

Pollutions vertes dans les eaux douces

*Georges Bertru **



Les systèmes aquatiques (lacs, réservoirs, étangs et estuaires) ne sont en fait que les réceptacles naturels recevant les eaux drainées à partir des bassins versants. Leurs compositions chimiques, tant en éléments minéraux dissous (par exemple les nitrates) que particulières (le phosphore) sont tributaires des rejets ponctuels et diffus, des pertes associées aux ruissellements et aux phénomènes d'érosion des sols pouvant survenir sur les différents bassins ver-

sants. Compte tenu des capacités de rétention des réservoirs précités, on peut considérer qu'ils constituent des « pièges » pour les éléments minéraux et organiques ; leurs enrichissements sont soit lents et naturels, soit accélérés sous la pression des activités humaines. La fertilisation des systèmes aquatiques induit deux phénomènes, l'un prévisible que l'on identifie sous le terme d'eutrophisation, l'autre pouvant être caractérisé par les croissances intempestives d'algues bleues (cyanobactéries) susceptibles de produire des toxines.

* Université de Rennes - I

Bassins versants et eutrophisation

Les processus d'eutrophisation n'ont véritablement débuté qu'au siècle dernier, l'exemple de l'invasion en 1825 d'*Oscillatoria rubescens* dans le lac de Morat (Suisse) en constitue une preuve certaine. Selon toute probabilité, cette invasion était due à la reconversion agricole en Europe centrale qui avait débuté au XVII^e siècle. Aux XIX^e et XX^e siècles, les informations recueillies à partir du lac de Zürich et autres lacs alpins (invasions de *Tabellaria fenestrata*, d'*Oscillatoria rubescens* qui s'accompagnent d'une détérioration de l'oxygénation) sont à l'origine du concept d'eutrophisation qui intègre dans une même définition les causes et les conséquences de la fertilisation.

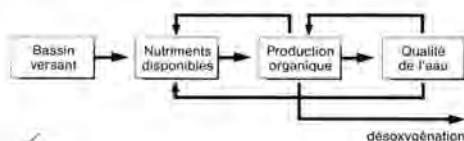


Fig. 1 : Fonctionnement simplifié du système aquatique.

Le fonctionnement d'un système aquatique (schéma ci-dessus) peut être envisagé en considérant d'une part la production de matériel organique et d'autre part les concentrations en oxygène qui sont nécessaires à sa décomposition (dégradation et minéralisation) ; il sera satisfaisant si les consommations en oxygène sont compatibles avec les capacités de réoxygénation de la colonne d'eau. En effet, contrairement au milieu aérien, le milieu aquatique est fortement limité dans sa capacité à l'oxygénation (10 à 15 mg/l, contre 230 à 250 mg/l pour le milieu terrestre qui peut ainsi supporter une biomasse de 15 à 30 fois supérieure à celle du milieu aquatique).

Aux difficultés inhérentes à la définition et à l'emploi du terme d'eutrophisation, il faut ajouter la controverse carbone-phosphore des années 1960, qui avait pour objet de déterminer lequel de ces éléments était véritablement responsable de l'accélération de la productivité de matériel organique. En dépit de sa tonalité politique et économique, cette po-

lémique a eu le mérite de susciter des travaux expérimentaux qui ont permis de dégager le rôle essentiel du phosphore, apparu comme le facteur de maîtrise des processus d'eutrophisation.

Alors que les autorités suédoises ont pris acte de ces travaux et mis en chantier des programmes de restauration des lacs dont les succès sont indéniables, il faut malheureusement mentionner qu'ils n'ont pas reçu en France la même attention. Espérons que la publicité récente d'un producteur de tri-polyphosphates (détergents) soit la dernière manifestation de ce manque d'intérêt.

A la lumière de ce bref rappel historique, peut-on encore s'étonner, après 25 ans d'un développement intensif de l'agriculture en Bretagne avec les modifications que cela suppose sur l'utilisation des bassins versants, de la très forte dégradation de la qualité des eaux sous l'action des charges en azote, phosphore et produits sanitaires ? A ces causes d'ordre général, il faut ajouter les paramètres du réseau hydrographique qui font que la ressource en eau de notre région peut être caractérisée par son unicité. Ce facteur n'est que rarement pris en compte alors qu'il constitue un facteur aggravant dans la mesure où il réduit considérablement les potentialités d'exportation des nutriments. Ainsi le bilan importation-exportation laisserait chaque année un solde de 220.000 tonnes d'azote et de 80.000 tonnes de phosphore sur le territoire breton. La restauration d'un niveau de qualité satisfaisant tant dans les eaux douces que dans les estuaires ne peut être envisagée sans une réduction drastique de ce bilan.

Notons que si l'enrichissement des eaux en nitrates est consécutif à l'intensité

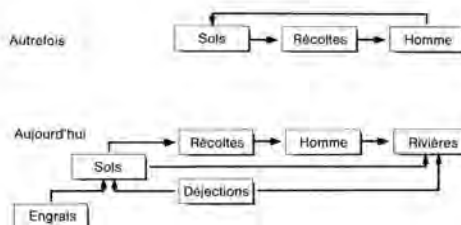


Fig. 2 : Utilisations des bassins versants.

pluviométrique, celui du phosphore procède des phénomènes d'entraînement et d'érosion des sols.

Il était tout à fait prévisible que le développement d'une agriculture intensive aurait des conséquences sur la qualité des eaux. C'est pourquoi on s'étonne que les pouvoirs publics ne se soient pas dotés de moyens techniques et scientifiques leur permettant de dégager les solutions les plus appropriées et les moins coûteuses pour la collectivité. Il n'est donc pas surprenant que l'urgence de certaines situations, par exemple les teneurs en nitrates dans les eaux d'alimentation, laisse croire aux responsables que la solution passe obligatoirement par la construction d'unités industrielles de dénitrification dont le coût sera supporté par les consommateurs.

Bassins versants et phytoplancton

Consécutivement à l'augmentation des charges en nutriments, la fertilisation induit de très abondantes croissances d'algues microscopiques qui constituent bien souvent la manifestation la plus évidente de l'eutrophisation. Si la cause première de ces croissances réside surtout dans les charges en azote et en phosphore, il est souvent très difficile d'expliquer et donc de prévoir la composition spécifique de ce phytoplancton. Pour des charges de compositions sensiblement équivalentes, il n'est pas rare de constater le développement d'espèces très différentes. Ces phénomènes ont parfois donné lieu à des interprétations pour le moins surprenantes dans la mesure où elles aboutissent de façon plus ou moins nuancée à remettre en cause les rôles décisifs de l'azote et du phosphore dans l'eutrophisation.

Ce sont généralement les croissances intenses des cyanobactéries (identifiées autrefois comme cyanophycées ou encore « algues bleues » en raison de leurs pigments phycocyaniques responsables de dépôts bleuâtres sur les berges) qui révèlent le plus souvent le caractère eutrophe des eaux douces en Bretagne. Cette manifestation est rendue d'autant plus spectaculaire que

ces cyanobactéries peuvent modifier leur flottabilité et donc réduire leur sédimentation par la constitution de vacuoles gazeuses. Ces adaptations morphologiques leur procurent un avantage décisif à la fois pour la compétition vis à vis de la lumière et pour les ressources nutritives pendant la phase obscure, période laquelle elles peuvent investir de nouveau la totalité de la colonne d'eau.

En Bretagne, il faut surtout citer *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* qui représentent les deux espèces dominantes dans les eaux douces fertilisées par l'azote et le phosphore; à un degré moindre et dans certaines situations, *Anabaena circinalis*, *Coelosphaerium kuzingianum* et *Oscillatoria rubescens* que l'on signale de plus en plus fréquemment en Bretagne.

Si ces cyanobactéries révèlent effectivement le caractère eutrophe des eaux pendant la période estivale et au début de l'automne, il faut également mentionner que les populations phytoplanctoniques hivernales et printanières sont également très abondantes du fait de la fertilisation des eaux. En hiver, il s'agit surtout de diatomées se répartissant sur la totalité de la colonne d'eau. Elles ne donnent pas lieu aux effets spectaculaires des cyanobactéries mais elles contribuent très fortement à l'enrichissement en matériel organique et donc à la dés-oxygénation des eaux, qui devient évidente dès les mois de mai et juin. Les plus fréquemment rencontrées appartiennent aux genres *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Melosira ambigua* et *Melosira granulata*. Au printemps et en été, des algues vertes, telles que *Pediastrum duplex gracilium*, *Pediastrum duplex reticulatum* et *Scenedesmus quadricauda* peuvent manifester une forte croissance dans la mesure où elles se substituent aux cyanobactéries après un traitement au sulfate de cuivre. A l'instar des diatomées, elles se répartissent sur l'ensemble de la colonne d'eau et ne semblent pas causer de difficultés majeures au traitement de l'eau.

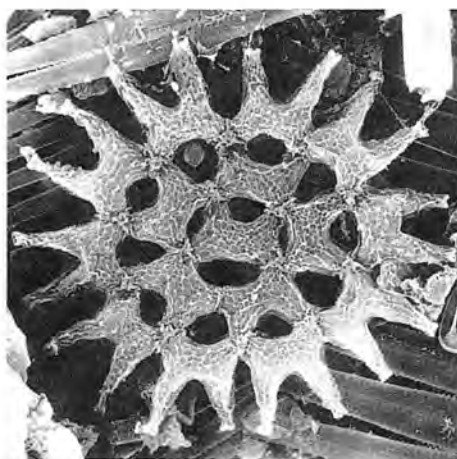
Des croissances exubérantes

Si l'augmentation de la productivité des eaux apparaît aujourd'hui bien établie et

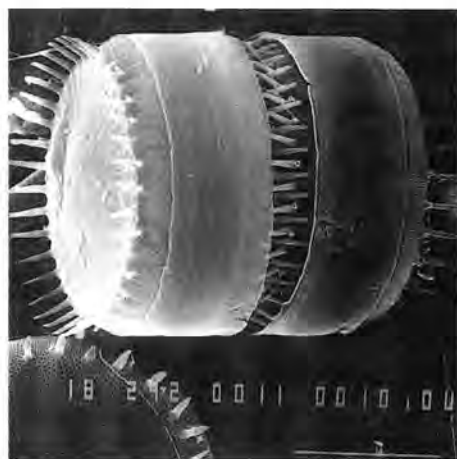
donc résultant des apports de fertilisants (azote mais surtout phosphore...), les explications relatives aux compositions spécifiques du phytoplancton avec l'apparition brutale d'espèces envahissantes le sont beaucoup moins. C'est moins le concept de facteur limitant qu'il importe de prendre en considération que celui relatif à l'affinité pour le substrat. Cette capacité ou virtuosité à s'approprier le substrat le moins bien représenté pour assurer la croissance ne représente plus aujourd'hui le facteur décisif quant aux compositions spécifiques du phytoplancton, du fait que les meilleurs compétiteurs pour l'azote et le phosphore ont été graduellement éliminés en raison de l'augmentation des concentrations de ces nutriments. *Microcystis ae-*

ruginosa et *Aphanizomenon flos-aquae* doivent bien leurs croissances exubérantes aux charges précitées qui ont ainsi permis l'élimination des meilleurs compétiteurs pour ces ressources. Pour preuve, ils suffit de consulter les travaux algologiques des années 50 et 60 pour constater qu'elles n'étaient que rarement mentionnées. Il est vrai que depuis cette époque, les teneurs en azote ont été multipliées par 200 à 250 et celles du phosphore par 250 selon les références analytiques portant sur la Vilaine.

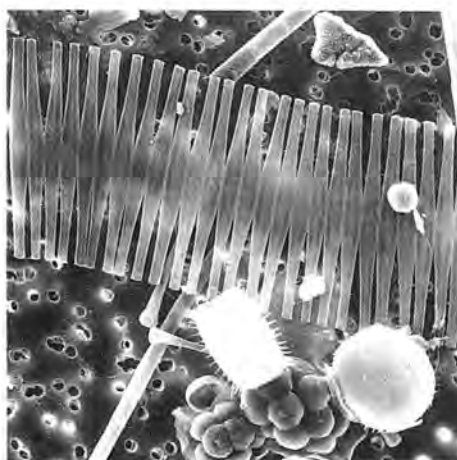
Ainsi ces cyanophycées, n'ayant plus à exercer de compétition pour l'obtention du phosphore et de l'azote, peuvent utiliser leurs meilleures capacités à concourir pour d'autres éléments nutritifs (CO_2 ,



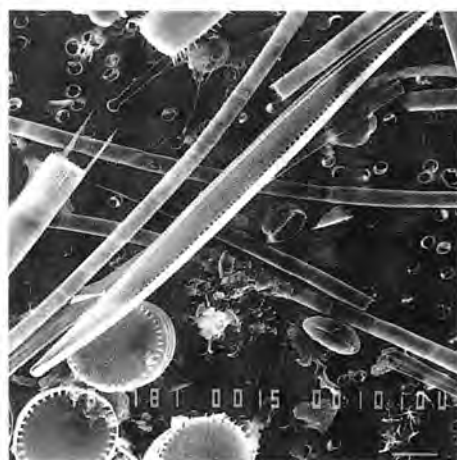
a -



b -



c -



d -

Vues au microscope électronique à balayage de quelques algues fréquentes dans les retenues eutrophes. a : chlorophycée *Pediatrum duplex* ; b, c, d : diverses diatomées centriques et pennées.



Vue au microscope électronique d'une cyanobactérie, *Anabaena circinalis*, qui produit une neurotoxine. Le diamètre de cette «algue bleue», ou cyanophycée, est de 5 microns.

-HCO₃, lumière...), et oligo-éléments et développer des adaptations morphologiques (vacuoles gazeuses) leur permettant de mieux exploiter le milieu. Il faut également signaler que les variations des effectifs dépendent non seulement des taux intrinsèques de croissance mais aussi des taux de mortalité qui sont certainement fortement réduits du fait de la quasi-absence de broutage.

Les dominances et les cohabitations entre plusieurs espèces sont redevables non seulement à ces paramètres, mais aussi aux taux de consommation et de fourniture des ressources nutritives.

Aux effets néfastes de ces croissances sur le traitement de l'eau, il faut ajouter que les cyanobactéries sont susceptibles de produire des toxines. En ce domaine, les travaux récents (1989) sont inquiétants dans la mesure où ils démontrent ce que les observations antérieures laissaient seulement supposer. Des hépatotoxines et des neurotoxines ont été mises en évidence dans les masses eutrophisées. Certaines espèces d'*Aphanizomenon flos-aquae* et d'*Anabaena flos-aquae* produisent des neurotoxines qui sont identifiées comme étant des aphantoxines et des anatoxines ; la caractérisation des aphantoxines isolées à partir des *Anabaena* semble indiquer une parenté avec la saxitoxine isolée chez les dinoflagellés.

Genre	Anatoxine-a (µg/g)	Temps de survie de la souris (mn)
Aphanizomenon sp.	6700	5-14
Anabaena flos-aquae	10000	2-22
Anabaena circinalis	8200	3-9
Oscillatoria sp.	13000	2-11

Nous avons réuni dans le tableau ci-dessus les données disponibles relatives aux cyanobactéries les plus fréquemment rencontrées en Bretagne. Ces résultats font référence à des travaux finlandais, canadiens et australiens et s'il peut rester un doute quant à la probabilité que les espèces identifiées en Bretagne puissent synthétiser également ces toxines, il n'en demeure pas moins que ce risque existe et qu'en conséquence, les filières de traitement devront être complétées par du charbon actif.

S'il était hautement prévisible que l'interaction entre le bassin versant et le milieu aquatique conduirait inévitablement à la situation actuelle des milieux aquatiques, il faut également envisager que la restauration d'un niveau de qualité acceptable sera longue et onéreuse. Enfin la production de toxines par les cyanobactéries ne manque pas d'être très préoccupante.