



HAL
open science

LES DIATOMÉES ET LE DIAGNOSTIC DE LA QUALITÉ DES EAUX COURANTES CONTINENTALES : LES PRINCIPALES MÉTHODES INDICIELLES

J Prygiel, M Coste

► **To cite this version:**

J Prygiel, M Coste. LES DIATOMÉES ET LE DIAGNOSTIC DE LA QUALITÉ DES EAUX COURANTES CONTINENTALES : LES PRINCIPALES MÉTHODES INDICIELLES. Vie et Milieu / Life & Environment, 1995, pp.179-186. hal-03051958

HAL Id: hal-03051958

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03051958v1>

Submitted on 10 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES DIATOMÉES ET LE DIAGNOSTIC DE LA QUALITÉ DES EAUX COURANTES CONTINENTALES : LES PRINCIPALES MÉTHODES INDICIELLES

*Diatoms and the diagnosis of the quality of continental running waters :
the main index-based methods*

J. PRYGIEL* & M. COSTE**

*Agence de l'Eau Artois-Picardie, 764 boulevard Lahure, 59508 Douai Cedex et U.S.T. Lille,
Laboratoire d'Ecologie Numérique, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex, France

**CEMAGREF, Groupement de Bordeaux, 50 avenue de Verdun, 33610 Cestas, France

DIATOMÉES
COURS D'EAU
QUALITÉ DES EAUX
INDEX
BIOINDICATEUR

RÉSUMÉ – Depuis la création du système des saprobies en Allemagne au début de ce siècle par Kolkwitz & Marsson, de nombreuses méthodes biologiques pour la mesure de la qualité des eaux courantes ont été mises au point. Directement issues ou simplement dérivées de ce système, ces méthodes sont essentiellement basées sur l'examen de la faune invertébrée. Pourtant, depuis les années 50, des méthodes basées sur l'examen de la flore algale et plus particulièrement diatomique ont été proposées. Ces méthodes ont pour la plupart d'entre elles donné lieu à des indices numériques. Les indices d'origine japonaise ont été testés sans succès en France en raison des nombreuses formes endémiques qu'ils utilisent. Parmi les indices d'origine européenne, l'IPS mis au point par le CEMAGREF apparaît comme le plus performant. Il utilise la totalité des espèces présentes et rend compte de la pollution organique, de l'eutrophisation réelle et potentielle ainsi que de la salinité des eaux. Cet indice est toutefois difficile dans sa mise en œuvre car il nécessite de bonnes connaissances en systématique. C'est pourquoi, un indice de formulation similaire a été proposé voici déjà plus de 10 ans, pour une plus large application par les services gestionnaires de la qualité des eaux. Cet indice s'est révélé perfectible et un indice diatomique pratique a été récemment proposé pour le nord de la France. Celui-ci est basé sur la détermination de 45 genres et 87 espèces. La mise au point d'un indice diatomique pratique national fait actuellement l'objet d'une étude inter-agences. Cette étude devrait déboucher sur la proposition d'une méthodologie complète incluant les techniques d'échantillonnage et de traitement des échantillons, des clés de déterminations appropriées et un logiciel de calcul indiciel. Cet indice sera vraisemblablement basé sur la détermination à l'espèce d'un nombre limité d'espèces considérées comme indicatrices. Un stage de formation à l'utilisation de cet indice est d'ores et déjà programmé dans le cadre des études inter-agences.

DIATOMS
RIVER
WATER QUALITY
INDEX
BIOINDICATOR

SUMMARY – Since the creation of the saprobic system in Germany in the beginning of this century by Kolkwitz & Marsson, a great number of biological methods for the measurement of the quality of running waters has been elaborated. Directly stemming or simply derived from the saprobic system, these methods are essentially based on the study of the invertebrate fauna. However, starting in the 50s, methods were proposed which are based on the study of the algal, and more particularly diatom, flora. The major part of these methods engendered numerical indices. Indices of Japanese origin were tested in France, unsuccessfully because of the numerous endemic forms they use. Among the European indices, the IPS elaborated by CEMAGREF, seems to be the most performing one. It uses all the species present and accounts for organic pollution, real and potential eutrophication as well as water salinity. This index is, however, not easily applied, as it requires high-level knowledge in systematics. This is why an index similar in formula was proposed already 10 years ago, for wider application by the services in charge of the management of water quality. This index proved to be perfectible, and a practical diatom index was recently proposed for the North of France. This index is based on the identification of 45 genera and 87 species. The elaboration of a national practical diatom index is at present underway in the framework of an inter-Agencies

study. This study should result in the proposal of a complete methodology including sampling and sample treatment techniques, appropriate identification keys and index-based calculation software. The index will probably be based on the determination on a species level of a limited quantity of species considered as indicators. A training course for the application of this index is already programmed within the framework of the Inter-Agencies studies.

INTRODUCTION

L'histoire des méthodes biologiques dans l'estimation de la qualité des eaux de surface a débuté il y a plus d'un siècle avec Kolenati (1848) et Cohn (1853) tous deux cités par Liebmann (1962) (De Pauw et Ghetti, 1992). Depuis cette période, de nombreuses méthodes ont été proposées (Hellowell, 1986). La plupart d'entre elles sont basées sur le Système des Saprobies développé par Kolkwitz et Marsson (1902) ou en découlent. A l'origine, le système saprobique était principalement basé sur la présence d'espèces indicatrices microscopiques appartenant aux communautés planctoniques ou périphytiques des cours d'eau lents d'Europe centrale (Fjerdingstad, 1964). Par la suite, ce système a été étendu aux macroinvertébrés, aux macrophytes et aux Poissons. Dans les années 50, le besoin de quantifier cette information biologique complexe est apparu. On est alors passé d'un système purement qualitatif et basé sur la présence-absence de certains taxons à des indices saprobiques (Pantle et Buck, 1955; Zelinka et Marvan, 1961). Dans le même temps, sont apparus les indices biotiques. Ces derniers combinent l'utilisation d'espèces indicatrices et la diversité. C'est à partir du premier d'entre eux, le Trent Biotic Index (Woodiwiss, 1964) qu'ont été mis au point les différents indices biotiques utilisés aujourd'hui en Europe (Newman, 1988). La plupart d'entre eux sont basés sur les macroinvertébrés (Tuffery et Verneaux, 1968; De Pauw et Vanhooren, 1983, Wright *et al.*, 1988). Les algues sont également très utilisées (Blandin, 1986). Mis à part des méthodes basées sur les algues macroscopiques (Dell'Uomo, 1991) et sur les cyanobactéries (Fernandez-Pinas *et al.*, 1991), ce sont les Diatomées qui ont été le plus largement utilisées. Ces dernières sont considérées comme faisant partie des meilleurs bioindicateurs (Schoeman et Haworth, 1986; Round, 1991) et de nombreuses méthodes ont été proposées. Certaines sont basées sur le système saprobique (Slàdeček, 1986a), d'autres sur la connaissance de l'autoécologie des espèces (Van Landingham, 1976), d'autres encore sur la structure des communautés (Patrick, 1949; Van Dam, 1982). Il existe enfin des méthodes basées sur les assemblages écologiques (Lange-Bertalot, 1979; Fabri et Leclercq, 1986; Steinberg et Schiefele, 1988; Schiefele et

Schreiner, 1991) dont certaines ont donné lieu à des indices diatomiques.

LES MÉTHODES INDICIELLES

Les méthodes indicielles basées sur les diatomées peuvent être scindées en plusieurs groupes et sous-groupes (Fig. 1). Certaines de ces méthodes sont basées sur une grille à double entrée. D'autres nécessitent l'utilisation d'une formule. Selon la nature de la formule employée, il est possible de distinguer trois sous-groupes. Dans tous les cas, les techniques d'échantillonnage et de préparation des lames d'observation sont identiques (Prygiel et Coste, 1993a; 1993b).

a. Les grilles indicielles

A partir d'une étude réalisée sur le bassin de la Seine en 1974, Coste et Leynaud proposent un système d'évaluation de la qualité de l'eau basé sur une grille à double entrée comprenant 55 espèces. Horizontalement figurent 4 groupes de 5 espèces relativement euryèces classées dans l'ordre des sensibilités décroissantes. Verticalement, figurent 7 sous-groupes de 5 espèces plus caractéristiques d'un niveau typologique classés par ordre d'apparition le long d'un écosystème théorique amont-aval. Cette grille permet le calcul d'une note variant de 1 à 10 dans le sens des qualités croissantes.

Cette méthode a été reprise par le CEMAGREF en 1984, avec une liste de 110 espèces réparties en 5 groupes et 6 sous-groupes de 10 espèces chacun. Cette méthode a été une nouvelle fois reprise dans le cadre d'un contrat CEE (Descy et Coste, 1990; 1991). Cette dernière grille (Fig. 2) fonctionne selon le même principe et comporte 208 espèces réparties en 8 groupes et 4 sous-groupes. Les inventaires diatomiques sont exprimés en pour mille. Il faut ensuite repérer les espèces figurant dans la grille et en effectuer la somme dans chaque groupe et chaque sous-groupe. La médiane est calculée pour l'ensemble des groupes et des sous-groupes et permet la détermination d'un groupe et d'un sous-groupe médians. L'intersection de ces derniers donne la valeur indicielle. La valeur in-

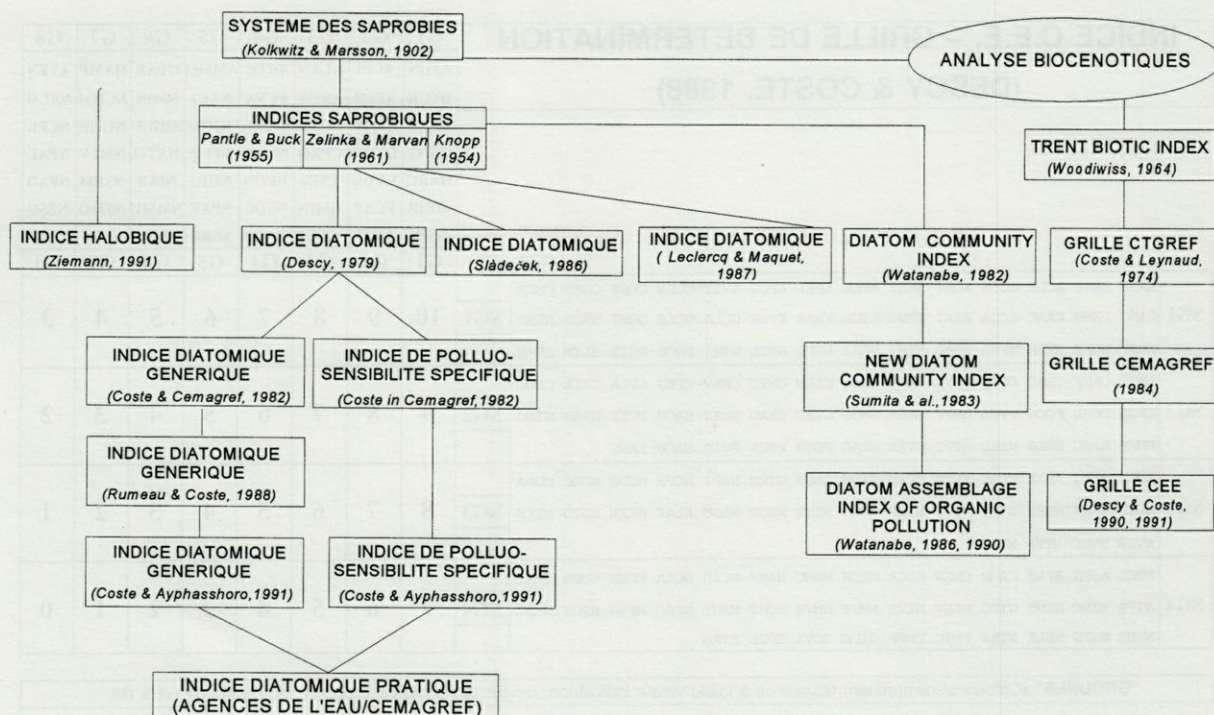


Fig. 1. – Origine des différents types de méthodes d'évaluation de la qualité des eaux continentales courantes basées sur les Diatomées. Les grilles diatomiques dérivent du «Trent Biotic Index» de Woodiwiss (1964). Cet indice qui peut être considéré comme le premier indice biocénotique s'appuie à la fois sur une approche quantitative (prise en compte de la richesse spécifique des communautés) et qualitative (prise en compte d'espèces indicatrices des milieux). *Origin of the various types of continental running water quality evaluation methods based on diatoms. The diatom grids are derived from the Trent Biotic Index of Woodiwiss (1964). The latter, which can be considered as the first ever biocenotic index, rests on an approach which is both quantitative (taking into account the specific richness of the communities) and qualitative (taking into consideration the species which are environment indicators).*

dicielle varie de 1 à 20, ce qui facilite les comparaisons avec les autres indices diatomiques ou invertébrés.

b. Les indices diatomiques

Le premier véritable indice diatomique a été proposé par Descy en 1979 à partir d'une étude réalisée dans la partie belge de la Sambre et de la Meuse. Cet indice est basé sur la formule de Zelinka & Marvan (1961) issue du système saprobique : $ID = \sum A_j v_j i_j / \sum A_j v_j$ où A_j est l'abondance relative de l'espèce j , v_j est la valeur indicatrice de l'espèce j ($1 \leq v \leq 3$) et i_j est la sensibilité à la pollution de l'espèce j ($1 \leq i \leq 5$). Pour le calcul de cet indice compris entre 1 et 5, l'auteur propose une liste de 106 espèces et variétés.

Cette méthode a été reprise par Coste (in Cemagref, 1982) sous le nom d'Indice de Polluosensibilité Spécifique ou IPS et appliquée avec succès aux rivières du bassin Rhône-Méditerranée-Corse moyennant quelques modifications concernant le mode d'attribution des coefficients de sensibilité à la pollution et de valeur indicatrice, et l'expres-

sion finale des résultats (note comprise entre 1 et 20). Cet indice offre de vastes possibilités dans la mesure où il utilise la totalité des espèces présentes dans les inventaires. Il a d'ailleurs fait l'objet de très nombreuses mises à jour depuis sa création et la dernière version est incluse dans le programme Omnidia (Lecoine et al., 1993) qui permet le calcul informatisé de plusieurs indices.

Cette même méthodologie a été ultérieurement reprise par Sládeček (1986b) et Leclercq et Maquet (1987). Le premier applique cette méthode dans le cadre du système des saprobies. Les valeurs de s (sensibilité à la pollution) et de v (valeur indicatrice) sont attribuées aux différentes espèces en fonction de leur affinité pour la matière organique exprimée par la DBO_5 (Sládeček, 1973 ; 1986b). Les seconds ont appliqué cette méthode sur les cours d'eau ardennais belges. Elle dérive de la méthode de Sládeček mais les auteurs proposent des nouvelles valeurs de s et v après une compilation exhaustive des données autoécologiques de la littérature scientifique.

Il faut enfin, pour terminer, signaler l'existence d'indices diatomiques génériques. Comme les précédents, ces indices reposent sur la formule de Ze-

INDICE C.E.E. – GRILLE DE DETERMINATION (DESCY & COSTE, 1988)		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8																																														
		AMIN	ALIB	ALAN	DITE	AMMO	GPAP	HAMP	AVEN	DTCR	APED	AROS	FCVA	NACI	NMIN	NCOM	NACO	EPEC	CMIN	CCAE	MVAR	NJOU	GGLI	NGOE	NCPL	GANT	DEHR	CPRO	NLAN	NPUP	NATO	NMLF	NPAL	HARC	DVUL	CSIN	NFON	NIHU	NIAR	NSEM	NPAD	MCIR	FCAP	GMIN	NSOC	NPAE	NMMU	NSMO	NZSU	NSIN	NDIS	GOLI	RABB	SBRE	NSBM
		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8																																														
SG1	AAUS ABIO ACLE ACOA ADET AEXI AFLE APFL APUS AVIT CCES CEHR CGRA CSLE	SG1	10	9	8	7	6	5	4	3																																													
	DANC DHME EARC ECUR EEXI ERHO ETUR FRSA FVIR GCLA GCLE GOMI NACD NBRY																																																						
	NEAF NGPE NEAN NPSL NRAD NREI NRHY NSPD NSTL NTRI PNOB RGIB SLIN STAN																																																						
SG2	ANOR CAFF CBAC CCIS CCYM CELL CHEL CLAN CMIC CNAV CPED CPLA CSIL CSOL	SG2	9	8	7	6	5	4	3	2																																													
	CTGL DOBL FCON FVUL GAFF GGRA GNOD GIRU GYAC GYAT NACU NCTE NLAN NINO																																																						
	NMEN NREC NSBH NSBL NIPT NVER NZAG PGIB PSCA PVIR SACU SANG																																																						
SG3	ACON AEXG ASAX FBRE FLEP FPIN GANG GAUG GTER NAPI NCPR NCUS NDEC NDRA	SG3	8	7	6	5	4	3	2	1																																													
	NEXI NGRE NHEU NIPT NIGF NIGR NIRO NITE NKOT NLSU NLAT NLIN NSIO NTEN																																																						
	NVIR NVRO STKR SULN																																																						
SG4	ADEL ASPH BPAR CAMP CMEN GSCA NAUR NAMC NAMP NCIN NCLA NDEB NDUB NHAL	SG4	7	6	5	4	3	2	1	0																																													
	NIFR NINC NINT NIPU NLEV NLVI NMOT NMVE NOBT NPHY NPRO NPYG NRCS NSAL																																																						
	NSHR NSIG NSLE NTRY PMIC PMER SIDE SOVI SPUL STAB																																																						

"GROUPES" (Colonnes) comprenant les taxons à faible valeur indicatrice rangés par ordre de tolérance croissante de G1 à G8

"SOUS-GROUPES" (Lignes) comprenant les taxons à forte valeur indicatrice rangés par ordre de tolérance décroissante de SG1 à SG8

Fig. 2. – Grille diatomique CEE de Coste & Descy (1990). Les groupes horizontaux sont composés d'espèces à large distribution rangées par ordre de tolérance croissante à la pollution. Les sous-groupes sont composés d'espèces à faible amplitude écologique classées par ordre d'apparition le long d'un écosystème théorique amont-aval.

Diatom grid CEE of Coste & Descy (1990). The horizontal groups are made up of widely-distributed species arranged according to increasing pollution tolerance. The sub-groups contain species of low ecological amplitude, listed according to appearance in a theoretical upstream-downstream ecosystem.

linka et Marvan. Les valeurs de s et v sont cette fois attribuées aux genres et non plus aux espèces. Le premier indice a été proposé par Coste (*in* Cema-gref, 1982) à partir de la classification des Diatomées établie par Bourrelly (1981) avec 68 genres. Il répond à un souci de simplification susceptible de donner lieu à des applications plus pratiques. Une méthodologie complète basée sur cet indice et comprenant des clés d'identification a été proposée par Rumeau et Coste en 1988 avec 88 genres et sections retenus. A l'occasion d'une étude menée en 1990 sur le bassin Artois-Picardie (Coste et Aypassorho, 1991), une troisième version de cet indice générique a été proposée. Cet indice prend en compte de nouveaux genres, en particulier au sein des genres *Navicula* et *Nitzschia* (Round *et al.*, 1990) et utilise désormais un jeu de 308 genres. Il faut cependant noter que 174 genres seulement possèdent des valeurs de s et v. Ces valeurs découlent directement de l'IPS et correspondent aux moyennes des valeurs de s et v des espèces correspondantes.

La plupart des indices diatomiques ont été proposés de façon à rendre compte de la qualité générale des eaux. La sensibilité des Diatomées à

certains paramètres comme le pH ou la minéralisation a cependant conduit certains auteurs à proposer des indices destinés à rendre compte d'un phénomène particulier. Ainsi Ziemann (1991) propose un indice diatomique basé sur le système halobique de Hustedt (1957) :

$$H = [(\Sigma h_H - \Sigma h_X) / \Sigma h] \times 100$$

avec Σh_H = somme des abondances des espèces halobiontes et halophiles (indicatrices de salinité), Σh_X = somme des abondances des espèces halophobes et Σh = somme des abondances de toutes les espèces rencontrées.

Un indice négatif caractérise des eaux avec une teneur faible en sels, plus ou moins acides pour la plupart. Un indice proche de zéro caractérise des eaux douces et un indice supérieur à 10 des eaux avec des teneurs importantes en sels.

Des indices de formulation tout à fait différente ont été développés au Japon. Après avoir effectué des corrélations entre DBO_5 et abondances de Diatomées dans plusieurs rivières japonaises, Watanabe (1982) a proposé deux indices :

$$* DCI \text{ (Diatom Community Index)} = \Sigma T_i + 1/2 \Sigma I_i$$

avec ΣT_i = somme des fréquences relatives des taxons tolérants et ΣI_i = somme des fréquences relatives des taxons indifférents.

* RPIb (River Pollution Index) = $190 - T/1.9$
avec $T = 0.6 B_m + 0.9 A_m + 1.5 B_p + 1.9 A_p$

où B_m = pourcentage de la longueur des portions de secteur bêta-mésosaprobies mesurées graphiquement à la longueur totale de la zone étudiée. A = alpha et p = polysaprobe.

Cet indice permet une appréciation globale de la qualité du cours d'eau et prend une valeur maximale de 100.

Plusieurs variations de cet indice ont été ultérieurement proposées : le NEWDCI ou NDCI (Sumita et Watanabe, 1983), le DAI ou Diatom Assemblage Index (Watanabe *et al.*, 1986) et plus récemment le DAIPo ou Diatom Assemblage Index of organic water pollution (Watanabe, 1990).

MÉTHODES DIATOMIQUES INDICIELLES ET QUALITÉ DES EAUX: SIGNIFICATION DES RÉSULTATS

Certaines méthodes (DAIPo et indices japonais de façon générale) ont été rapidement abandonnées à cause de l'endémisme des espèces de Diatomées (Descy et Coste, 1990; Coste *et al.*, 1991). D'autres (grilles CTGREF et CEMAGREF) ont été abandonnées au profit de méthodes plus récentes et plus performantes. D'autres encore sont très peu utilisées et leur capacité à traduire certains phénomènes n'est pas connue en dehors des zones où ils ont été mis au point (indice halobique de Ziemann).

Les indices basés sur la formule de Zelinka et Marvan demeurent les plus utilisés. Parmi ceux-ci, l'IPS est le plus utilisé et est considéré comme l'indice de référence (Descy et Coste, 1991). Il utilise en effet toutes les espèces rencontrées et a fait l'objet depuis sa création de nombreuses mises à jour pour tenir compte des nouvelles données sur l'écologie des Diatomées et de l'évolution de la taxonomie. A partir d'un logiciel mis au point par le CEMAGREF (Coste, non publié) et dans le cadre d'une étude de la qualité hydrobiologique des cours d'eau du bassin Artois-Picardie (Coste et Ayphassorho, 1991, A.E. Artois-Picardie, 1992), un système d'exploitation des inventaires diatomiques a été développé (Leconte *et al.*, 1993) sous le nom d'Omnia. Ce programme utilise une base de données Omnia 5 (Blyth Software) et fonctionne sous Windows 3 (Microsoft). Il est compatible IBM et Macintosh et permet entre autres le calcul de 6 indices diatomiques (indices de Descy ou DES, 1979), Coste ou IPS (in Cemagref, 1982), Slàdeček ou SLA (1986b), Leclercq et Maquet ou ILM (1987) et in-

dice CEE (Descy et Coste, 1991). Ce logiciel intègre une légère modification apportée par Coste (non publié) au mode de calcul de l'indice CEE. Ce dernier donne en effet une meilleure évaluation de la qualité de l'eau en prenant en compte les groupe et sous-groupe moyens plutôt que médians. L'existence de ces outils informatiques a permis de tester simultanément la réponse de ces indices diatomiques dans différentes conditions.

Un premier test à grande échelle a été réalisé dans le cadre d'un contrat CEE sur 155 stations du Réseau National de Bassin français (RNB) et sur des stations de cours d'eau appartenant à différents pays de la CEE (Descy et Coste, 1990). Parallèlement, une application des indices diatomiques a été réalisée sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse (Descy *et al.*, 1989). Ces deux études montrent que la plupart des indices sont corrélés négativement avec les paramètres indicateurs de la pollution organique (NH_4^+ , DBO_5 , NO_2^-) de l'eutrophisation (PO_4^{3-}) et dans une moindre mesure de la salinité. La relation la plus significative avec le degré de pollution est montrée par les indices suivants : IPS, CEE, ILM, DES tandis que les indices de Slàdeček et de Rumeau et Coste ont une moindre performance. Il faut cependant noter que l'indice générique constitue une méthode relativement facile dans sa mise en œuvre par des utilisateurs ne possédant pas à priori de connaissances approfondies en systématique des Diatomées. On note cependant que les indices diatomiques traduisent mal les pollutions toxiques, en particulier les pollutions métalliques en raison de l'absence de prélèvements purement quantitatifs.

L'étude de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie en 1990 a permis de tester la signification de ces 6 indices diatomiques par rapport à différents jeux de données physico-chimiques (Prygiel et Coste, 1993a; 1993b). Les indices diatomiques traduisent tous de façon satisfaisante la pollution organique qui est le principal facteur de dégradation des eaux de ce bassin. L'IPS est toutefois le seul qui donne une estimation réaliste de la qualité générale des eaux. Il intègre en effet la pollution organique exprimée par la DBO_5 , la DCO ou le NH_4^+ , mais aussi la salinité exprimée par la conductivité et les chlorures, ainsi que l'eutrophisation qu'elle soit réelle et exprimée par la chlorophylle, ou potentielle et exprimée par les phosphates. L'indice générique de Coste et Ayphassorho présente des corrélations moins élevées avec la pollution organique et les paramètres associés que les autres indices même si ces dernières restent hautement significatives. Il répond cependant de façon tout à fait satisfaisante à la salinité et à l'eutrophisation.

La réponse des indices diatomiques du mois de septembre 1990, a été étudiée par rapport à différents jeux de données physico-chimiques corres-

pendant aux mois de septembre, août, juillet et juin 1990, ainsi qu'à différentes physico-chimies moyennes calculées sur ces périodes. Les résultats montrent que les meilleures corrélations entre indices diatomiques et pollution organique sont obtenues pour la physico-chimie simultanée et pour la physico-chimie moyenne correspondant aux 4 mois de la saison estivale. Ceci peut paraître surprenant dans la mesure où les Diatomées ont une durée de vie relativement courte, de l'ordre de quelques heures à quelques jours (Eppley, 1977). Et de fait, si les Diatomées sont particulièrement utiles dans la détection de pollutions de type ponctuel (Eulin *et al.*, 1993), l'intégration sur le long terme a déjà été observée dans d'autres conditions (Leclercq, 1989). Dans le cas du bassin Artois-Picardie, ce phénomène s'explique par la nature même des stations du RNB. Ces dernières ont été choisies de façon à suivre l'évolution de la qualité des eaux sur des périodes relativement longues. Elles sont donc peu soumises aux perturbations très localisées dans le temps et l'espace.

CONCLUSION

Bien que faisant partie des meilleurs bioindicateurs de la qualité des eaux continentales courantes (Round, 1991), et bien que de nombreuses méthodes indiciaires ou non aient été proposées, les Diatomées demeurent relativement peu utilisées. Plusieurs critiques ont été apportées aux indices diatomiques (Prygiel et Coste, 1993b) parmi lesquelles les difficultés liées aux connaissances systématiques nécessaires pour leur mise en œuvre et l'absence de standardisation. L'IDG proposé en 1982 par Coste et repris en 1988 et 1991, a marqué une étape importante en proposant aux gestionnaires de la qualité des eaux une méthode pratique et accessible. Les travaux menés dans plusieurs grands bassins hydrographiques montrent d'ailleurs bien l'intérêt de ces derniers pour cette approche. La nécessité de pouvoir suivre régulièrement des réseaux de surveillance nécessite toutefois la mise au point d'une méthodologie complète et standardisée. Différentes approches ont été tentées sur le bassin Artois-Picardie. Après avoir successivement tenté de réduire le nombre d'individus à compter, de baser les indices diatomiques sur les seules espèces dominantes, il apparaît que l'approche la plus satisfaisante pour le gestionnaire est de travailler simultanément au genre et à l'espèce sous réserve que les espèces à identifier soient aisées à reconnaître en microscopie optique (Prygiel et Coste, 1993b). Un nouvel indice diatomique pratique (IDP) a donc été mis au point sur le bassin expérimental de l'Aa à partir de 86 relevés et près de 250 espèces. Dans un premier temps, les inventaires ont été classés

en fonction des écarts observés entre IPS et IDG. Dans un second temps, ont été identifiées les espèces responsables de ces écarts en prenant en compte celles présentant une abondance relative supérieure à 5% et une différence de sensibilité à la pollution avec le genre correspondant supérieure ou égale à 0,4. Plusieurs IDP ont ainsi été mis au point et leurs performances étudiées par rapport à l'IPS.

Tabl. I. – Mise au point d'un Indice Diatomique Pratique (IDP) à partir d'un jeu de 86 inventaires réalisés sur la rivière Aa (nord de la France). Seules les espèces d'abondance supérieure à 5% des inventaires où l'écart IPS-IDG était supérieur ou égal à 1 (IDP3), 2 (IDP2) et 3 (IDP1) ont été prises en compte. La détermination au genre combinée avec des déterminations à l'espèce permet d'obtenir de très bonnes corrélations avec l'IPS (indice de référence) calculé à partir de plus de 200 espèces et variétés différentes.

Elaboration of a Practical Diatom Index (IDP) starting from a set of 86 inventories carried out on the river Aa (in the north of France). Only species with an abundance of 5% of the inventories in which the variation IPS-IDG was equal to or higher than 1 (IDP3), 2 (IDP2) and 3 (IDP1) were taken into account. Identification at the generic level combined with determinations at the species level enables to obtain very good correlations with the IPS (reference index) calculated on the basis of over 200 different species and varieties.

	IPS - IDG	IPS - IDP1	IPS - IDP2	IPS - IDP3
Corrélation	0.801	0.972	0.991	0.994
Nbre espèces à identifier	> 200	27	39	42

Il apparaît que la prise en compte des espèces responsables des écarts supérieurs ou égaux à 2, constitue le meilleur compromis entre fiabilité et applicabilité en réseau. Cette méthodologie a été appliquée aux 480 relevés effectués dans le bassin Artois-Picardie et aux 550 espèces et variétés inventoriées. Il en résulte un indice diatomique pratique Artois-Picardie basé sur la détermination de 45 genres et 87 espèces.

Les inventaires de qualité hydrobiologique sur les cours d'eau français sont actuellement réalisés à partir d'inventaires de la faune macroinvertébrée des cours d'eau. Ces méthodes trouvent toutefois leurs limites en milieu canalisé et en grandes rivières en raison des difficultés d'échantillonnage (Prygiel, 1991). L'intérêt des organismes gestionnaires pour des méthodes alternatives capables d'être appliquées sur tous les types de cours d'eau et de donner des indications sur les niveaux de pollution organique, d'eutrophisation et de minéralisation ont conduit les agences de l'eau et le CEMAGREF à mettre au point un indice diatomique pratique utilisable sur l'ensemble du réseau hydrographique français. Ce travail devrait être achevé début 1996 et sera accompagné d'un stage

de formation à l'attention des services gestionnaires. Il devrait permettre de disposer d'une méthodologie complète comprenant un logiciel de calcul adapté et une clé d'identification des genres et espèces retenus, et de déboucher sur une normalisation. C'est une telle pratique qui a assuré le développement des indices macroinvertébrés.

RÉFÉRENCES

- AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE, 1992. Carte de qualité hydrobiologique de la qualité des cours d'eau du bassin Artois-Picardie, A.E. Artois-Picardie, Douai, 15 p.
- BLANDIN P., 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bull. Ecol.* **17** (4) : 215-307.
- BOURRELLY P., 1981. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome II : les algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et diatomées, Boubée et Cie, Paris, 518 p.
- CEMAGREF, 1982. Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Q.E. Lyon - Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 218 pages.
- CEMAGREF, 1984. Opération Seine rivière propre. Evaluation de la qualité hydrobiologique : poissons-diatomées. Rapport Agence de l'Eau Seine-Normandie - Conseil Régional Ile-de-France, Paris, 35 p.
- COSTE M. et G. LEYNAUD, 1974. Etude sur la mise au point d'une méthode biologique de détermination de la qualité des eaux en milieu fluvial. Rapport CTGREF AFBSN, Paris, 80 p.
- COSTE M. et H. AYPHASSHORO, 1991. Etude de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques. Application des indices diatomiques. Rapport CEMAGREF Bordeaux-Agence de l'Eau Artois-Picardie, 227 p.
- COSTE M., C. BOSCA et A. DAUTA, 1991. Use of algae for monitoring rivers in France. *In Use of algae for monitoring rivers*, Edited by B.A. Whitton, E. Rott and G. Friedrich, Düsseldorf Germany, E. Rott, Inst. Bot. Univers. Innsbruck : 75-88.
- DELL'UOMO A., 1991. Use of benthic macroalgae for monitoring rivers in Italy. *In Use of algae for monitoring rivers*. Edited by B.A. Whitton, E. Rott and G. Friedrich, Düsseldorf Germany, E. Rott, Institut für Botanik Universität Innsbruck : 129-137.
- DE PAUW N. and G. VANHOOREN, 1983. Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*. **100** : 153-158.
- DE PAUW N. et P.F. GHETTI, 1992. Biological assessment methods for running water in River water quality; Ecological assessment and control, Edited by P.J. Newman, M.A. Piavaux and R.A. Sweeting, Commission of the European Communities, Bruxelles : 217-248.
- DESCY J.P., 1979. A new approach for water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia* **64** : 305-323.
- DESCY J.P., M. COSTE et M. MAIFFI-RASSAT, 1989. Application d'un nouvel indice (indice CEE 88) au Réseau National de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, A.E. Rhône-Méditerranée-Corse, Pierre-Bénite, 86 p.
- DESCY J.P. et M. COSTE, 1990. Utilisation des diatomées benthiques pour l'évaluation de la qualité des eaux courantes. Rapport final contrat CEE B-71-23, UNCED-Namur, CEMAGREF Bordeaux, 64 p.
- DESCY J.P. and M. COSTE, 1991. A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *Verh. Internat. Limnol.* **24** (4) : 2112-2116.
- EPPLEY R.W., 1977. The growth and culture of diatoms. *In The biology of Diatoms*. Edited by D. Werner, Botanical Monographs 13, Blackwell Scientific Publications : 24-65.
- EULIN A., C. GRUARIN, H. LAVILLE et R. LE COHU, 1993. Evaluation de la qualité de l'eau de la Garonne par référence spéciale aux indices diatomique et chironomidien. *Annls Limnol.* **29** (3-4) : 269-279.
- FABRI R. et L. LECLERCQ, 1986. Végétation de diatomées des rivières du nord de l'Ardenne (Belgique) : Types naturels et impact des pollutions. *In Proc. of the 8th Internat. Diatom Symp.*, Edited by M. Ricard, Paris, August 1984, O. Koeltz Publ. Koenigstein : 337-346.
- FERNANDEZ-PINAS F., F. LEGANES, P. MATEO & I. BONILLA, 1991. Blue-green algae as indicators in water river quality in two Spanish rivers 151-156. *In Use of algae for monitoring rivers*. Edited by B.A. Whitton, E. Rott and G. Friedrich, Düsseldorf Germany, E. Rott, Institut für Botanik Universität Innsbruck : 151-156.
- FJERDINGSTAD E., 1964. Pollution of stream estimated by benthic phytomicro-organisms. I. A saprobic system based on communities of organisms and ecological factors. *Internat. Rev. Hydrobiol.* **49** : 63-131.
- HUSTEDT F., 1957. Die Diatomeenflora des Flusssystemes der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abh. Naturw. Ver. Bremen.* **34** (3) : 181-440.
- HELLAWELL J.M., 1986. Biological indicators of fresh water pollution and environmental management. Pollution monitoring series, Elsevier Applied Science Publishers, London-New-York, 546 p.
- KOLKWITZ R. & M. MARSSON, 1902. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. *Mitt. Prüfungsanst. Wasserversorg. Abwasserrein* **1** : 33-72.
- LANGE-BERTALOT H., 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia.* **64** : 285-304.
- LECOINTE C., M. COSTE and J. PRYGIEL, 1993. « OMNIDIA » a software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia.* **269/270** : 509-513.
- LECLERCQ L., 1989. Fiabilité de l'estimation du niveau de pollution organique des eaux courantes par les diatomées et efficacité de leur pouvoir intégrateur. *Cryptogamie-Algol.* **10** (2) : 87-100.
- LECLERCQ L. et B. MAQUET, 1987. Deux nouveaux indices diatomique et de qualité chimique des eaux

- courantes. Comparaison avec différents indices existants. *Cah. Biol. Mar.* **28** : 303-310.
- NEWMAN P.J., 1988. Classification of surface water quality. Review of the schemes used in EC Member States. Heinemann Professional Publishers, Oxford, 189 p.
- PANTLE R. & H. BUCK, 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserfach.* **96** : 604 p.
- PATRICK R., 1949. A proposed biological measure of stream conditions based on a survey of Conestoga basin, Lancaster County, Pennsylvania. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia* **101** : 277-341.
- PRYGIEL J., 1991. Use of benthic diatoms in surveillance of the Artois-Picardie basin hydrobiological quality. In Use of algae for monitoring rivers. Edited by B.A. Whitton, E. Rott and G. Friedrich, Düsseldorf Germany, E. Rott, Institut für Botanik Universität Innsbruck : 89-96.
- PRYGIEL J. and M. COSTE, 1993a. The assessment of water quality in the Artois-Picardie basin (France) by the use of diatom indices. *Hydrobiologia* **269/270** : 343-349.
- PRYGIEL J. and M. COSTE, 1993b. Utilisation des indices diatomiques pour la mesure de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie : bilan et perspectives. *Annls Limnol.* **29** (3-4) : 129-145.
- ROUND F.E., R.M. CRAWFORD & D.G. MANN, 1990. The diatoms. Biology and morphology of genera. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 747 p.
- ROUND F.E., 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. *J. Applied Phycol.* **3** : 129-145.
- RUMEAU A. & M. COSTE, 1988. Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. *Bull. Fr. Piscic.* **309** : 1-69.
- SCHIEFELE S. & C. SCHREINER, 1991. Use of diatoms for monitoring nutrient enrichment, acidification and impact of salt in Germany and Austria. In Use of algae for monitoring rivers. Edited by B.A. Whitton, E. Rott and G. Friedrich, Düsseldorf Germany, E. Rott, Inst. für Bot. Univ. Innsbruck : 103-110.
- SCHOEMAN F.R. & E.Y. HAWORTH, 1986. Diatoms as indicators of pollution. Report on a workshop in Proc. 8th Internat. Diatom Symp., Edited by M. Ricard, Paris, August 1984, O. Koeltz Publ. Koenigstein : 157-759.
- SLÀDEČEK W., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebnisse Limnol.* **7** : 1-218.
- SLÀDEČEK W., 1986a. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* **14** (5) : 555-566.
- SLÀDEČEK W., 1986b. Diatoms as indicators of organic pollution. In Proc. 8th Internat. Diatom Symp., Edited by M. Ricard, Paris, August 1984, O. Koeltz Publ. Koenigstein : 757-758.
- STEINBERG C. and S. SCHIEFELE. Biological indication of trophy and pollution of running waters. *Z. Wasser Abwasser-Forsch.* **21** : 227-234.
- SUMITA M. and T. WATANABE, 1983. New general estimation of river pollution using new diatom community index (NDCI) as biological indicators based on specific composition of epilithic diatom communities applied to Asano-Gawa and Sai-Gawa rivers in Ishikawa prefecture. *Jpn. J. Limnol.* **44** (4) : 329-340.
- TUFFERY G. and J. VERNEAUX, 1968. Méthode de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Exploitation codifiée des inventaires de la faune de fond, Ministère de l'Agriculture (France), CERAFER, section Pêche et Pisciculture : 1-23.
- VAN DAM H., 1982. On the use of measures of structure and diversity in applied diatom ecology. *Nova Hedwigia* **73** : 97-115.
- VAN LANDINGHAM J.W., 1976. Comparative evaluation of water quality in the St Joseph River (Michigan and Indiana, USA) by three methods of algal analysis. *Hydrobiologia* **48** (2) : 145-174.
- WATANABE T., 1982. Numerical assessment of river pollution based on the water quality chart. Research report on Environmental Science, B121-R-12-10, 92-95 (en Japonais).
- WATANABE T., 1990. Numerical simulation of organic pollution in flowing waters. In Encyclopedia of Environmental Control Technology, Vol. 4 : Hazardous waste containment and treatment, Gulf Publishing Company, Houston, Texas : 251-281.
- WATANABE T., K. ASAI and A. HOUKI, 1986. Numerical estimation to organic pollution of flowing water by using the epilithic diatom assemblage - Diatom Assemblage Index (DAIpo). *Sci. Total Environ.* **55** : 209-218.
- WOODIWISS F.S., 1964. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chemistry and Industry* **14** : 443-447.
- WRIGHT J.F., P.D. ARMITAGE, M.T. FURSE and D. MOSS, 1988. A new approach to the biological surveillance of river quality using macroinvertebrates. *Verh. Internat. Verein Limnol.* **23** : 1548-1552.
- ZELINKA M. and P. MARVAN, 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Arch. Hydrobiol.* **57** : 389-307.
- ZIEMANN H., 1991. Veränderungen der Diatomeenflora des Werra unter dem Einfluss des Salzgehaltes. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* **19** (2) : 159-174.

Reçu le 15 novembre 1994; received November 15, 1994
 Accté le 30 mai 1995; accepted May 30, 1995