

# Substrats artificiels : dans quelle limite permettent-ils de décrire les peuplements diatomiques des cours d'eau ?

Soizic Morin, Michel Coste et François Delmas

*Les diatomées constituent un indicateur de qualité des eaux couramment utilisé et dont le protocole de collecte privilégie le prélèvement sur substrats naturels. Or, selon les cas, il peut être difficile de trouver les substrats naturels adéquats et de quantifier les différents taxons. Dans cet article, les auteurs comparent les prélèvements réalisés sur des supports naturels et artificiels. Ils nous expliquent en quoi l'utilisation de substrats artificiels peut conduire à une bonne représentativité des conditions environnementales, tout en précisant leurs limites et leur complémentarité avec les supports naturels.*

La contribution des diatomées (microalgues brunes au squelette siliceux) à la production primaire autotrophe<sup>1</sup> des cours d'eau, et leur rôle dans le fonctionnement des milieux aquatiques, font de ce maillon biologique un indicateur de qualité des eaux couramment utilisé pour l'évaluation des dégradations anthropiques sur les hydrosystèmes (encadré 1). De nombreux indices basés sur la répartition des espèces et leurs préférences écologiques permettent d'évaluer la qualité générale des cours d'eau, comme l'indice biologique diatomées (IBD), développé par Lenoir et Coste (1996) et normalisé par l'AFNOR<sup>2</sup> en 2000. Le protocole de collecte du matériel biologique destiné à la mise en œuvre de l'IBD (NF T 90-354) recommande un échantillonnage en période de basses eaux, privilégiant le prélèvement sur substrat naturel dur (galet, dalle, etc.). Or, il n'est pas toujours possible de trouver de tels substrats sur le terrain ; en outre, et en dépit de certaines tentatives (Descy, 1976), ces méthodes d'échantillonnage ne permettent généralement qu'une évaluation semi-quantitative,

i.e. l'expression des résultats en abondances relatives des différents taxons. Pour pallier ces limites, on constate une utilisation croissante de substrats artificiels, autorisant la quantification, la standardisation des méthodes et ainsi, la comparaison de sites aux caractéristiques très différentes.

## Le cadre de l'étude

Dans le cadre du projet ECOTDYN<sup>3</sup> coordonné par le groupement scientifique ECOBAG<sup>4</sup>, nous avons été amenés à collecter des échantillons de diatomées dans le bassin versant de Decazeville (Aveyron), sur différents types de substrats artificiels, de manière à contrôler la durée d'exposition et à favoriser la comparaison entre prélèvements. Chaque prélèvement de terrain sur support artificiel a été accompagné d'un échantillonnage sur substrat naturel (galets), réalisé conformément aux exigences de suivi biologique normalisé pour la détermination de l'IBD. Ces échantillonnages simultanés nous ont permis de comparer les résultats obtenus en fonction du choix du subs-

1. L'autotrophie qualifie la capacité de certains organismes vivants à produire leur propre matière organique à partir d'éléments minéraux puisés directement dans le milieu environnant.

2. Association française de normalisation.

3. Le projet de recherche ECOTDYN (Écotoxicologie et écodynamique des contaminants) repose sur une étude pluridisciplinaire des mécanismes de contamination des hydrosystèmes continentaux (cours d'eau et zones rivulaires associées) par les métaux (cadmium, zinc).

4. Le groupement ECOBAG (Environnement, écologie et économie des bassins de l'Adour et de la Garonne) regroupe depuis 1995 un ensemble d'universités et d'organismes de recherche des régions Aquitaine et Midi-Pyrénées, autour de thématiques de recherche liées aux domaines de l'eau et de l'environnement.

## Les contacts

Cemagref, UR Réseaux, épuration et qualité des eaux, 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex

## Encadré 1

## Les diatomées, indicateurs de la qualité des eaux

Les diatomées sont des algues brunes unicellulaires qui constituent la majeure partie du phytoplancton lacustre et marin. Des espèces, dites « benthiques », colonisent tous types de substrats dans des conditions et des milieux très différents, des eaux pures aux plus polluées. Il existe plus de 7 000 espèces de diatomées dans les eaux douces ou saumâtres, et leur identification repose sur une observation microscopique de la forme et de l'ornementation de leur squelette. Leurs associations et leur diversité dans un relevé reflètent les conditions environnementales ayant présidé dans le milieu pendant leur durée d'immersion, apportant des informations complémentaires plus intégratrices que les analyses chimiques instantanées.

Sur la base des distributions des espèces de diatomées, de nombreux indices ont été élaborés afin de caractériser l'« ambiance » des systèmes aquatiques (Prygiel *et al.*, 1999) : pH, salinité, richesse organique, quantité d'oxygène disponible, niveau de pollution trophique... En pratique, ces méthodes biologiques d'évaluation de la qualité des eaux sont utilisées en routine en France ainsi que dans plusieurs pays d'Europe, pour le contrôle des eaux superficielles et l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques, dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE).

trat, selon différents critères-clés : composition et richesse spécifique, valeur de la note d'IBD, traits morphologiques (au travers de la mesure de la longueur des individus).

La représentativité des techniques de comptage a été discutée précédemment (Coste et Verrel, 1978 ; Kelly, 1997), et les protocoles de prélèvement sur substrat naturel et de traitement des échantillons sont aujourd'hui normalisés (NF EN 13946 et NF EN 14407). Dans cet article, nous nous intéressons à l'évaluation de la pertinence de l'utilisation de substrats artificiels pour la détermination des conditions environnementales *via* les indices biologiques diatomées (encadré 2). Après une description des modalités d'échantillonnage et des critères étudiés, nous commentons les résultats. Enfin nous discuterons sur la manière d'appréhender la variabilité inter-substrat des résultats, afin de disposer d'éléments d'interprétation et, éventuellement, de valider ou de réfuter l'utilisation de substrats artificiels pour la mise en œuvre de l'IBD.

**5. Résultat d'une mesure qui a été dupliquée (reproduite) plusieurs fois sur un même échantillon.**

### Matériels et méthodes

Parmi les différentes données recueillies dans le cadre du programme ECOTDYN (Morin, 2006), cette étude comparative s'est appuyée sur les données acquises lors de campagnes d'été réalisées en 2003 et 2004, pour lesquelles nous disposons d'échantillons collectés sur divers types de substrats.

Nos expérimentations de terrain ont été menées sur un site-atelier correspondant au bassin versant du Riou-Mort (Aveyron), à la station « Joanis » localisée à quelques kilomètres en amont de la confluence du Riou-Mort avec la rivière Lot (figure 1). Le cours d'eau, à cet endroit, présente un substrat de sable et de galets ; en raison de niveaux de contamination métallique élevés (Morin *et al.*, 2008) liés à la présence d'une pollution industrielle historique, il a fait l'objet d'un suivi pluridisciplinaire de la part des équipes impliquées dans le programme ECOTDYN.

### Échantillonnage

Parallèlement aux campagnes d'échantillonnage sur galets naturels, différents types de substrats ont été immergés dans le lit de la rivière : des feuilles de polyéthylène préalablement dépolies au papier de verre, des carreaux de faïence et des lames de verre. L'échantillonnage a été réalisé par raclage des substrats à l'aide d'une lame de cutter. Pour chaque type de substrat, le prélèvement de diatomées a été réalisé sur plusieurs répliqués<sup>5</sup> choisis aléatoirement (cinq galets distincts pour les substrats naturels et trois supports artificiels) et mis ensuite en commun afin de mieux apprécier la variabilité des populations et de limiter l'effet d'hétérogénéités locales.

Les dates de prélèvement et les substrats sur lesquels ont été réalisées les analyses sont présentés dans le tableau 1.

## Encadré 2

## Principe de calcul des indices biologiques diatomées

Les principales méthodes indicielles françaises font appel à l'abondance des taxons, à leur sensibilité globale et à leur valeur indicatrice (ou sténoécie). L'indice de polluosensibilité spécifique (IPS ; Coste, 1982) est dérivé de la formulation de Zelinka et Marvan (1961) :

$$IPS = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \times I_j \times V_j}{\sum_{j=1}^n A_j \times I_j}$$

où  $A_j$  : abondance relative du taxon  $j$ ,

$I_j$  : indice de sensibilité du taxon  $j$  (note variant de 1 à 5),

$V_j$  : valeur indicatrice du taxon  $j$  (variant de 1 à 3).

L'indice biologique diatomées (IBD ; Lenoir *et al.*, 1996), normalisé par l'AFNOR en 2000 et révisé en 2006, prend en compte un nombre plus restreint d'espèces. Il est calculé de la façon suivante.

Pour chacune des 7 classes (i) de qualité d'eau on détermine la valeur de :

$$F(i) = \frac{\sum_{x=1}^n A_x \times P_x(i) \times V_x}{\sum_{x=1}^n A_x \times V_x}$$

où  $A_x$  : abondance relative du taxon  $x$ ,

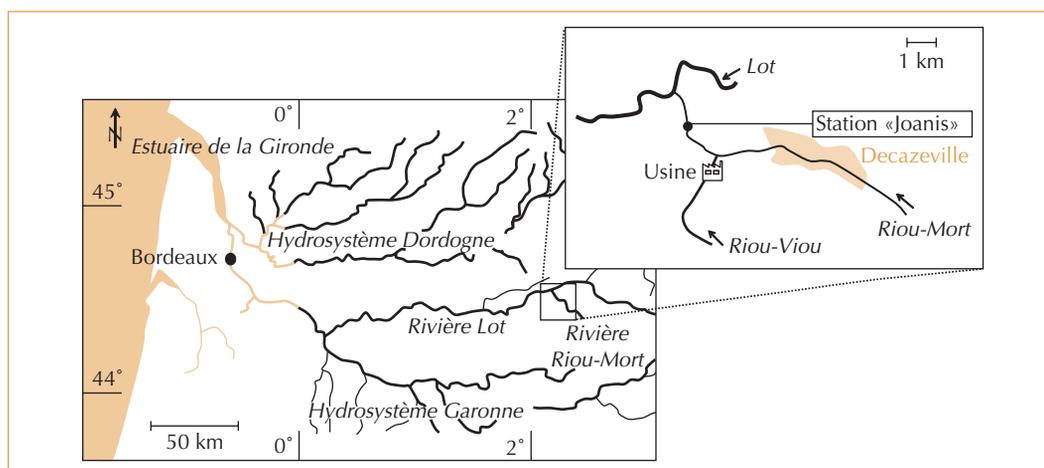
$P_x(i)$  : probabilité de présence du taxon  $x$  dans la classe de qualité  $i$ ,

$V_x$  : valeur indicatrice du taxon  $x$  (variant de 0,34 à 1,66),

$n$  : nombre de taxons utilisés (abondances supérieures à 7,5 ‰).

À partir du barycentre ( $B = 1 \times F(1) + 2 \times F(2) + 3 \times F(3) + 4 \times F(4) + 5 \times F(5) + 6 \times F(6) + 7 \times F(7)$ ), il est possible de calculer la note d'IBD :

B	[0;2]	]2;6[	[6;7]
IBD/20	1	(4,75 x B) – 8,5	20



◀ Figure 1 – Localisation du site d'étude.

► Tableau 1 – Liste des relevés et codes correspondants.

# Prélèvement	Date	Substrat	Code substrat
11 577	05/08/2003	Galets en faciès lotique	GL 2003
11 584	05/08/2003	Polyéthylène	PE 2003
11 586	05/08/2003	Carreaux de faïence	CF 2003
12 427	17/08/2004	Galets en faciès lotique	GL 2004
12 433-35	17/08/2004	Lames de verre	LV 2004

### Critères étudiés

Les échantillons prélevés ont été conservés dans une solution formolée. L'identification des diatomées collectées a été réalisée d'après l'examen microscopique de leur squelette siliceux, rendu possible par un traitement permettant de débarasser les échantillons de la matière organique (NF EN 13946). Ensuite, les échantillons ainsi nettoyés ont été montés entre lame et lamelle dans une goutte de résine réfringente. L'observation en microscopie photonique des lames préparées a permis l'identification des diatomées présentes (avec un effort de détermination de 400 individus au minimum) et ainsi le calcul de différents indices utilisés habituellement en routine (composition et richesse spécifique, IBD). À partir des espèces inventoriées, la structure des communautés des échantillons collectés sur substrats naturels et artificiels a été comparée en utilisant l'indice de similarité de Jaccard<sup>6</sup>.

Le cycle de développement des diatomées par bipartition induit une diminution progressive de la taille des générations successives de diatomées. Afin d'estimer l'âge relatif des populations développées sur les différents types de substrats, un indicateur morphologique particulier, la longueur cellulaire de certains individus, a également été utilisé pour les échantillons de 2003. Pour chacune des espèces sélectionnées (au regard de leur abondance relative dans les différents échantillons), un minimum de 45 individus par lame (*i.e.* par échantillon) a été mesuré. Les critères morphologiques choisis sont soit la longueur (pour les espèces *Eolimna minima*, *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia palea*), soit le diamètre pour la diatomée centrique *Cyclotella meneghiniana*. La moyenne et la dispersion des tailles indivi-

duelles ont ensuite fait l'objet d'une comparaison inter-échantillon (analyse de variance, en fixant le risque  $\alpha$  à 0,05).

### Résultats

#### Composition des peuplements

Les communautés de diatomées échantillonnées ici sont plurispécifiques, généralement dominées (figure 2) par *Eolimna minima* (EOMI) et *Nitzschia palea* (NPAL). Les abondances relatives de ces espèces varient selon les campagnes (2003 et 2004) et selon le type de substrat échantillonné.

En 2003, les espèces *Eolimna minima* et *Nitzschia palea* représentent plus de 80 % des individus prélevés sur galets, et les autres espèces ne sont jamais représentées à plus de 5 %. Les communautés provenant de substrats artificiels sont plus équilibrées, avec des représentations plus importantes d'espèces telles que *Cyclotella meneghiniana*, *Planothidium frequentissimum* et *Pinnularia parvulissima* notamment.

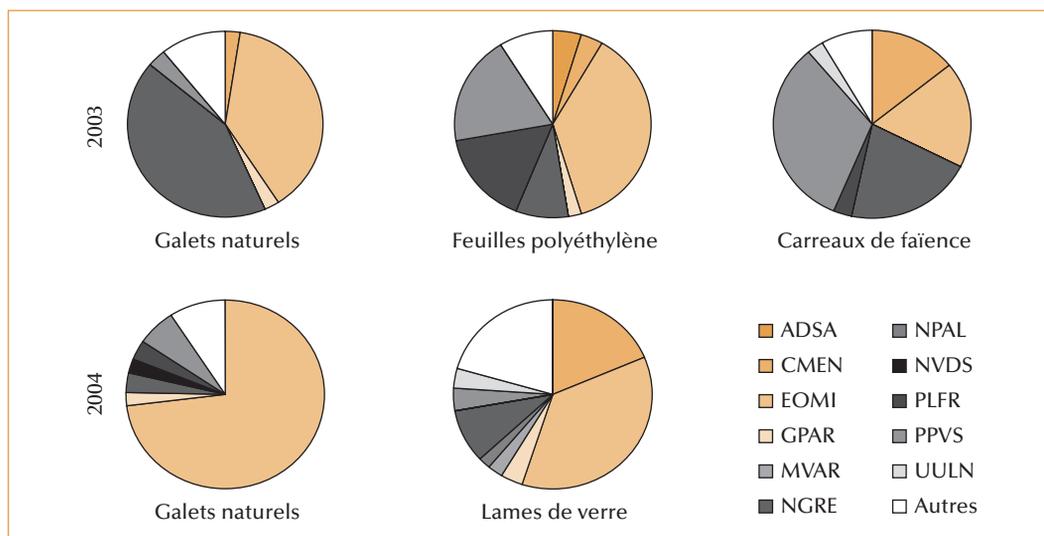
En 2004, l'espèce *Eolimna minima* représente à elle seule près des trois-quarts des individus inventoriés sur le substrat naturel, contre seulement 35 % sur lames de verre. Sur substrats artificiels, on note la présence accrue de *Cyclotella meneghiniana* (19 %) et *Nitzschia palea* (9 %).

#### Indices de qualité écologique, de richesse spécifique et de similarité (figure 4, tableau 2)

Le nombre total d'espèces identifiées (richesse spécifique) est très variable selon les substrats et

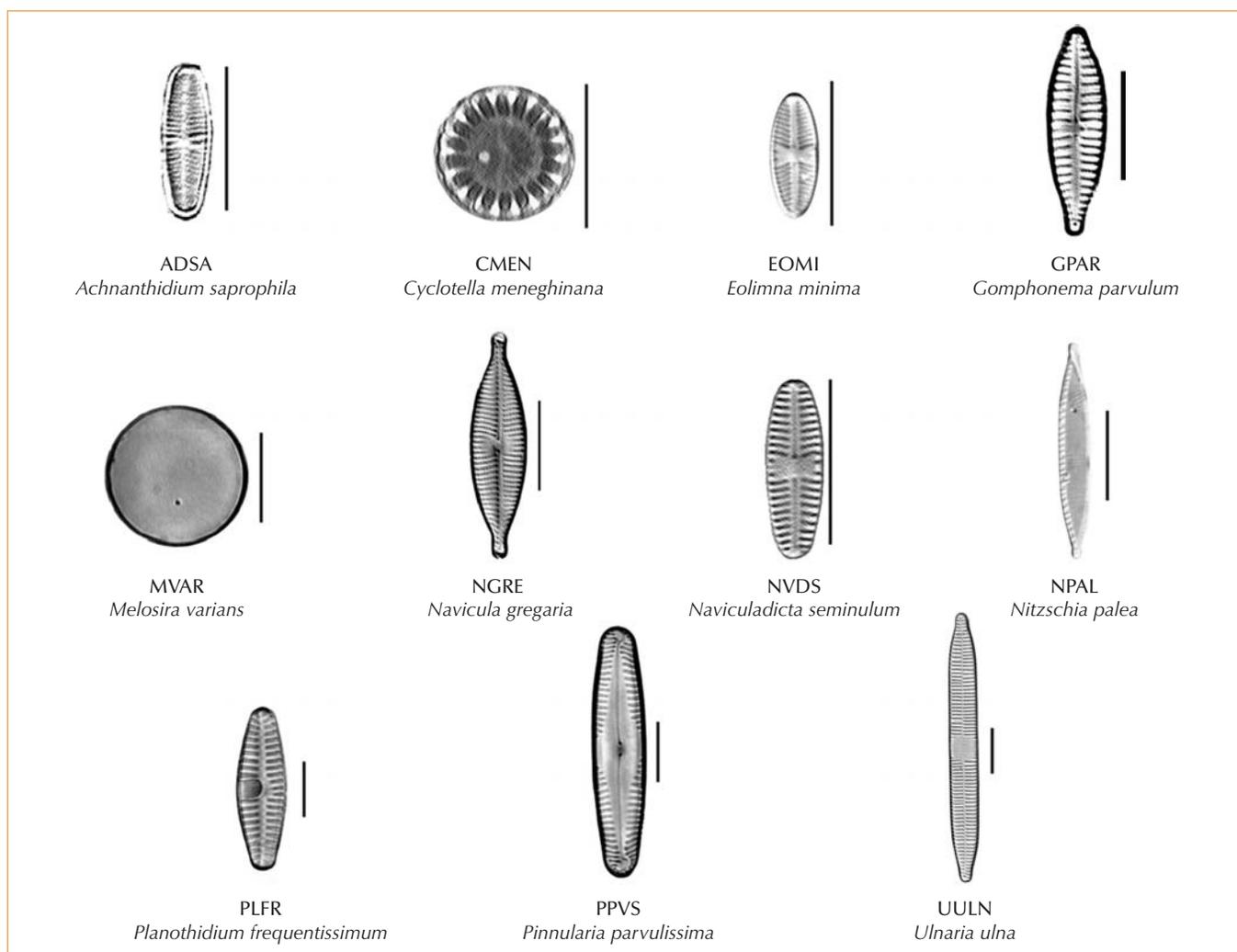
6. L'indice de Jaccard (S) caractérise le degré de similarité entre deux listes d'espèces, suivant la formule de calcul :  

$$S = \frac{\text{Nombre d'espèces communes aux deux relevés}}{\text{Nombre total d'espèces présentes}}$$
 (Ramade, 1993).

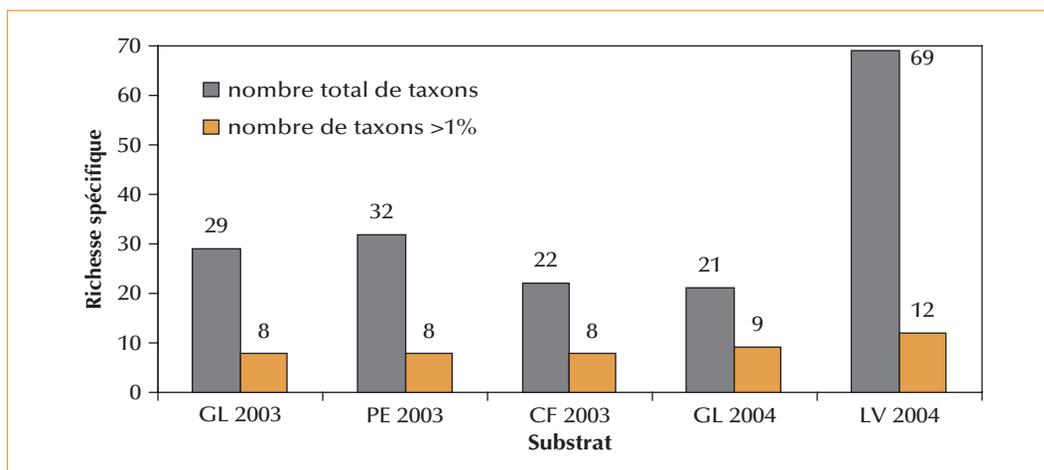


◀ Figure 2 – Structure spécifique des communautés (seules les espèces présentant des abondances relatives supérieures à 1 % sont figurées). Le code des espèces est décrit dans la figure 3.

▼ Figure 3 – Espèces dominantes et codes utilisés. La barre d'échelle représente 10 µm (microphotographies : Michel Coste).



► Figure 4 – Richesse spécifique par date et par type de substrat.



► Tableau 2 – Valeurs des indices de Jaccard (similarité entre échantillons) et des notes d'IBD par date et par type de substrat.

	GL 2003	PE 2003	CF 2003	GL 2004	LV 2004
Indice de Jaccard (/substrat naturel)		0,70	0,65		0,41
Indice biologique diatomées (IBD)	7,8	9,1	7,7	9,8	9,0

l'année : en 2003, il varie de 22 à 32 espèces pour les trois types de supports, alors qu'en 2004, 21 taxons ont été recensés sur galets, contre le triple sur lames de verre.

En revanche, ces variations sont moins marquées si l'on considère le nombre d'espèces représentant plus de 1 % d'abondances relatives. Quel que soit le type de substrat, en 2003, seulement 8 espèces sont présentes à plus de 1 % ; en 2004, on en dénombre 9 sur galets et 12 sur lames de verre.

En termes de structure spécifique, les communautés prélevées sur substrat polyéthylène sont les plus proches de celles échantillonnées sur galets, avec un indice de similarité de 0,70 (tableau 2), suivies par les communautés développées sur carreaux de faïence (0,65), puis sur lames de verre (0,41).

Les valeurs de l'indice biologique diatomées traduisent une qualité de l'eau de passable (notes comprises entre 9 et 13/20) à médiocre (entre 5 et 9/20). En 2003, les notes d'IBD sont similaires entre les substrats naturels et les carreaux de faïence, alors que l'échantillonnage sur feuilles de polyéthylène surestime la qualité du cours d'eau. En 2004, les valeurs d'indice obtenues sont comparables pour les deux types de substrats échantillonnés.

### Mesures spécifiques de longueur cellulaire (figure 5)

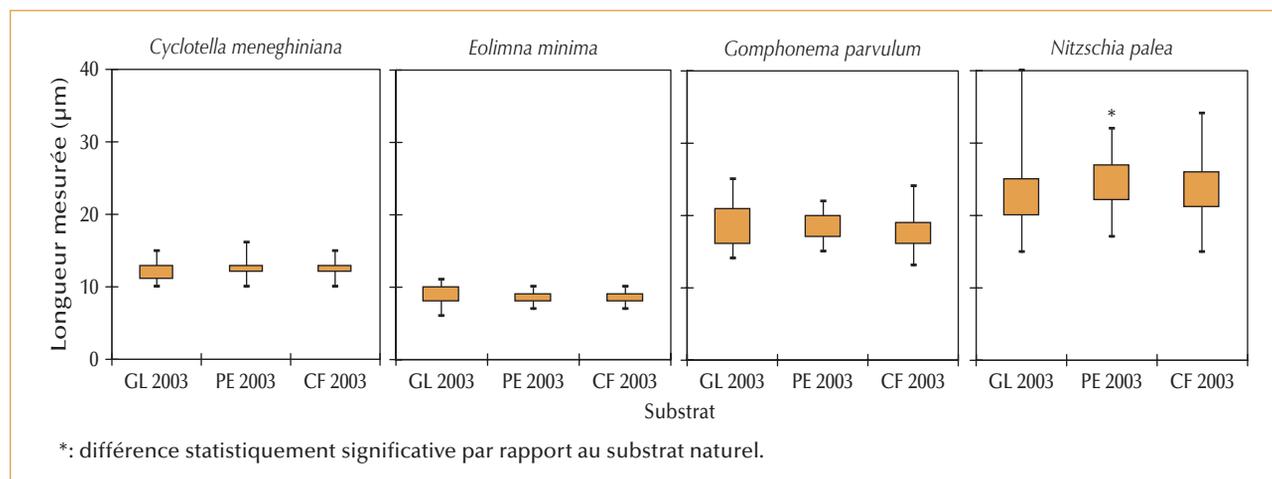
Les tailles mesurées ici sont en accord avec les gammes de variation de longueur données dans la bibliographie. Globalement, l'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre les tailles mesurées en fonction du type de support, avec un diamètre moyen de 12,4 µm pour *Cyclotella meneghiniana*, et des longueurs de 8,6, 18,3 et 23,6 µm pour les espèces *Eolimna minima*, *Gomphonema parvulum* et *Nitzschia palea*, respectivement. Toutefois, des écarts de la taille moyenne mesurée sur substrat polyéthylène (par rapport au substrat naturel) ont été observés pour *Nitzschia palea*.

En revanche, la dispersion des tailles mesurées pour les substrats naturels est toujours supérieure ou égale à celle observée sur les échantillons issus de substrats artificiels, et ceci que l'on considère l'étendue des données (c'est-à-dire l'écart entre le maximum et le minimum) ou l'espace interquartile (soit l'étendue de 50 % des données les plus probables).

### Discussion

#### La nature du substrat influe sur la structure des communautés établies

Il existe une variabilité naturelle, interannuelle, des communautés prélevées sur galets (figure 2).



En effet, la mise en place des populations de diatomées est fortement déterminée par les conditions de milieu (pH, température, courant, disponibilité nutritive, présence de toxiques, etc.), ce qui fait de ce compartiment biologique un indicateur particulièrement pertinent de la qualité globale des cours d'eau. En plus d'être conditionné par ces facteurs environnementaux, l'établissement des populations des diatomées est influencé par des caractéristiques propres au substrat : granulométrie (Potapova *et al.*, 2005), mouillabilité (*i.e.* capacité de la surface à être mouillée par un liquide), rugosité, toxicité éventuelle du substrat (Sekar *et al.*, 2004), ainsi que de la présence de matière organique préexistante (films bactériens) sur les supports (Peterson *et al.*, 1989). Les types de substrats, pourtant sélectionnés pour cette étude de manière à être les plus « neutres » possibles pour les organismes, jouent cependant un rôle important dans l'établissement des peuplements de diatomées, mis en évidence par la figure 2. La structure spécifique des communautés prélevées sur substrat polyéthylène dépoli semblent les plus proches de celles échantillonnées sur galets (tableau 2), ce qui s'explique probablement par le fait que ce matériau favorise davantage l'adhésion des biofilms que la céramique ou le verre, à la surface plus lisse.

### Les substrats artificiels rendent compte des communautés développées pendant une durée limitée

Dans cette étude, nous avons comparé les communautés de diatomées prélevées sur des substrats artificiels, introduits dans le cours d'eau

pour une durée limitée de trois semaines, avec celles recueillies sur des galets naturels dont la durée de colonisation réelle est inconnue. Les trois semaines sont suffisantes à la colonisation par une population mature (Peterson *et al.*, 1990), et sont supposées traduire les conditions environnementales de la période expérimentale. Sur les substrats naturels, par contre, cohabitent populations nouvellement immigrées et communautés déjà installées (dont une partie des individus sont morts). Les méthodes d'échantillonnage et de préparation des échantillons standardisées ne permettent pas de distinguer ces différentes populations, et expliquent en partie la variabilité de composition spécifique entre substrats naturels et artificiels. L'étude des caractéristiques morphologiques des diatomées peut également confirmer cette idée : on note en effet une dispersion plus importante des tailles des cellules échantillonnées sur substrats naturels. Or, dans le cycle de développement des diatomées, la reproduction se fait principalement par voie végétative, les divisions binaires successives aboutissant à une réduction de la taille des cellules, compensée par la reproduction sexuée. La plus grande variabilité des tailles mesurées sur substrats naturels suggère que des générations plus nombreuses ont été échantillonnées sur ce type de support.

### L'utilisation de substrats artificiels est envisageable avec précautions

Au regard des résultats de cette étude, il apparaît que les substrats artificiels, s'ils présentent de nombreux avantages pratiques, ne miment cependant pas parfaitement les substrats naturels. Certains des indicateurs utilisés (composition et

▲ Figure 5 – Diagrammes de répartition des longueurs cellulaires mesurées (µm) des espèces de diatomées sélectionnées, en fonction du type de substrat. Les barres d'erreur déterminent l'étendue des tailles mesurées ; la longueur du rectangle représente l'espace interquartile.

richesse spécifiques) donnent en effet des résultats très différents selon que l'on échantillonne sur l'un ou l'autre des substrats. Il faut donc au minimum préconiser une identification précise du type de substrat (naturel ou artificiel, matériau...) de manière à interpréter correctement les données recueillies et à en définir les conditions de comparabilité avec des relevés acquis dans d'autres sites, ou lors d'autres études. En revanche, l'IBD semble tamponner ces écarts et délivre des résultats relativement similaires pour la plupart des substrats testés, excepté pour les feuilles de polyéthylène malgré une composition spécifique proche des galets. Dans ce cas précis, les différences d'abondances relatives expliquent la différence entre notes d'IBD, l'augmentation du résultat obtenu sur feuilles de polyéthylène étant directement lié à une réduction de la proportion de *Navicula gregaria* (dont la plus forte probabilité de présence est observée en classe de qualité d'eau médiocre).

D'autres descripteurs fournissent des résultats comparables quel que soit le support, et notamment la répartition des tailles. Cet indicateur, particulièrement pertinent pour la mise en évidence de pollutions toxiques (on observe une réduction marquée de la taille en conditions contaminées : Cattaneo *et al.*, 2004 ; Morin *et al.*, 2006), donne ici des résultats stables quel que soit le support utilisé, ce qui autoriserait le prélèvement sur tous types de substrats. Cependant, le choix de substrats artificiels doit s'accompagner d'une réflexion sur le type de matériau utilisé. Certaines glaçures utilisées sur les faïences contiennent, par exemple, du plomb ou du cadmium hautement toxiques, ce qui est susceptible de conditionner fortement le type de communautés de diatomées aptes à s'y établir. Les feuilles de polyéthylène, relativement souples, présentent des caractéris-

tiques de flexibilité très éloignées des galets de cours d'eau. Bien que fournissant des résultats de richesse spécifique bien supérieurs aux substrats naturels, le support « lame de verre » présente cependant les avantages d'être facilement standardisable, de favoriser la comparaison intersites (support plus neutre, pratique à réaliser et à utiliser dans tous types de milieux aquatiques) et d'avoir été utilisé pour un certain nombre d'études antérieures (Gold, 2002 ; Morin, 2006).

Dans de nombreux cas, les substrats artificiels peuvent se révéler nécessaires, notamment pour l'évaluation quantitative de cinétiques de colonisation (étude comparative sur le degré d'eutrophisation de stations, étude de l'effet de pollutions toxiques...). De plus, ces supports, immergés dans le milieu pour une durée connue, permettent d'échantillonner les communautés établies pour ce pas de temps précis, et d'en déduire des conditions de milieu correspondant à une assise temporelle déterminée. Les tendances concordantes observées ici entre les résultats d'IBD obtenus pour différents substrats confirment la robustesse de l'indice et valident leur utilisation éventuelle dans le cadre de l'application de la norme AFNOR. En tout état de cause, leur emploi ne doit pas dispenser d'un prélèvement sur substrats naturels durs (peu coûteux en temps et en énergie), dès lors qu'ils sont accessibles. En effet, de nombreuses causes peuvent perturber l'établissement de populations de diatomées sur substrats artificiels (exondaison des supports, entraînement par le courant, vandalisme). La récupération simultanée d'échantillons provenant de supports naturels sécurise l'acquisition de données et permet d'obtenir également une information riche sur le milieu, favorisant la comparabilité entre sites en bioindication de routine. □

### Résumé

Les diatomées, microalgues unicellulaires, colonisent une grande variété de substrats allant des pierres et galets à des substrats vaseux et sableux, ou des plantes. L'échantillonnage en routine de ces communautés se faisant sur substrats durs, cette étude vise à comparer les communautés prélevées sur différents types de supports (naturels et artificiels), susceptibles de conditionner leur établissement. Bien que la structure spécifique des communautés présente une variabilité importante, en relation notamment avec les caractéristiques physiques du support et sa durée d'immersion, l'utilisation de substrats artificiels « neutres » assure une bonne représentativité des conditions environnementales estimées *via* les indices biologiques. Nous préconisons cependant d'effectuer simultanément des prélèvements sur substrats naturels, de manière à évaluer le plus correctement possible l'état des communautés diatomiques des cours d'eau.

### Abstract

Diatoms are unicellular algae capable of settling on various substrates, from rocks and pebbles to sand/mud bottoms or plants. Routine samplings of diatom communities on hard surfaces are recommended and we investigated in this study whether diatom communities settlement is affected by differences between sampling substrates (natural vs. artificial). Although differences between diatom assemblages were observed, depending on intrinsic characteristics of the substrates and on their immersion duration, values for the diatom-based index were comparable for most of the substrates. However, we recommend collecting at the same time samples from naturally available hard surfaces and from artificial substrates, in order to get the most complete environmental information.

### Bibliographie

- CATTANEO, A., COUILLARD, Y., WUNSAM, S., COURCELLES, M., 2004, Diatom taxonomic and morphological changes as indicators of metal pollution and recovery in Lac Dufault (Québec, Canada), *Journal of Paleolimnology*, vol. 32, p. 163-175.
- CEMAGREF, 1982, *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*, Rapport Q.E. Lyon A.F., Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 218 p.
- COSTE, M., VERREL, J.-L., 1978, Incidences du réchauffement des eaux de Seine sur la composition de la microflore diatomique benthique, *Cahiers du Laboratoire d'Hydrobiologie de Montereau*, vol. 6, p. 27-44.
- DESCY, J.-P., 1976, Un appareillage pratique pour l'échantillonnage quantitatif du périphyton épilithique, *Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique*, vol. 109, p. 43-47.
- KELLY, M., 1997, Sources of counting error in estimations of the trophic diatom index, *Diatom Research*, vol. 12, n° 2, p. 255-262.
- LENOIR, A., COSTE, M., 1996, Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French national water Board network, in : *Use of Algae for monitoring rivers II*, eds WHITTON, B.-A., ROTT, E., Studia Student, G.m.b.H., Innsbruck Austria, 17-19 Sept. 95, p. 29-43.
- MORIN, S., 2006, *Bioindication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques. Approches in situ et expérimentales*, Doctorat en écotoxicologie n° 3245, PhD thesis, Université Bordeaux I, École Doctorale Sciences du vivant, Géosciences et Sciences de l'Environnement, 301 p.

MORIN, S., COSTE, M., 2006, Metal-induced shifts in the morphology of diatoms from the Riou Mort and Riou Viou streams (South West France), in : *Use of algae for monitoring rivers VI*, eds ÁCS É., KISS, K.-T. et al., Hungarian Algological Society, Göd, Hungary, Balatonfüred, p. 91-106.

MORIN, S., DUONG, T.-T., DABRIN, A., COYNEL, A., HERLORY, O., BAUDRIMONT, M., DELMAS, F., DURRIEU, G., SCHÄFER, J., WINTERTON, P., BLANC, G., BOUDOU, A., COSTE, M., 2008, Long term survey of heavy metal pollution, biofilm contamination and diatom community structure in the Riou-Mort watershed, South West France, *Environmental Pollution*, vol. 151, n° 3, p. 532-542.

PETERSON, C.-G., STEVENSON, R.-J., 1989, Substratum conditioning and diatom colonization in different current regimes, *Journal of Phycology*, vol. 25, n° 4, p. 790-793.

PETERSON, C.-G., STEVENSON, R.-J., 1990, Post-spate development of epilithic algal communities in different current environments, *Canadian Journal of Botany*, vol. 68, p. 2092-2105.

POTAPOVA, M., CHARLES, D.-F., 2005, Choice of substrate in algae-based water-quality assessment, *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 24, n° 2, p. 415-427.

PRYGIEL, J., COSTE, M., BUKOWSKA, J., 1999, Review of the major diatom-based techniques for the quality assessment of rivers - State of the art in Europe, in : COSTE, 1978 #1164, KELLY, 1997 #1165, (eds PRYGIEL, J., WHITTON, B.-A. et al.), Agence de l'Eau Artois Picardie, Douai, p. 224-238.

RAMADE, F., 1993, *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*, Ediscience international, Paris, 822 p.

SEKAR, R., VENUGOPALAN, V.-P., SATPATHY, K.-K., NAIR, K.-V.-K., RAO, V.-N.-R., 2004, Laboratory studies on adhesion of microalgae to hard substrates, *Hydrobiologia*, vol. 512, n° 1, p. 109-116.

ZELINKA, M., MARVAN, P., 1961, Zur prazisierung der biologischen klassifikation des Reinheit fliessender gewasser, *Archiv für Hydrobiologie*, vol. 57, p. 389-407.