

LES SELS NUTRITIFS ET LE PHYTOPLANCTON SUR LA CÔTE SUD DU LIBAN : EVALUATION D'INDICES ÉCOLOGIQUES

M. Abboud-Abi Saab, M. Fakhry, M. -T. Kassab et N. Mattar
Conseil National de la Recherche Scientifique, Centre National des Sciences Marines,
B.P. 534, Batroun, Liban
mabisaab@cnsr.edu.lb

(Received 18 August 2003 - Accepted 6 September 2004)

RÉSUMÉ

Cette étude a été effectuée dans le but d'utiliser des indices écologiques pour l'estimation de la qualité des eaux côtières. Des prélèvements d'eau mensuels ont été réalisés entre septembre 2000 et décembre 2001, dans 4 stations situées en zone littorale de l'extrême sud de la côte libanaise et présentant des conditions géographiques et écologiques différentes. Des paramètres hydrologiques, hydrobiologiques et biologiques ont été analysés.

Les résultats ont montré que les températures ont varié entre 16,2 et 30°C, les salinités entre 38,87 et 39,57, les taux des orthophosphates entre 0,01 et 0,68 $\mu\text{mol/L}$ et les teneurs en nitrite et en nitrate ont varié successivement entre 0,01 et 0,47 $\mu\text{mol/L}$ et 0,02 et 11,64 $\mu\text{mol/L}$. Le rapport N/P a été loin de la valeur normale dans toutes les stations et ceci est dû au fait que les stations sont littorales et souvent soumises aux différentes agressions continentales ; par conséquent, il ne peut être considéré dans les eaux littorales comme seul indicateur d'un écosystème marin bien équilibré. La diversité spécifique (indice de Shannon) a varié entre 0,8 et 4,6. Les stations relativement peu polluées ont eu des indices de diversité élevés, alors que celles fortement polluées, ont eu des indices plus faibles. Cet indice pourra être considéré dans certaines conditions comme un critère pour l'estimation du déséquilibre dans le milieu. Il paraît bien que l'étude de l'aspect qualitatif du phytoplancton et de l'évolution du nombre de cellules reste un facteur indispensable pour estimer le niveau d'eutrophisation dans le milieu littoral et côtier.

Mots-clés : phytoplancton, eutrophisation, indices écologiques, eaux littorales, Liban Sud

ABSTRACT

This study uses ecological indicators for the assessment of coastal water quality. Four stations having different geographical and ecological conditions were chosen along the

coastal area of south Lebanon. Water samples were collected monthly from September 2000 to December 2001. Hydrological, hydrobiological and biological parameters were measured.

Results showed that temperatures varied between 16.2 and 30°C, salinity between 38.87 and 39.57, orthophosphates between 0,01 and 0,68 $\mu\text{mol/L}$, nitrite and nitrates between 0,01 and 0,47 $\mu\text{mol/L}$ et 0,02 and 11,64 $\mu\text{mol/L}$ successively. The ratio N/P is far from the normal value, in the 4 stations. This is due to the fact the stations are coastal and subject to continental influence. Hence they could not be considered as the only indicator for a well-equilibrated marine ecosystem. Specific diversity (Shannon index) varied between 0.8 and 4.6. Stations with a low pollution have a high diversity while highly polluted stations have a lower diversity. The diversity index, within certain conditions can be considered as one criteria to estimate the equilibrium in the environment. Qualitative and quantitative study of phytoplankton are still an important factor in estimating the level of eutrophication in the littoral environment.

Keywords: phytoplankton, eutrophication, ecological indexes, littoral waters, South Lebanon

INTRODUCTION

L'eutrophisation est devenue un phénomène de portée mondiale, après l'extension de l'usage par la population littorale des fertilisants artificiels, l'élevage intensif en agriculture, l'augmentation des rejets d'eaux usées, le développement du tourisme, *etc...*, incompatible avec la préservation de l'environnement littoral. Contrairement aux lacs et étangs d'eau douce, l'intérêt porté sur l'eutrophisation des estuaires et des zones côtières est plus récent (Rosenberg, 1985; Cloern, 2001).

Partant de la définition de l'eutrophisation qui est un processus d'enrichissement des eaux surtout en azote et phosphore, qui stimule la production aquatique primaire, une faible augmentation du taux des nutriments ou une légère eutrophisation dans un système marin oligo. ou mésotrophe auront un effet positif. Par contre, une eutrophisation globale du milieu, fera passer celui-ci des conditions plus ou moins oligotrophes (c.à.d. pauvre en éléments nutritifs et d'une façon générale peu propice à un développement massif des peuplements) à des conditions eutrophes (favorables à un tel développement). Les conséquences sont nombreuses telles que: diminution de la diversité spécifique, développement des espèces tolérantes (peut-être toxiques) et élimination d'autres, dystrophie dans le milieu, déséquilibre du rapport N/P, diminution de la diversité à l'échelon secondaire et finalement disparition des consommateurs aux échelons supérieurs. Elles peuvent mener à de graves manifestations conduisant à des visibles proliférations d'algues microscopiques, à un accroissement des algues benthiques, suivi par une diminution de l'oxygène et une détérioration de la qualité de l'eau. L'organisation du peuplement est donc perturbée. La diversité spécifique pourra nous aider à estimer le degré de cette organisation et l'inégale répartition des individus entre les espèces.

Les populations phytoplanctoniques, base de la chaîne alimentaire constituent la réponse immédiate aux rejets terrestres, par leur assimilation des sels nutritifs (N et P) d'une part, et par leur développement rapide d'autre part. Les niveaux de prolifération doivent être formalisés au travers des comptages (WWW Ifremer). Ils serviront ainsi d'indicateur

planctonique de l'équilibre du milieu. Le phytoplancton peut-être considéré comme un indicateur « objectif » du degré d'eutrophisation d'un système (WWW Ifremer).

Au Liban, l'urbanisation élevée de la zone côtière et le régime des fleuves lié directement au climat méditerranéen, ont un effet direct sur le littoral (Ministry of Environment/LEDO, 2001). En effet, la charge démographique exercée sur le littoral pollue les côtes par les eaux usées et le déversement de matières solides déposées sur les rivages ou en suspension dans les eaux.

La région côtière du sud du Liban, n'est en général pas à l'abri de ces activités, bien que certaines zones demeurent bien conservées comme à l'extrême sud. Des études relatives aux populations phytoplanctoniques ont été concentrées à la zone centrale de la côte libanaise, et plus précisément entre Beyrouth et les Iles des Palmiers. Le cycle biologique des différentes populations dans les zones côtières et au large (Abboud-Abi Saab, 1985; Abboud-Abi Saab & Kassab, 1997) ainsi qu'une étude détaillée de la période de bloom phytoplanctonique printanier (Abboud-Abi Saab, 1986) ont été réalisés. Au-delà du sud de Beyrouth, les études régulières dans ce domaine et dans les autres disciplines océanographiques sont rares (Kouyoumjian & Nouayhed, 1995).

L'usage incontrôlé du littoral et le rejet urbain excessif posent plusieurs questions: quel est l'effet de l'enrichissement sur le milieu de la zone étudiée ? Quand et sous quelles conditions l'eutrophisation est-elle un problème ? Comment la morphologie de la côte et l'hydrodynamisme des eaux pourront-ils jouer un rôle dans la dispersion des polluants ? Jusqu'à quelle limite le cas du sud Liban peut-il être généralisé sur toute la côte libanaise.

Le but de ce travail est d'évaluer si l'utilisation de certains indicateurs écologiques est pertinente pour classer les eaux littorales selon leur niveau d'enrichissement, et, éventuellement identifier un état d'eutrophisation. Parmi tous les indicateurs possibles, ont été sélectionnés dans cette étude exploratoire : le rapport N-NO₃/P-PO₄, le nombre de cellules et l'indice de diversité microphytoplanctonique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Description du site

Une large partie de la description du site est empruntée à Sanlaville (1977). La plaine littorale se termine par une côte basse, rectiligne et généralement sableuse, contrairement à ce que nous voyons en côte nord et centrale du Liban où la montagne parvient parfois jusque sur la côte et le plateau continental est très étroit. Entre le Naher Aouali et Ras el-Biada, la côte, orientée NNE-SSO (Fig.1), présente un tracé littoral régulier et pratiquement rectiligne, en particulier du sud de la ville de Saida, à l'embouchure de Zahrani, et de part et d'autre de la presqu'île de Tyr ; ailleurs les indentations sont en général modestes : de petites baies très ouvertes et souvent dissymétriques alternent avec des avancées rocheuses. Même les plus grands cours d'eau comme l'Aouali, le Zahrani ou le Qasmié ne sont pas parvenus à construire un delta, car sur cette côte très exposée aux vents

d'ouest et à la houle, la régularisation est très active, que ce soit par colmatage ou, plus souvent, par érosion.

Une partie de cette côte est déjà fortement polluée en raison de la proximité du port pétrolier de Saïda-Zahrani et, en bordure des platiers gréseux, se déversent les égouts de la ville de Saida. A Tyr, les dunes de sable, riches en calcaire, se sont formées à travers les âges après la construction d'une chaussée par Alexandre le grand en 332 reliant l'Ilot du Tyr au continent. Cependant, les dunes, qui étaient activement exploitées, s'effacent peu à peu devant la progression des nouveaux quartiers.

Les sources et les rivières sont peu nombreuses car cette région est en effet la moins arrosée de toute la façade méditerranéenne du pays. Les précipitations sont à peu près partout inférieures à 800 et parfois 600mm et tombent en un petit nombre de jours (50 à 60), tandis que la sécheresse estivale est encore plus accentuée qu'ailleurs (Atlas climatique du Liban, 1970). Vallées et rivières descendent directement à la mer, suivant la ligne de plus grande pente et parallèlement les unes aux autres. Les rivières permanentes sont rares : le Litani, Aouali, Saïniq et Zahrani ; sauf le premier, ces cours d'eaux n'ont qu'un débit médiocre et leur régime est à la fois excessif et irrégulier.

Stations prospectées

Quatre stations littorales (Fig. 1), situées à l'extrême sud du Liban, ont été visitées mensuellement entre septembre 2000 et décembre 2001. Les coordonnées et les caractéristiques des stations figurent au Tableau 1. La distance du rivage est de 3 -6m.

Certains facteurs caractéristiques à chaque station pourraient avoir un effet direct sur la vitesse du courant et la qualité de l'eau. La station (Sda) est située entre le terrain sportif et la citadelle marine ; un brise-vague est construit en face. Il n'y a pas de maisons à proximité immédiate mais au sud de la station se jette l'égout de la municipalité dont les eaux, entraînées par le courant général Sud-Nord, atteignent la station durant la majorité des mois de l'année. Le fond est sableux et couvert de débris de déchets domestiques. La station Sar se situe sur une plage en majorité rocheuse avec présence de terrasses qui arrivent jusqu'aux zones émergées de la côte ; la partie sableuse est formée de sable grossier très riche en débris de coquillages. On note, à proximité, des habitations, et le port situé au nord de cette station, dont l'effet ne doit se faire sentir que lorsque le vent du nord inverse la direction du courant. La station (Sur) se situe sur une large plage plate et sableuse qui est très fréquentée en été par les baigneurs et désertée en hiver. Enfin (Nak), pas loin de la frontière sud du pays, est située sur une côte rocheuse; quelques chalets privés, habités uniquement en été, sont situés au nord de cette station. Elle peut être considérée comme une référence locale, puisqu'elle n'est pas soumise à des apports de sels nutritifs locaux (ni rivière, ni rejet proche).

Notons que l'emplacement des installations urbaines est important dans le cas de l'étude de l'effet des polluants sur la qualité de l'eau et la production primaire car le courant général est de direction sud est-nord ouest donc parallèle à la côte pendant la majorité de l'année.

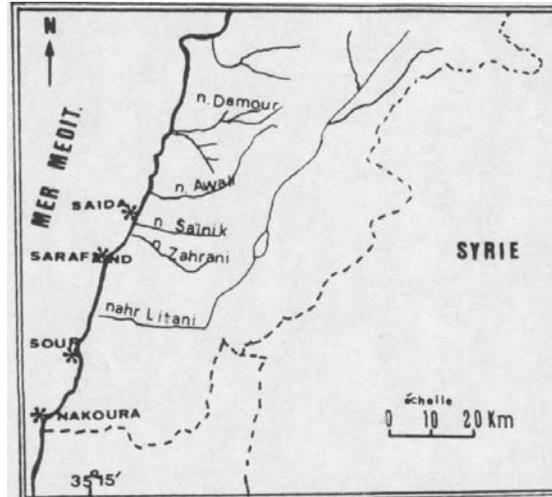


Figure1. Carte du Liban Sud montrant les stations prospectées.

TABLEAU 1

Caractéristiques des Stations d'Etude

Station et Code	Localité	Coordonnées	Nature du fond
Saida (Sda)	Plage de la municipalité à Saida	N 33°34,701' E 35°22,935'	Sableux
Sarafand (Sar)	A Sarafand, en face de Station électrique	N 33°28,035' E 35° 18,166'	Rocheux et sableux
Sour (Sur)	A Sour- plage publique - Rest house	N 33°15,610' E 35° 12,536'	Sableux
Nakoura (Nak)	A Nakoura - côte sauvage	N 33°07,014' E 35° 07,348'	Rocheux

La fréquence des prélèvements était mensuelle et les sorties ont été faites le matin. Etant donné que les stations sont littorales (profondeur de 1m), elles ont été atteintes à pied et les échantillons ont été recueillis au moyen d'un seau. Au total, 64 échantillons ont été collectés.

Méthodes d'analyse

Des mesures hydrologiques et hydrobiologiques ont accompagné l'étude biologique. La température a été mesurée au moyen d'une sonde multi-paramètre type "WTW

Multiline P4" ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), calibrée régulièrement avec un thermomètre à mercure et la salinité par la méthode conductimétrique au moyen d'un salinomètre Beckman modèle R S7-C. L'échelle sur laquelle elle est mesurée est PSS78 (Practical Salinity Scale, 1978). Les eaux destinées à l'analyse des sels nutritifs étaient stockées, sans filtration préalable, dans des flacons en polyéthylène et congelées (-20°C) jusqu'à leur analyse, environ 2 semaines plus tard. Les ions orthophosphates ont été analysés suivant la méthode de Murphy et Riley (1962), le nitrate selon la méthode de Strickland et Parsons (1968) modifiée d'après Grasshoff (1961) qui a remplacé l'EDTA par du chlorure d'ammonium et le nitrite selon Bendschneider et Robinson (1952). Les échantillons d'eau, destinés à l'étude microscopique, ont été fixés immédiatement au Lugol (5%) et le comptage a été fait, suivant la méthode d'Utermöhl (1958), après 48h de sédimentation dans un tube de 100ml. Le dénombrement et l'identification des cellules microplanctoniques ($>20\mu\text{m}$) ont été réalisés jusqu'à l'espèce, selon la densité des cellules, dans un diamètre, 2 diamètres ou la moitié de la surface ; elles ont été considérées pour l'étude de l'indice de diversité (indice de Shannon, 1948) ; par contre, les cellules nanoplanctoniques (entre 2 et $20\mu\text{m}$) outre les dinoflagellés ont été comptées ensemble. Ce sont les cellules et non les colonies qui ont été dénombrées. L'analyse de variance et les corrélations ont été établies sur « Jandal Sigma Stat, version 2 ».

RÉSULTATS

Paramètres physico-chimiques

Les variations mensuelles des paramètres physico-chimiques sont présentées à la Figure 2 et les statistiques descriptives sont regroupées dans le Tableau 2. Bien que les stations soient géographiquement proches, elles sont différentes de point de vue action anthropogénique et nature du fond ; pour cette raison nous avons préféré garder les moyennes de chaque station séparées et essayer de comparer les moyennes par une analyse de variance.

La température présente un cycle annuel avec un maximum de 30°C (août à Nak) et un minimum de $16,2^{\circ}\text{C}$ (février à Sar). La comparaison des températures moyennes de surface montre que les stations rocheuses présentent des valeurs moyennes légèrement plus élevées mais les différences ne sont pas significatives ($p>0.05$). Les valeurs des salinités sont élevées et oscillent entre des valeurs moyennes 38,87 et 39,34. Sda et Sar présentent des valeurs basses en novembre. La station Nak présente la valeur moyenne la plus élevée et l'écart-type le plus faible (Tableau 2) ; sa moyenne présente une différence significative avec toutes les autres stations ($p<0.05$).

Les concentrations en orthophosphates (P-PO₄) varient entre 0,005 et 0,682 $\mu\text{mol/L}$. Sda présente les valeurs les plus élevées avec deux pics, un en avril et un autre en novembre et présente une différence significative avec les 3 autres stations ($p<0.05$). Bien qu'elle soit située à l'extrême sud du pays et loin des agglomérations urbaines, Nak présente parfois des valeurs plus élevées avec un pic en juillet et une moyenne de 0,134 contre 0,085 et 0,082 $\mu\text{mol/l}$ respectivement pour Sar et Sur. Les teneurs en nitrate oscillent entre 0,016 et 15,57 $\mu\text{mol/L}$. Sar et Sad présentent des valeurs maximales en novembre. Nak présente les valeurs et les oscillations les plus basses. Bien que le nitrate présente des variations irrégulières, les valeurs moyennes sont comparables dans les 3 premières stations ; Nak

présente une différence significative avec les autres stations ($p < 0,05$). Les teneurs en nitrites varient entre 0,016 et 1,34 $\mu\text{mol/L}$. C'est la station Sur qui présente la valeur moyenne la plus élevée (0,304) avec un pic maximum en novembre 2000 et Nak la plus faible (0,059 $\mu\text{mol/L}$), parallèle au maximum de nitrate sauf, Sur vs Nak présente une différence significative ($p < 0,05$).

TABLEAU 2

Variations des Paramètres Physico-Chimiques Etudiés aux Différentes Stations au Sud Liban (n =16)

Station → moyenne ± S.D. (min.-max) Variable ↓	Sda	Sar	Sur	Nak
T °C	23,26 ± 4,01 ^a (17,5 - 29,3)	22,79 ± 4,65 ^a (16,2 - 29,3)	23,41 ± 4,19 ^a (17,5 - 29,3)	23,7 ± 4,11 ^a (18 - 30)
Salinité	38,87 ± 0,35 ^{bd} (38,12-39,3)	39,04 ± 0,26 ^d (38,59 - 39,47)	38,95 ± 0,35 ^{cd} (38,12 - 39,3)	39,34 ± 0,21 ^a (38,99 ± 39,57)
P-PO4 ($\mu\text{mol/L}$)	0,25 ± 0,17 ^a 0,11 - 0,68	0,08 ± 0,05 ^{bd} (0,005 - 0,20)	0,85 ± 0,04 ^{cd} (0,005 - 0,19)	0,13 ± 0,13 ^{db} (0,005 - 0,53)
Nitrite ($\mu\text{mol/L}$)	0,15 ± 0,68 ^a (0,06 - 0,30)	0,18 ± 0,12 ^{ab} (0,05 - 0,47)	0,30 ± 0,03 ^a (0,06- 1,34)	0,06 ± 0,07 ^b (0,01 - 0,28)
Nitrate ($\mu\text{atg/L}$)	4,06 ± 3,19 ^a (0,94 - 9,73)	4,45 ± 3,23 ^a (0,85 - 11,64)	0,06 ± 0,39 ^a (0,02 - 1,33)	0,55 ± 0,39 ^b (0,02 - 1,33)
N/P	19,3 ± 16,8 ^c (3,1 - 58)	59,3 ± 38,6 ^a (12,7 - 158)	68 ± 61 ^a (7,1 - 193)	9,9 ± 11,3 ^{bc} (0,3 - 38)

^{a, b, c, d}, Dans chaque ligne, les moyennes avec des exposants différents sont significativement différentes ($p < 0,05$) (test de Tukey)

Rapport N-NO3/P-PO4

Les valeurs du rapport N/P oscillent entre 0,3 et 192, mais 23% sont supérieures à 50 et 8% > à 5. Au niveau du cycle annuel, les rapports les plus bas sont notés dans les 6 premiers mois de l'année dans presque toutes les stations. Les valeurs maximales et les moyennes les plus élevées sont notées aux stations Sar et Sur, tandis que Nak présente les valeurs les plus basses. L'analyse de variance a montré des différences significatives entre certaines stations (Sur vs Naq, Sur vs Sda, Sar vs Sda ; $p < 0,05$).

Paramètres biologiques

Les statistiques descriptives qui regroupent toutes les données biologiques sont présentées au Tableau 3. Entre les diverses stations et les différents mois, les différences de densités ont été telles qu'il était nécessaire de recourir à une ordonnée logarithmique pour la représentation graphique.

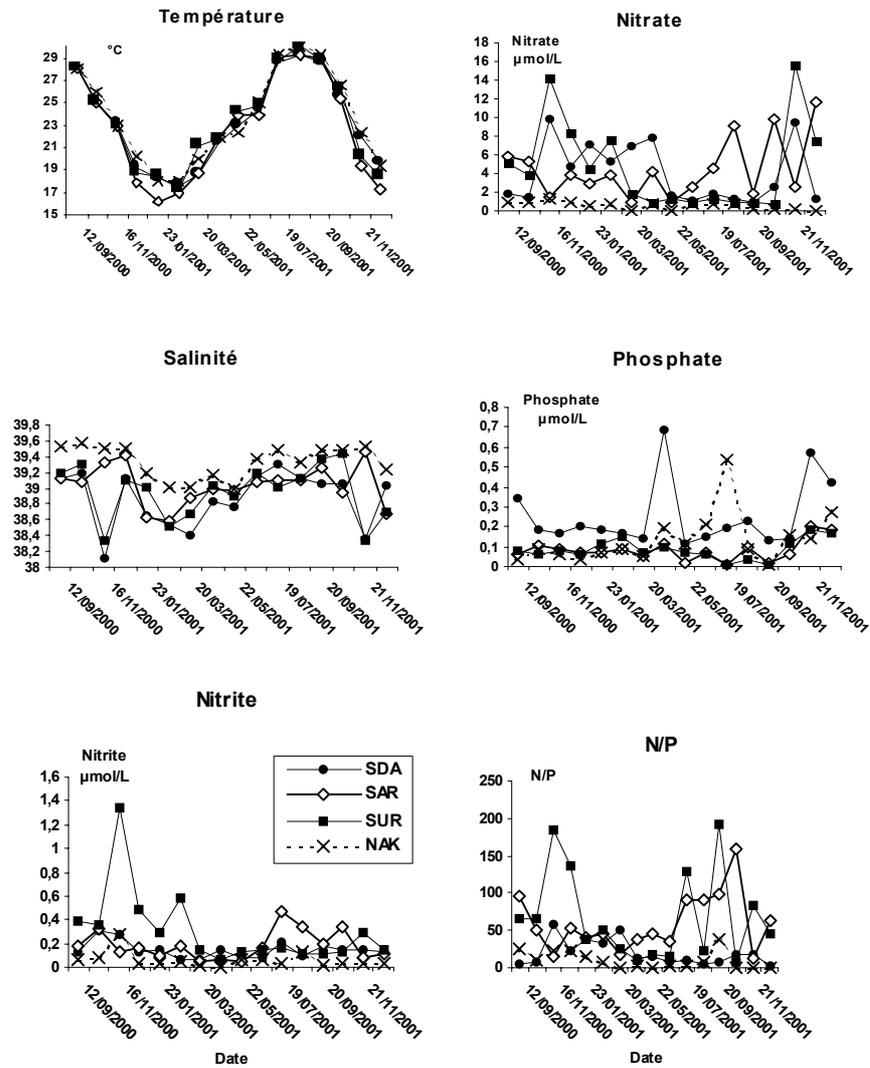


Figure 2. Variations mensuelles des paramètres physico-chimiques et du rapport N/P aux différentes stations prospectées au Liban Sud.

Populations nanoplanctoniques

Les populations nanoplanctoniques varient entre 100 et 159000 cellules/L (Fig.3). Les trois premières stations présentent des valeurs moyennes comparables tandis que Nak présente une valeur nettement plus basse mais elle ne présente une différence significative qu'avec Sur ($p < 0,05$).

TABLEAU 3

Variations des Populations Planctoniques (Cellules L⁻¹) et de l'Indice de Diversité Etudiés aux Différentes Stations du Sud du Liban (n = 16)

Station → moyenne ± Sd (min.-max) Variable ↓	Sda	Sar	Sur	Nak
Nanoplancton	33730 ± 31580 ^a (3200 - 117200)	32 360 ± 34300 ^a (100 - 123500)	62790 ± 41180 ^a (12700 - 159000)	21850 ± 27050 ^{ba} (100 - 108500)
Micro- phytoplancton	271000 ± 349500 ^a (4350 - 968000)	48160 ± 31800 ^{cd} (14650 - 144700)	99100 ± 82250 ^d (21800 - 242150)	13500 ± 6400 ^{bd} (1300 - 25300)
Total Diatomées	259000 ± 340600 ^a (2500 - 954360)	44500 ± 32260 ^{cd} (9770 - 142100)	85400 ± 75460 ^d (13760 - 222550)	9500 ± 5430 ^{bd} (1200 - 20700)
Diatomées pennées	113900 ± 209200 ^a (1980 - 637556)	42750 ± 30900 ^a (9370 - 136800)	57870 ± 47150 ^a (7500 - 144000)	8450 ± 4700 ^a (1150 - 17400)
Diatomées centriques	145100 ± 240950 ^a (500 - 893400)	1700 ± 1800 ^{ca} (100 - 5300)	37100 ± 41600 ^a (2400 - 143150)	1100 ± 1500 ^{ba} (50 - 5250)
Dinoflagellés	117000 ± 17700 ^a (1100 - 72000)	3500 ± 3200 ^a (660 - 10800)	13150 ± 12450 ^a (1300 - 46300)	3800 ± 4300 ^a (100 - 14000)
Indice de diversité	3,3 ± 1,1 ^a (0,8 - 4,6)	3,6 ± 0,6 ^a (0,8 - 4,6)	4,1 ± 0,6 ^a (2,6 - 4,9)	3,7 ± 0,8 ^a (1,6 - 5,5)

^{a, b, c, d}, Dans chaque ligne, les moyennes avec des exposants différents sont significativement différentes ($p < 0,05$) (test de Tukey)

Populations microphytoplanctoniques

Les populations microphytoplanctoniques varient entre 1300 et 968000 cellules/L. Des variations entre les stations sont notées durant le cycle annuel (Fig. 3). A Saida, un maximum est en mai et un autre entre août et octobre. A Sar, le maximum est en novembre 2000 et septembre 2001 et à Sur, le maximum est en février. A Nak il y a un pic en mars et un autre en septembre. La valeur moyenne de Sda présente une différence significative plus grande avec les autres stations ($p < 0,05$).

Les diatomées varient entre 1200 et 950000 avec une densité moyenne nettement plus élevée à Sda qui présente une différence significative plus grande avec les autres stations ($p < 0,05$). Les dinoflagellés, varient entre 100 et 72000 cellules/L avec des valeurs élevées

également dans les stations sableuses. Les différences entre les moyennes aux quatre stations ne sont pas significatives ($p>0,05$).

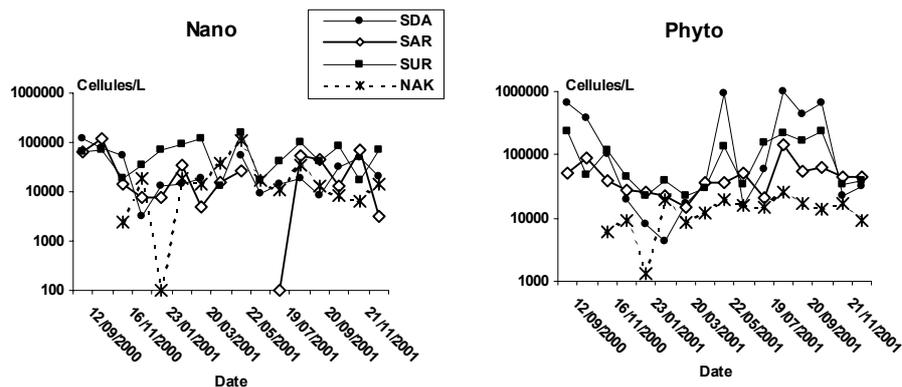


Figure 3. Variations mensuelles des populations nano. et microplanctoniques aux différentes stations prospectées au Liban Sud.

En comparant les pourcentages des deux principaux groupes constituant les populations phytoplanctoniques (Fig.4), Diatomées et Dinoflagellés, on constate que les populations sont formées surtout de diatomées ; les pennées constituent presque l'exclusivité des populations à Sar et presque toute l'année, alors qu'à Sda elles sont aussi abondantes que les centriques. Ces dernières sont peu représentées à Sar et à Nak qui sont les stations littorales à fond sableux ; tandis que les dinoflagellés sont surtout présents de décembre à avril à Sda, en juillet à Sar, de janvier jusqu'en avril à Sur, en mai et août à Nak. Les moyennes des diatomées pennées aux quatre stations ne présentent pas de différences significatives entre elles ($p>0,05$) ; par contre, celles des centriques sont plus abondantes aux stations sableuses (Sda et Sur) avec une différence significative ($p<0,05$).

Une matrice de corrélation réalisée pour étudier les coefficients de corrélation entre les paramètres environnementaux et les paramètres biologiques étudiés n'a montré des corrélations significatives qu'entre la température et le total phytoplanctonique, les diatomées totales et les diatomées pennées ($r = 0,361$; $0,356$; $0,384$ successivement) ($p<0,5$). Par contre, la salinité était significativement corrélée, positivement avec la température ($r = 0,443$) et négativement avec le nitrate et le nitrite.

Succession saisonnière des communautés phytoplanctoniques

Le Tableau 4 montre pour chaque mois et à chaque station, les espèces dominantes et leur pourcentage par rapport au total microphytoplanctonique. Ces espèces ne sont pas souvent les mêmes au même mois aux différentes stations. C'est surtout Sda qui présente les

espèces ayant le pourcentage le plus élevé ; ainsi on note en 2000, *Pheodactylum tricorutum* (82%) en septembre, *Asterionella glacialis* (43%) en octobre, *Chaetoceros spp* (65%) en novembre. En 2001, on note *Skeletonema costatum* (91.7%) en mai, *Thalassiosira sp* (57%, 34%) respectivement en septembre et octobre, *Protoperdinium quinquicorne* (29%) en novembre et *A. glacialis* (29%) en décembre.

Presque toutes les espèces dominantes sont des diatomées pennées et certaines sont d'origine benthique (*Licmophora abbreviata*, ...). S'il y a quelques dinoflagellés, ils viennent en seconde place (*Protoperdinium quinquicorne* en septembre et novembre à Nak et Sda successivement, *Ostreopsis siamensis*, espèce réputée toxique, en juillet , août et novembre dans les stations rocheuses). Certaines espèces ont été abondantes uniquement dans les stations sableuses comme les espèces de *Biddulphia*.

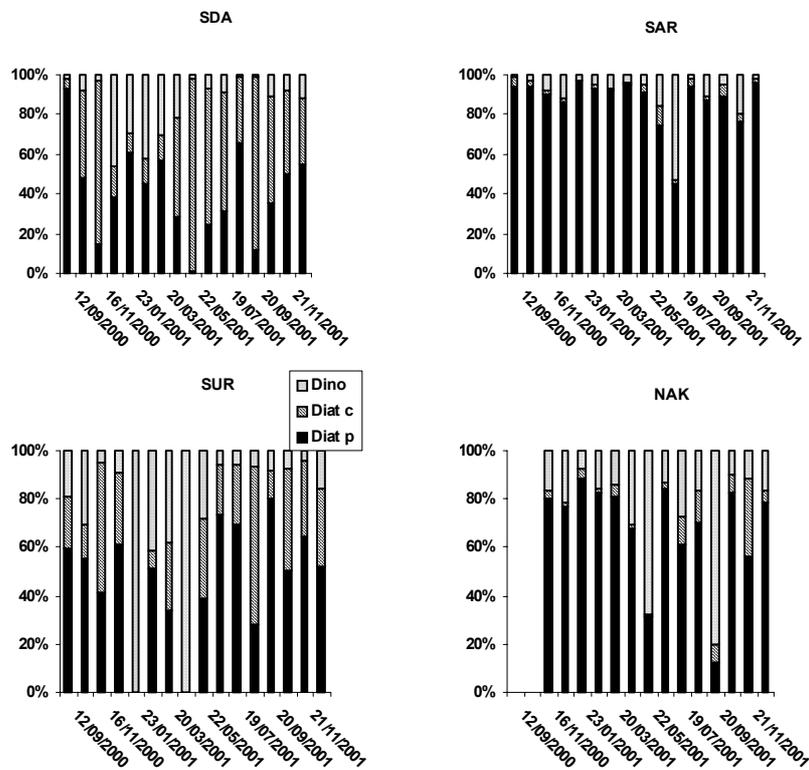


Figure 4. Variations des pourcentages des dinoflagellés (Dino), des diatomées centriques (Diat c) et des diatomées pennées (Diat p) par rapport au total microplanctonique.

TABLEAU 4
Espèces Dominantes et leur Pourcentage par Rapport au Total Microphytoplanktonique
aux Quatre Stations Prospectées entre Septembre 2000 et Décembre 2001

Station→ Mois↓	Sda	Sar	Sur	Nak
Septembre 2000	<i>Pheodactylum tricornutum</i> 82%	<i>Licmophora abbreviata</i> 18%	<i>P. tricornutum</i> 43% <i>Fibrocapsa</i> 14%	-
Octobre	<i>Asterionella glacialis</i> 43% <i>Eucampia zodiacus</i> 28%	<i>P. tricornutum</i> 37%	Diatomée pennée 19% <i>Gymnodinium</i> sp. 17%	-
Novembre	<i>Chaetoceros</i> spp. 65 % <i>C. closterium</i> 5 % <i>R. fragilissima</i> 5 %	<i>Cocconeis</i> sp. 11% <i>Ostreopsis siamensis</i> 5%	<i>Biddulphia</i> spp. 40%	<i>Cocconeis</i> sp.23% <i>O. siamensis</i> 20 %
Décembre		<i>Cocconeis</i> sp. sp.26 %	<i>Biddulphia</i> sp.26%	<i>Pseudonitzschia</i> sp.22%
Janvier 2001		<i>Cocconeis</i> sp. 35%	<i>Cocconeis</i> sp. 4%	
Février		<i>Cocconeis</i> sp.54%	<i>Cocconeis</i> sp.16%	<i>Cocconeis</i> sp. 24%
Mars	<i>Asterionella glacialis</i> 18%	<i>Cocconeis</i> sp. 51%	<i>R. fragilissima</i> 16%	<i>Cocconeis</i> sp 31%
Avril	<i>Biddulphia</i> 44%	<i>Navicula</i> sp. 13%		<i>Cocconeis</i> 34%
Mai	<i>Skeletonema costatum</i> 92%	<i>L. abbreviata</i> 10%	<i>Chaetoceros</i> spp. 33%	<i>Gymnodinium</i> sp. 19%
Juin	<i>Biddulphia</i> sp. 64%	<i>Cocconeis</i> sp. 24%	<i>Cocconeis</i> sp.23%	<i>Cocconeis</i> sp.42%
Juillet	<i>Biddulphia</i> sp 27% <i>Chaetoceros</i> spp 30%	<i>O. siamensis</i> 51%	<i>P. tricornutum</i> 36 <i>Biddulphia</i> sp. 18%	<i>L. abbreviata</i> 24%
Août	<i>Biddulphia</i> spp 27% <i>Leptocylindrus danicus</i> 19% <i>C. closterium</i> 19% <i>P. delicatissima</i> 12%	<i>L. abbreviata</i> 30% <i>C. closterium</i> 7%	<i>Biddulphia</i> sp. 40% <i>P. delicatissima</i> 8% <i>C. closterium</i> 7%	<i>L. abbreviata</i> 14% <i>C. closterium</i> 7% <i>O. siamensis</i> 6%
Septembre 2001	<i>Thalassiosira</i> sp 57 % <i>Chaetoceros</i> spp 21 % <i>L. danicus</i> 5%	<i>L. abbreviata</i> 22%	<i>P. delicatissima</i> 48% <i>C. closterium</i> 23 %	<i>P. quinquicorne</i> 10 %
Octobre	<i>Thalassiosira</i> sp. 34% Diat.p. 29% <i>R. delicatula</i> 4%	<i>Cocconeis</i> sp.10% <i>L. abbreviata</i> 10%	<i>Biddulphia</i> 38% Diat.p. 12% <i>Cocconeis</i> 9%	
Novembre	<i>P. quinquicorne</i> 29%	Diat. p. 30%	<i>Biddulphia</i> 21.9% <i>Cocconeis</i> 17%	<i>Chaetoceros curvisetus</i> 14%
Décembre	<i>A. glacialis</i> 29 %	<i>Cocconeis</i> sp.10% <i>L. abbreviata</i> 8%	<i>Biddulphia</i> sp. 28%	<i>L. abbreviata</i> 21%

Diversité spécifique (Indice de Shannon)

L'indice de diversité varie entre 0,8 et 5,5 avec des valeurs moyennes entre 3,30 et 4,1. Les valeurs les plus basses sont notées à Sad en septembre et en février tandis que des valeurs maximales sont notées à Nak en août (Fig. 5). Au cours de l'année, l'indice ne suit pas un cycle bien déterminé ou le cycle classique rencontré dans les eaux du large (Abboud-Abi Saab, 1988). Les moyennes entre les stations sont très comparables sauf à Sur et ne présentent pas de différences significatives ($p < 0,5$); ce sont surtout les minimums et les maximums qui varient entre les stations.

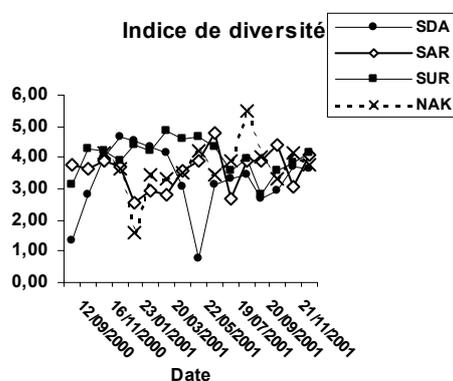


Figure 5. Variations mensuelles de l'indice de diversité (Indice de Shannon) aux différentes stations prospectées au Liban Sud.

DISCUSSION

Les eaux littorales du sud du Liban montrent un cycle thermique typique de la côte libanaise avec de légères variations à chaque station et des valeurs moyennes et mensuelles supérieures à celles notées au nord du pays (Abboud-Abi Saab, 1993). De même, les valeurs des salinités restent dans les limites enregistrées pour les zones qui ne sont pas directement affectées par les cours d'eau (Abboud-Abi Saab, 1996) avec des valeurs moyennes élevées à Nakoura. Cette dernière station est loin de l'influence des cours d'eau ou des rivières qui débouchent en mer, ce qui explique sa valeur moyenne la plus élevée (39,0) comparée à celle notée au centre de la côte libanaise (Abboud-Abi Saab & Nabbhan, 1994) qui est elle-même moins élevée que celle notée au nord près des Iles de Palmiers (Abboud-Abi Saab, 1993).

Le fait que les sels nutritifs ne présentent pas un cycle bien marqué est attribué au fait que les stations sont littorales : un apport sporadique terrestre et local peut perturber le cycle. De plus, un état de mer agité peut provoquer un brassage des eaux et remettre en suspension des particules du fond qui relarguent à leur tour des nutriments dans le milieu notamment des ions orthophosphates adsorbées sur les particules (Oren & Ravid, 1969). Enfin

le vent peut changer la direction des courants locaux qui vont apporter des eaux d'origine différente. Bien qu'elle soit loin des activités anthropogéniques, la station de Nakoura présente une valeur moyenne d'orthophosphates relativement élevée ce qui ne peut pas être expliqué en l'état actuel des connaissances sur la zone. Les valeurs moyennes du nitrate sont comparables dans les 4 stations, mais les écarts-types et les valeurs maximales indiquent bien que la station de Saida est enrichie par des eaux continentales qui augmentent les sels nutritifs et diminuent la salinité. Ceci explique la corrélation négative significative du nitrate et du nitrite avec la salinité. Comparées à d'autres lieux de la côte libanaise, à l'exception des ports, la zone de Saida et celle d'Antélias (données non publiées) présentent les taux des nitrates les plus élevés de la côte libanaise indiquant un apport terrestre supérieur à celui des autres zones. Il est certain que la morphologie de la côte sud-libanaise, presque rectiligne et ouverte aux vents et aux mouvements des vagues, favorise la dispersion des rejets et empêche leur accumulation, ainsi que toutes les conséquences qui pourraient dériver de cet enrichissement. La morphologie du littoral est en effet un facteur important qui détermine l'intensité de l'eutrophisation (les ports, les baies enfermées et peu profondes, les estuaires et les rivières sont particulièrement soumis à l'effet négatif de l'eutrophisation), car les conditions hydrodynamiques jouent un rôle principal dans la concentration ou la dissémination des nutriments.

Le rapport N/P peut présenter un déséquilibre, vers les valeurs faibles ou fortes, de la balance de sels nutritifs. C'est à Sarafand et à Sour qu'on trouve les valeurs les plus élevées du rapport N/P mais elles ne correspondent pas aux valeurs maximales de phosphate et de nitrate. La littérature est vaste sur la signification du rapport N/P (Redfield Ratio) qui est de l'ordre de 16 : 1 par atomes. De grandes variations de ce rapport sont notées dans les couches euphotiques (Becacos-Kontos, 1969 ; 1977 ; Berland *et al.*, 1980 ; Revelante et Gilmartin, 1976 ; Cloern, 2001). Le rapport N/P est aussi dépendant de la saison dans la zone euphotique (Kress et Herut, 2001). Balkis (2003) note, dans une baie en mer Marmara, des valeurs de ce rapport inférieures à la valeur de 16 avec l'azote comme facteur limitant. Les variations du rapport N/P prennent une ampleur particulière par suite des apports littoraux irréguliers et divers (apports fluviaux, effluents domestiques et industriels, précipitations et torrents).

Quant aux populations phytoplanctoniques, en comparant les données relatives à celles précédemment obtenues dans les eaux côtières (Abboud-Abi Saab, 1985 ; Abboud-Abi Saab & Nabbhan, 1994), on constate des densités élevées au mois d'octobre 2000 aux 3 premières stations et la poussée printanière entamée en avril, a repris en été 2001 contrairement à ce qu'on rencontre dans le cycle phytoplanctonique habituel des eaux libanaises. Par contre, la station Nak, la moins urbanisée, n'a pas présenté ce schéma. L'enrichissement continu en sels nutritifs dans les premières stations, a dû favoriser et entretenir un développement phytoplanctonique durant les mois du minimum cellulaire annuel, qui coïncide habituellement avec la période de stratification thermique (Abboud-Abi Saab, 1985). C'est un cas rencontré dans les zones eutrophisées avec successions de blooms en fonction de la température saisonnière (Vollenweider *et al.*, 1992). Les expériences en zones côtières sont encore insuffisantes pour déterminer lequel de ces paramètres, phosphore ou azote est le facteur limitant. En mer ouverte, on considère généralement que le nitrate et non le phosphate est le facteur limitant de la production (Ryther & Dunstan, 1971 ; Eppley, 1972), par contre, en Méditerranée, le phosphore serait le principal facteur limitant d'après Revelante et Gilmartin, (1976), Pojed et Kveder (1977), Berland *et al.* (1980), tandis que

Becacos-Kontos (1969 ; 1977) considère que l'un et l'autre sont limitants alternativement. D'autres estiment que la production dans des zones de transition (mer- apports terrestres) pourrait être limitée par des facteurs autres que le phosphate et l'azote qui sont en relation avec la quantité d'apport reçue (Vollenweider, 1992).

L'important pourcentage des diatomées centriques à Saida, réparties dans un nombre restreint d'espèces, généralement présentes dans les zones eutrophes comme le nord de l'Adriatique (notons *Thalassiosira* sp., *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.) indique que cette station est plus eutrophe que les autres.

Pour l'indice de diversité de Shannon, une étude antérieure note un cycle annuel dans les zones côtières libanaises aussi bien qu'au large, les variations saisonnières en surface ont montré un minimum annuel en mai inférieur à 0.5 tandis qu'un maximum est noté en septembre avec une valeur supérieure à 3.5 (Abboud-Abi Saab, 1988). L'absence d'un cycle bien net de l'indice de diversité (sauf à Saida) et les valeurs souvent élevées par rapport à ce qui a été observé au large de la côte libanaise, n'aident pas souvent dans le cas des zones littorales, à déduire des schémas réels de la situation ; en effet, aux stations littorales et ouvertes au large, en plus des phytoplanctontes présentes dans le milieu pélagique, des espèces d'origine benthique, montent en suspension aux moindres mélanges d'eau et viennent s'ajouter à la biomasse phytoplanctonique estimée soit par le comptage cellulaire soit par la mesure des chlorophylles ou par d'autres méthodes; l'abondance de ces espèces varie selon la nature du fond (sableux ou rocheux), et selon qu'il soit exposé ou abrité. L'interprétation de cet indice soulève alors beaucoup de questions: faut-il considérer les espèces nanoplanctoniques dans le calcul et comment réalise-t-on leur identification ? Faut-il considérer les espèces d'origine benthique ? Y-a-t-il un indice nano. ou microplanctonique de diversité ? Qu'en est-il des espèces très rares collectées uniquement dans le filet et qui sont en général des grandes cellules ? De ce qui précède, on réalise mieux avec quelle prudence il faut considérer cet indice de diversité pour l'estimation du niveau d'eutrophisation dans les stations littorales peu eutrophes ou irrégulièrement enrichies ; cet indice sera plus indicatif et plus applicable dans des stations ayant des conditions extrêmes (les zones très eutrophes) comme celle de Saida.

Un système de classification pour l'estimation de l'eutrophisation développé par Tsirtsis and Karydis (1998), basé sur les valeurs des indices écologiques phytoplanctoniques calculés sur un grand nombre d'échantillons de différentes régions de la Mer Egée pourrait être utilisé. En choisissant l'indice moyen qui est le plus proche de nos valeurs ainsi que la moyenne des densités de cellules, on constate que la station Saida peut être classée comme eutrophe; ceci est dû à l'effet des eaux contaminées, riches en phosphates, de l'égout qui se jette à proximité.

De ces résultats, il apparaît que l'étude de l'aspect qualitatif du phytoplancton et de l'évolution de la densité cellulaire reste un facteur indispensable pour estimer le niveau d'eutrophisation dans le milieu côtier malgré ce qu'il exige comme temps pour l'étude taxonomique et le comptage cellulaire.

Il est bien certain, qu'on ne peut nullement prétendre qu'une zone littorale est représentative d'une zone géographique marine et que les résultats peuvent être généralisés à

toute une région. Cette étude réalisée pour la première fois au sud Liban, complète ce qui a été entamé depuis plusieurs années au centre et au nord du pays. Bien qu'il y ait des différences spécifiques dans les zones urbanisées (cas de Saïda) ou affectées par les fleuves (Litani ou Awali), la situation hydrologique (T°C, S) et écologique des eaux (N/P, indice de diversité, densité cellulaire) confirme ce qui a été publié sur le reste du littoral libanais.

RÉFÉRENCES

- Abboud-Abi Saab, M. 1985. Etude quantitative et qualitative du phytoplancton des eaux côtières libanaises. *Leb. Sci. Bull.*, 1(2): 197-222.
- Abboud-Abi Saab, M. 1986. Contribution à l'étude de la poussée phytoplanctonique printanière dans les eaux côtières libanaises. *Leb. Sci. Bull.* 2(1): 29-51.
- Abboud-Abi Saab, M. 1988. Diversité spécifique et successions écologiques des populations microplanctoniques dans les eaux côtières libanaises. *Leb. Sci. Bull.*, 4(1): 19-30.
- Abboud-Abi Saab, M. 1993. Les caractères hydrologiques des eaux marines entre El Mina et le Parc des Iles des Palmiers. *Hannon*, 22: 59-69.
- Abboud-Abi Saab, M. 1996. *Influence des fleuves sur la dynamique des populations planctoniques (production primaire). Cas typique de la côte centrale du Liban.* Rapports finaux des projets de recherches sur les effets (Domaine de Recherche III). Effets de la pollution sur les communautés marines. MAP Technical Series No. 97, UNEP, Athens, 1996.
- Abboud-Abi Saab, M. & Nabbhan, Ph. 1994. Interrelations entre groupes planctoniques dans les eaux côtières Libanaises. *Cahiers de l'analyse des données*, 19(4): 395-416.
- Abboud-Abi Saab, M. & Kassab, M.T. 1997. A study of the annual cycle of phytoplanktonic population in the Palm Island Nature Reserve, Lebanon. *Leb. Sci. Bull.*, 10(1): 61-79
- Atlas climatique du Liban, 1970. Services météorologiques du Liban, Ministère des travaux publics et des transports, 4 tomes.
- Balkis, N. 2003. Seasonal variations in the phytoplankton and nutrient dynamics in the neritic water of Büyükçekmece Bay, Sea of Marmara. *J. Plank. Res.*, 25(7): 703-717.
- Bendschneider, K. & Robinsons, R.J. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11: 87-96.
- Becacos-Kontos, T. 1969. *Saranicos Gulf*. In Mediterranean Productivity Project, Technical Report 47, NATO Subcommittee on oceanographic research edited by E. Steemann-Nielsen, B. Battaglia, H.J. Minas, Copenhagen: 64-78.
- Becacos-Kontos, T. 1977. Primary production and environmental factors in an oligotrophic biome in the Aegean Sea. *Mar. Biol.*, 42: 93-98.
- Berland, B.R., Bonin, D. J. & Maestrini, S. Y. 1980. Azote ou phosphore. Considérations sur le « paradoxe nutritionnel » de la mer Méditerranée. *Oceanologica Acta*, 3(1):135-142.
- Cloern, J. E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 210: 223-253.
- Eppley, R. W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.*, 70: 1063-1085.
- Grasshoff, F.K. 1961. Zur Bestimmung von Nitrat in Meer - und Trinkwasser. *Kieler Meeresforsch*, 20:5-10.

- Kouyoumjian, H.H. & Nuwayhid, M. 1995. A review of marine research in Lebanon. *Leb. Sci. Bul.*, 8(1): 77-107.
- Kress, N & Herut, B. 2001. Spatial and seasonal evolution of dissolved oxygen and nutrients in the southern Levantine Basin (Eastern Mediterranean sea): chemical characterization of the water masses and inferences on the N:P ratios. *Deep-Sea Research I*, 48: 2347-2372.
- MoE/LEDO/ECODIT, 2001. *Lebanon state of the environment report*. Prepared by ECODIT, 246 pp + Appendixes.
- Murphy, J. & Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- Oren, O. H. & Ravid, R. 1969. Phosphate in Lake Kinnereth. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 17: 334-341.
- Pojed, I. & Kveder, S. 1977. Investigation of nutrient limitation of phytoplankton production in North Adriatic. *Comm. Int. Expl. Sci. Mer Médit.*, rap. P.V. Réunion., 24 : 47-48.
- Revelante, N., Gilmartin, M. 1976. The effect of Po river discharge on phytoplankton dynamic in the northern Adriatic Sea. *Mar. Biol.*, 34: 259-271.
- Ryther, J.P. & Dunstan, W. M. 1971. Nitrogen, phosphorous and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171 : 1008-1013.
- Rosenberg, R. 1985. Eutrophication- the future marine coastal nuisance ? *Mar. Pollut. Bull.*, 16 : 6.
- Sanlaville, P. 1977. *Etude géomorphologique de la région littorale du Liban*. Publications de l'Université Libanaise, Beyrouth, 859 pp.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bull. Syst. Tech. J.*, 27:379-428.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167: 311pp.
- Tsirtsis, G. & Karydis, M. 1998. Coastal eutrophication assessment: development of a water quality classification system using phytoplankton ecological indices. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 35 : 590-591.
- Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung des quantitativen phytoplankton methodic. *Mitt. Int. Ver. Limnol.*, 9 :1-38.
- Vollenweider, R.A. 1992. *Coastal marine eutrophication: principles and control: 1-20*. In *Marine coastal eutrophication*, ed. by Vollenweider, R.A., Marchetti, R. et Viviani, R., 1310pp.
- Vollenweider, R.A., Rinaldi, A. & Montanari, G. 1992. Eutrophication, structure and dynamics of a marine coastal system: results of a ten-year monitoring along the Emilia- Romagna coast. *Sci. Total Environ., Suppl.* 1992: 63-106.
- WWW.ifremer.fr/delst/etudes_recherches/indicateurstrophiques.htm