai en raison de la dilution des eaux.

Dans presque tous les échantillons obtenus, l'oxygène dissous a des concentrations proches de la saturation; ceci est tout à fait normal dans les eaux courantes, à vitesse assez élevée (Khalaf, 1984; Khalaf *et al.*, 2007), comme c'est le cas de la rivière el Bared. Cependant nous constatons une baisse des valeurs de l'oxygène dans les stations B2 en mai et B3 en mars et mai ; ceci peut être expliqué par la consommation de l'oxygène par les microorganismes dégradant la matière organique. La valeur 1.5 mg O₂ /l à B2 en octobre est due à la transformation de cette station en simple égout.

Les valeurs de la conductivité obtenues pour Nahr el Bared coïncident avec celles de tous les cours d'eau côtiers déjà étudiés (Khalaf & Lahoud, 1983; Abboud-Abi Saab *et al.*, 2002; Khalaf, 2003; Khalaf *et al.*, 2007). La moyenne des valeurs de la conductivité des stations B3, B4, B5, B6 et B7, est relativement plus élevée que celle de B1 en raison de la décomposition de la matière organique en provenance de B2 et des apports terricoles en engrais chimiques.

Paramètres chimiques

Généralement la présence des nitrates dans les cours d'eau est due, soit au lessivage des sols agricoles, soit aux réactions oxydatives de l'azote ammoniacal et des nitrites (Khalaf, 2003; Khalaf *et al.*, 2007; Saad *et al.*, 2004). Les valeurs des nitrates dans tous les prélèvements et les stations, exceptée la station B1, dépassent la norme admise dans les eaux courantes, les concentrations les plus élevées sont respectivement 11.85 ppm en janvier et 13.44 ppm en octobre en B4. D'une façon générale les concentrations en mars et mai sont inférieures à celles de janvier et octobre en raison de la dilution des eaux.

Les nitrites proviennent de la réduction des nitrates en milieu anaérobie ou de l'oxydation de l'azote ammoniacal. La plupart des concentrations obtenues sont inférieures à la norme, ceci est dû à l'oxydation rapide qui les transforme en nitrates. Cependant les valeurs relativement élevées de 0.450 ppm et 0.255 ppm obtenues en mai et octobre en B2 ne peuvent être expliquées que par la forte pollution organique en B2.

Les concentrations de l'azote ammoniacal sont inférieures à la norme sauf pour le prélèvement de mai en B2 qui a une valeur de 0.522 ppm. Il est normal que dans les cours d'eau à écoulement rapide, l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates se fait très vite si les apports intenses de la matière organique ne sont pas réguliers.

Dans tous les cours d'eau libanais les phosphates proviennent soit de la décomposition de la matière organique soit du lessivage des terres agricoles (Slim *et al.*, 2000; Khalaf, 2003; Khalaf *et al.*, 2007; Saad *et al.*, 2004). Dans tous les échantillons les valeurs des phosphates sont inférieures à la norme.

Descripteurs biotiques

Analyse bactériologique

Les bactéries fécales CF et SF apparaissent en quantités souvent excessives dans toutes les stations et tous les prélèvements sauf à la source presque exempte de contamination.

Fréquence des taxons

Selon leur fréquence F dans chaque station (Tableau 2), on peut classer comme suit les taxons présents dans Nahr el Bared :

taxons très fréquents (80 à 100%) ; aucun taxon,
 taxons fréquents (50 à 80%) ; *Baetis* dans B2 et B4 et *Gammarus* dans B6,
 taxons assez fréquents (20 à 50%) ; Chironomidae dans B1, B5, B7, *Simulium* dans B3, *Gammarus* dans B7 et *Baetis* dans B1, B3, B5, B6,
 taxons rares (5 à 20%) ; *Dugesia* dans B1 , Oligochètes dans B1, B2, B7 , *Gammarus* dans B1, B5 , Chironomidae dans B2, B3, B4, B6 , Psychodidae dans B2 , *Simulium* dans B4, B5, *Caenis* dans B5 , *Physa* dans B5 , *Hydropsyche* dans B5 , *Baetis* dans B7,
 taxons accidentels (inférieur à 5%); les autres taxons.

Diversité spécifique et degré de similitude

L'indice de diversité H prend des valeurs entre 0 et 5, un indice inférieur à 2 reflète un déséquilibre du milieu; par contre, des valeurs supérieures à 2 correspondent à une communauté plutôt stable.

D'après la Figure 3, on constate que l'indice de diversité moyenne Hm est supérieur à 2 en B1 (2.22) où est observé le plus grand nombre de taxons et il est égal à 2 en B5 qui a aussi la seconde position relative au nombre de taxons. Pour les autres stations B2, B3, B4, B6, et B7, les valeurs de Hm sont inférieures à 2 avec la valeur la plus faible pour B2 (Hm= 0.83) ; ceci indique un déséquilibre dans ces stations qui est prononcé dans B2. La présence des valeurs supérieures à 2 pour certains prélèvements mensuels, dans les stations déséquilibrées, pourrait s'expliquer soit par la dérive des espèces qui élève la valeur de H ; c'est le cas du taxon Leuctridae dans B3 en janvier qui donne un H=2.23, soit à l'autoépuration ou à la dilution des eaux c'est le cas, par exemple, de B4 en janvier et mai.

L'IBGN prend des valeurs entre 0 et 20. Des valeurs inférieures à 10 traduisent une pauvreté spécifique et un milieu dégradé, par contre des valeurs supérieures reflètent une bonne qualité des eaux. D'après la Figure 3 aucune des stations n'a une valeur supérieure à 10 ; cependant B1 a la valeur la plus élevée IBGN moyen = 9.25 et B2 la plus faible IBGN= 2.75, en aval de cette station une légère autoépuration s'installe et fait remonter l'IBGN sans cependant améliorer nettement la qualité des eaux.

Les deux indices H et IBGN qui sont complémentaires et qui ont des courbes à allure parallèle, permettent de déduire que l'eau de la source du Nahr el Bared a une diversité spécifique acceptable, donc une bonne qualité. Cette qualité se détériore en B2 en raison d'une forte charge de pollution organique qui s'installe à ce niveau. Une autoépuration s'ensuit mais reste insuffisante à cause de la présence d'autres apports qui perturbent de nouveau l'équilibre du milieu.

Toutefois ces indices présentent quelques imperfections quant à leur application intégrale aux cours d'eau libanais. En effet l'instabilité du débit des cours d'eau torrentiels libanais provoque le développement d'une faune mieux adaptée à l'alternance des violentes

crues et d'assèchement et donc composée principalement de stratégies *r* (Bonada *et al.*, 2006; Bonada *et al.*, 2007; Maasri *et al.*, 2008).

La comparaison des stations entre elles, basée sur la présence de la faune de macroinvertébrés benthiques, a été réalisée par l'indice de similitude de Jaccard (Tableau 3). Cet indice montre que la ressemblance la plus élevée des peuplements existe entre les stations B6 et B7 (81%), ceci est normal vue leur position spatiale : toutes les deux sont affectées par le camp palestinien, par suite leur état biotique est influencé par les rejets de ce dernier. La seconde valeur est donnée pour B1 et B3 (75%), ceci pourrait être expliqué soit par la récupération du cours d'eau en B3 de certaines de ses qualités biocénétiques, soit par la dérive de certains taxons de B1 (proviennent probablement de l'affluent) en B3. La ressemblance, à un degré moindre, entre B5 et B6 d'un côté (0.7%) et B5 et B7 de l'autre (0.73%) pourrait être due à leur existence dans le secteur inférieur de cette rivière.

TABLEAU 1

Caractéristiques Physico-Chimiques, Chimiques et Bactériologiques des Eaux du Nahr el Bared

1= 11 janvier 2006 ; 2 = 8 mars 2006 ; 3 = 15 mai 2006 ; 4 = 3 octobre 2006

Paramètres Stations	T°C	pH	O ₂ (mg/l)	Ec(μS)	NH ₄ ⁺ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	PO ₄ ³⁻ (ppm)	FC/100ml	FS/100ml	
B1	1	9.6	8.8	10.6	370	0.004	0.001	2.57	0.02	0	2
	2	9.1	8.9	12.3	318	0.00	0.001	2.1	0.03	2	1
	3	10.2	8.4	9.8	330	0.031	0.005	2.20	0.03	3	34
	4	11.4	9	8	300	0.035	0.002	2.42	0.04	16	47
B2	1	10.5	9.42	8.7	510	0.259	0.087	9.76	0.43	100000	10000
	2	11.4	7.2	8.5	402	0.34	0.018	7.11	0.07	200000	12800
	3	15	8.79	6.1	527	0.522	0.450	8.80	0.49	200000	300000
	4	17	10	1.5	590	0.473	0.255	8.55	0.33	250000	250000
B3	1	10	9.22	9.9	450	0.12	0.080	6.45	0.33	15000	11000
	2	12.2	9.2	9.5	420	0.09	0.024	4.16	0.15	11500	5600
	3	14.5	8.9	6.2	537	0.049	0.094	7.00	0.43	13000	8600
	4	20.5	9.47	6.7	460	0.108	0.005	8.94	0.40	580	135
B4	1	11.2	8.51	8.5	555	0.002	0.003	11.85	0.03	87	55
	2	13.5	8.7	9.4	530	0.045	0.031	6.31	0.05	7900	2900
	3	14	7.7	8.5	326	0.031	0.012	6.32	0.07	9000	4900
	4	18.8	8.74	8.1	500	0.18	0.026	13.44	0.16	4200	530
B5	1	11.1	9	9.4	460	0.03	0.066	7.46	0.08	6000	7200
	2	14.5	8.6	10.5	540	0.04	0.026	6.81	0.06	4900	2100
	3	15.7	8.8	8.9	443	0.045	0.011	4.32	0.06	2100	600
	4	21.6	8.9	8.7	410	0.095	0.067	8.10	0.07	1200	69
B6	2	14	7.66	9.4	404	0.07	0.044	6.83	0.03	2500	670
	3	17	8.68	9.5	448	0.00	0.022	4.16	0.05	1700	770
	4	24.4	7.86	8.8	540	0.03	0.057	10.00	0.28	50000	11000
	1	14	9.04	8.9	500	0.04	0.016	9.33	0.20	2200	1900
B7	2	15.5	8.6	9.2	550	0.04	0.032	7.04	0.07	18000	13000
	3	19.5	8.34	8	457	0.00	0.021	5.52	0.20	13000	3400
	4	25.4	8.62	7.6	520	0.40	0.059	11.60	0.15	50000	50000
	Valeur Normale < à					0.5	0.1	3	1	100UFC/100ml	100UFC/100ml

Tableau 2 (suite):

Coléoptères																
Dytiscidae			2							3	2					
Gyrinidae			53	4												
Elmidae		2	2	2											2	
Trichoptères																
Limnephilidae	36	4	2	3					2		2					
<i>Hydropsyche</i>									8		7	4				3
<i>Ryacophila</i>	2	2														
Diptères																
Ceratopogonidae																
Limoniidae				8								5				
Tipulidae			2	4			2		3		2	2				
Syrphidae							3	4								
Tabanus							2									
<i>Simulium</i>			3	3			32		42		572	262	13		13	245
Chironomidae	85	10	224	317	47	24	117		6		225	126	21	9	14	71
Psychodidae			2	2			116				10				19	
Empididae				6							8	6	2			3
Stratiomyidae						2	3									
Atheridae															1	
Total taxons/m²	11	7	14	16	3	7	10	2	11	2	10	12	6	2	9	5
Total indiv./ m²	243	56	703	2041	51	156	1365	7	185	6	1313	1645	71	10	72	1772
H	2.58	2.14	2.21	1.95	0.38	1.12	1.65	0.2	2.23	0.7	1.96	1.18	2.23	0.47	2.46	0.84
IBGN	10	7	9	11	1	4	5	1	10	2	5	6	5	1	4	4

Tableau 2 (suite) :

Stations Taxons	B5				B6			B7			
	1	2	3	4	2	3	4	1	2	3	4
Planaires											
<i>Dugesia</i>							2				
Annélides											
Oligochètes	3		5	3	2	9	8			8	204
<i>Erpobdella</i>				2				2			
Crustacés											
<i>Gammarus</i>	10	22	9	16	71	385	183	98	39	140	116
Ephéméroptères											
<i>Baetis</i>	13	2	6	205	11	8	288	2			173
<i>Heptagenia</i>											
<i>Caenis</i>				31	3	2	5		2	2	7
Plécoptères											
Leuctridae											
Odonates											
Aeschnidae											
Mollusques											
<i>Sp1</i>	2		2								
<i>Planorbis</i>		2			2	2				3	2
<i>Physa</i>				8	3						
Coléoptères											
Dytiscidae											
Gyrinidae											
Elmidae				2			2			2	

Tableau 2 (suite):

Trichoptères											
Limnephilidae						4					
<i>Hydropsyche</i>				8			2	3			
<i>Ryacophila</i>											
Diptères											
Ceratopogonidae				2							
Limoniidae	2										
Tipulidae		2		5			2			2	
Syrphidae											
Tabanus				2			2				
<i>Simulium</i>	14			15		3					28
Chironomidae	7		3	164	124	3	47		16	4	409
Psychodidae			2							2	2
Empididae				5							
Stratiomyidae									2		
Atheridae											
Total taxons/m²	7	4	6	14	7	8	10	4	4	8	8
Total indiv./ m²	52	28	27	468	216	416	541	105	59	164	941
H	3	0.97	2.05	2.02	2.55	0.52	1.58	0.45	1.40	0.1	2.00
IBGN	4	3	3	7	4	3	6	4	3	3	4

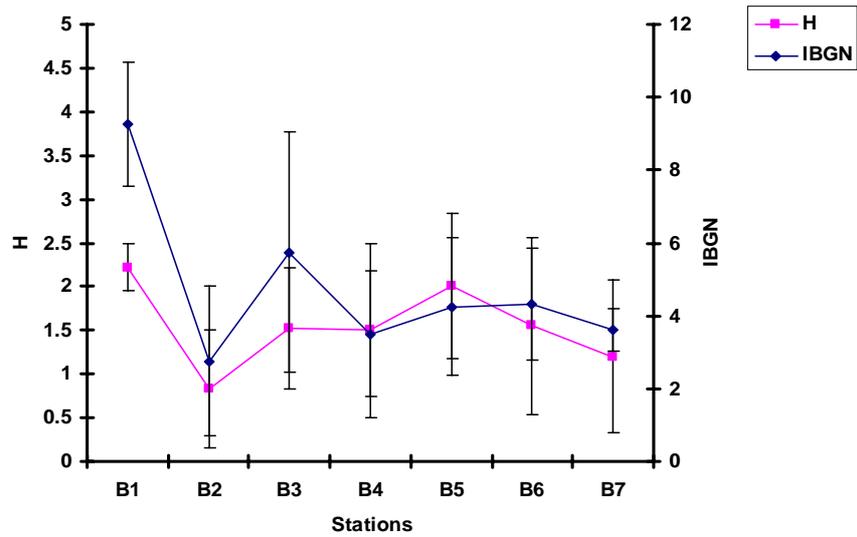


Figure 3. Indice de diversité et Indice Biologique Global Normalisé (valeurs moyennes).

TABLEAU 3

Indice de Similitude de Jaccard

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1	—	0.52	0.75	0.47	0.52	0.5	0.57
B2		—	0.54	0.58	0.56	0.54	0.69
B3			—	0.54	0.53	0.56	0.64
B4				—	0.62	0.46	0.64
B5					—	0.7	0.73
B6						—	0.81
B7							—

Traitement statistique des données

Corrélation de Pearson

D'après le Tableau 4, qui reflète les corrélations entre les différents paramètres abiotiques et les bactéries fécales, on constate qu'il existe en général :
 une corrélation hautement positive entre les CF et les SF, ce qui est tout à fait normal dans les eaux polluées par les matières organiques (Saliba *et al.*, 2003),
 une corrélation positive moyenne entre les phosphates d'un côté et les nitrites, l'azote ammoniacal, les CF et les SF de l'autre indiquant une origine fécale commune,
 une corrélation négative et significative entre l'oxygène dissous, d'un côté, et les nitrates, les nitrites, l'azote ammoniacal, les CF et les SF de l'autre, expliquée par la consommation de l'oxygène dans le processus de l'autoépuration et de la dégradation de la matière organique dans les eaux courantes.

TABLEAU 4

Corrélation de Pearson

	T°C	O ₂	pH	Ec(μS)	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	FC	FS
T°C	1	-0.458	0.083	0.080	0.088	0.405	0.209	0.527	0.045	0.168
O ₂		1	-0.370	-0.149	-0.467	-0.437	-0.505	-0.459	-0.485	-0.653
pH			1	0.309	0.212	0.132	0.483	0.286	0.045	0.292
Ec(μS)				1	0.378	0.584	0.340	0.189	0.240	0.328
NO ₂ ⁻					1	0.273	0.672	0.336	0.384	0.530
NO ₃ ⁻						1	0.356	0.387	0.167	0.172
PO ₄ ³⁻							1	0.443	0.458	0.529
NH ₄ ⁺								1	0.460	0.604
FC									1	0.801
FS										1

Analyse en composantes principales

Dans cette analyse ont été sélectionnés les descripteurs dont la variance relative due au site (station) est >15%, valeur considérée comme significative (Slim *et al.*, 2000 ; Khalaf, 2003 ; Saad *et al.*, 2004). Les variables obtenues sont divisées en 2 groupes :

- variables principales; température, phosphates, FC, FS, H, IBGN,
- variables supplémentaires; *Dugesia* (duge), *Erpobdella* (erpo), *Gammarus* (gamm), *Aeschnidae* (aesch), *Dytiscidae* (dytis), *Elmidae* (elmi), *Limnephilidae* (limn), *Rhyacophila* (ryac), *Syrphidae* (syrph), *Simulium* (simul), *Stratiomyidae* (strat).

La Figure 4a permet de déduire que :

- 88% de l'information est représenté par les deux premiers axes F1 et F2,

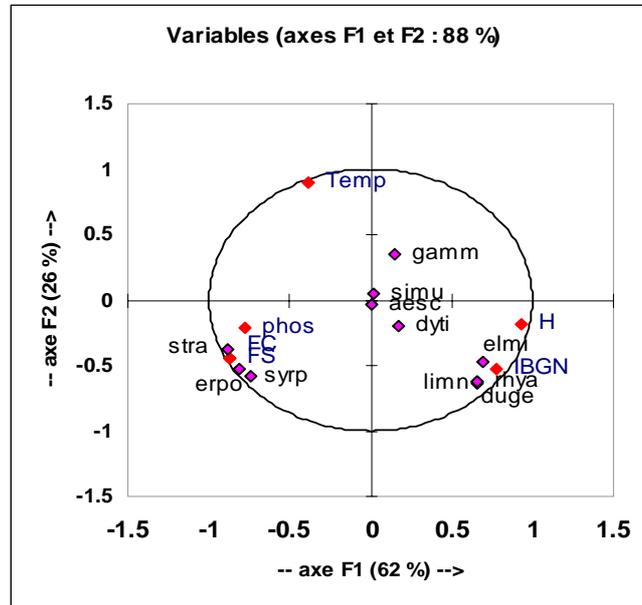


Figure 4a. Analyse en composantes principales des paramètres physico-chimiques et biologiques sélectionnés.

- les variables supplémentaires (*Elmidae*, *Ryacophila*, *Dugesia*, Dytiscidés) ont une forte contribution positive sur l'axe F1. Ces variables sont caractéristiques d'une eau de bonne qualité (Khalaf, 1984; 2003; Khalaf *et al.*, 2007),
- les descripteurs biotiques propres à la pollution (CF, SF, *Erpobdella*, Syrphidae et Stratiomyidae, associés aux phosphates), sont fortement corrélés aux phosphates, en position négative sur l'axe F1,
- un troisième groupe de descripteurs (*Gammarus*, *Simulium*, Aeschnidae, Dytiscidae, température) présente peu de corrélations avec les variables principales, si ce n'est peut-être les gammars avec la température sur l'axe F2.

La projection des sites sur les 2 axes F1 et F2 (Fig. 4b), permet de distinguer les caractéristiques suivantes :

- l'emplacement de B1 dans le nuage correspondant aux variables ayant une forte contribution positive sur F1, permet de conclure que l'eau de B1 est d'une bonne qualité.
- B2, opposée à B1, se situant dans la zone des variables ayant une forte contribution négative sur F1, permet de confirmer que l'eau de B2 est entachée d'une forte pollution organique.

Le nuage composé de B3, B4, et B5, correspondant aux taxons plus ou moins ubiquistes, ne donne pas d'importantes informations en ce qui concerne ces stations. L'emplacement de la station B7, permet de voir qu'elle est fortement influencée par le paramètre température qui a la valeur moyenne la plus élevée du cours d'eau .

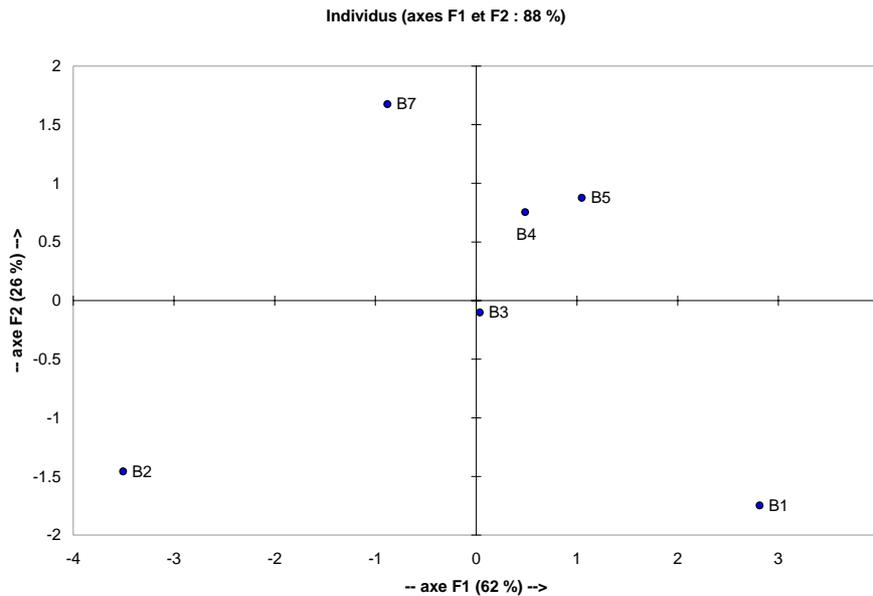


Figure 4b. Analyse en composantes principales des sites.

CONCLUSION

Le Nahr el Bared, comme la majorité des cours d'eau côtiers libanais, draine un bassin versant assez montagneux et peuplé, où l'absence d'un réseau de collecte et traitement des égouts le transforme en principal récepteur des eaux usées domestiques et industrielles.

Les eaux de la source sont exemptes de toute pollution et servent à alimenter la population locale en eau potable. Les indices de diversité H et IBGN sont acceptables et montrent une assez bonne diversité spécifique. Les CF et les SF sont absents ou inférieurs aux normes permises.

A deux km en aval, au niveau de la station B2, les égouts des agglomérations Fnaideq et Michmich se jettent directement dans cette rivière entraînant une dégradation nette de la qualité des eaux. Les indices H et IBGN sont les plus bas de tout l'hydrosystème et les charges en bactéries fécales sont les plus élevées.

Plus en aval une autoépuration s'installe, améliorant légèrement la qualité des eaux en B3, B4, B5, B6 et B7, sans que ces eaux ne récupèrent leurs caractéristiques initiales, car

d'autres perturbations issues des activités humaines, entravent le processus d'épuration naturelle.

L'utilisation des analyses et des corrélations statistiques a permis de confirmer ces résultats et de dégager trois groupes de stations :

- la station B1, caractérisée par la présence des descripteurs biotiques et abiotiques spécifiques aux eaux propres,
- la station B2 très polluée avec une charge bactérienne très élevée et des espèces indicatrices d'une forte pollution organique; les indices H et IBGN y sont très faibles,
- les autres stations de l'aval où l'autoépuration n'est pas complète en raison de l'arrivée d'autres eaux usées; les organismes aquatiques y sont soit ubiquistes soit indicateurs des eaux mésosaprobies.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été subventionnée par l'Université Libanaise. Nous tenons à remercier toute l'équipe du Centre de Recherches Marines du CNRSL pour le soutien scientifique et technique.

REFERENCES

- Abboud-Abi Saab, M., Slim, K. et Roland, A. 2002. Contribution à l'étude physico-chimique et biologique du Nahr el Jaouz et son apport nutritif au milieu marin. *Hannon*, 15:105-128.
- Afnor 1992. *Essais des eaux*. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). NFT 90 – 350: 9 p.
- Aminot, A. et Marcel, C. 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. CNEXO, Paris, 395 p.
- Bonada, N., Prat, N., H. Resh, V. et Statzner, B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, 51: 495-523.
- Bonada, N., Rieradvall, M. et Prat, N. 2007. Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. *Hydrobiologia*, 589: 91-106.
- Bouzidi, A. et Giudicelli, J. 1994. Ecologie et distribution spatiale des macro-invertébrés des eaux courantes du Haut-Atlas marocain. *Revue de la faculté des sciences Marrakech*, 8: 23-43, + annexes.
- Jaccard, P. 1902. Lois de distribution florale dans la zone alpine. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, 38: 69-130.
- Khalaf, G. et Lahoud, M. 1983. Contribution à l'étude écologique des fleuves côtiers du Liban : 1- le Nahr el Kalb. *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, 52: 21-32.
- Khalaf, G. 1984. Contribution à l'étude écologique des fleuves côtiers du Liban : 2- cours moyen et inférieur du Nahr Ibrahim. *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, 53: 9-20.
- Khalaf, G. 1997. Etude physico-chimique et biocénétique du cours d'eau Antelias (Liban). *Lebanese Scientific Research Reports*, 2(1): 3-14.
- Khalaf, G. 2003. *Etude biocénétique et qualité des eaux de quatre cours d'eau côtiers libanais Nahr Ibrahim, Nahr El Kalb, Nahr Antélias et Nahr Beyrouth : biologie et*

- écologie de Capoeta damascina Günther 1868 (Poisson, Cyprinidae)*. Thèse de doctorat, Université Perpignan, 20 p. + annexes.
- Khalaf, G., Slim, K., Saad, Z. et Nakhlé, K. 2007. Evaluation de la qualité biologique des eaux du Nahr el Jaouz (Liban) : application des méthodes indicielles. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon.*, 76 (9-10) : 255- 268.
- Kraiem, M. 1994. *La pollution des eaux continentales et les indicateurs biologiques*. Thèse de doctorat, Sciences Biologiques, Université Tunis II, 60 p. + annexes.
- Maasri, A., Dumont, B., Claret, C., Archambaud-Suard, G., Gandouin, E. et Franquet, É. 2008. Tributaries under Mediterranean climate: their role in macrobenthos diversity maintenance. *C. R. Biologies*, 331: 547-558.
- Murphy, J. et Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta*, 27: 31-36.
- OMS / PNUE 1995. *Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles*. Danemark, II-3: 1-13, II-7:1-12.
- Richoux, P. 1982. Introduction à la systématique des organismes des eaux continentales françaises, (2) Coléoptères (genre : adultes et larves). *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, 4: 1-53.
- Saad, Z., Slim, K., Khalaf, G. et Elsamad, O. 2004. Impact des rejets des eaux résiduaires sur la qualité physico-chimique et algologique du Nahr Antélias. *Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles*, 127: 69-82.
- Saliba, R., Khalaf, G., Stephan, M. et Nassif, N. 2003. *Correlation between ammonia and chemical and microbiological pollution of the coastal waters*. Workshop on Fisheries, Aquaculture and Environment, Lattakié, Syrie.
- Shannon, C.E. et Weaver, W. 1948. A mathematical theory of communication. *Bull. Syst. Techn. J.*, 27: 379-423, 623-656.
- Slim, K., Saad, Z. et Khalaf, G. 2000. Estimation de la qualité des eaux du Nahr Beyrouth. Utilisation de l'indice diatomique de polluo-sensible (IPS). *Cah. Ass. Sci. Eur. Eau et Santé*, 5: 51-60.
- Tachet, H., Bournaud, M. et Philippe, R. 1974. *Introduction à l'étude des macro-invertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique)*. Université Lyon I, Association Française de Limnologie, 155 p.