

Rémuce
Réseau des muséums
de la région Centre

SYMBIOSES LYCÉENNES

Quand les lycées et la recherche en Région Centre
se rencontrent sur les Sciences de la Vie et de la Terre !

CAHIER N°3

SOMMAIRE

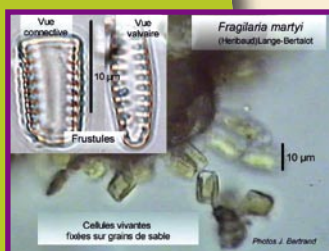
- Les diatomées
- Introduction
- Structure et biologie
- La place des diatomées
- Utilité et utilisations des diatomées
- Des alliées pour la pérennité de la vie
- Références documentaires

Mots clés :

algue, cellule, diatomée, microscope, qualité des eaux

Les diatomées

Les diatomées sont des **algues brunes unicellulaires** libres ou groupées en filaments. Elles sont très répandues dans toutes les eaux douces, marines ou saumâtres. Elles peuvent également vivre sur la terre humide, sur des végétaux (épiphytiques), sur les fonds boueux (épipéliques), sur les cailloux et les roches (épilithiques), dans le sable des rivières (épipsamiques). Figure *Fragilaria martyi*, en suspension dans les eaux (planctoniques). Elles ont colonisé toute la Terre depuis les pôles (sous la banquise) jusque dans les forêts tropicales où elles se développent sur les feuilles des arbres, en passant par les déserts (sous les pierres).



Lorsque nous admirons un fleuve ou une rivière, notre réaction est souvent dictée par la couleur de l'eau. Une couleur brune, vert foncée, trouble et le cours d'eau est volontiers taxé de pollué. C'est parfois vrai, mais pas toujours et il est difficile de s'y reconnaître.

Ainsi, au printemps, le long des rives de petits cours d'eau lents, se développent en grande quantité de fins filaments cotonneux bruns dorés, extrêmement fragiles : ce sont des diatomées, des algues brunes microscopiques, unicellulaires, qui profitent de l'augmentation de la luminosité et des nouvelles conditions physico-chimiques de l'eau pour se développer, et cela même dans des cours d'eau sains dont l'eau est transparente.

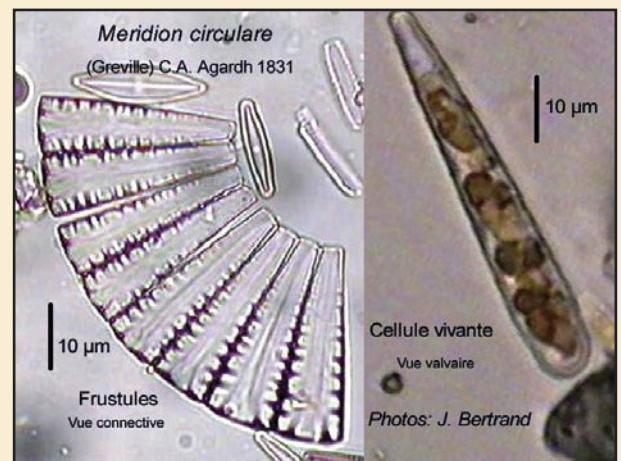
Par contre, dans un fleuve tel que la Loire en été, au moment des plus basses eaux, le fleuve prend une couleur brun-vert donnée par la présence de milliards de cellules d'algues vertes microscopiques.

Parmi elles, nous trouvons des desmidiées et des diatomées.

Et dans ce cas, c'est en effet la pollution du fleuve qui est en cause, le plus souvent par excès de matières organiques, de phosphates ou de nitrates.

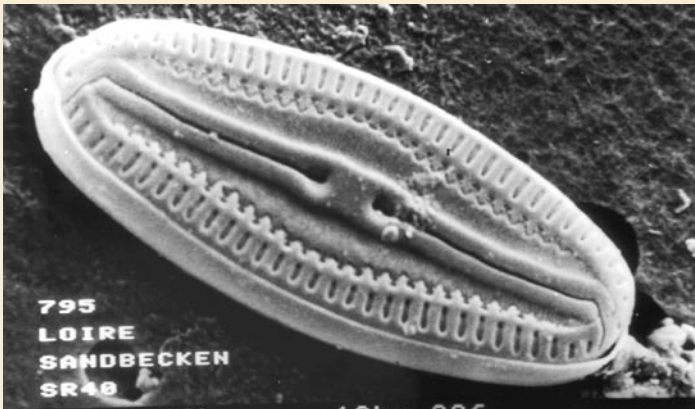
Les Diatomées, joyaux du monde microscopique

Jean BERTRAND (*)



photos diatomées vivantes : J. Bertrand

Structure et biologie



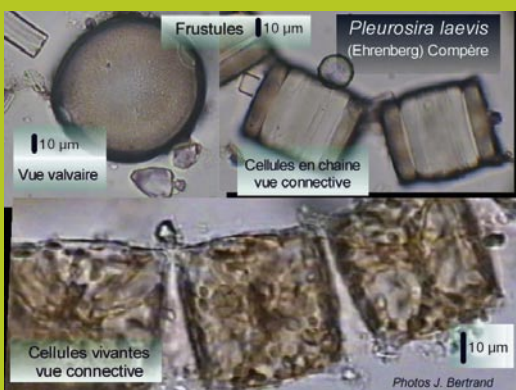
Fallacia insociabilis. Photo MEB de W. Guttinger. Coll. J. Bertrand

Leurs dimensions varient de quelques microns (μm) de long jusqu'à plus d'un millimètre (1000 μm) pour les plus grandes. Cependant leur observation est toujours difficile car leur épaisseur n'excède jamais les 25 μm pour les plus massives. Ce sont essentiellement des **êtres microscopiques**. Leur observation est toutefois possible à l'aide de microscopes optiques grossissant de 100 à 1000 fois, de microscopes électroniques à balayage (MEB) et de microscopes électroniques à transmission (MET) mais seulement après une préparation spéciale.

Des formes variées

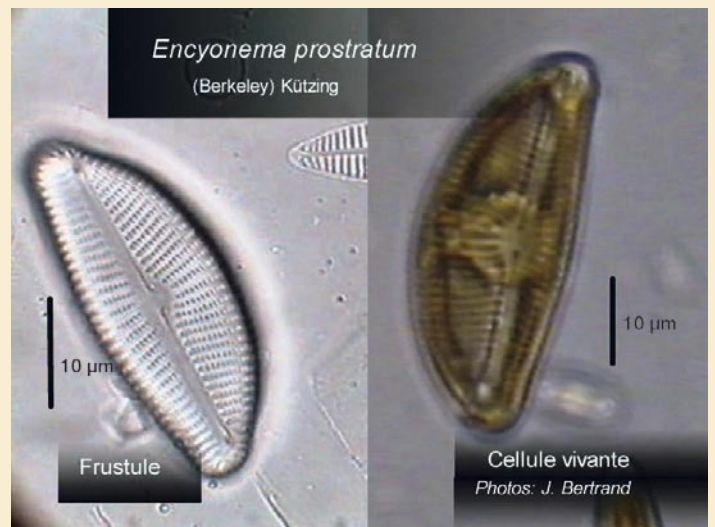


Elles peuvent présenter diverses formes géométriques, en forme de disque, d'étoile, de tambour, etc. On les rencontre le plus couramment sous la forme d'un ellipsoïde allongé dans un plan (vue valvaire ou de face) et rectangulaire dans le plan perpendiculaire (vue connective ou de côté). Elles peuvent montrer des épines ou des soies siliceuses, former des éventails, des hélices spiralées, des chaînes en zigzag ou des rubans.



Structure

Les diatomées sont constituées de deux boîtes ouvertes, les valves, qui s'emboîtent l'une dans l'autre. Celles-ci sont **en silice** hydratée (opale) complètement transparentes et perforées d'innombrables trous microscopiques formant de magnifiques dessins géométriques. Ces perforations permettent les échanges nutritionnels avec le milieu ambiant. Ce sont les arrangements géométriques de ces perforations qui, entre autres, permettent aux spécialistes de classer les diatomées dans les différentes familles, genres et espèces (taxonomie).



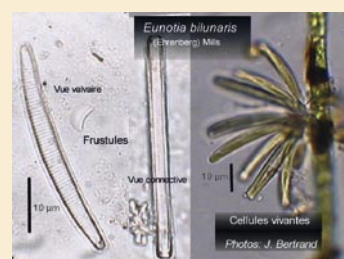
A l'intérieur de cette « boîte », le **frustule**, la cellule est formée d'une masse cytoplasmique comprenant un noyau avec un nombre parfois important de chromosomes. Les conditions d'observations sont si difficiles que l'on connaît seulement le caryotype de 43 espèces sur les 15 à 20 000 existantes, et on en découvre de nouvelles tous les jours.

Au moins deux chloroplastes bruns dorés s'alignent dans la longueur de la cellule (*Amphora ovalis*). Ils ont les mêmes fonctions que les chloroplastes verts contenus dans les feuilles des plantes supérieures : ils renferment des chlorophylles *a* et *c*.

Comme dans toutes les cellules végétales vivantes, il existe des vacuoles et l'on peut découvrir des produits de métabolisme sous forme de gouttes lipidiques fortement réfringentes.



Les diatomées sécrètent également des mucus (polysaccharides) par des pores spéciaux leur servant à la fixation sur le substrat soit par coussin de mucus, soit par tubes arborescents (*Eunotia bilunaris*). D'autres sécrètent des tubes dans lesquels elles se réunissent, formant ainsi de longs filaments



Biologie des diatomées

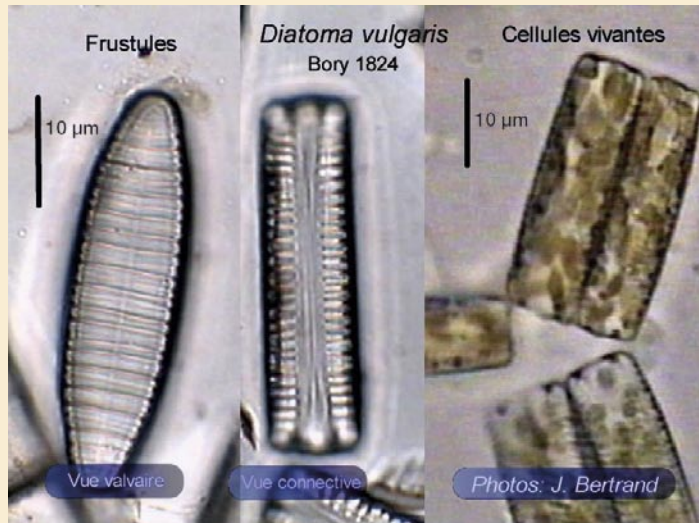
Reproduction

La reproduction des diatomées s'effectue selon trois modes principaux : la division végétative, la reproduction sexuée, la sporulation.

Une étrange croissance !

Dans des conditions favorables où les nutriments sont abondants sous forme de sels divers indispensables à la croissance de l'algue, la division végétative de la cellule s'exécute par scissiparité dans le sens longitudinal (apical) et dans le sens de l'épaisseur.

Au cours de cette bipartition les deux valves s'écartent, le protoplasme, les chloroplastes et le noyau se divisent en deux ; chaque « cellule fille » conserve une des deux demi-valves initiales puis forme une valve nouvelle. Cette dernière constitue toujours le fond de la nouvelle boîte. Ainsi, à la suite de chaque division, l'une des cellules filles est toujours de dimensions inférieures à la « cellule mère ». En conséquence, il y a une régression des dimensions des cellules au fur et à mesure des divisions successives. Dans une population de diatomées d'une même espèce, les cellules les plus vieilles sont toujours les plus petites et les plus grandes sont les plus jeunes. Toutefois, la diminution de dimensions ne peut se perpétuer indéfiniment. Il existe un seuil pour chaque espèce où la diminution provoque une transformation du signal d'exécution et enclenche le phénomène de reproduction sexuée.



Diatoma vulgaris. Scissiparité

Des liaisons illicites !

La reproduction sexuée est une conjugaison des diatomées et se déroule suivant différents processus spécifiques à chaque genre.

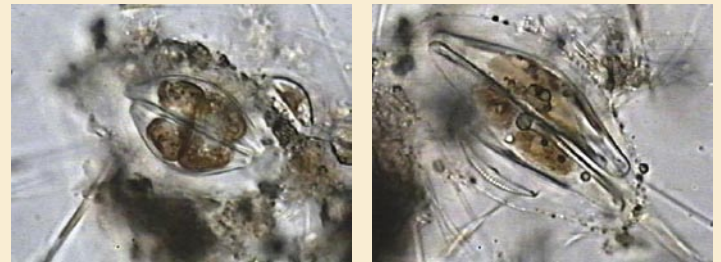


Cocconeis pediculus conjugaison.

Généralement, deux diatomées de très petite taille se rapprochent alors et secrètent un cocon de mucus qui les enveloppe complètement.

Les deux diatomées se divisent intérieurement en formant 4 gamètes (*Cymbella cistula*). Un

gamète de chaque diatomée s'atrophie après réduction chromosomique. Les quatre valves des deux diatomées s'écartent. Les deux gamètes restants fusionnent et produisent une cellule diploïde (auxospore), puis cette auxospore développe une cellule initiale de grande taille qui engendrera une grande diatomée de quatre à cinq fois plus grande que les diatomées initiales : dans ce cas, nous avons affaire à un processus inverse de celui décrit plus haut). Elle secrète alors deux nouvelles valves de silice et se dégage du cocon de mucus. Une nouvelle génération est née.



4 gamètes

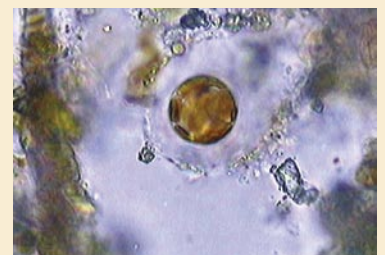
Cymbella cistula :

grande cellule

La Belle aux bois dormant !

Lorsque les conditions physico-chimiques de l'eau se transforment radicalement ou que les conditions d'éclaircissement liées au changement de saisons apparaissent, certaines espèces de diatomées vont constituer ce que l'on appelle une cellule de résistance (spore de résistance). La matière vivante de la cellule se contracte à l'intérieur des valves et secrète une enveloppe sphérique de silice puis elle s'échappe des valves et tombe au fond de l'eau pour attendre de meilleures conditions avant de reprendre son cycle végétatif.

Au cours d'une année, il existe deux périodes de grande explosion végétative : le printemps et, avec une moindre importance, l'automne. Leur développement est seulement limité par la quantité de nutriments disponibles et, en particulier dans les lacs ou en mer, par la présence de silice qui est un facteur limitant du développement.



spore de résistance

Une particularité des diatomées

Certaines espèces sont douées de **mouvements** rapides par glissement, rotation, basculement, en prenant toujours appui sur le substrat. Ces mouvements n'ont, à ce jour, trouvé aucune explication réaliste quant au mécanisme qui les engendre ! Les diatomées ne sont pas les seules algues à pouvoir se déplacer à l'aide de mucus : certaines desmidiées ou bien encore les cyanophycées le font également. Toutefois, pour ces organismes ce sont toujours des mouvements très lents contrairement à ceux des diatomées.

Chercheur, un métier ?

Propos recueillis par Jean-Louis Pointal (Muséum de Blois).

• **Symbioses** : Quelle est votre profession actuelle ?

• **Olivier Monier** : Je suis **chercheur en algologie** dans un centre de recherche luxembourgeois ayant pour vocation la recherche appliquée et le transfert de technologies. Mon activité actuelle touche à la taxonomie des diatomées, c'est-à-dire à leur identification et à leur classification, appliquée au suivi de la qualité écologique des cours d'eau.

• **Symbioses** : Quelle formation avez-vous suivie ?

• **O.M.** : Mon parcours est atypique, j'exerce actuellement dans le domaine de la biologie des organismes et des populations alors que ma formation universitaire (doctorat) est en géographie physique, à rapprocher donc des sciences de la Terre.

• **Symbioses** : Comment en êtes-vous venu à vous intéresser aux diatomées ?

• **O.M.** : Ma passion pour les diatomées est née de ma rencontre avec un diatomiste de talent, Jean Bertrand. J'ai tout de suite compris l'intérêt que pouvaient représenter ces organismes pour mes recherches de géographie physique d'alors, sur l'évolution des zones humides littorales à l'Holocène. En raison de leur nature siliceuse, les frustules des diatomées piégées au cours de la sédimentation étaient susceptibles de constituer de bons indicateurs biologiques de la variabilité des conditions hydrologiques. Avant toute utilisation des diatomées comme indicateur biologique, une solide formation à la taxonomie de ces algues est indispensable. Après ma thèse, je profitais de l'aide des spécialistes de l'Association des Diatomistes de Langue Française, en particulier du Professeur Lange-Bertalot de l'Université de Francfort.

Applications et usages de la diatomite

En optique

On connaissait depuis longtemps la poudre extrêmement fine extraite de certaines roches friables appelées diatomite : elle servait d'abrasif de polissage et de récurage.

Avec le microscope simple (Leeuwenhoek 1632-1723), on découvrit les diatomées. Plus tard, Müller (1889) dévoila la structure extrêmement fine et délicate de ces diatomées. On s'en servit pour tester les qualités optiques des lentilles, car les détails extrêmement fins de leurs frustules approchent la limite de résolution des systèmes optiques (la résolution est l'aptitude à discerner distinctement deux

points très rapprochés, celle des microscopes optiques de haute qualité atteint 0,25µm).

Dans le commerce

Actuellement ces diatomites en poudre extrêmement fine ont de nombreuses applications. Elles rentrent dans la composition des dentifrices, des cosmétiques et autres crèmes pour les soins de beauté. Elles servent de charges pour les peintures et papiers peints mais aussi dans certains bétons et revêtements routiers. Elles sont également utilisées au cours de la fabrication de certaines denrées alimentaires : système de filtrage des vins et des bières.

Les diatomées en paléoécologie

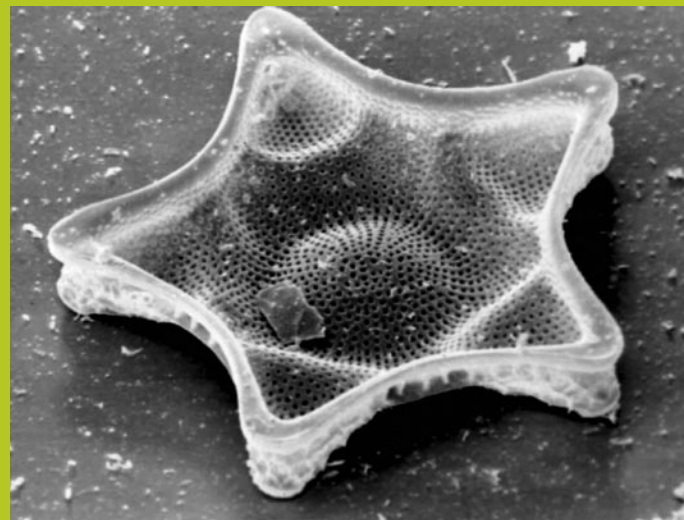
De l'application de la mesure de la qualité des eaux découle naturellement l'utilisation des diatomées en paléo-environnement. L'étude des sols des sites archéologiques riches en diverses espèces de diatomées fossiles permet de situer le degré d'émersion ou d'immersion des habitats et de la pollution anthropique associée. On peut alors dresser un tableau de la colonisation humaine dans le temps et dans l'espace sur ce site

La place des diatomées

Les diatomées font partie des eucaryotes, de la classe des bacillariophycées. Elles sont apparues récemment par rapport à l'apparition de la vie, il y a environ 110 millions d'années. Leur apparence s'est peu transformée depuis cette période, malgré une très grande diversité d'espèces. Leurs squelettes de silice ont constitué des dépôts de **diatomite** sur des épaisseurs pouvant atteindre plus de 1000 mètres dans certaines régions du globe, particulièrement en Californie.

Les dépôts de diatomites sont nombreux et largement répartis sur la planète. Malgré cela, ils n'ont pas été retenus pour la datation des milieux lacustres à l'aide de la stratigraphie, car leur localisation dans le temps et dans l'espace n'est pas assez précise et surtout leur développement ne fut pas général sur la surface du globe dans les périodes clés de l'histoire de la Terre. Par contre, dans les océans, les espèces planctoniques servent de marqueurs car plusieurs genres ont disparu rapidement à la fin du Crétacé, permettant ainsi de dater cette période par rapport à la précédente. D'autre part, la zonation de l'équateur vers les pôles permet d'enregistrer les gradients de température, les espèces aimant les eaux chaudes étant différentes des espèces aimant les eaux froides (Dr. S. Saint Martin, *com. pers.*).

Les diatomées représentent **50% du plancton des eaux de la planète**. Le plancton comprend lui-même 75% de phytoplancton (dont 75% de diatomées) et 25% de zooplancton.



Triceratium. MEB, photo P. Sims, Natural History Museum of London.

Utilité et utilisations des diatomées

En écologie : les diatomées comme indicateurs de qualité des eaux

Depuis dix ans, l'utilisation primordiale est le suivi de la qualité biologique des eaux douces, fleuves, rivières et lacs. En effet, les diatomées, qui ont des cycles vitaux relativement courts, sont sensibles aux compositions physico-chimiques des eaux. Chaque espèce est inféodée à un ou plusieurs éléments chimiques (azote, phosphate, silice, etc.). Lorsque les conditions physico-chimiques changent, certaines diatomées meurent alors que d'autres mieux adaptées se développent. Des espèces affectionnent les eaux à des pH de 4 à 5 et d'autres de 8 à 9. De même pour la sensibilité aux autres éléments chimiques et aux matières organiques, elles peuvent être polluo-résistantes ou polluo-sensibles.

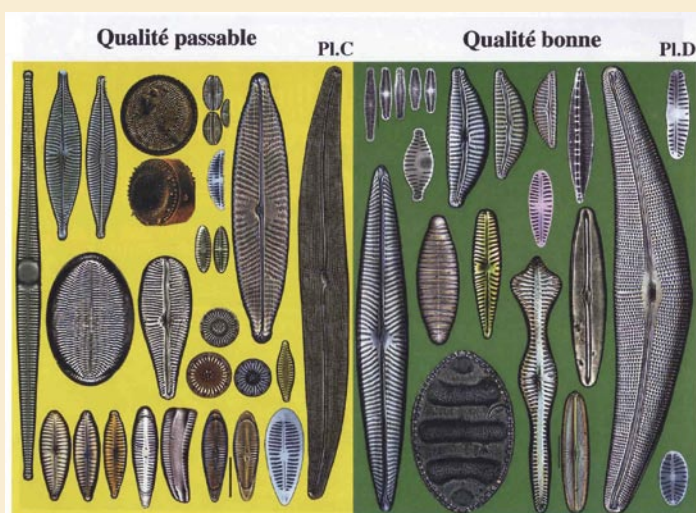


Photo Prygiel & Coste in *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomée*

En conséquence, pour une eau donnée, on trouve un panel de plusieurs espèces de diatomées (figure : qualité eaux), de quelques-unes jusqu'à une soixantaine d'espèces, qui prospèrent tant que les conditions sont stables. Si ces conditions se transforment, les colonies de diatomées se transforment également : les anciennes espèces laissent la place à des diatomées mieux adaptées au nouveau milieu.

C'est cette particularité qui a servi de base pour établir des **indices bio-indicateurs de la qualité des cours d'eau**. Il existe une vingtaine de méthodes basées sur les diatomées épilithiques destinées à mesurer la qualité des eaux. La méthode de l'IBD (Indice Biologique Diatomées), a été normalisée (norme AFNOR T90-354) et elle est utilisée dans toute la France pour l'évaluation de la qualité des cours d'eau. Son application demande la formation de spécialistes en détermination des espèces de diatomées (taxonomie) et l'utilisation de programmes informatiques élaborés.

Applications dans l'enseignement

Une estimation acceptable de la qualité biologique des eaux par un indice utilisant uniquement les genres de diatomées (IBG) peut être réalisée par des néophytes. L'apprentissage est relativement rapide. Cependant il est nécessaire de connaître la ou les méthodes de prélèvement des diatomées dans la nature ainsi que la préparation des échantillons en laboratoire et l'exécution des lames destinées à être observées à l'aide d'un bon microscope de biologie. Il est également indispensable de posséder les livres ou autres documents décrivant les différents genres de diatomées.

Ce travail est parfaitement réalisable en quelques mois par des élèves des classes de Prépa. Bio ainsi que l'ont réalisé en 2003 trois élèves du **Lycée Pothier d'Orléans** sous la conduite de leur professeur de SVT et d'un spécialiste, J. Bertrand. Dans cette étude, ils ont estimé et comparé la qualité des eaux entrantes et sortantes d'une station d'épuration par lagunage. Un document de synthèse en est résulté, en parfaite corrélation avec un travail professionnel sur le canal d'Orléans.

Les diatomées vivantes dans les chaînes alimentaires

Dans la nature, à l'état vivant, leur utilité est primordiale puisqu'elles constituent un des premiers maillons des chaînes alimentaires. Elles servent de « fourrage » à tous les micro-organismes « brouteurs » du zooplancton (amibes, ciliés, copépodes, nauplies, etc.) et elles constituent même l'aliment essentiel des alevins. On peut ajouter l'utilisation de ces algues pour le verdissement des huîtres dites « fines de claires » par la « marennine » produite par une diatomée spécifique

Les diatomées en tant que bijoux de la nature

L'avènement du microscope électronique a révélé des formes d'une rare beauté. Elles ont aussi servi de modèles en joaillerie (figure Skeletonema).

Certains passionnés de microscopie ont réalisé au siècle dernier, à l'aide des diatomées, des tableaux à admirer au microscope, qui représentent des rosaces, des bouquets de fleurs, etc. Ces tableaux atteignent des prix exorbitants.



Skeletonosoma utriculosa. MEB, photo P. Sims, Natural History Museum of London. Cellules enchaînées comme par des fermetures éclair

Des voies en cours de développement :

La lutte anti-pollution par les hydrocarbures est aussi une des voies en cours de recherches, certaines diatomées consommant des molécules pétrolières.

La production de molécules à haute valeur ajoutée pour la pharmacie est également à l'honneur.

Dernière-née des applications : les diatomées au service de la justice. Les diatomées sont utilisées en médecine légale pour l'établissement du diagnostic de la noyade. Lors de l'aspiration de l'eau dans les poumons, les alvéoles éclatent, libérant dans le circuit sanguin les diatomées qui étaient présentes dans l'eau. Elles cheminent pendant trois à quatre minutes avant l'arrêt cardiaque, on les retrouve alors dans divers organes, comme le cerveau par exemple. La comparaison des diatomées issues du cadavre avec celles issues de la rivière permet de confirmer ou non la noyade dans cette rivière ou dans un autre endroit tel qu'une baignoire, où il n'y a pas de diatomée.

Des alliées pour la pérennité de la vie

L'importance primordiale des diatomées n'est peut-être pas dans les nombreuses applications générées par et pour l'homme, mais bien par leur présence à la surface de la Terre. Leur rôle comme générateur principal d'oxygène, commun à tous les végétaux, est essentiel.

Les diatomées sont présentes dans tous les océans et par là même produisent une quantité d'oxygène bien supérieure au fameux « poumon vert » de l'Amazonie. C'est à ce titre qu'elles participent puissamment à la pérennité de la vie, telle que nous la connaissons et que nous voudrions qu'elle se poursuive.

Pistes, TP et TPE !

> diatomées, indicatrices
de qualité des eaux

Références documentaires

Ouvrage de vulgarisation

LOIR M., *Guide des Diatomées*. Les guides du naturaliste. Delachaux et Niestlé, 204 p., 2004.

RUMEAU A. & COSTE M., « Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. » *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (F- 80440 Boves), 309 : 1-69, 1988.

GROB M., « Les nanotechnologies et le plancton », *La Recherche*, 338 : 20-21, janvier 2001.

Ouvrages spécialisés

BOURRELLY P., *Les algues d'eau douce, Initiation à la Systématique*. Volume 2. Les algues jaunes et brunes. Boubée Ed. & Cie, Paris, 517 p., 1981.

GERMAIN H., *Flore des diatomées. Diatomophycées, eaux douces et saumâtres du massif Armoricaïn et des contrées voisines de l'Europe occidentale*. Boubée Ed., Paris, 444 p., 1981.

LUDES B. & COSTE M., *Diatomées et médecine légale*. Ed. médicales internationales. Tec & Doc, Lavoisier et EM Inter, Cachan, 258 p., 1996.

STRAUB F., « Diatomées et reconstitution des environnements préhistoriques. » *Archéologie Neuchâteloise Hauterive-Champréveyres* V 10 - 124 p.

PRYGIEL J. & COSTE M., *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomée*, NF T 90-354, Agences de l'eau, 134 p., 2000.

Vidéo et DVD

BERTRAND J., *Les diatomées : joyaux du monde microscopique*, 35 minutes, 1995.

BERTRAND J., *Les mouvements des diatomées : synthèse des mouvements*, 15 minutes, 1991.

Clé de détermination des diatomées

http://clci.club.fr/ADLaF_Cle_des_genres.htm

http://www.ulg.ac.be/cifen/inforef/projets/eureauforma/cle_diatom/numero/01.htm

Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF) : <http://clci.club.fr/diatom-ADLaF.htm>

Logiciels

LECLERCQ L. & PONTON E., (2006) Logiciel de simulation VIRTVAL, Université de Liège, Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique

<http://www.ulg.ac.be/cifen/inforef/projets/eureauforma/virtval.htm>

Publications scientifiques à caractère régional.

BERTRAND J., « Etude de la dynamique des populations de diatomées (Bacillariophycées) sur le déversoir du canal d'Orléans à Combleux (Loiret, France) en relation avec la pluviométrie du massif forestier. » *Symbioses*, nv. Série, 8 : 29-38, 2003.

BERTRAND J., RENON J.P. & MONNIER O., « Les diatomées du rebord karstique de la Beauce de la région orléanaise. » *Symbioses* nv. Série, 1 : 3-14, 1999.

BOHIN M., GIVAUDAN M. & MAILLARD M., *Vérification d'un indice diatomique générique et application à l'étude d'un lagunage naturel*. Lycée Pothier BCPST2, Orléans, 10 p., 2004.