

Application de certains indices diatomiques à un cours d'eau marocain : Oued Hassar

Application of some diatom indices to a Moroccan
water course: Hassar stream

B. FAWZI^{1,*}, M. CHLAIDA¹, S. OUBRAIM¹, M. LOUDIKI², B. SABOUR³,
A. BOUZIDI⁴

Reçu le 30 août 2000, accepté le 22 février 2001**.

SUMMARY

The water quality in Moroccan rivers and streams becomes more and more injured because of the important amount of pollutants discharged in these aquatic ecosystems without any treatment in the most cases. A physical, chemical and microbiological analyses are regularly done by public institutions (office national des eaux potables, direction de l'hydrologie). However, these analyses become insufficient facing the big diversity of chemicals and the intermittence of pollution sources at the time. So, methods using a biotic indicators as a complement of the chemical analyses become a requirement in the water quality assessment. In the present study, besides the physical and chemical analyses, we have tested the use of benthic diatoms as indicators of the oued Hassar water quality and diatom indices as a tool for the evaluation of this quality.

Oued Hassar is a canalized stream situated on the valley of oued Mellah river. It drains a part of the Berrechid groundwater as sources. Its main source (station SC) is situated to 3 km in the Northeast of Mediouna (155 m). Along this water course, in sections of various degrees of water pollution, six sites (SC, SB, HP, OM, SH and CA) were sampled on four different dates (august 1997 and january, june and august 1998). The station OM belongs to oued Mouileh stream which is a unique tributary of oued Hassar. The main source of pollution; the wastewater effluent of Médiouna agglomeration entered the stream between The oued Hassar source and the station SB (Sidi Brahim). This region has a Mediterranean semi-aride bioclimate. The influence

1. Faculté des sciences Ben M'sik, Laboratoire d'écologie et d'environnement, BP 7955, Casablanca, Maroc.

2. Faculté des sciences Semailia, Laboratoire d'algologie, BP 2390, Marrakech, Maroc.

3. Faculté des sciences et techniques Mohammadia, BP 124 Yasmina, Mohammadia, Maroc.

4. Faculté des sciences et techniques Settati, BP 577, Settati, Maroc.

* Correspondance. E-mail : fawzi@mailcity.com

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 31 janvier 2002.

of the ocean results in a summer temperatures generally varying between 25 and 30°C and winter temperatures varying between 12 and 19°C.

The physical and chemical analysis data of the oued Hassar waters show particularly elevated values of water conductivity essentially due to the high contents in chlorides. These values were understood between a minimal value recorded at station SH in August 1998 (3 470 ms·cm⁻¹) and a maximal value signalled at station OM in January of the same year (7 210 ms·cm⁻¹). Concentrations in sulphates vary according to stations. The most elevated values were recorded in January 1998 at stations SC and OM (231 and 218 mg·L⁻¹ respectively). The hardness values are very important especially at the source of oued Hassar (SC) where the concentration reaches 25,2 meq·L⁻¹. This excessive mineralization of waters, particularly at stations SC and OM, is essentially due to the Permo-triasique saliferous sedimentary layers which crop out in the area.

The oued Hassar stream receives, to 100 ms downstream the station SC, the wastewater effluent of Médiouna agglomeration, highly loaded with organic matters, ammonia, orthophosphates and suspended matters. The impact of this effluent results on the elevated values of these parameters downstream the wastewater input (SB). On January 1998 (rainy period), the important contents in orthophosphates and sulphates recorded at all stations were essentially due to the high amounts of superphosphates and ammonia sulphates used as amendment of the cultivated lands situated a long the sides of oued Hassar stream.

Outside of this period, contents in orthophosphates and ammonia at stations SC and OM are very low. However, the elevated content in nitrates at the oued Hassar's source (maximal value: 93,3 mg·L⁻¹) gives an idea on the deterioration of the groundwater quality.

To put in evidence the evolution of the global organic pollution of waters, the "Indice de Pollution Organique" (IPO) have been calculated. The exam of this index shows that the wastewater effluent constitutes the main source of pollution. Indeed, water quality goes from a mean pollution state (3,88 ± 0,14) at the oued Hassar's source to a very strong pollution state (1,96 ± 0,31) at the station SB. Downstream the swampy zone, at the station HP, the water quality of oued Hassar improves remarkably (3,50 ± 0,74) due to the auto-purification phenomenon and the dilution of these waters by those coming from the secondary sources situated between stations SB and HP. At the stations SH and CA, the IPO mean values (3,50 ± 0,79 and 3,75 ± 0,41 respectively) show that the water quality remains rather identical as at the station HP.

Concerning the survey of epilithic diatoms, 61 species and varieties of diatoms have been inventoried. These taxa are bound especially to the salinity (*Amphora coffeaeformis*, *Fragilaria fasciculata*, *Fragilaria pulchella*, *Pleurosira laevis*...) and to the organic load (*Gomphonema parvulum*, *Navicula subminuscula*, *Nitzschia palea*...). In the most collected samples, particularly at the stations SB, SH and CA, diatom communities are essentially dominated by *N. palea* and the complex *N. inconspicua*/*N. frustulum*. At the station SB, the relative abundance of *N. palea* reaches 71% in august 1997 and august 1998, and goes beyond 45% in January and June 1998, giving evidence of the important organic pollution. This species is substituted, at stations SH and CA, essentially by *Navicula subminuscula*, *N. veneta* and *Nitzschia inconspicua*/*N. frustulum* complex. Diatom communities at the stations SC, HP and OM don't show an exclusive dominance of one or two species, but several species dominate and form a more varied communities.

Four diatom indices have been tested to assess the water quality in Oued Hassar (Morocco) : the "Indice Diatomique Pratique" (IDP), the "Indice Diatomique Générique" (IDG), the Sládeček Index (SLA) and the Trophic Diatom Index (TDI). These indices are different by the assigned indicative

values and pollution sensitivity coefficients relative to every species and by the taxonomic list integrated in the calculation of every index. The spatio-temporal variation of these indices reflects clearly the deterioration of water quality downstream the wastewater input of Mediouna agglomeration (IDP = $3,86 \pm 2,30$; IDG = $6,05 \pm 2,31$; SLA = $4,35 \pm 2,62$; IDT = $5,80 \pm 1,85$) and its recovery after the swampy zone at the station HP (IDP = $9,37 \pm 2,35$; IDG = $11,83 \pm 1,77$; SLA = $7,19 \pm 3,05$; IDT = $6,76 \pm 2,48$). Among these indices, only the IDP presents a significant correlation (0,63; $\alpha < 5\%$) with the IPO (reference index). While the IDG, the SLA and the TDI don't show a significant correlation with this index (0,38; 0,27 and - 0,11 respectively). The IDT shows nearly the same water quality in the different stations and rather inform on the high level of eutrophication in these water courses.

The physical and chemical analyses, the composition of diatom communities as well as the relative results of diatom indices, show that the oued Hassar stream is submitted to an important pollution, particularly downstream the wastewater input. Among the tested indices, the IDP appears more adapted to the assessment of water quality in oued Hassar. However, more work is required in order to finalize a new diatom index which is more adapted to characteristics of the Moroccan water courses.

Key-words: diatom indices, physical and chemical analysis, Oued Hassar, Morocco.

RÉSUMÉ

Les eaux de l'Oued Hassar (Maroc) sont caractérisées par une forte minéralisation. La conductivité, variant entre 3470 et 7210 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, est due essentiellement aux fortes teneurs en chlorures. L'examen de l'Indice de Pollution Organique (IPO) montre que l'effluent d'eaux usées provenant de la ville de Mediouna constitue la principale source de pollution des eaux de l'Oued Hassar.

Concernant l'étude des diatomées épilithiques, 61 espèces et variétés de diatomées ont été inventoriées. Ces taxons sont liés particulièrement à la salinité (*Pleurosira laevis*, *Fragilaria pulchella*...) et à la charge organique (*Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum*...).

Quatre indices diatomiques ont été testés pour l'évaluation de la qualité des eaux de l'Oued Hassar : l'Indice Diatomique Pratique (IDP), l'Indice Diatomique Générique (IDG), l'Indice de Sládeček (SLA) et l'Indice Diatomique Trophique (IDT). La variation spatio-temporelle de ces indices reflète bien la dégradation de la qualité de ce cours d'eau, particulièrement en aval du rejet de la ville de Mediouna (IDP = $3,86 \pm 1,84$; IDG = $6,05 \pm 1,95$; SLA = $4,35 \pm 1,93$; IDT = $5,80 \pm 1,31$). Parmi ces indices testés, seul l'IDP présente une corrélation significative (0,63 ; $\alpha < 5\%$) avec l'IPO (indice de référence) tandis que l'IDG, le SLA et l'IDT montrent des corrélations non significatives avec cet indice (0,38 ; 0,27 et - 0,11 respectivement).

Mots clés : indices diatomiques, physicochimie, Oued Hassar, Maroc.

1 – INTRODUCTION

La situation des rivières et des cours d'eau au Maroc devient de plus en plus préoccupante à cause des quantités importantes de rejets polluants

déversés dans ces écosystèmes aquatiques, sans aucun traitement ni contrôle préalable.

Les bilans de la qualité des ressources en eau sont régulièrement réalisés au niveau des principaux bassins hydrologiques du pays par plusieurs institutions publiques notamment l'Administration de l'hydraulique (ADH) et l'Office national des eaux potables (ONEP). Les analyses effectuées dans ce sens sont essentiellement d'ordre physicochimique et microbiologique. Cependant, ces analyses deviennent insuffisantes face à la grande diversité des produits chimiques à analyser et à l'intermittence des sources de pollution dans le temps « WHITTON *et al.* (1991) ». Ainsi, les méthodes faisant appel à l'utilisation d'indicateurs biotiques comme complément nécessaire des analyses chimiques, deviennent une exigence pour un contrôle plus exhaustif et plus global de la qualité des eaux courantes.

Dans le présent travail, nous nous proposons de tester l'utilisation des diatomées benthiques en tant qu'indicateurs de la qualité des eaux de l'Oued Hassar et les indices diatomiques comme outil pratique pour l'estimation de cette qualité.

2 – PRÉSENTATION DU SITE

Le sahel de Mohammedia-Ben Slimane fait partie de la zone Ouest de la Meseta occidentale marocaine, située entre Casablanca au sud et Rabat au nord. Il correspond à un plateau incliné vers la mer, traversé par les deux longues et larges vallées des Oueds Mellah et Nfifikh (*figure 1*).

La région est dotée d'un climat de type semi-aride. L'influence de l'océan se traduit par des températures estivales variant généralement entre 25 et 30 °C et des températures moyennes d'automne, d'hiver et de printemps variant entre 12 et 19 °C.

L'Oued Hassar est un cours d'eau canalisé de 20 km de long (*figure 1*), situé sur la vallée de l'Oued Mellah. Il draine une partie de la nappe de Berrechid sous forme de sources. Sa source principale (SC) est située à 3 km au Nord-Est de la ville de Mediouna à une altitude de 155 m. À 100 m en aval de la source (SC), un effluent d'eaux usées provenant de la ville de Mediouna se jette dans l'Oued Hassar, juste en amont de la station de Sidi Brahim (SB).

Avant d'atteindre la station de l'hôpital psychiatrique (HP), l'Oued Hassar traverse une zone marécageuse à végétation abondante particulièrement riche en joncs (*Juncus sp.*). En aval de la station HP, l'oued Hassar reçoit les eaux de l'Oued Mouilleh et suit son écoulement en direction de la station de Sidi Hajaj (SH), puis vers la station des Cascades (CA), au niveau de laquelle, il rejointe l'Oued Mellah.

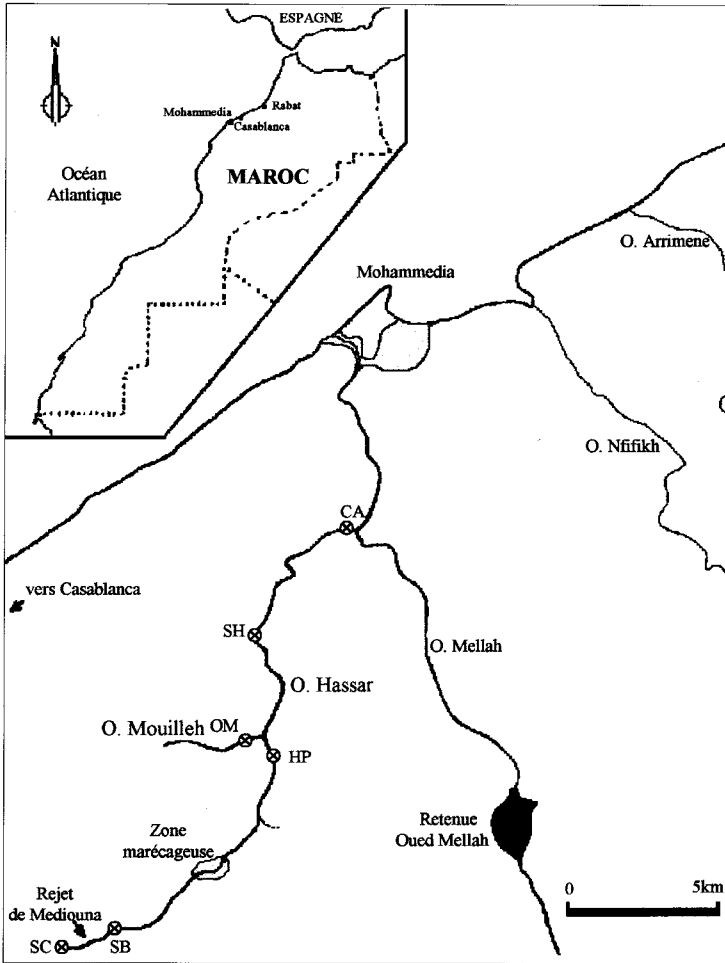


Figure 1 Situation géographique du milieu d'étude et localisation des stations de prélèvement.

SC : source Hassar, SB : Sidi Brahim, HP : hôpital psychiatrique, OM : Oued Mouilleh, SH : Sidi Hajaj, CA : cascades.

Geographical Situation of Studied area and localisation of sampling stations.

SC: Hassar's source; SB: Sidi Brahim; HP: mental hospital; OM: Oued Mouilleh, SH: Sidi Hajaj; CA: Cascades.

3 – MATÉRIEL ET MÉTHODES

Quatre campagnes de prélèvements d'eau ont été menées en août 1997 et janvier, juin et août 1998 au niveau de six stations (figure 1). L'ensemble de ces prélèvements a fait l'objet d'analyses physicochimiques selon les méthodes de RODIER (1984) et les normes Afnor (1990).

Les prélèvements de diatomées ont été réalisés, en faciès lotique, par grattage des parties supérieures des cailloux sur des surfaces de 10 à 25 cm². Les diatomées ont été nettoyées, à chaud, à l'eau oxygénée concentrée (110 V) et montées dans le Naphrax. Les déterminations ont été par la suite menées au niveau spécifique à l'aide des ouvrages de PATRICK et REIMER (1966-1975), GERMAIN (1981), RICARD (1987) et KRAMMER et LANGE-BERTALOT (1986-1991), sur un effectif de 400 valves au minimum. Quatre indices diatomiques ont été calculés à partir de l'inventaire des espèces présentes et de leurs densités relatives : l'Indice de Sládeček (SLA) « SLÁDEČEK (1986) », l'Indice Diatomique Générique (IDG) « COSTE et AYPHASSORHO (1991) », l'Indice Diatomique Pratique (IDP) « PRYGIEL *et al.* (1996) » et l'Indice Diatomique Trophique (IDT) « KELLY (1997) ». Le calcul de ces indices a fait appel à la formule proposée par ZELINKA et MARVAN (1961) :

$$ID = \sum_{j=1}^n a_j v_j i_j / \sum_{j=1}^n a_j v_j$$

a_j : abondance relative de l'espèce j ;

v_j : valeur indicatrice de l'espèce j ($1 < v < 3$) ;

i_j : sensibilité à la pollution de l'espèce j ($1 < i < 5$).

Les valeurs indicielles des quatre indices diatomiques ont été présentées, selon la littérature, en valeurs comprises entre 1 et 20 (v.i. ≥ 16 = pollution nulle ou eutrophisation faible, $16 > v.i. \geq 13,5$ = eutrophisation modérée, $13,5 > v.i. \geq 11$ = pollution modérée ou forte eutrophisation, $11 > v.i. \geq 7$ = pollution forte et $v.i. < 7$ = pollution très forte). Toutefois, les valeurs du SLA et de l'IDT ont été transformées pour permettre la comparaison avec les autres indices (l'IDP, l'IDG et l'IPO).

Pour se rendre compte du degré de pollution organique, l'indice de pollution organique (IPO) « LECLERCQ et MAQUET (1987) » a été également calculé en se basant sur les teneurs en nitrites, en ammonium et en orthophosphates et sur les valeurs de la DBO₅.

Cinq classes de qualité sont proposées pour les valeurs de cet indice comprises entre 1 et 5 (IPO $\geq 4,6$ = pollution nulle, $4,6 > IPO \geq 4$ = pollution faible, $4 > IPO \geq 3$ = pollution modérée, $3 > IPO \geq 2$ = pollution forte et IPO < 2 = pollution très forte).

Les valeurs du coefficient de Corrélation de Pearson entre les données relatives aux variables physicochimiques et les valeurs indicielles des différents prélèvements ont été calculées à l'aide du logiciel Statlab version 2.1 (1991).

4 - RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Analyses physicochimiques

L'analyse des données physicochimiques des eaux de l'Oued Hassar (tableau 1), montre des valeurs particulièrement élevées de la conductivité des eaux comprises entre 3 470 ms·cm⁻¹ enregistrée en août 98 dans la station SH et 7 210 ms·cm⁻¹ signalée en janvier de la même année dans la station OM.

Tableau 1 Résultats des analyses physicochimiques des eaux de l'Oued Hassar.

e1 = Août 1997, e2 = Août 1998, h = Janvier 1998, p = Juin 1998.

SC : source Hassar, SB : Sidi Brahim, HP : hôpital psychiatrique, OM : Oued Mouilleh, SH : Sidi Hajaj, CA : Cascades.

Table 1 Physical and chemical analysis results of Oued Hassar waters.

Para- mètres	Temp. de l'eau	Débit	Alca- linité	Dureté totale	Dureté calcique	Conduc- tivité	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	DBO ₅	MES	O ₂	Sat. en O ₂	pH
Unités Stations	°C	m ³ ·s ⁻¹	meq·L ⁻¹			μS·cm ⁻¹	mg·L ⁻¹						%	—			
SC _{e1}	21,00	0,02	15,00	25,00	3,69	6150	5644,50	172,19	0,00	0,32	48,89	0,00	3,93	10,90	11,62	131	8,16
SB _{e1}	31,00	0,03	21,50	14,80	2,97	3500	3301,50	119,19	7,12	2,32	0,00	1,53	22,00	33,30	2,52	34	8,84
HP _{e1}	21,00	0,10	14,00	17,00	2,57	3840	3798,50	105,57	0,33	0,77	28,30	0,45	2,86	13,30	4,49	50	8,38
OM _{e1}	21,00	0,01	22,90	21,60	4,97	6770	7455,00	132,82	0,03	0,03	0,00	0,00	20,71	10,90	3,77	42	8,66
SH _{e1}	30,50	0,25	14,80	16,40	3,13	3520	3550,00	99,508	0,23	0,41	27,45	0,24	2,47	79,50	5,78	76	8,99
CA _{e1}	30,00	0,14	13,30	16,20	3,45	4000	4331,00	128,28	0,00	0,19	43,63	0,11	3,72	50,50	6,26	83	9,42
SC _h	17,50	0,03	14,50	24,60	4,81	5730	6709,50	217,62	0,04	0,16	93,26	0,56	0,33	6,55	11,89	123	6,27
SB _h	16,00	0,04	15,60	23,00	4,09	5390	5644,50	185,82	4,84	0,66	72,14	1,48	10,43	17,50	10,70	109	7,16
HP _h	12,00	0,15	14,80	17,60	3,77	4030	4011,50	128,28	0,41	2,93	55,44	1,69	3,17	11,25	7,01	65	6,77
OM _h	5,00	0,02	20,50	21,00	4,73	7210	3621,00	231,25	0,00	0,02	0,00	3,02	9,18	8,75	11,02	87	7,12
SH _h	17,00	0,28	14,50	16,20	3,45	4010	3834,00	111,62	0,56	1,48	39,47	3,07	4,94	48,70	12,99	134	7,16
CA _h	14,00	0,25	14,00	16,40	3,37	4220	4260,00	140,39	0,05	0,30	65,63	1,73	2,44	65,30	11,17	108	7,32
SC _p	21,00	0,02	13,20	25,20	4,89	5500	5857,50	154,02	0,00	0,27	65,52	0,00	3,08	6,95	9,35	105	7,57
SB _p	23,00	0,02	16,90	20,60	4,25	5280	5289,50	157,05	0,69	0,66	39,47	0,80	23,34	64,80	24,34	284	8,72
HP _p	19,50	0,09	12,60	17,20	4,09	3900	3834,00	93,451	0,00	0,07	51,97	0,15	1,87	19,45	9,73	105	8,25
OM _p	19,00	0,01	20,30	20,00	4,41	6260	6461,00	137,37	0,00	0,01	0,00	0,00	12,62	6,25	9,38	101	8,38
SH _p	22,00	0,28	12,70	22,20	3,53	3640	3443,50	90,422	0,01	0,13	35,48	0,12	4,87	13,94	15,91	182	8,50
CA _p	23,50	0,10	12,40	16,00	3,45	4070	4189,00	101,02	0,01	0,26	42,62	0,09	3,60	25,90	11,03	129	8,47
SC _{e2}	26,00	0,02	16,50	19,80	4,65	5690	6070,50	102,54	0,21	0,06	68,22	0,00	5,51	24,07	10,17	125	7,50
SB _{e2}	25,50	0,02	33,70	19,40	4,01	4290	3976,00	76,794	6,88	0,16	0,00	0,27	30,94	102,90	6,82	83	8,02
HP _{e2}	21,00	0,05	15,00	17,60	3,45	3860	3976,00	29,85	0,08	0,03	64,02	0,00	12,93	11,79	9,52	107	7,74
OM _{e2}	21,00	0,01	26,00	19,60	4,33	6500	6993,50	82,851	0,08	0,09	0,37	0,00	3,34	4,10	8,63	97	8,10
SH _{e2}	27,50	0,17	15,80	15,40	3,77	3470	3585,50	63,165	0,08	0,03	47,63	0,00	5,98	32,70	15,11	190	8,52
CA _{e2}	26,50	0,04	15,90	17,40	3,85	4420	4792,50	72,251	0,04	0,06	55,19	0,00	5,05	10,10	11,23	139	8,39

Cette forte conductivité est due, en grande partie, à la charge importante en ions chlore (Cl^-) qui constituent l'élément dominant dans la concentration des sels solubles de ces eaux. En effet, les teneurs en chlorures sont comprises entre $3,3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ et $7,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ prélevées aux mois d'août 97 respectivement en SB et OM. Quant aux concentrations en sulfates ils varient en fonction des stations ; les valeurs les plus élevées sont enregistrées en janvier 98 dans les stations SC et OM soit 231 et $218 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivement.

À ces concentrations importantes en chlorures et en sulfates s'ajoutent des teneurs en alcalino-terreux très élevées surtout au niveau de la source de l'Oued Hassar (SC) où la concentration atteint $25,2 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$.

Cette minéralisation excessive des eaux, particulièrement au niveau de la source de l'Oued Hassar (SC) et de la station OM est liée essentiellement à la nature lithologique des couches géologiques traversées, notamment celles du Permo-Trias salifère « KHATAMI (1992) ».

Par ailleurs, l'Oued Hassar, reçoit à 100 m en aval de la station SC, le rejet d'eaux usées de la ville de Mediouna, essentiellement riche en matières organiques, ammonium, orthophosphates et matières en suspension. L'impact de ce rejet se traduit par une élévation des valeurs de ces paramètres au niveau de la station SB (*tableau 1*).

Les teneurs relativement élevées en orthophosphates et en sulfates enregistrées en janvier 1998 (période pluvieuse) au niveau de toutes les stations, sont le résultat du lessivage des terrains situés le long de l'Oued Hassar, occupés par des cultures maraîchères recevant des amendements importants en superphosphates et en sulfates d'ammonium. En dehors de cette période, les teneurs en orthophosphates et en ammonium dans les stations SC et OM sont très faibles, voire nulles. Toutefois, la teneur élevée en nitrates au niveau de la station SC (valeur maximale : $93,3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) donne une idée sur la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique qui alimente la source de l'Oued Hassar.

Les teneurs en oxygène dissous sont généralement élevées dans toutes les stations et restent comprises entre un minimum de $2,52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (saturation : 34 %) enregistré en août 97 dans la station SB en août 97 et un maximum de $24,34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (saturation : 284 %) signalé dans la même station en juin 98. Cette importante oxygénation des eaux dans cette station polluée est due à l'efflorescence pendant cette période de deux espèces de microalgues : *Euglena* sp. et *Oscillatoria brevis* Kütz. espèces connues pour leur développement important en présence des fortes concentrations en matières organiques.

Pour mettre en évidence la pollution organique globale de l'eau dans les différentes stations, on a utilisé l'Indice de Pollution Organique : IPO « LECLERCQ et MAQUET (1987) ». L'évolution des valeurs de cet indice à travers les différentes stations (*figure 3a*), montre que la principale source de pollution provient du rejet de la ville de Mediouna, localisé entre les stations SC et SB. En effet, l'eau passe d'un état de pollution modéré ($3,88 \pm 0,14$) au niveau de la source (SC) à un état de très forte pollution ($1,96 \pm 0,31$) au niveau de la station SB.

Au niveau de la station HP, la qualité de l'eau de l'Oued Hassar s'améliore ($3,50 \pm 0,74$) grâce au phénomène d'autoépuration (principalement au niveau de la zone marécageuse) et à la dilution de cette eau par les apports en eau provenant des sources secondaires situées entre les stations SB et HP.

Au niveau des stations SH et CA, les valeurs moyennes de l'IPO ($3,50 \pm 0,79$ et $3,75 \pm 0,41$ respectivement) montrent que la qualité de l'eau reste plus ou moins identique à celle de la station HP. Toutefois, des variations notables entre les quatre campagnes sont enregistrées. Globalement, la campagne de janvier présente un état de pollution relativement plus important que les autres campagnes, résultat probable du lessivage des terrains agricoles adjacents.

4.2 Analyses diatomiques

Le tableau 2 donne la liste des espèces et variétés de diatomées inventoriées (61 taxons). La plupart de ces taxons sont euryhalins ou halophiles (*Amphora coffeaeformis*, *Amphora veneta*, *Pleurosira laevis*, *Fragilaria fasciculata*, *Fragilaria pulchella*...) liés à la salinité relativement élevée de ces eaux. Il faut noter aussi la présence dans la station OM de l'espèce *Campyloneis grevillei*, diatomée marine épiphyte décrite par RICARD (1987) dans l'Atlas du phytoplancton marin, et que nous mentionnons pour la première fois au Maroc.

Le développement important de, *Navicula subminuscula*, *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia palea* et du complexe formé de *Nitzschia inconspicua* et *Nitzschia frustulum* espèces difficiles à différencier en microscopie photonique lors des comptages « BUSSE *et al.* (1999) », témoigne de l'état de pollution de ces eaux. En effet, dans la plupart des échantillons collectés, notamment au niveau des stations SB, SH et CA, les peuplements diatomiques sont dominés essentiellement par *N. palea* et *N. inconspicua/N. frustulum*. Dans la station SB, l'abondance relative de *N. palea* atteint 71 % aux mois d'août 97 et 98, et elle dépasse 45 %, en janvier et juin 98, témoignant d'une pollution organique importante. La même espèce se développe aussi dans les stations SH et CA mais avec une abondance plus faible car elle est remplacée essentiellement par *N. inconspicua/N. frustulum*, *N. subminuscula* et *Navicula veneta*.

Les peuplements diatomiques des stations SC, HP et OM ne montrent pas une dominance exclusive d'une ou de deux espèces, mais plusieurs espèces se développent et forment des communautés plus diversifiées. *N. palea* présente des abondances plus faibles dans les trois stations, alors que *N. inconspicua/N. frustulum* se développent davantage, surtout dans la station SC où leur abondance relative atteint 58,5 % en janvier 98. Trois espèces sont d'ailleurs bien représentées dans ces stations par rapport aux stations SB, SH et CA : *Achnanthes minutissima*, *Achnanthes inflata* et surtout *Achnanthes kolbei*.

4.3 Indices diatomiques

Les indices diatomiques sont de plus en plus utilisés dans le bio-monitoring des cours d'eau. Ils renseignent essentiellement sur la pollution organique et sur la charge en éléments nutritifs. Dans différents pays d'Europe, plusieurs méthodes indiciaires ont été mises au point. Ces indices se basent généralement dans leur calcul sur la formule de ZELINKA et MARVAN (1961). Ils se différencient essentiellement par le mode d'attribution des valeurs indicatrices et des coefficients de sensibilité à la pollution pour chaque espèce et par la composition de la liste taxinomique intégrée dans le calcul de chaque indice. Cette composition peut être plus ou moins différente selon la nature des eaux prospectées lors de l'établissement de tel ou tel indice (caractère régional). La plus part des indices diatomiques exigent des déterminations jusqu'au niveau spé-

Tableau 2 Variations spatio-temporelles de l'abondance relative des espèces et variétés de diatomées inventoriées dans l'Oued Hassar. SC : source Hassar, SB : Sidi Brahim, HP : hôpital psychiatrique, OM : Oued Mouilleh, SH : Sidi Hajaj, CA : cascades, (+) : < 1 %.

Table 2 Spatio-temporal variations of the relative abundance of diatom species and varieties inventoried in Oued Hassar. SC: Hassar source, SB: Sidi Brahim, HP: mental hospital, OM: Oued Mouilleh, SH: Sidi Hajaj, CA: cascades, (+): < 1 %.

Dates		août-97					janv-98					juin-98					août-98								
Taxons	Stations	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA
<i>Achnanthes coarctata</i> (Bréb.) Grun.														+											
<i>A. inflata</i> (Kütz.) Grun.		24,8		+				+							1,8										+
<i>A. kolbei</i> Hust.				+	+		+	9,6				9,3		9,9	+	5,4	3,1	1,2		2,5			5,5	+	
<i>A. lanceolata</i> (Bréb.) Grun.				11,2	2,2		1,1									8,6	2,5	+					10,3	2,3	2,0
<i>A. minutissima</i> Kütz.		6,4						11,6		+		1,9	1,3	7,4	2,6	+	3,7	1,8	1,8	+	+		1,2	+	+
<i>Amphora coffeaeformis</i> (Ag.) Kütz.			2,7	4,5	2,2	+	1,7			2,1			5,8		10,5			4,3		1,5	12,8	+	2,3		+
<i>A. inariensis</i> Krammer					+		+					2,3				+				1,0		+			
<i>A. libyca</i> Ehr.								+																	+
<i>A. pediculus</i> (Kütz.) Grun.				2,2								2,3	1,8			2,7	+	+							+
<i>A. sabiniana</i> Reim.						+		3,4											+			7,9			
<i>A. veneta</i> Kütz.					1,4		1,1	+		41,3	4,7				1,3	+	2,5	8,9				2,4	1,2		
<i>A. ventricosa</i> Greg.																							2,3		
<i>Campyloneis grevillei</i> (W. Smith) Grun.												16,3													
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr.					+																				
<i>C. placentula</i> Ehr.				3,7	35,8		+		5,3	16,1	14,0	14,0	2,7	1,5	1,8	5,4	9,3	4,3	13,2			60,6	6,4	1,0	
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.		+						+					+		1,3		1,2		+						
<i>Cymbella microcephala</i> Grun.									15,8						+		1,2						+		
<i>C. sinuata</i> Greg.				+		+																			
<i>Denticula kuetzingii</i> var. <i>kuetzingii</i> Grun.		36,7						1,5	5,3				+		1,3				3,6						
<i>Diploneis pseudovalis</i> Hust.					+							2,3						1,9					1,2	1,3	

Tableau 2 (suite)

Variations spatio-temporelles de l'abondance relative des espèces et variétés de diatomées inventoriées dans l'Oued Hassar.

SC : source Hassar, SB : Sidi Brahim, HP : hôpital psychiatrique, OM : Oued Mouilleh, SH : Sidi Hajaj, CA : cascades, (+) : < 1 %.

Table 2 (continued)

Spatio-temporal variations of the relative abundance of diatom species and varieties inventoried in Oued Hassar.

SC: Hassar source, SB: Sidi Brahim, HP: mental hospital, OM: Oued Mouilleh, SH: Sidi Hajaj, CA: cascades, (+): < 1 %.

Dates		août-97						janv-98						juin-98						août-98					
Taxons	Stations	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA
<i>Fragilaria brevistriata</i> Grun.				12,7	+		3,4									2,2	14,4		2,1	2,4			1,2	6,4	20,2
<i>F. construens</i> (Ehr.) Grun. var. <i>venter</i> (Ehr.) Grün.							+							1,0	5,7	4,1	9,3				3,6			2,3	+
<i>F. fasciculata</i> (Ag.) Lange-Bertalot		+								+						1,3			+					2,9	
<i>F. pulchella</i> (Ralfs ex Kütz.) Lange-Bertalot		+																			1,0				
<i>F. ulna</i> (Nitzsch.) Lange-Bertalot				1,5				+			2,3					1,8									
<i>F. ulna</i> var. <i>acus</i> (Kütz.) Lange-Bertalot		3,7																							
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kütz.) Rabh.											22,7														
<i>G. angustum</i> Ag.								+																	+
<i>G. parvulum</i> (Kütz.) Kütz.		17,4	+			1,0	3,4	1,5	5,3	2,1	9,3		5,8	1,5	3,9	1,8	+	6,4			+	2,4	2,3	7,7	+
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabh.							+																		
<i>Navicula capitata</i> Ehr. var. <i>hungarica</i> (Grun.) Ross.					+		1,7	+			2,3	+		1,0	2,6	1,8		1,5	+	5,1	+	1,8	1,2	2,3	1,0
<i>N. cincta</i> (Ehr.) Ralfs																		+							
<i>N. cryptotenella</i> Lange-Bertalot						1,0	+															+			
<i>N. duerrenbergiana</i> Hust.				+									+										+		
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot																					+	+	3,5	1,0	16,5
<i>N. halophila</i> (Grun.) A. Cleve												1,9	1,3		+			+	1,8						+
<i>N. perminuta</i> Grun.								+		4,5											2,0	+			
<i>N. radiosa</i> Kütz.																							+	1,2	
<i>N. recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot				23,9		11,8	3,4									1,3								8,2	5,2
<i>N. schroeteri</i> Meister							+									3,1									

Tableau 2 (suite)

Variations spatio-temporelles de l'abondance relative des espèces et variétés de diatomées inventoriées dans l'Oued Hassar.

SC : source Hassar, SB : Sidi Brahim, HP : hôpital psychiatrique, OM : Oued Mouilleh, SH : Sidi Hajaj, CA : cascades, (+) : < 1 %.

Table 2 (continued)

Spatio-temporal variations of the relative abundance of diatom species and varieties inventoried in Oued Hassar.

SC: Hassar source, SB: Sidi Brahim, HP: mental hospital, OM: Oued Mouilleh, SH: Sidi Hajaj, CA: cascades, (+): < 1%.

Dates		août-97						janv-98						juin-98						août-98					
Taxons	Stations	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA	SC	SB	HP	OM	SH	CA
<i>N. subminuscula</i>	Manguin		22,7	10,4		10,2	+	8,3	5,3	3,7			18,6	7,4	2,2	8,1	3,7	2,1		6,1	13,4			1,5	2,1
<i>N. tenelloides</i>	Hust.																1,9								
<i>N. veneta</i>	Kütz.		1,2	3,0	+	1,9	1,7	5,5		1,2	4,7	8,3	3,1	13,9	2,2	9,5	10,5	8,6	13,8	9,1			4,7	8,7	4,6
<i>N. viridula</i>	(Kütz.) Ehr. var. <i>rostellata</i> (Kütz.) A. Cleve							+				+							+						
<i>N. sp.</i>																							2,9		
<i>Nitzschia compressa</i>	(Bailey) Boyer																						1,2	+	
<i>N. constricta</i>	(Kütz.) Ralfs																							+	
<i>N. elegantula</i>	Grun.												1,0							+					+
<i>N. hungarica</i>	Grun.					1,1								1,8						+					
<i>N. inconspicua</i>	Grun./ <i>N. frustulum</i> (Kütz.) Grun.	2,8	1,8	22,4	21,1	47,3	11,8	58,4	10,5	5,0	18,6	53,5	7,5	53,0	5,7	19,4	16,0	33,1	50,3	51,8	+	1,8	32,2	26,5	57,7
<i>N. microcephala</i>	Grun.	2,8			+	1,0						1,3							1,2						+
<i>N. palea</i>	(Kütz.) W. Smith	2,8	71,0	+		24,3	56,7		47,4	+		3,8	44,2	2,0	45,2		19,1	23,0	3,6	9,6	72,2	+	15,8	18,1	9,3
<i>N. reversa</i>	W. Smith																								+
<i>N. scalpelliformis</i>	Grun.					0,6																			
<i>N. tubicola</i>	Grun.											+								+					
<i>Pleurosigma salinarum</i>	Grun.																+								
<i>Pleurosira laevis</i>	(Ehr.) Compère			+		4,5						+	+			+	1,2	+	+				+	2,8	+
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	(Ag.) Lange-Bertalot					+			+	11,6	2,5	+		+	3,6	1,9			2,4				+	+	
<i>Stauroneis producta</i>	Grun.																					+			
<i>S. smithii</i>	Grun.																					1,2			

cifique, alors que d'autre ; dans un but de répondre à un souci de simplification pour des applications plus pratiques, utilisent les genres (IDG) ou des genres et des espèces en même temps (IDP).

Dans notre étude nous avons tester des indices établies dans différentes régions d'Europe : France (IDP et IDG), Angleterre (TDI) et Europe de l'est (SLA) afin de savoir le quel de ces indices s'adapte mieux a nos cours d'eaux. Ces quatre indices diatomiques ont été testés par référence à l'Indice de Pollution Organique (IPO). L'analyse des valeurs indicielles, calculées pour les différents échantillons de diatomées prélevés dans l'Oued Hassar et l'Oued Mouilleh, montre une importante dégradation de la qualité de ces eaux (*figure 2*). En effet, 90,6 % des valeurs indicielles sont inférieures à 11, indiquant ainsi un niveau de pollution fort à très fort. L'IDG montre une surestimation de la qualité de l'eau car il est le seul à présenter des valeurs indicielles supérieures à 13,5 au niveau de la station SC (Août 1997) et de la station HP (Août 1998). Le SLA, en revanche, montre une sous-estimation de cette qualité à cause du nombre réduit (64 %) et de la nature des taxons qu'il intègre.

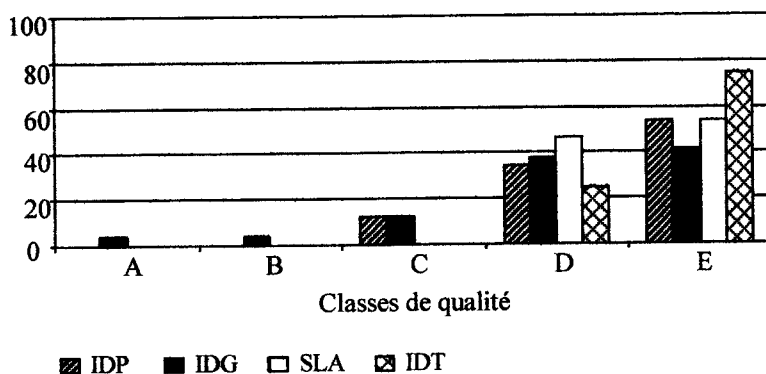


Figure 2 Répartition des valeurs indicielles, calculées pour les 24 prélèvements, en fonction des différentes classes de qualité.

v. i. : valeur indicielle, A : pollution nulle ou eutrophisation faible ($v.i. \geq 16$), B : eutrophisation modérée ($16 > v.i. \geq 13,5$), C : pollution modérée ou forte eutrophisation ($13,5 > v.i. \geq 11$), D : pollution forte ($11 > v.i. \geq 7$) et E : pollution très forte ($7 > v.i.$).

Distribution of indices values, calculated for the 24 samples, according to the different classes of quality.

i.v.: index value, A: zero pollution or low eutrophication (index value ≥ 16), B: moderate eutrophication ($16 > i.v. \geq 13,5$), C: moderate pollution or heavy eutrophication ($13,5 > i.v. \geq 11$), D: high pollution ($11 > i.v. \geq 7$) and E: very heavy pollution ($7 > i.v.$).

L'analyse des variations spatio-temporelles des valeurs indicielles (*figure 3*) montre que l'IDP, l'IDG et le SLA suivent plus ou moins l'évolution de l'IPO avec des corrélations respectives de 0,63 ; 0,38 et 0,27 ($\alpha < 5\%$) (*tableau 3*), la corrélation entre l'IDP et l'IPO étant seule significative à $\alpha < 5\%$. En effet, l'évolution des valeurs de ces indices reflète la dégradation de la qualité de l'eau au niveau de la station SB et le rétablissement de cette qualité dans la station HP. L'IDT montre presque le même état de qualité des eaux dans les

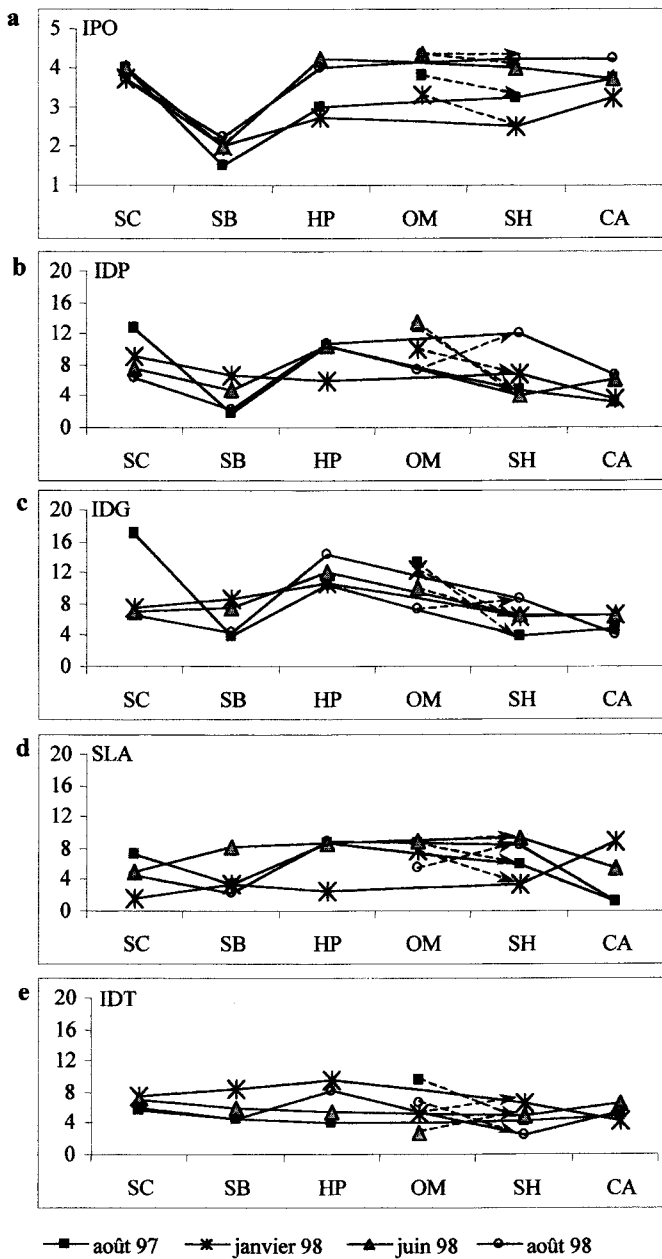


Figure 3

Variations spatio-temporelles des différents indices (IPO, IDP, IDG, SLA et IDT) dans les eaux de l'Oued Hassar.

SC : source Hassar, SB : Sidi Brahim, HP : hôpital psychiatrique, OM : Oued Mouilleh, SH : Sidi Hajaj, CA : cascades, flèches en tirets : cours d'eau oued Mouilleh.

Spatio-temporal variations of the different indices (IPO, IDP, IDG, SLA and TDI) in Oued Hassar waters.

différentes stations et renseigne plutôt sur le niveau d'eutrophisation élevé de ces deux cours d'eau.

Tableau 3 Matrice de corrélations entre les différents indices (IPO, IDP, IDG, SLA et IDT).

IDT = Indice Diatomique Trophique, SLA = Indice de Sládecek, IDG = Indice Diatomique Générique, IDP = Indice Diatomique Pratique, IPO = Indice de Pollution Organique, (*) : corrélations significatives à $\alpha < 5\%$ ($n = 24$).

Table 3 The correlation matrix between the different indices (IPO, IDP, IDG, SLA et IDT).

IDT = Trophic Diatom Index, SLA = Sládecek Index, IDG = Indice Diatomique Générique, IDP = Indice Diatomique Pratique, IPO = Indice de Pollution Organique, (*): Correlations significant at $\alpha < 5\%$ ($n = 24$).

	IDT	SLA	IDG	IDP	IPO
IDT	1				
SLA	-0,27	1			
IDG	0,29	0,54*	1		
IDP	0,04	0,49*	0,80*	1	
IPO	-0,11	0,27	0,38	0,63*	1

Ces différences enregistrées entre les différents indices sont dues essentiellement à la nature des espèces prises en compte pour chaque indice et aux différents paramètres intégrés par celui-ci « COSTE *et al.* (1991) ; PRYGIEL et COSTE (1993) ; PRYGIEL (1994) ».

Les corrélations de l'IDP et l'IDG avec l'IPO seraient d'autant plus significatives que l'on évite l'échantillonnage dans les périodes de perturbations hydrologiques, notamment la période pluvieuse (crues), où le lessivage des sols perturbe la qualité de l'eau le long de la rivière et induit une pollution diffuse qui pourrait masquer les sources de pollution anthropique tel le rejet de la ville de Mediouna. En effet, en écartant les résultats des valeurs indicielles relatifs à la campagne de janvier 98, l'IDP et l'IDG montrent des coefficients de corrélations encore plus significatives avec l'IPO (0,74 et 0,54 respectivement avec $\alpha < 5\%$). Ceci met en évidence l'effet de la variabilité saisonnière sur la signification des indices qui doit être confirmé par l'utilisation de ces indices en dehors des périodes de perturbation.

5 – CONCLUSION

Les résultats des analyses physicochimiques des eaux de l'Oued Hassar, la composition de ses peuplements diatomiques, dominés essentiellement par *N. palea* et le complexe *N. inconspicua/N. frustulum*, ainsi que les résultats relatifs aux indices diatomiques, montrent que ce cours d'eau est soumis à une pollution importante le long de son trajet, plus particulièrement au niveau de la

station SB. À ce niveau, les eaux usées de la ville de Mediouna se mélangent à celles de la source de l'Oued Hassar.

Parmi les indices diatomiques testés, l'IDP se montre plus adapté à l'évaluation de la qualité des eaux de l'Oued Hassar. Il présente des corrélations assez significatives avec l'Indice de Pollution Organique (IPO) et semble bien intégrer les taxons des eaux salées.

Les indices de qualité appliqués dans notre étude présentent généralement un caractère régional. Ainsi, une étude à plus grande échelle devrait être réalisée au niveau de l'ensemble du réseau hydrique de la Meseta occidentale marocaine afin de mettre au point un nouvel indice diatomique bien adaptée aux conditions des cours d'eaux marocains.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Professeur Pierre Compere pour ses commentaires et ses remarques pertinents.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR, 1990. Recueil des normes françaises, eaux, méthodes d'essais, 736 p.
- BUSSE S., JAHN R., SCHULZ C.J., 1999. Desalination of running waters: II Benthic diatom communities: A comparative field study on responses to decreasing salinities. *Limnologica*, 29, 465-474.
- COSTE M., AYPHASSORHO H., 1991. Étude de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques (application des indices diatomiques). *Rapport CEMA-GREF Bordeaux-Agence de l'Eau Artois-Picardie*, Douai, 277 p.
- COSTE M., BOSCA C., DAUTA A., 1991. Use of algae for monitoring rivers in France. In: Whitton B.A., Rott E., Friedrich G. (eds.): *Use of Algae for Monitoring Rivers*, Düsseldorf, Innsbruck, 75-88.
- DESCY L., COSTE M., 1989. Application d'un nouvel indice diatomique (indice CEE 88) au réseau national de bassin Rhône-Méditerranée-Corse (1988). *Rapport A.E. Rhône-Méditerranée-Corse*, 86 p.
- GERMAIN H., 1981. Flore des diatomées. Eaux douces et saumâtres. Boubée et Cie, Paris, 443 p.
- KELLY M.G., 1997. Use of the Diatom Index to monitor eutrophication in rivers. *Water Research*, 36, 236-242.
- KHATAMI A., 1992. Hydrologie du sahel de Mohammedia-Benslimane : Étude hydrochimique, incidences des irrigations et des apports atmosphériques sur l'évolution des eaux et des sols. *Thèse 3^e Cycle*. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 205 p.
- KRAMMER K., LANGE-BERTALOT H., 1986-1991. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae, 2/1 : Naviculaceae, 876 p. ; 2/2 : Nitzschiaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae, 596 p. ; 2/3 : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae, 576 p. ; 2/4, Achnantheaceae, 437 p. Gustav Fisher, Stuttgart.
- LECLERCQ L., MAQUET B., 1987. Deux nouveaux indices chimiques et diatomiques de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents

- (Bassin de la Meuse belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénotiques et diatomiques. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Document de travail, 28, 113 p.
- PATRICK R., REIMER C.W., 1966. The diatoms of the United States (exclusive of Alaska and Hawaii). *Monograph of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 13(1), 688 p.
- PATRICK R., REIMER C.W., 1975. The diatoms of the United States. *Monograph of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 13 (2), 213 p.
- POR F. D., 1972. Hydrobiological notes on the high-salinity waters of the Sinai Peninsula. *Marine Biology*, 49 (4), 111-119 in Kiener A. *Écologie, physiologie et économie des eaux saumâtres*. Masson, Paris, 218 p.
- PRYGIEL J., COSTE M., 1993. Use of diatom indices for monitoring rivers in the Artois-Picardie water basin. Significance of result. *Hydrobiologia*, 269-270, 343-349.
- PRYGIEL J., 1994. Comparaison de six indices diatomiques et de deux indices d'invertébrés pour l'estimation de la qualité des eaux de la rivière Sensée (France). *Ecologia Mediterranea*, 20 (1-2), 121-133.
- PRYGIEL J., LEVEQUE L., ISERENTANT R., 1996. Un nouvel indice diatomique pratique pour l'évaluation de la qualité des eaux en réseau de surveillance. *Revue des Sciences de l'Eau*, (1), 97-113.
- RICARD M., 1987. Atlas du phytoplancton marin. Vol.2. *Diatomophycées*. Ed. CNRS, Paris, 297 p.
- RODIER J., 1984. L'analyse de l'eau. 7^e édition, Dunod, Paris, 1135 p.
- SLADECEK V., 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta hydrochimica and hydrobiologica*, Dresden, 14 (5), 555-566.
- ZELINKA M., MARVAN P., 1961. Zur Präzisierung der Reinheit fließender Gewässer. (Towards a precise biological classification of the purity of flowing waters), *Archiv für Hydrobiologie*, 57, 389-407.
- WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G. (eds.), 1991. Use of algae for monitoring rivers. *Institut für Botanik*, Universität Innsbruck, 193 p.