

## LES DIATOMÉES ET LES INDICES DIATOMIQUES DANS LES RÉSEAUX DE MESURE DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU FRANÇAIS : HISTORIQUE ET AVENIR.

J. PRYGIEL (1), M. COSTE (2),

avec la collaboration technique de J. BUKOWSKA.

---

(1) Agence de l'Eau Artois-Picardie, 764 boulevard Lahure, 59508 Douai Cedex et Laboratoire d'Ecologie Numérique, U.S.T. Lille, 59650 Villeneuve d'Ascq Cedex, France.

(2) CEMAGREF Bordeaux, 50 avenue de Verdun, B.P. 3, 33610 Cestas, France.

Reçu le 11 mars 1996  
Accepté le 25 juillet 1996

Received 11 March, 1996  
Accepted 25 July, 1996

### RÉSUMÉ

L'utilisation des diatomées et des indices diatomiques dans les réseaux français de mesure de la qualité des eaux a débuté en 1970, sur la Seine. Un regain d'intérêt s'est manifesté à partir des années 1990, avec des applications sur les bassins Rhône-Méditerranée-Corse, Artois-Picardie, Rhin-Meuse et Adour-Garonne. En 1994, les Agences se sont associées avec le CEMAGREF pour mettre au point un indice diatomique applicable en routine sur l'ensemble du territoire français, et pour promouvoir et faciliter son utilisation en réseau de surveillance. Cet indice diatomique doit rejoindre l'Indice Biologique Global Normalisé au sein du volet biologique du futur système d'évaluation de la qualité des cours d'eau, actuellement en cours de réalisation. Les développements doivent désormais porter sur la consolidation de cet indice au niveau français, ainsi que sur des tests dans plusieurs pays européens.

### DIATOMS AND DIATOM INDICES IN THE NETWORKS FOR QUALITY MEASUREMENT OF FRENCH WATERCOURSES : SHORT HISTORY AND FUTURE.

#### SUMMARY

The use of diatoms and diatom indices in the networks for measurement of the quality of French watercourses was initiated on the Seine in 1970. As from 1990, applications in the Rhône-Méditerranée-Corse, the Artois-Picardie, the Rhin-Meuse and the Adour-Garonne basins reflected a renewed interest. In 1994, the six French Water Agencies associated with CEMAGREF to elaborate a practical diatom index liable to be used routinely in the whole French territory, and to promote and facilitate its use in monitoring networks. This diatom index should take its place next to the Global Biological Standardized Index in the biological section of the future quality assessment system for watercourses, at present being elaborated. Further developments should, therefore, focus on the consolidation of this index in France and on tests in different European countries.

#### RAPIDE HISTORIQUE

L'intérêt des organismes français gestionnaires de la qualité des eaux pour les diatomées, en tant qu'indicateurs de la qualité des eaux, remonte aux années 70. A l'initiative de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, COSTE et LEYNAUD (1974) ont proposé une première grille

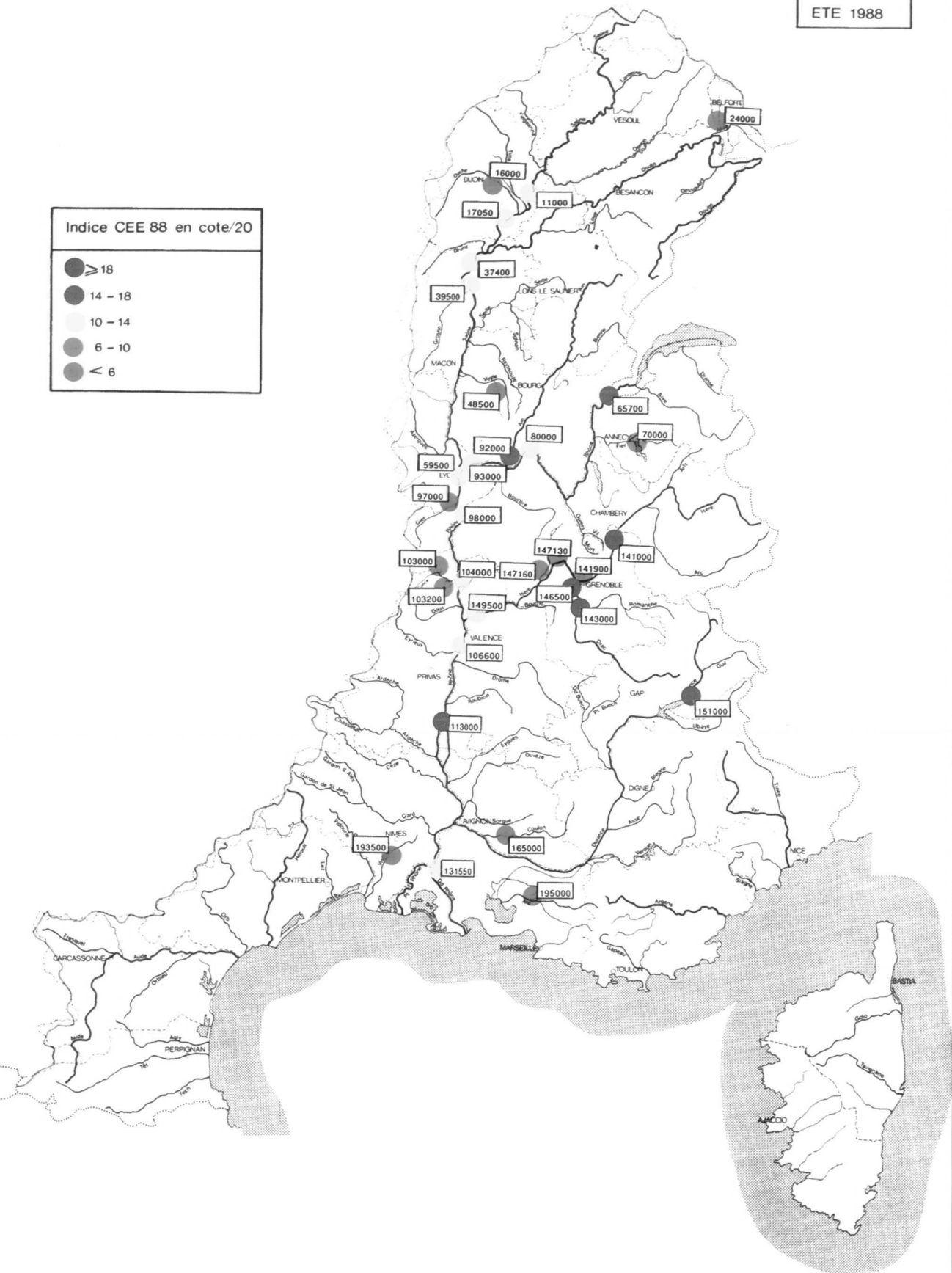
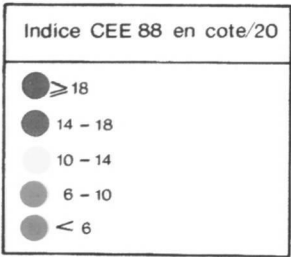
		GROUPES				
		Achnanthes exilis Achnanthes minutissima et var. Denticula tenuis var. crassula Diatoma hiemale v. mesodon Meridion circulare et var.				
		Cocconeis pediculus Cymbella ventricosa Diatoma vulgare Nitzschia dissipata Fragilaria construens et var.				
		Fragilaria intermedia & vaucheriae Fragilaria pinnata Nitzschia acicularis Nitzschia linearis Rhoicosphenia curvata				
		Navicula seminulum Nitzschia amphibia Nitzschia frustulum & var. Nitzschia kuetzingiana Nitzschia palea				
SOUS-GROUPES		1	2	3	4	
1	Achnanthes affinis Achnanthes linearis et var. Cymbella microcephala Cymbella sinuata Navicula tridentula fo. parallela	10	9	8	7	
2	Amphipleura pellucida Cymbella affinis. Gomphonema constrictum v. capitata Gomphonema intricatum v. pumila Fragilaria capucina et var.	9	8	7	6	
3	Cymbella lanceolata Cymbella prostrata Gyrosigma attenuatum Gyrosigma spencerii v. nodiferum Navicula gracilis	8	7	6	5	
4	Cymbella cistula Gomphonema olivaceum et var. Navicula cryptocephala v. intermedia Navicula pupula et var. Surirella ovata	7	6	5	4	
5	Cymbella tumida Navicula gregaria Navicula viridula et var. Nitzschia filiformis Synedra pulchella	6	5	4	3	
6	Diatoma elongatum et var. Gomphonema abbreviatum Gomphonema parvulum et var. Navicula accomoda Navicula gothlandica	5	4	3	2	
7	Navicula mutica et var. Navicula neoventricosa Navicula vaucheriae Nitzschia clausii Synedra affinis	4	3	2	1	

Figure 1 : Grille de qualité diatomique mise au point sur la Seine à partir de l'analyse factorielle des correspondances (d'après COSTE et LEYNAUD, 1974).

Figure 1 : Seine diatom quality grid, elaborated starting from the factorial analysis (according to COSTE and LEYNAUD, 1974).



ETE 1988



**Figure 3 : Application de l'indice diatomique CEE aux stations du Réseau National de Bassin du bassin Rhône-Méditerranée-Corse (d'après DESCY et COSTE, 1989).**

**Figure 3 : CEE diatom index application on the National Monitoring Network of the Rhône-Méditerranée-Corse basin (according to DESCY and COSTE, 1989).**

C'est également en 1988 que les diatomées et les indices diatomiques ont été retenus pour l'évaluation de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie (PRYGIEL, 1991). Les premiers tests, réalisés sur le bassin versant de la Somme, ont confirmé l'intérêt de ces bioindicateurs, notamment pour l'étude des grands cours d'eau et des milieux canalisés. Ils ont également montré tout l'intérêt de l'IPS, en tant que mode d'expression et de présentation des résultats. Cet indice a, par la suite, fait l'objet d'applications diverses sur de petits bassins versants tels que la Mare à Goriaux (PRYGIEL et COSTE, 1990), l'Aa (PRYGIEL *et al.*, 1996), la Sensée (PRYGIEL, 1994) et la Garonne (EULIN *et al.*, 1993). En 1990, un premier suivi de la totalité des stations de mesure du bassin Artois-Picardie a été réalisé dans le cadre d'une convention entre l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et le CEMAGREF de Bordeaux (COSTE et AYPHASSORHO, 1991). Six indices ont été testés sur 355 relevés et plus de 500 espèces, grâce à un programme informatique permettant le calcul des indices et la gestion des inventaires diatomiques (LECOINTE *et al.*, 1993). Les résultats de cette étude ont permis de conclure à la supériorité de l'IPS pour la mise en évidence de diverses altérations de la qualité des eaux (PRYGIEL et COSTE, 1993a), et une première carte de la qualité hydrobiologique des cours d'eau du bassin Artois-Picardie a été éditée en 1992 (figure 4).

L'IPS étant difficile à mettre en oeuvre dans le cadre d'opérations de routine, différentes approches ont été explorées en vue de rechercher une technique utilisable par les services gestionnaires de la qualité des eaux (PRYGIEL et COSTE, 1993b). Les premiers travaux visant à l'élaboration d'une méthodologie pratique ont été entrepris à titre expérimental sur le bassin versant de l'Aa, à partir de 86 relevés et 242 espèces. La technique utilisée a ensuite été transposée à l'ensemble des relevés effectués dans le bassin Artois-Picardie. Il en a résulté un indice pratique Artois-Picardie (I.D.A.P.), reposant sur 91 espèces et 45 genres (PRYGIEL *et al.*, 1996).

A la suite des travaux menés en Artois-Picardie, des investigations ont été entreprises par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse en 1992 (LENOIR et COSTE, 1994). L'étude des communautés de diatomées benthiques a été réalisée sur 220 stations du Réseau National de Bassin (RNB), au cours de deux campagnes intervenues en juin et septembre. La prospection de 10 stations supplémentaires, menée conjointement, a permis par ailleurs d'évaluer l'impact des fluctuations saisonnières sur les estimations biologiques de la qualité des eaux, obtenues à l'aide des invertébrés et des diatomées. Ce sont, au total, 975 relevés diatomiques qui ont donné lieu au calcul de 8 indices diatomiques, dont l'IPS. Les résultats montrent que les corrélations les plus élevées avec la physico-chimie sont obtenues en juin sur substrat végétal, et en septembre sur substrat inerte. Les corrélations avec la physico-chimie moyenne des deux mois précédant le prélèvement biologique sont à peine plus élevées que celles obtenues avec la physico-chimie moyenne annuelle, et confirment les résultats obtenus en Artois-Picardie. La prospection du bassin Rhin-Meuse s'est poursuivie en 1993 et 1994 avec l'Université de Bordeaux, au rythme de deux campagnes annuelles sur 118 stations du RNB.

En 1994, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a entrepris une prospection des stations RNB de son bassin (COSTE *et al.*, 1995). 71 stations ont été échantillonnées au cours d'une unique campagne estivale. 26 spectres écologiques relatifs au pH, à la salinité, aux niveaux trophiques ou saprobiques (DENYS, 1991 ; HAKANSSON, 1993 ; HOFMANN, 1994 ; VAN DAM *et al.*, 1994) ont été testés. L'ensemble des résultats obtenus a été représenté cartographiquement, grâce à un interfaçage entre le logiciel de calcul indiciel et le Système d'Information Géographique ARCINFO (Environmental Systems Research Institute Inc.) utilisé par les Agences de l'Eau (figure 5).

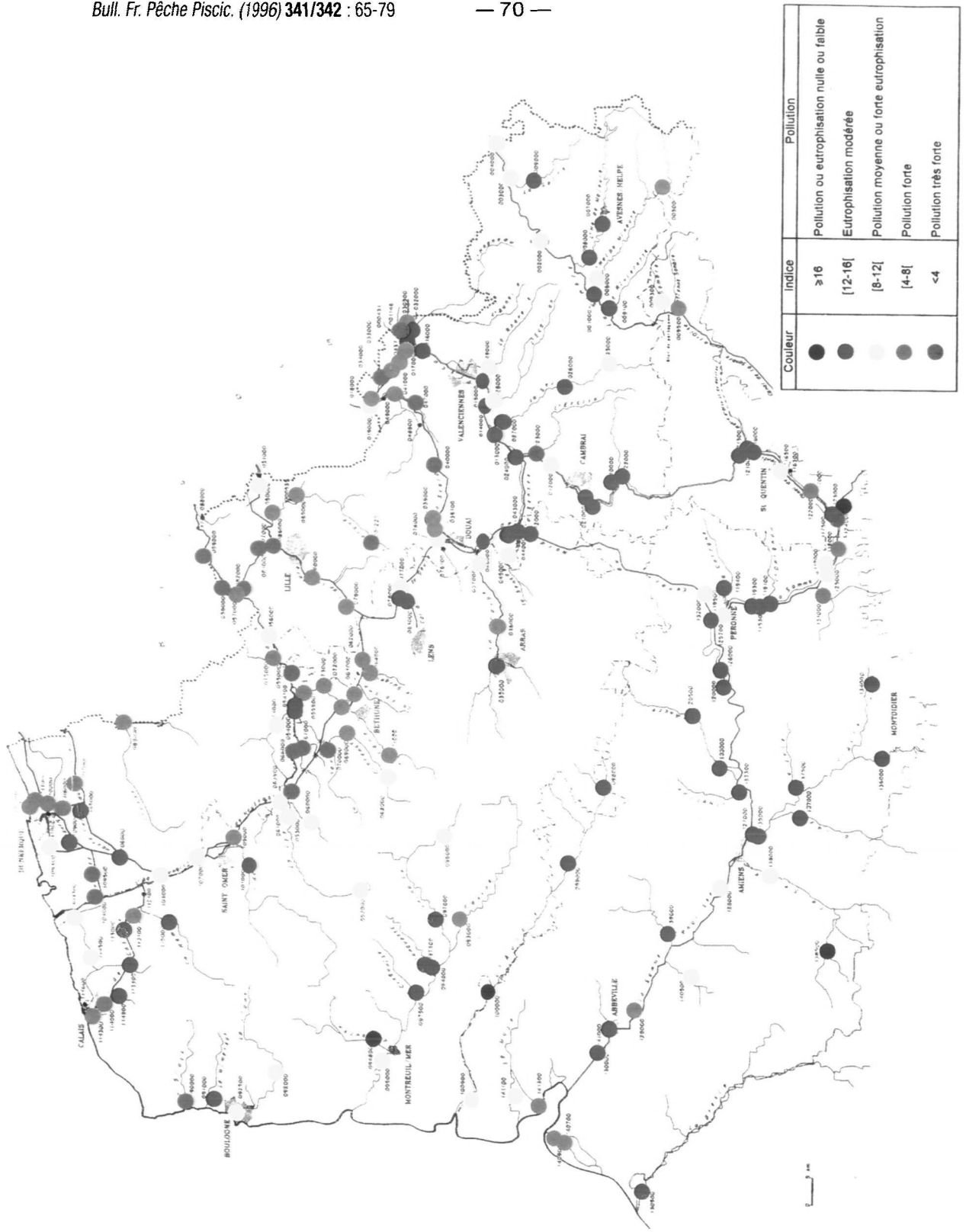
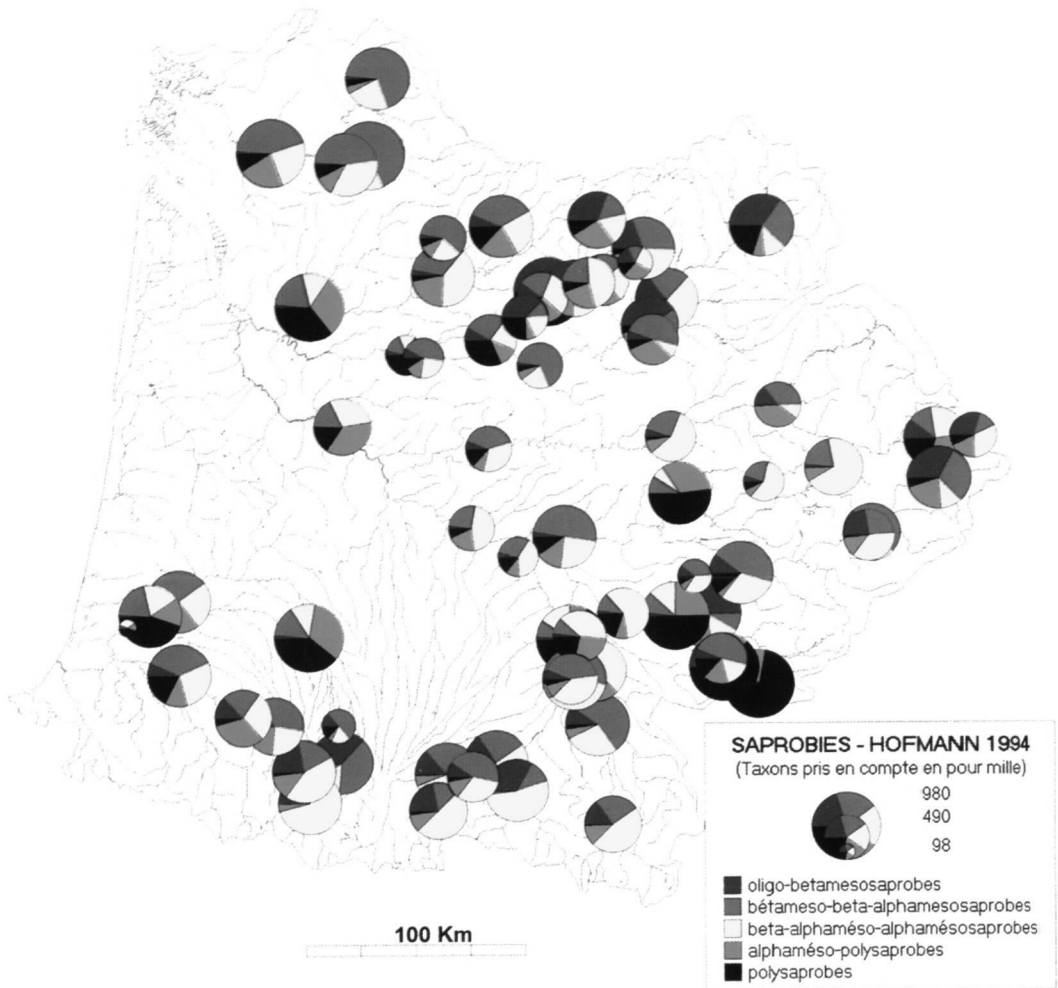


Figure 4 : Application de l'Indice de Polluosensibilité Spécifique du CEMAGREF (IPS) à l'ensemble des stations hydrologiques du bassin Artois-Picardie pour le mois de septembre 1990 (d'après AGENCE DE L'EAU Artois-Picardie, 1992).

Figure 4 : Application of CEMAGREF's Specific Pollution-sensitive Index (IPS) to the whole Artois-Picardie basin network for September 1990 (according to AGENCE DE L'EAU Artois-Picardie, 1992).



**Figure 5 : Application des spectres saprobiques au bassin Adour-Garonne (HOFMANN, 1994) (d'après COSTE et al., 1995).**

**Figure 5 : Application of the saprobic spectra to the Adour-Garonne basin (HOFMANN, 1994) (according to COSTE et al., 1995).**

En 1995, enfin, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a confié à l'Institut médico-légal de Strasbourg la réalisation de deux campagnes d'inventaires diatomiques sur les canaux de la région de Strasbourg. Dans le même temps, l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse confiait au CEMAGREF de Bordeaux une étude sur l'impact de la pollution toxique sur les peuplements diatomiques du Rhône.

Des études méthodologiques ont également été entreprises par l'Université Pierre et Marie Curie, avec le concours financier de l'Agence Seine-Normandie. Cette collaboration s'est traduite, en 1995, par un D.E.A. (VIZINET, 1995) et se poursuit actuellement dans le cadre d'une thèse d'Université.

**Mise au point d'un indice diatomique pratique applicable sur l'ensemble du territoire national**

Face à l'intérêt croissant des Agences de l'Eau et des organismes gestionnaires de la qualité des eaux pour les diatomées, il a été décidé, début 1994, de mettre au point une méthodologie pratique utilisable sur l'ensemble du réseau de mesure français. Ce projet est réalisé dans le cadre des études inter-agences, et comporte trois volets dont l'exécution a été confiée à l'Agence de l'Eau Artois-Picardie.

### **Indice Biologique Diatomées (I.B.D.)**

Cette étude a été lancée en août 1994 et fait l'objet d'un co-financement Agences de l'Eau-CEMAGREF de Bordeaux. D'une durée de 18 mois, le projet doit se traduire par la mise à disposition des utilisateurs potentiels de la méthodologie d'un guide complet, incluant notamment :

- des recommandations pour l'échantillonnage des diatomées et la préparation des lames d'observation,
- un ouvrage de détermination pratique des diatomées prises en compte dans le calcul de l'I.B.D.,
- un outil de calcul spécifique à l'I.B.D.

Une base de données a d'abord été constituée. Cette dernière contient 1332 inventaires réalisés, entre 1977 et 1994, par le CEMAGREF sur les réseaux de mesure français. A ces inventaires sont associés 14 paramètres de la qualité des eaux, dont les valeurs sont issues des bases de données des six Agences de l'Eau (température, pH, conductivité, matières en suspension, oxygène dissous, pourcentage de saturation en oxygène dissous, DBO<sub>5</sub>, DCO, NTK, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup>). Faute de données suffisantes, la chlorophylle et le phosphore total n'ont pas été pris en compte. La méthodologie s'appuie sur l'analyse de la co-structure de deux tableaux (chimie et biologie) (CHESSEL et MERCIER, 1993) et sur l'utilisation de profils écologiques en fréquence et en probabilité de présence, consolidée par la technique d'échantillonnage bootstrap (EFRON, 1982). Au terme de la première phase d'étude, cet Indice Biologique Diatomées repose sur l'identification de 209 espèces, dont 57 appariées (espèces très proches, regroupées au sein d'unités taxonomiques).

Des tests ont été réalisés sur l'ensemble des six grands bassins hydrographiques, à raison de quinze stations de prélèvement par bassin. Ces tests doivent permettre de vérifier la pertinence de cet indice sur de nouveaux relevés.

Des informations plus détaillées sur la mise au point et le fonctionnement de cet indice sont données par LENOIR et COSTE (1996).

### **Stage de formation Indice Biologique Diatomées**

Un stage d'initiation à l'échantillonnage et à la systématique des diatomées ainsi qu'au calcul de l'Indice Biologique Diatomées a été organisé en novembre 1995 à l'intention des DIREN (Directions Régionales de l'Environnement), en vue d'une application sur le Réseau National de Bassin. Ce stage s'est tenu à l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et a été réalisé en collaboration avec le CEMAGREF et le Conseil Supérieur de la Pêche (CSP). La présence de 29 hydrobiologistes des Services d'Etude des Milieux Aquatiques (SEMA) témoigne de l'intérêt des DIREN pour les diatomées. Cet intérêt devrait se traduire par une mise en oeuvre progressive de la méthode. Celle-ci démarrera dès 1996, avec quelques premières applications à titre expérimental.

### **Création d'un CD ROM Indice Biologique Diatomées**

Ce projet a pour but de créer un outil convivial permettant la détermination des 209 taxons entrant dans le calcul de l'Indice Biologique Diatomées, et le calcul de l'indice. L'accent sera notamment mis sur la partie « systématique », avec la mise au point d'un système de détermination multicritères original. Ce système sera bâti à partir de planches-photos originales « scannérisées » et d'images numérisées. Cet outil sera proposé sous la forme d'un CD ROM Mac-PC bilingue (français-anglais). Ce logiciel sera largement diffusé auprès des utilisateurs potentiels de la méthode, y compris auprès des enseignants des universités et de l'enseignement secondaire. La conception de ce CD ROM devrait démarrer début 1996, pour s'achever début 1997.

**AVENIR DES DIATOMÉES ET DES INDICES DIATOMIQUES DANS LE FUTUR SYSTÈME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU**

**Développement d'un nouveau Système d'Évaluation de la Qualité des Milieux Aquatiques (SEQ Cours d'Eau)**

Ce nouveau système est actuellement en cours d'élaboration dans le cadre des études inter-agences. Il fait suite à l'étude inter-agences « Bases de définition d'un système d'évaluation de la qualité des cours d'eau » (AGENCES DE L'EAU, 1991), qui comportait notamment une enquête auprès des principaux utilisateurs des grilles de qualité des eaux. Ce système est composé de trois volets : un volet « eau » (SEQ Eau) actuellement achevé et en cours de rodage ; un volet « milieu physique » (SEQ Milieu Physique) en cours de réalisation et un volet « biologique » (SEQ Bio), dont l'élaboration devrait débiter au cours du premier semestre 1996. La confrontation des trois SEQ permettra d'estimer le niveau de qualité des cours d'eau (SEQ Cours d'Eau).

Ce nouveau système est destiné à se substituer aux systèmes actuels. Ceux-ci sont fondés sur la grille de qualité des eaux de 1971, qui combine qualités physico-chimique et hydrobiologique. D'une part, ces systèmes ont évolué de façon différenciée au sein de chaque bassin ; d'autre part, ils ne prennent pas en compte les nouvelles connaissances relatives notamment à l'eutrophisation et les micropolluants, et demandent à être complétés.

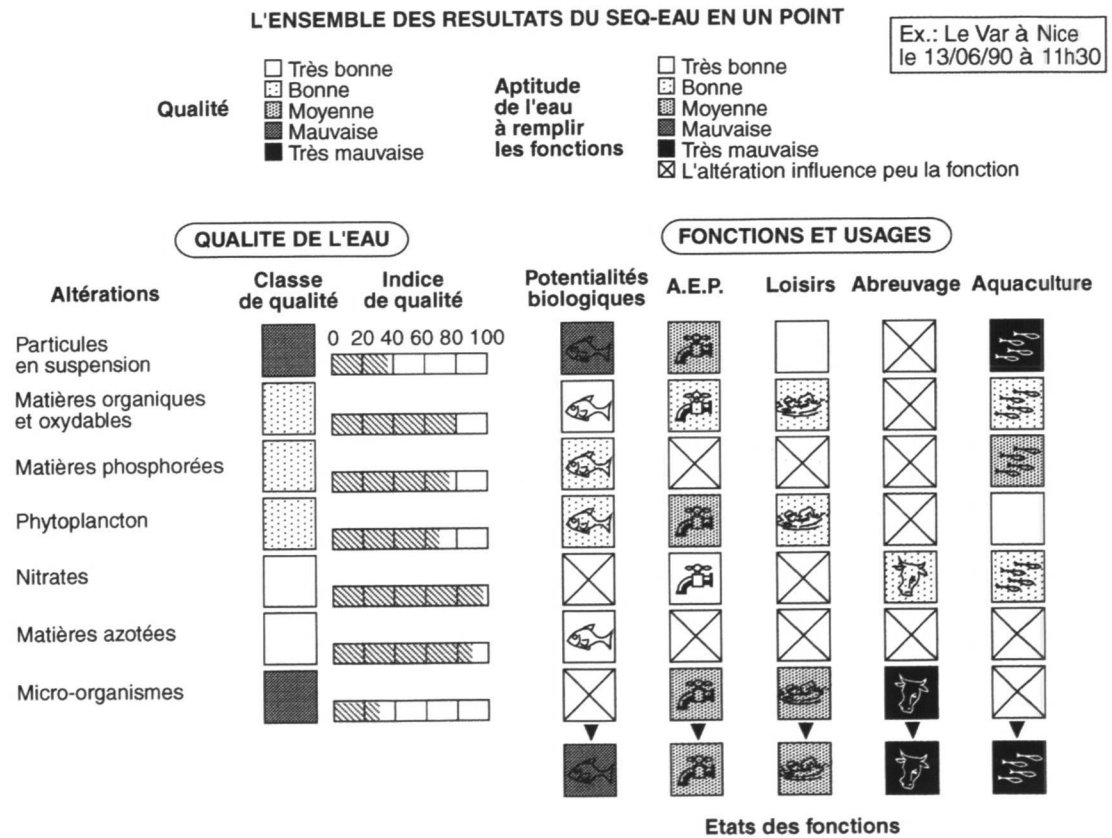


Figure 6 : Principe général du Système d'Évaluation de la Qualité des eaux (SEQ Eau). Application à la rivière Var, à Nice. A.E.P. = Alimentation en Eau Potable (d'après AGENCES DE L'EAU, projet).

Figure 6 : General principle of the Water Quality Assessment System (SEQ Water). Application to the River Var, in Nice. A.E.P. meaning « drinking water supply » (according to AGENCES DE L'EAU, project).

Le SEQ Eau (figure 6) permet, dès aujourd'hui, une évaluation complète de la qualité de l'eau fondée sur la notion d'altération (regroupement de paramètres de même nature ou de même effet). Le SEQ Eau définit un état pour chacune des 5 fonctions présentées et indique l'état dans lequel se trouvent les fonctions pour chacune des 8 altérations actuellement prises en compte. Le SEQ Eau offre aussi la possibilité de comparer le degré de satisfaction des usages avec ce qui est souhaité, d'identifier la ou les altérations qui posent prioritairement problème, et de définir un objectif de restauration de la qualité des eaux pour chaque altération concernée.

### Le SEQ Biologique (SEQ Bio)

Le SEQ Bio est actuellement en cours de lancement. Deux volets sont envisagés :

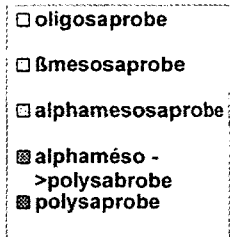
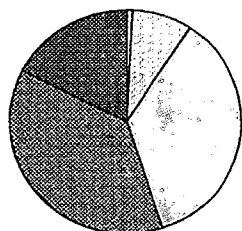
- volet 1 : élaboration d'un outil opérationnel à court terme, s'appuyant sur les variables biologiques disponibles et éprouvées (macro-invertébrés et diatomées). Cet outil devra être cohérent avec les autres SEQ, notamment avec le SEQ Eau ;

- volet 2 : proposition d'une architecture pour un système d'évaluation de la qualité des biocénoses, qui serait opérationnel à moyen terme, cohérent avec les autres SEQ et qui intégrerait l'outil précédent. Ce système devra, en outre, intégrer les outils biologiques actuellement en cours de réalisation (indice Poisson), ainsi que les développements méthodologiques qui seront proposés dans le cadre de cette étude.

### Place des diatomées dans le SEQ Bio

L'I.B.D. rejoindra prochainement l'I.B.G.N. au sein du SEQ Bio. Cet indice repose sur l'examen de variables biologiques dépendant essentiellement de la qualité de l'eau (matières organiques et salinité, dans le cas présent). Il est toutefois possible d'utiliser toutes les potentialités des diatomées, et de mettre au point des techniques permettant la mise en évidence et la quantification d'altérations de la qualité des eaux. De nombreuses possibilités existent depuis les classifications autécologiques réalisées après compilation des données de la littérature (FABRI et LECLERCQ, 1984 ; DENYS, 1991 ; HOFMANN, 1994 ; VAN DAM *et al.*, 1994) et mises en oeuvre dans les bassins Adour-Garonne (COSTE *et al.*, 1995) et Artois-Picardie (figure 7), jusqu'aux techniques de reconstruction de pH ou des conditions trophiques proposées par les paléolimnologistes (CHARLES et SMOL, 1994 ; HALL et SMOL, 1992).

#### Saprobies selon Van Dam *et al.* (1994)



#### Trophie selon Van Dam *et al.* (1994)

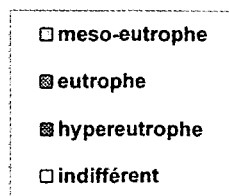
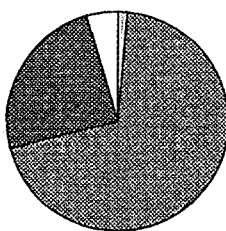


Figure 7 : Application de deux spectres écologiques relatifs au niveau trophique et au niveau saprobique sur la rivière Clarence (bassin Artois-Picardie).

Figure 7 : Application of two ecological spectra concerning the trophic level and the saprobic level to the River Clarence (Artois-Picardie basin).

Le principal obstacle à une pleine utilisation du potentiel bioindicateur des diatomées est d'ordre systématique, puisque ces techniques requièrent des déterminations à l'espèce. Il est cependant permis d'espérer que la mise en oeuvre de l'indice national, qui requiert une détermination spécifique limitée à quelque 200 unités spécifiques, constituera une première

étape vers une plus large utilisation de ces bioindicateurs. La prise en compte de plusieurs types d'altérations autoriserait une plus grande homogénéité entre les SEQ Eau et Bio, et donc une amélioration du système d'évaluation de la qualité des cours d'eau.

Un second obstacle consiste en l'absence, à ce jour, d'un véritable protocole d'échantillonnage des différents milieux aquatiques (CAZAUBON, 1991). Il est dès à présent possible d'émettre des recommandations quant à la nature du substrat à échantillonner, à la surface à prélever, et au nombre d'individus à compter. Certains types de cours d'eau, comme les rivières méditerranéennes (CAZAUBON, 1988 ; CAZAUBON et LOUDIKI, 1986), posent cependant de nombreux problèmes, et de nombreuses questions demeurent quant à l'influence du type de substrat sur la composition des peuplements diatomiques (KOSYATOVA *et al.*, 1991 ; VIZINET, 1995).

### **Les diatomées dans le suivi de la qualité des eaux en Europe**

Les diatomées, et le périphyton en général, sont assez largement utilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux en Europe (WHITTON *et al.*, 1991). Le périphyton apparaît particulièrement bien adapté au suivi des cours d'eau des pays scandinaves comme la Finlande (ELORANTA, 1991), la Norvège (LINDSTROM, 1991) et la Suède (JARLMAN, 1991), ainsi que pour les cours d'eau à régime hydraulique élevé. Plusieurs pays tels que l'Autriche (PIPP, 1991 ; PIPP et ROTT, 1994), la République tchèque et la Slovaquie ont une longue tradition dans l'étude du périphyton (MARVAN, 1991). Dans la plupart des cas, le périphyton est utilisé dans le cadre du système des saprobies (LHOTSKY et MARVAN, 1991), avec bien souvent un recours aux substrats artificiels (ROTT, 1991 ; HURLIMANN *et al.*, 1991). Les diatomées du périphyton sont également utilisées en Allemagne pour l'estimation de la qualité des eaux, même si aucun véritable réseau de mesure n'existe. La méthode proposée par LANGE-BERTALOT (1979) y a été largement appliquée, y compris en Autriche (ROTT et PFISTER, 1988, 1990 *in* SCHIEFELE et SCHREINER, 1991) et en Suisse (STRAUB et GLAUSER, 1995). Cette technique a été reprise par STEINBERG et SCHIEFELE (1988), et SCHIEFELE et SCHREINER (1991), pour prendre en compte les aspects trophiques. La récente compilation des caractéristiques trophiques et saprobiques des diatomées réalisée par HOFMANN (1994) sépare également les effets de la matière organique et de l'eutrophisation.

A part les études de mise au point des indices diatomiques menées en Belgique sur la Sambre et la Meuse (DESCY, 1979) et les Ardennes (LECLERCQ et MAQUET, 1987), la plupart des études relatives aux indices diatomiques ont été menées en France. L'existence d'indices éprouvés à l'échelle d'un grand territoire comme la France, et surtout la mise au point de logiciels de calcul des indices diatomiques comme Omnidia, ont permis une plus large application en Europe. Ainsi, GILL (1989, *in* FERREIRA, 1991) a utilisé divers indices diatomiques sur trois rivières du Portugal et a conclu à la supériorité de l'indice de DESCY (1979). MUNOZ et PRATT (1994) ont appliqué l'indice CEE sur la rivière Llobregat et ont montré, une fois de plus, l'intérêt des diatomées pour la mise en évidence de changements rapides de la qualité des eaux. Plus récemment, les indices diatomiques, et notamment l'IPS, ont été appliqués avec succès en Galice (Espagne) par ECTOR (1993), en Finlande par ELORANTA et KWANDRANS (1996), et en Pologne par KAWECKA *et al.* (1996). Une étude des performances des indices diatomiques sur des cours d'eau anglais et écossais réalisée par KELLY *et al.* (1995) a montré, d'une part, que l'IPS et surtout l'IDG étaient des indices particulièrement bien adaptés aux mesures en réseau et, d'autre part, que l'approche de ROUND (1993), basée sur une zonation en 5 classes de rivières et une vingtaine d'espèces indicatrices (ROUND, 1991), n'apportait aucune amélioration par rapport aux indices diatomiques.

### **Perspectives**

Les diatomées constituent un des meilleurs groupes bioindicateurs de la qualité des eaux de surface continentales. Historiquement, les premiers indices ont été développés dans le but de fournir aux gestionnaires de la qualité des eaux une méthode biologique applicable aux grands cours d'eau et aux milieux artificialisés. Diatomées et macro-invertébrés n'ont cependant pas la même valeur indicatrice. Les diatomées ont une taille microscopique, un cycle de reproduction

beaucoup plus rapide que celui des invertébrés, et une relative indifférence à l'influence du substrat. Aussi, les indices diatomiques et les indices invertébrés constituent-ils des méthodes complémentaires. Les multiples applications réalisées depuis les années 70, en France comme à l'étranger, de même qu'une mise à jour régulière des bases de données écologiques et taxonomiques, ont contribué à rendre de plus en plus fiables les estimations de la qualité des eaux données par l'IPS et les diatomées en général. Après avoir fait l'objet d'applications dans la plupart des grands bassins hydrographiques français, l'IPS commence désormais à être largement utilisé dans quelques pays européens.

Un premier colloque européen sur le thème « Use of Algae for Monitoring Rivers » s'est tenu, en mai 1991, en Allemagne à Düsseldorf (WHITTON *et al.*, 1991). A cette occasion, avaient été présentés les travaux réalisés en France et plus particulièrement dans le bassin Artois-Picardie. Le second Workshop, qui s'est tenu en septembre 1995 à Innsbruck (Autriche), a permis de dresser un bilan de l'avancement des projets présentés en 1991. Il semble que la France soit un des pays les plus avancés dans le domaine de mesure de la qualité des eaux par des méthodologies algales utilisables en routine. La méthodologie développée s'appuie sur des profils écologiques et pourrait s'avérer facilement transposable à d'autres pays, moyennant des tests en vue d'adapter la liste d'espèces à prendre en compte et une éventuelle redéfinition des profils écologiques.

Les travaux à venir devraient s'orienter, tout d'abord, vers une consolidation de l'I.B.D. par une série de prélèvements destinés à mieux couvrir l'ensemble des situations hydrologiques du territoire français. Plusieurs zones telles que la Bretagne, le Languedoc-Roussillon ou les Pyrénées s'avèrent, en effet, insuffisamment prospectées. Cette extension pourrait également toucher quelques pays riverains comme la Belgique, le Grand-Duché du Luxembourg, l'Allemagne, la Grande-Bretagne, l'Italie ou l'Espagne. Les inventaires réalisés en 1988, lors de la validation de l'indice CEE, devraient permettre d'évaluer les possibilités d'utilisation de l'indice pratique national dans un contexte européen. Les efforts porteront également sur la promotion de cette technique et sur le développement des techniques basées sur les caractéristiques écologiques des diatomées. Des tests des spectres écologiques portant sur la matière organique, la salinité, le niveau trophique ou le pH, seront réalisés à l'échelle des grands bassins hydrographiques.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ici les membres du groupe inter-agences Thème C « Connaissance et caractérisation du milieu aquatique », pour leurs commentaires et remarques.

## BIBLIOGRAPHIE

- AGENCES DE L'EAU, 1991. Bases de définition d'un système de la qualité des cours d'eau. t.1 : Résultats de l'enquête auprès des utilisateurs, 91 p. + annexes ; t.2 : étude bibliographique, 99 p. Etude inter-agences - A.B.C.
- 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.
- 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 Cie, Paris, 518 p.
- CAZAUBON A., 1988. Current effects on the microdistribution of epilithic diatoms in the Mediterranean River Argens (Var, Provence), *in* ROUND F., Proc. of the 9th Internat. Diatom Symp. Bristol, Biopress Ltd. Bristol and O. Koeltz Publ. Koenigstein, 93-108.
- CAZAUBON A., 1991. Problems and objectives of sampling river algae for monitoring, *in* WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 17-24.

- CAZAUBON A., LOUDIKI M., 1986. Microrépartition des algues épilithiques sur les cailloux d'un torrent corse, le Rizzanèse. *Annls. Limnol.*, 22, 3-16.
- 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 p.
- CHARLES D.F., SMOL J.P., 1994. Long-term chemical changes in lakes. Quantitative inferences from biotic remains in the sediment records. *In Environmental Chemistry of Lakes and Reservoirs*, Baker L. (ed.), Advances in Chemistry series 237, Washington DC, American Chemical Society, 3-31.
- CHELSEL D., MERCIER P., 1993. Couplage de triplets statistiques et liaisons espèces-environnement, *in* LEBRETON J.D., ASSELAIN B., Biométrie et environnement, Masson, Paris, 15-44.
- COSTE M., LEYNAUD G., 1974. Etudes sur la mise au point d'une méthodologie biologique de détermination de la qualité des eaux en milieu fluvial. Rapport C.T.G.R.E.F., Agence financière de bassin Seine-Normandie, 78 p.
- COSTE M., AYPHASSORHO H., 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 - A.E. Artois-Picardie, 227 p.
- COSTE M., LENOIR A., HUET F., 1995. Evaluation de la qualité des eaux de 71 stations du bassin Adour-Garonne à l'aide des communautés de diatomées benthiques. CEMAGREF Groupement de Bordeaux/Agence de l'Eau Adour-Garonne, 82 p.
- DENYS L., 1991. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I - Introduction, ecological code and complete list. Professional paper. Ministère des Affaires Economiques, Service Géologique de Belgique, 41 p.
- DESCY J.P., 1979. A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia*, 64, 305-323.
- DESCY J.P., 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.
- DESCY J.P., COSTE M., 1990. Utilisation des diatomées benthiques pour l'évaluation de la qualité des eaux courantes. Contrat CEE B-71-23. Rapport final, Facultés Universitaires N.D. de la Paix, Namur - CEMAGREF Bordeaux, 64 p. + annexes.
- ECTOR L., 1993. Contrôle de la qualité hydrobiologique des cours d'eau de Galice (NO de l'Espagne) au moyen des diatomées benthiques. Poster présenté lors du XIIe Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, 5-10 avril 1993, Marseille.
- EFRON B., 1982. The bootstrap, *in* The jackknife, the bootstrap and other resampling plans, CMBS-NSF Regional Conferences Series in Applied Mathematics, 27-36.
- ELORANTA P., 1991. Use of algae for monitoring rivers in Finland, *in* WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 71-75.
- ELORANTA P., KWANDRANS J., 1996. Testing the use of diatoms and macroalgae for river monitoring in Finland. *In* WHITTON B.A., ROTT E., Use of algae for monitoring rivers II, Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 129-134.
- EULIN A., GRUARIN C., LAVILLE H., LE COHU R., 1993. Evaluation de la qualité de l'eau de la Garonne par référence spéciale aux indices diatomique et chironomidien. *Annls. Limnol.*, 29, 269-279.
- FABRI R., LECLERCQ L., 1984. Etude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique) : flore et végétation des diatomées et physico-chimie des eaux. Robertville, Station scientifique des Hautes-Fagnes, 379 p., 33 pl. ht.

- FERREIRA M.T., 1991. Use of algae for monitoring rivers in Portugal, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 145-151.
- HAKANSSON S., 1993. Numerical methods for the inference of pH variations in mesotrophic and eutrophic lakes in Southern Sweden - A progress report. *Diatom Res.*, 8, 349-370.
- HALL R.I., SMOL J.P., 1992. A weighted-averaging regression and calibration model for inferring total phosphorus concentration from diatoms in British Columbia (Canada) lakes. *Freshwater Biology*, 27, 417-434.
- HOFMANN G., 1994. Aufwuchs Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca diatomologica*, 30, 241 p.
- HURLIMANN J., SCHANZ F., UEHLINGER U., 1991. Use of algae for monitoring rivers in Switzerland, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 169-175.
- JARLMAN A., 1991. Use of benthic algae for monitoring rivers in Sweden, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 165-168.
- KAWECKA B., KWANDRANS J., SZYJKOWSKI A., 1996. Use of algae for monitoring rivers in Poland, in WHITTON B.A., ROTT E., Use of algae for monitoring rivers II, Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 137-141.
- KELLY M.G., PENNY C.J., WHITTON B.A., 1995. Comparative performance of benthic diatom indices used to assess river quality. *Hydrobiologia*, 302, 179-188.
- KOSYATOVA V.A., LEVSHINA N.A., EINOR L.O., 1991. Epiphyton of macrophytes of the Ivankovo reservoir and its effect on the formation of the quality of natural water. Translated from *Vodnye Resursy*, 3, 81-88, May-June 1990.
- LANGE-BERTALOT H., 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia*, 64, 285-304.
- LECLERCQ L., MAQUET B., 1987. Deux nouveaux indices chimique et diatomique 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. *Inst. Roy. Sci. Nat. Belgique, doc. trav.* 28, 113 p.
- LECOINTE C., COSTE M., PRYGIEL J., 1993. « OMNIDIA » : a software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, 269/270, 509-513.
- LENOIR A., COSTE M., 1994. Estimation de la qualité des eaux du bassin Rhin-Meuse à l'aide des communautés de diatomées benthiques. Agence de l'Eau Rhin-Meuse/Cemagref Bordeaux, 169 p.
- LENOIR A., COSTE M., 1996. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French National Water Board Network. In WHITTON B.A., ROTT E., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 29-45.
- LHOTSKY O., MARVAN P., 1991. The use of algae as bioindicators. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24, 2122-2124.
- LINDSTROM E.A., 1991. Use of periphyton for monitoring rivers in Norway. Application of previously obtained data to evaluate impacts of acid precipitation, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 139-144.
- MARVAN P., 1991. Use of algae as indicators for rivers in Czechoslovakia, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 63-71.
- MUNOZ I., PRATT N., 1994. A comparison between different biological water quality indexes in the Llobregat basin (NE Spain). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25, 1945-1949.

- PIPP E., 1991. Use of periphyton for monitoring rivers in Austria, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 59-62.
- PIPP E., ROTT E., 1994. Classification of running-water sites in Austria based on benthic algal community structure. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25, 1610-1613.
- PRYGIEL J., 1991. Use of benthic diatoms in surveillance of the Artois-Picardie basin hydrobiological quality. In WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 89-96.
- PRYGIEL J., 1994. Comparaison de six indices diatomiques et de deux indices invertébrés pour l'estimation de la qualité des eaux de la rivière Sensée (France). *Ecologia Mediterranea*, XX, 121-133.
- PRYGIEL J., COSTE M., 1990. Diatomées benthiques et phytoplancton d'un étang d'affaissement minier : la Mare à Goriaux (Nord de la France). Impact de la salinité et de la pollution organique. 10e Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Mémoires de l'Institut Océanographique Paul Ricard, Les Embiez, France, 95-117.
- PRYGIEL J., COSTE M., 1993a. The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatom indices. *Hydrobiologia*, 269/270, 343-349.
- PRYGIEL J., COSTE M., 1993b. Utilisation des indices diatomiques pour la mesure de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie : bilan et perspectives. *Annls Limnol.*, 29, 255-267.
- PRYGIEL J., LEVEQUE L., ISERENTANT R., 1996. L'I.D.P. : un nouvel indice diatomique pratique pour l'évaluation de la qualité des eaux en réseau de surveillance. *Rev. Sci. Eau*, 1, 97-113.
- ROTT F.E., 1991. Methodological aspects and perspectives in the use of periphyton for monitoring and protecting rivers, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 9-16.
- ROUND F.E., 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. *J. Appl. Phycol.*, 3, 129-145.
- ROUND F.E., 1993. A Review and Methods for the Use of Epilithic Diatoms for Detecting and Monitoring Changes in River Water Quality 1993. Methods for the Examination of Waters and Associated Materials, London, Her Majesty's Stationary Office, 65 p.
- ROUND F.E., CRAWFORD R., MANN D., 1990. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, 747 p.
- RUMEAU A., COSTE M., 1988. Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 309, 1-69.
- SCHIEFELE S., SCHREINER C., 1991. The use of diatoms for monitoring nutrient enrichment, acidification and impact of salt in rivers in Germany and Austria, in WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., Use of algae for monitoring rivers, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 103-110.
- STEINBERG C., SCHIEFELE S., 1988. Biological indication of trophy and pollution of running waters. *Z. Wasser-Abwasser-Forsch.*, 21, 227-234.
- STRAUB F., GLAUSER M., 1995. Impact de la station d'épuration (STEP) de Neufchâtel (Suisse) et surveillance de l'épipélon littoral du lac de Neufchâtel. *Vie et Milieu*, 45, 207-214.
- VAN DAM H., MERTENS A., SINKELDAM J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28, 117-133.
- VIZINET J., 1995. Impact d'une pollution chimiquement définie sur les populations de diatomées en rivière. D.E.A. d'Océanologie Biologique, Option connaissance des producteurs primaires, Agence de l'Eau Seine-Normandie / Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- WHITTON B.A., ROTT E., FRIEDRICH G., 1991. Use of algae for monitoring rivers. Proc. Internat. Symp., Düsseldorf, Germany, 26-28 May 1991, ROTT E., Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, 193 p.