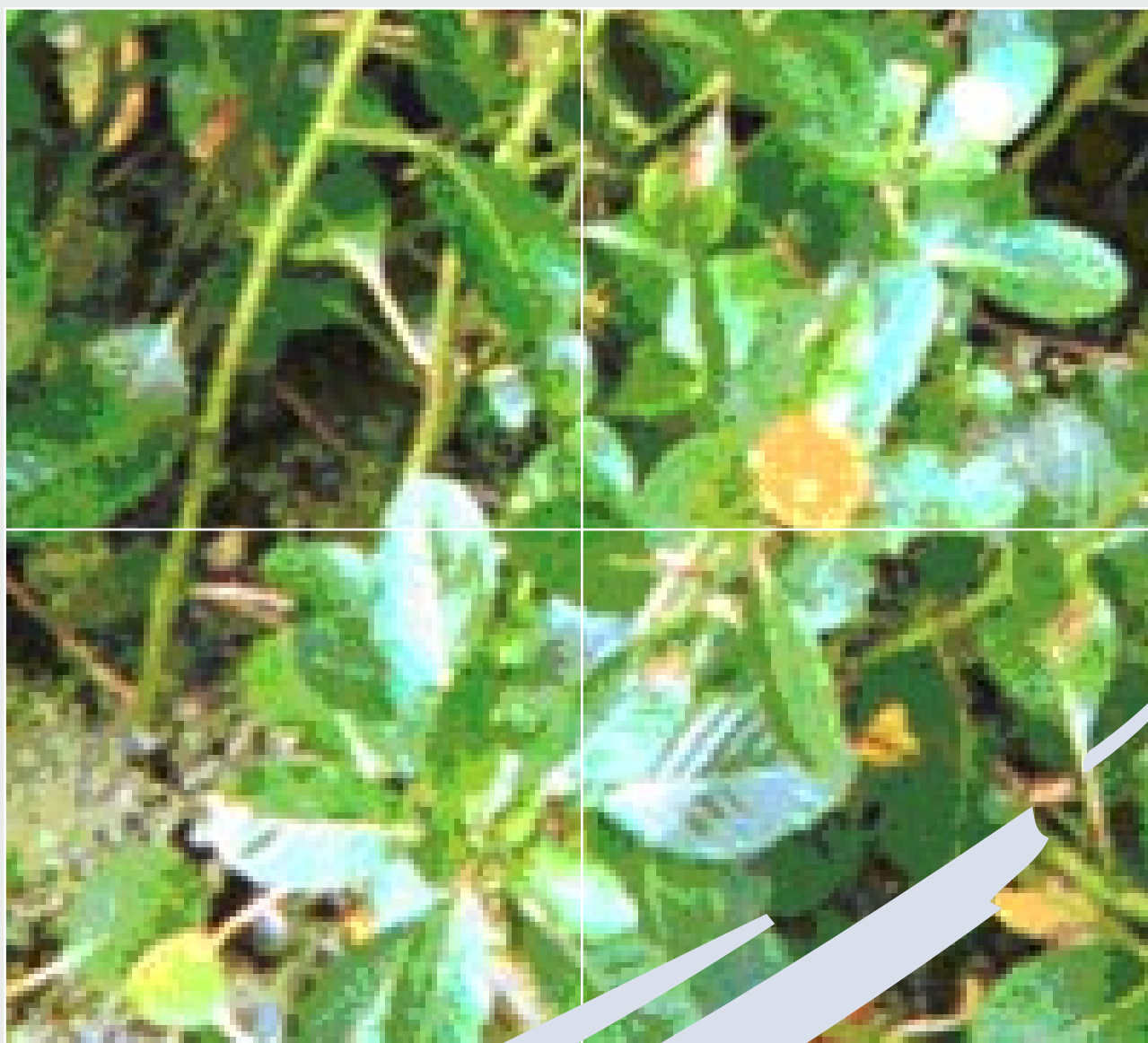


LES ESPÈCES ANIMALES ET VÉGÉTALES SUSCEPTIBLES DE PROLIFÉRER DANS LES MILIEUX AQUATIQUES ET SUBAQUATIQUES

Fiches espèces végétales



INTRODUCTION

Le jeu de fiches descriptives et détaillées des espèces végétales exotiques et indigènes susceptibles de proliférer dans le bassin Artois-Picardie se décompose, pour chaque espèce, en plusieurs rubriques :

- la biologie de l'espèce (description, reproduction et propagation, productivité) ;
- l'origine géographique et modalités d'introduction en France pour les espèces exotiques ;
- la distribution actuelle de l'espèce (en France et dans le bassin Artois-Picardie) ;
- le biotope de l'espèce ;
- les impacts positifs sur le milieu naturel et sur les autres espèces d'une part, sur l'homme et ses activités d'autre part;
- les impacts négatifs sur le milieu naturel et sur les autres espèces d'une part, sur l'homme et ses activités d'autre part;
- régulations naturelles s'il y en a ;
- interventions humaines/méthodes de gestion.

Les espèces présentant des caractéristiques morphologiques, biologiques et/ou écologiques relativement proches telles les hélrophytes, ont été regroupées sur une même fiche.

Crédit photographique : Ludwigia peploides, auteur : Thiphaine Saint-Maxent

LES ESPECES INDIGENES

LES ALGUES

Les algues filamenteuses

Les peuplements d'algues filamenteuses représentent une composante importante de la végétation aquatique fixée. La plupart de ces algues sont **benthiques**, d'autres ne sont fixées sur le substrat que pendant une partie plus ou moins longue de leur cycle. Elles se rencontrent dans des milieux très diversifiés et participent à la dynamique spatiale et temporelle de ces milieux. Elles peuvent même dominer les peuplements de certains secteurs de cours d'eau ou de plans d'eau (Collectif, 1997).

Comme les autres **macrophytes**, elles assurent divers rôles tels que la production primaire, la régulation chimique par fixation d'azote par exemple, la stabilisation des substrats, des habitats pour de nombreux organismes épiphytes, ... (Collectif, 1997).

La plupart des algues benthiques d'eau douce sont des algues vertes (Chlorophycées). On rencontre également des algues brunes (Xanthophycées), et rouges (Rhéophycées). Ce sont des organismes **photoautotrophes** possédant de la **chlorophylle a** et d'autres types de chlorophylles (b, c, d), selon les groupes ainsi que divers pigments. Elles peuvent avoir un mode de reproduction sexuée et possèdent alors des structures reproductives unicellulaires (Collectif, 1997).

Bien que ces groupes montrent de grandes différences chimiques et génétiques, ils ont en commun plusieurs formes semblables de croissance. Les formes **benthiques** semblent conférer des avantages pour la compétition au cours des différentes étapes du développement (Collectif, 1997).

Parmi les différentes algues benthiques, quatre genres ont été étudiés, en fonction de l'importance des gênes qu'ils peuvent provoquer, et du type de développement qu'ils illustrent (Collectif, 1997).

Les cladophores, *Cladophora sp.* Kutzing (Chlorophycées), constituent le groupe majeur d'espèces pouvant poser des problèmes particulièrement importants sur le plan des gênes et par l'étendue de leur répartition géographique aussi bien en France qu'en Europe et plus généralement dans les milieux aquatiques tempérés de l'hémisphère Nord. On peut également citer le genre *Rhizoclonium*, qui appartient au même ordre des Siphonocladales que les cladophores, et qui présente une structure filamenteuse voisine et des développements importants de filaments atteignant plusieurs mètres (Collectif, 1997).

Les vauchéries, *Vaucheria sp.* (Xanthophycées), sont souvent rencontrées associées aux cladophores ou dans des milieux semblables. Leurs colonies forment généralement des coussinets fixés sur le substrat, sur les macrophytes, voire sur les cladophores (Collectif, 1997).

Les spirogyres, *Spirogyra sp.* (Chlorophycées), sont souvent situées dans la tranche d'eau, et sont rarement fixées (Collectif, 1997).

L'algue *Hydrodictyon reticulatum* a la particularité de former d'importants réseaux de cellules pouvant créer un maillage dense dans la masse d'eau ou à la surface (Collectif, 1997).

Cette fiche est organisée de la manière suivante : les 4 premières parties décrivent les caractéristiques morphologiques, biologiques et écologiques de ces 4 genres d'algues filamenteuses, une cinquième traite des impacts de leurs proliférations ainsi que des méthodes de gestion envisageables.

Cladophore

Cladophora sp. Kutzing

D :	Chlorophytes
Cl :	Chlorophycées
O :	Siphonocladales
F :	Cladophoraceae

L'identification des espèces de cladophores est délicate au sein du genre, car les critères sont de nature quantitative (comme la taille des cellules **apicales**) représentés par des expressions variables se chevauchant entre espèces.

Les caractères les plus évidents sont le nombre de ramifications et le développement de la croissance **intercalaire** et apicale.

Le nombre de ramifications varie, de peu fréquentes à profuses. Mais la difficulté réside dans le degré de variation morphologique cité ci-dessus. De même, certains détails structuraux comme les **chloroplastes** de *Cladophora glomerata* peuvent montrer des variations importantes de densité au sein d'une même espèce en fonction de l'intensité lumineuse (Collectif, 1997).

Le genre renferme 9 espèces d'eau douce. Le genre *Rhizoclonium* sp. appartient à la même famille. Il en est très proche par sa structure. La différence essentielle avec les cladophores est un taux de ramification très faible, voire quasi-absent, et la présence de peu de noyaux. On le rencontre dans des milieux très proches de ceux des cladophores en cours d'eau (Collectif, 1997).

BIOLOGIE

Description

Aspect macroscopique

Les cladophores se présentent sous la forme d'un **thalle** buissonnant filamenteux, de couleur verte, parfois très ramifié, **unisérié**, souvent fixé par sa base dans son jeune âge, puis librement flottant. Le **thalle** est fixé à la base par des **rhizoïdes** de fixation. Il peut se présenter sous divers aspects, depuis la petite touffe (forme encroûtante) jusqu'à la formation de quelques filaments chevelus (forme herbier) de grande longueur pouvant atteindre plusieurs mètres. A côté des formes ramifiées arbusculaires, existent des espèces sphériques dont le thalle a la forme d'une balle. L'action mécanique des vagues engendrerait cette forme particulière (Collectif, 1997).

Aspect microscopique

Les articles sont cylindriques, allongés, présentant de nombreux noyaux et un chloroplaste **pariétal réticulé** avec de nombreux **pyrénoïdes** (Collectif, 1997).

Il existe un grand degré de variations morphologiques en réponse aux conditions environnementales, notamment aux conditions hydro-dynamiques, et à l'âge de la plante ; ainsi chez *Cladophora glomerata*, l'évolution du rapport entre croissance apicale et intercalaire peut varier notablement (Collectif, 1997).

Reproduction et propagation

Reproduction

La multiplication asexuée chez *Cladophora* sp. s'effectue par **zoospores** végétatives à 4 fouets. La reproduction sexuée est une **isogamie** à gamètes à 2 fouets. Il existe une alternance régulière entre une génération productrice de gamètes et une génération productrice de zoospores. Mais un doute peut exister sur la production de **zygotes** viables, avec uniquement observation de zoospores (Collectif, 1997).

Quelques espèces de cladophores forment des **akinètes**, mais ni les facteurs stimulant leur production ni leur importance écologique ne sont vraiment connus (Collectif, 1997).

Les facteurs stimulants la **zoosporogénèse** chez *Cladophora glomerata* englobent des températures élevées, des **photopériodes** raccourcies et une limitation en vitamines. Cette situation peut apparaître avec des phénomènes d'auto ombrage lors de fortes densités de **biomasse**, ou à l'intérieur de micro-habitats où peuvent se loger des fragments de thalle détachés de leur origine. Ceci permet à l'espèce d'aller coloniser des milieux où des conditions d'éclairage plus favorables permettront un développement végétatif. D'ailleurs pendant cette période de reproduction, il y a **lyse** des cellules-mères et déclin temporaire de la masse algale (Collectif, 1997).

Propagation

La plupart des espèces de cladophores se fixent par des rhizoïdes ramifiés multicellulaires. Ces crampons basaux peuvent servir de structures de résistance, à partir desquelles de nouvelles pousses peuvent démarrer. Ils peuvent résister à un dessèchement temporaire, mais le recouvrement de la biomasse en pâtit (Collectif, 1997).

Principalement en cours d'eau, les cladophores peuvent se détacher de leur substrat original. La longueur des filaments peut les rendre plus sensibles à l'influence de la turbulence. Les fragments vont dériver jusqu'à retrouver un support et peuvent alors continuer à avoir une activité **photosynthétique**. Cette masse en dérive peut constituer un moyen de colonisation passif important (Collectif, 1997).

Cycle saisonnier

Le cycle saisonnier de *Cladophora glomerata* dans les cours d'eau tempérés peut être résumé de la façon suivante : au printemps, les filaments résiduels, à paroi épaisse qui ont passé l'hiver démarrent la production de branches supérieures. Cette espèce se développe rapidement pour de fortes intensités lumineuses et une température de l'eau atteignant 10°C. La croissance est alors maximale au début de l'été. Puis les biomasses régressent et le taux de croissance végétative se ralentit. A l'automne il y a généralement une autre période de croissance rapide pouvant donner lieu à des biomasses importantes (Whitton, 1970).

Au cours de l'été, quelques cellules peuvent produire des zoospores, qui s'installent sur les rochers et produisent de nouveaux filaments générant ainsi une bonne partie de la biomasse automnale. A la fin de l'automne, les parties supérieures se détachent et les fragments basaux restent fixés (Collectif, 1997).

De plus, des akinètes peuvent de former à différentes saisons, qui germeront lors de conditions favorables pour une rapide croissance végétative.

Des variations sont reportées sur ce cycle bimodal théorique, notamment la non-apparition de deux pics de production. Ce phénomène peut être lié à des crues printanières qui ralentissent fortement le développement précoce (Nauleau, 1988). Il peut y avoir également compétition pour le milieu avec des plantes supérieures et apparition tardive des cladophores, notamment sur les sites à renoncules (*Ranunculus sp.*) qui sont des espèces à développement précoce (Collectif, 1997).

Biomasse

Les cladophores atteignent généralement des pourcentages de recouvrement inférieurs à 70 % et apparaissent là moins couvrantes que les *Vaucheria sp.*. Par contre les **biomasses** peuvent être plus conséquentes. Celles mesurées peuvent être très importantes, de l'ordre de 1 à 2 kg de poids frais, soit environ 100g de poids sec au m² (Collectif, 1997).

DISTRIBUTION ACTUELLE

Le genre *Cladophora sp.* est un genre **ubiquiste** distribué dans le monde entier depuis les zones arctiques à tempérées (Collectif, 1997).

Dans le **bassin Artois-Picardie** des proliférations de ce taxon sont signalées sur certains cours d'eau comme l'Aa, la Scarpe, la Canche, l'Avre, la Bresle, ... et quelques canaux (Collectif, 1997).

BIOTOPES

On rencontre le genre *Cladophora sp.* fréquemment sur les cours d'eau du réseau hydrographique français principalement calcaires, marneux et marno-calcaires, associé en alternance avec *Vaucheria sp.* (Collectif, 1997).

Paramètres physiques

Les cladophores se rencontrent principalement dans les **eaux courantes et peu profondes** (Collectif, 1997).

Un fort **éclairage** est favorable à la croissance et à l'apparition de fortes biomasses. Par contre, l'ombrage et une courte photopériode favorisent la **zoosporogénèse**. L'importance de la profondeur à laquelle peuvent se développer les cladophores est liée à ce besoin important d'éclairage. On les rencontre donc fréquemment à de **faibles profondeurs**. Toutefois la forme encroûtante, formant des coussinets appliqués aux rochers, peut s'installer à de plus grandes profondeurs, mais dans ce cas il est difficile de parler de prolifération (Collectif, 1997).

Le genre *Cladophora* colonise préférentiellement les **substrats durs et stables** grâce à ses **rhizoïdes** de fixation, la fixation sur les rochers étant la plus commune (Collectif, 1997).

La température d'apparition des cladophores dans le milieu au printemps est de **10°C** (Nauleau, 1988), cependant, on peut les rencontrer dans des milieux présentant des températures plus extrêmes comme dans les zones tropicales ou désertiques (Whitton, 1970).

Paramètres chimiques

Le genre *Cladophora* est une algue **d'eau alcaline (pH>7), dure et bien minéralisée** (Collectif, 1997).

Une relation directe a parfois été remarquée, surtout en plan d'eau, entre la prolifération algale et l'augmentation des teneurs en **phosphore**. Cependant d'autres observations n'entérinent pas totalement cette relation et la nuancent. L'abondance des cladophores ne semble donc pas seulement liée à des conditions de **trophie** élevées. Elles semblent absentes des milieux **eutrophes** à fortes teneurs en phosphore. D'autre part, il est possible de rencontrer de fortes biomasses pour des teneurs moyennes en nutriments. La capacité qu'ont les cellules à stocker le phosphore (consommation de luxe) peut intervenir à ce niveau. Le rôle essentiel de l'**azote** montre qu'il est rarement facteur limitant, car quelques µg/l de nitrates suffisent à la croissance. Il peut par contre le devenir en cas de sursaturation en phosphore. Les auteurs estiment que la consommation de luxe réalisée pour le phosphore par ces algues leur permet de profiter de la disponibilité sporadique de ce dernier. D'autres nutriments peuvent être essentiels au développement de cladophores comme le bore, le zinc et certaines vitamines B1 et B12.

Le développement important de *Cladophora sp.* peut se rencontrer sur des sites à l'aval de foyers de pollution organique où la charge est partiellement épurée, avec des DBO5 de l'ordre de 2-3 mg/l (Nauleau, 1988). D'ailleurs, la présence massive de ces algues indique souvent une pollution organique ou minérale.

PARTICULARITES DE CES ALGUES

Impacts positifs sur les autres espèces présentes

Les cladophores fournissent un bon support de fixation pour les organismes végétaux **épiphytes**. Ceux-ci peuvent créer de véritables manchons d'épaisseur variable autour des filaments d'algues. Leur épaisseur semble augmenter avec l'âge des filaments. Le plus souvent, ces épiphytes sont des bactéries ou des diatomées (Collectif, 1997).

Les thalles de cladophores sont le support de nombreuses espèces animales, notamment des invertébrés benthiques, qui trouvent là, abri et nourriture (larves de chironomes, gammarès, mollusques, ...) (Collectif, 1997).

Cependant les filaments de cladophores ne semblent pas être la source préférentielle de nourriture des organismes brouteurs. Ils semblent préférer les organismes épiphytiques fixés sur les algues. En effet, la composition chimique des cladophores est moins riche que celle des diatomées et contiendrait des acides gras toxiques (Collectif, 1997).

Impacts négatifs sur les autres espèces présentes

Il existe des relations de compétition entre les cladophores et d'autres genres d'algues comme la vauchérie, ou le phytoplancton en milieu stagnant (Collectif, 1997).

Les cladophores peuvent devenir épiphytes sur d'autres espèces de macrophytes : renoncules, potamots, hélophytes, ... (Collectif, 1997).

Lorsqu'elles se fixent sur les phragmites, elles peuvent augmenter leur susceptibilité à la casse. Lorsqu'elles se décomposent, elles relarguent des composés solubles dans l'eau inhibant la formation de jeunes pousses (Collectif, 1997).

Elles peuvent également ralentir la croissance de macrophytes. Ainsi sur l'élodée du Canada ou sur le potamot pectiné, ces algues peuvent réduire la pénétration de la lumière sous l'eau, et en accélérer le déclin (Collectif, 1997). Un fort ombrage pourrait donc être à l'origine du déclin des macrophytes en présence d'algues. Les cladophores ont de fortes potentialités dans la compétition avec d'autres espèces, notamment les plantes supérieures (Collectif, 1997).

De plus, les cladophores remplacent certaines macrophytes lors d'enrichissement du milieu en matières organiques et en nutriments (Collectif, 1997).

Vauchérie

Vaucheria vaucher sp.

D :	Xanthophytes
Cl :	Xanthophycées
O :	Vaucheriales
F :	Vaucheriaceae

La détermination spécifique des vauchéries stériles est impossible car elle est essentiellement basée sur des critères de forme et de position des organes sexuels (Collectif, 1997).

BIOLOGIE

Description

Les vauchéries sont des algues filamenteuses aux filaments cylindriques ramifiés de façon plus ou moins régulière, ne présentant pas de **cloison** (thalle siphonné). Il n'y a pas de différence de taille marquée entre l'axe et les rameaux (Collectif, 1997).

Les colonies de *Vaucheria* sp. ont l'aspect de coussinets soyeux ou parfois de natte (en fort courant) de couleur vert clair au centre et foncé à la périphérie (Collectif, 1997).

Ces thalles ont la particularité de piéger les sédiments à la base de la colonie (Collectif, 1997).

Le **cytoplasme** renferme de nombreux noyaux et de **plastés discoïdes** pourvus ou non de **pyrénoïdes**, des gouttelettes lipidiques, mais pas d'**amidon** (Collectif, 1997).

Reproduction et propagation

La multiplication végétative se fait par de grosses **spores** sphériques, présentant à leur périphérie des plastés et de nombreux noyaux (Collectif, 1997).

La reproduction sexuée est une **oogamie**. La plupart des espèces sont **monoïques** et les **anthéridies** (organes mâles) sont situées au voisinage des **oogones** (organes femelles) (Collectif, 1997).

Après fertilisation de l'**oosphère**, le **zygote** s'entoure d'une épaisse membrane, parfois sculptée, puis se charge en **carotène** et prend de ce fait une couleur orangée. Ce **zygote** germera directement en un thalle siphonné végétatif (Collectif, 1997).

Cycle saisonnier, croissance

Certaines espèces de vauchéries montrent une croissance végétative très rapide : l'extension du thalle siphonné serait sans doute plus rapide que la division cellulaire des autres algues. Cette croissance rapide est essentielle pour la compétition inter-espèce, et également pour la survie dans les eaux à forte sédimentation (Collectif, 1997).

Vaucheria est l'un des rares genres d'algues, ainsi que certaines algues rouges comme *Batrachospermum*, que l'on peut observer lors d'hivers modérés (Collectif, 1997).

Biomasse

Leur recouvrement peut atteindre un pourcentage de 90 % sur les cours d'eau du bassin Rhin-Meuse, comme à l'aval de certaines piscicultures (Collectif, 1997).

Des estimations de **biomasses** effectuées sur des cours d'eau de Franche-Comté pendant la période de 1988-1993, atteignent 2 à 4 kg de poids frais/m² de vauchéries sur le Dessoubre et l'Ognon, et 6 kg en association avec les cladophores (Collectif, 1997).

DISTRIBUTION ACTUELLE

Comme les cladophores, les vauchéries sont réparties dans de nombreux cours d'eau français, où elles prolifèrent régulièrement.

Dans le **bassin Artois-Picardie**, des proliférations de ces algues ont été signalées sur l'Aa et la Bresle (Collectif, 1997).

BIOTOPES

Les vauchéries se rencontrent dans tout type de cours d'eau, et notamment en cours d'eau calcaires ou marno-calcaires. Elles sont fréquemment associées aux cladophores, dont elles semblent se rapprocher au point de vue écologique (Collectif, 1997).

Paramètres physiques

Les vauchéries font partie des macro-algues nécessitant une luminosité élevée pour le bon fonctionnement de leur activité **photosynthétique**. Elles se développent donc bien sur des stations ensoleillées. Cependant elles sont plus sensibles aux forts éclaircissements que les cladophores ce qui explique leur développement dans l'ombre de ces dernières quand les deux espèces sont présentes sur le même site (Collectif, 1997).

Ce genre semble supporter des températures fraîches (2-3°C) et résister aux hivers modérés. A ces températures on ne rencontre pas de cladophores. Cependant l'optimum de température pour le développement de vauchéries semble se situer entre 17 et 20°C (Collectif, 1997).

Les vauchéries sont trouvées dans des milieux de courant modéré : jusqu'à 60 cm/s ; jusqu'à 70 cm de profondeur (notamment en cours d'eau) (Collectif, 1997).

La présence de vauchéries peut être corrélée à des types de substrats variés allant des pierres et galets à des substrats sableux et vaseux , voire des supports macrophytiques comme les **bryophytes** (Collectif, 1997).

Paramètres chimiques

Les vauchéries présentent des exigences qui peuvent varier de milieux à pH acide, peu calcaires et faiblement minéralisés, jusqu'aux cours d'eau alcalins, calcaires et bien minéralisés. On peut cependant penser que la différenciation écologique s'effectue au niveau de l'espèce et que ce ne sont pas nécessairement les mêmes espèces qui s'y développent (Collectif, 1997).

On rencontre des vauchéries pour toutes les concentrations en **phosphates**. Elles sont peu abondantes pour de faibles teneurs et se développent de façon importante lorsqu'on passe de 0,2 mg de phosphore/litre à des teneurs supérieures à 5 mg/litre (Collectif, 1997). De même, ces espèces sont présentes dans toutes les gammes de teneurs en **nitrates**, mais particulièrement lorsqu'on dépasse 0,5 mg d'azote/litre. Par contre, quelles que soient les teneurs ammoniacales, le pourcentage de recouvrement des vauchéries est élevé et régulier. En fait, en conditions limitantes en azote, ces algues intègrent plus rapidement l'ammoniac (plus facilement assimilable) que les nitrates (Collectif, 1997).

Pour des charges élevées en matières organiques, les vauchéries peuvent remplacer les cladophores, par exemple en aval d'une pisciculture (Collectif, 1997). D'ailleurs, la présence massive de ces algues indique souvent une pollution organique ou minérale.

Spirogyre

Spirogyra Link sp.

D :	Chlorophytes
Cl :	Chlorophycées
O :	Zygnematales
F :	Zygnemataceae

*Le genre comporte 300 espèces, que l'on peut différencier selon différents critères végétatifs (nombre de plastes, cloisons) et de reproduction, notamment morphologie très variable et ornementée du **zygote** (Collectif, 1997).*

BIOLOGIE

Description

Les spirogyres ont l'aspect de masses « floconneuses » d'une couleur vert vif à sombre et au toucher visqueux, se développant à la surface de l'eau. Elles apparaissent à la surface en période de reproduction, en prenant une couleur brun jaunâtre (Collectif, 1997).

Ces algues se présentent comme de fins filaments simples, non ramifiés. Leur caractéristique essentielle réside en la forme particulière des plastes **pariétaux** qui sont tordus en hélice (plastés rubanés) et possèdent plusieurs **pyrénoïdes**. Le nombre de plastes varie de 1 à 16 selon les espèces (Collectif, 1997).

Les parois cellulaires sont recouvertes d'une substance visqueuse qui leur confère un toucher gluant (Collectif, 1997).

Certains auteurs ont identifié deux formes de filaments pour une même espèce en relation avec des exigences différentes en températures et en éclaircissement pour leur croissance (Collectif, 1997).

Elles sont rarement fixées par leur base, mais dans le cas contraire peuvent posséder des **rhizoïdes** (Collectif, 1997).

Reproduction et propagation

La reproduction sexuée est une **conjugaison** (mode de reproduction où les contenus des cellules jouent le rôle de gamètes, sans être émis dans le milieu extérieur, après rapprochements de filaments, modifications des contenus cellulaires et formation de tubes de conjugaisons entre eux) (Collectif, 1997).

Un facteur influençant la reproduction, serait le manque d'azote : la consommation de nutriments pour le croissance des algues pourrait créer une limitation en azote qui induirait une accumulation des lipides et la production de spores (Collectif, 1997).

Cycle saisonnier, croissance

Les spirogyres sont caractéristiques de développement précoce printanier, de nouveaux filaments prenant naissance à partir des zygotes. Elles font partie des premiers genres d'algues à apparaître dans le milieu (Collectif, 1997).

Selon les espèces, la longueur des périodes de reproduction et de développement végétatif varient (Simons & van Beem, 1990). Les spirogyres peuvent disparaître vers le milieu du mois de juin ou prolonger leur existence jusqu'à l'automne (Collectif, 1997).

Biomasse

Les **biomasses** de spirogyres ne sont jamais très importantes. Pourtant leur taux de photosynthèse est très largement supérieur à celui des cladophores et autres algues qui peuvent, elles, présenter de fortes productions tout en ayant des taux de photosynthèse peu performants (Collectif, 1997).

Le recouvrement maximal observé dans le bassin Rhin-Meuse peut atteindre 70 % (Collectif, 1997).

Les biomasses de spirogyres restent relativement faibles, comparées à celles de cladophores. Leurs herbiers présentent en effet une structure très aérée avec un encombrement en volume non négligeable (Collectif, 1997).

DISTRIBUTION ACTUELLE

La répartition géographique des spirogyres reste encore peu connue. Il existe quelques références de développement de ces algues : dans les bassins Rhône-Méditerranée-Corse, Loire-Bretagne, Adour-Garonne, Rhin-Meuse et Seine-Normandie (Collectif, 1997).

Aucune prolifération de spirogyres n'a été signalée dans le bassin Artois-Picardie, soit cette espèce en est absente, soit elle est présente mais n'y prolifère pas. Dans le premier cas, il faut être vigilant car cette espèce est signalée dans les bassins Rhin-Meuse et Seine-Normandie limitrophes au nôtre.

BIOTOPES

Les spirogyres se développent au printemps, généralement dans les fossés, étangs et anses des eaux douces claires et calmes (Collectif, 1997).

Elles résident généralement sans fixation dans la tranche d'eau ou au niveau des sédiments. Quelques espèces présentant des **rhizoïdes** sont fixées dans le courant (*Spirogyra fluviatilis*) (Collectif, 1997).

Paramètres physiques

Les spirogyres montrent une affinité ou une tolérance pour les fortes radiations et les eaux fraîches, conditions réunies au printemps. Elles semblent achever le développement de leur biomasse en conditions d'éclairement et de températures élevées. Par contre elles ne peuvent maintenir une activité photosynthétique à des températures élevées combinées à un faible éclairement. Ainsi les spirogyres paraissent ne pas supporter les effets indirects de l'auto-ombrage (exposition prolongée à l'ombre), ceci entraînant des mortalités de sub-surface à la fin du printemps (Collectif, 1997).

Les espèces non fixées sont caractéristiques des eaux lentes et stagnantes. L'espèce fixée, *Spirogyra fluviatilis*, supporte mieux le courant (Collectif, 1997).

Les spirogyres se développent généralement à des profondeurs allant jusqu'à 50 cm, et parfois même jusqu'à 7 m comme sur la Durance (Khalanski, Bonnet & Gregoire, 1987).

Ces algues sont relativement indépendantes du type de substrat dans la mesure où elles n'y sont généralement pas fixées (sauf *Spirogyra fluviatilis*) (Khalanski et al., 1987). Certains auteurs les situent sur vases, graviers, pierres et galets (Rodriguez & Vergon, 1996).

Paramètres chimiques

Les spirogyres sont rencontrées principalement dans des eaux assez faiblement minéralisées (Collectif, 1997).

Aux Pays-Bas elles ne sont jamais rencontrées dans des eaux dont le pH est inférieur à 5 (Collectif, 1997).

La présence de spirogyres n'a pas été relevée dans des eaux très douces et **oligotrophes**. Contrairement à d'autres types d'algues, elles ne supportent pas des teneurs en magnésium élevées (inférieures à 70 mg/l de Mg^{2+}). Par contre on les rencontre pour des teneurs élevées en sodium et potassium (Collectif, 1997).

En conditions **mésotrophes** ou modérément **eutrophes**, les spirogyres constituent des communautés diversifiées avec notamment de nombreuses espèces. La coexistence d'algues et de macrophytes s'opère avec une croissance optimale des spirogyres au printemps et des macrophytes en été (Collectif, 1997).

Les spirogyres sont souvent des espèces d'eaux calmes probablement parce que physiologiquement, ce manque de courant leur est bénéfique par rapport à l'absorption de nutriments. D'ailleurs, on ne remarque pas de relation particulière entre les teneurs en phosphate et la présence de ces algues. Par contre il y a une corrélation entre le recouvrement de ces algues et la présence d'**azote** pour des teneurs allant jusqu'à 0,5 mg/l d'ammoniac (Collectif, 1997).

La présence massive de ces algues indique souvent une pollution organique ou minérale.

PARTICULARITE DE CES ALGUES

Il n'y a pas de broutage reconnu sur les filaments des spirogyres, étant donné la structure visqueuse des parois cellulaires de ce genre (Collectif, 1997).

Réseau d'eau ou filet d'eau

Hydrodictyon reticulatum (L.) Lager H.

D :	Chlorophytes
Cl :	Chlorophycées
O :	Chlorococcales
F :	Hydrodictyaceae

Le genre *Hydrodictyon* ne regroupe que 4 ou 5 espèces. Une espèce est connue en France, *Hydrodictyon reticulatum* (Collectif, 1997).

BIOLOGIE

Description

Aspect macroscopique

Les colonies d'*Hydrodictyon* se présentent sous l'aspect de masses vertes flottantes, dont l'aspect en mailles généralement hexagonales est très caractéristique et souvent visible à l'œil nu (Collectif, 1997).

L'ensemble de la jeune colonie forme d'abord un sac cylindrique **réticulé** arrondi aux deux extrémités. Les vieilles colonies sont macroscopiques, de très grande taille (de plusieurs centimètres de longueur et largeur). Le sac est souvent irrégulièrement déchiré (Collectif, 1997).

L'appellation française « réseau d'eau » ou « filet d'eau », ou encore « net water » en anglais, traduit cette morphologie un peu particulière (Collectif, 1997).

Aspect microscopique

Les cellules sont cylindriques, allongées et possèdent un **plaste pariétal** réticulé présentant de nombreux **pyrénoïdes**. Les cellules sont groupées en **cénobes**, c'est-à-dire en réseau à mailles le plus souvent hexagonales (Collectif, 1997).

Reproduction et propagation

Deux types de reproduction sont identifiés chez cette espèce :

- une reproduction sexuée par **isogamie**, qui aboutit à la formation plus lente de nouvelles colonies en conditions défavorables, lors d'un processus complexe présentant différents stades ayant des capacités de résistance importantes (Collectif, 1997).
- une reproduction végétative asexuée, permettant, lors de conditions favorables, la formation rapide de jeunes colonies-filles à partir de chaque article de la colonie-mère : un grand nombre de **zoospores** biciliés nageant sans sortir de la membrane maternelle se regroupent en un jeune **cénobe** réticulé qui sera ensuite libéré. La capacité d'élongation des cellules et leurs modes de reproduction permettent à cette algue de se développer très rapidement puisque chaque cellule est capable de former un autre cénobe, ce qui permet une croissance rapide et concourt à la création de colonies importantes (Collectif, 1997).

Cycle saisonnier

On trouve des données sur l'évolution saisonnière de *Hydrodictyon reticulatum* dans l'exemple de la retenue de Mirgenbach (Moselle). Cette algue commence son développement sur le fond de l'eau, au bord des rives, dans des zones de faible profondeur. Ensuite l'oxygène fourni par une intense activité photosynthétique confère une certaine flottabilité aux masses algales qui décrochent du fond et peuvent ensuite dériver vers d'autres secteurs sous l'effet des courants et des vents dominants avant de se décomposer (leur couleur verte vire au jaunâtre). Elles ne subsistent alors que sur le fond (Collectif, 1997).

Le démarrage de la période de développement de cette algue est généralement assez tardif, à la fin du printemps. Elle prolifère en période estivale et peut subsister assez tard dans la saison (Collectif, 1997).

Biomasse

Étant donné l'aspect très couvrant des colonies d'*Hydrodictyon*, on peut obtenir des recouvrements et des **biomasses** élevées (Collectif, 1997).

DISTRIBUTION ACTUELLE

L'algue *Hydrodictyon reticulatum* présente un caractère **ubiquiste** marqué, caractérisé par une large distribution géographique (Collectif, 1997).

Elle est considérée comme caractéristique des régions tempérées de l'hémisphère Nord, mais elle est signalée dans l'hémisphère Sud, notamment en Nouvelle-Zélande (Collectif, 1997).

En **France**, cette algue prolifère dans les bassins Rhône-Méditerranée-Corse, Rhin-Meuse, Loire-Bretagne (Collectif, 1997). Elle est signalée dans le **bassin Artois-Picardie** mais n'y prolifère pas.

BIOTOPES

Paramètres physiques

D'importants développements d'*Hydrodictyon* semblent liés à de fortes intensités lumineuses permettant, en parallèle avec la température, une activité photosynthétique optimale. Mais on peut également la trouver dans des secteurs ombragés (Collectif, 1997).

La température est un facteur déterminant de la prolifération (Collectif, 1997).

Cette algue ne semble pas avoir d'affinité particulière avec un substrat donné puisqu'elle n'est pas fixée dans le fond (Collectif, 1997).

Paramètres chimiques

Le pH ne semble pas être le facteur prépondérant, même si on rencontre principalement cette algue en milieu alcalin (Collectif, 1997).

Un niveau élevé de minéralisation semble lié à son développement ; par contre un excès de minéralisation pourrait affecter sa multiplication végétative. *Hydrodictyon reticulatum* se rencontre le plus dans des milieux eutrophes (Collectif, 1997). D'ailleurs, La présence massive de ces algues indique souvent une pollution organique ou minérale.

PARTICULARITES DE CETTE ALGUE

Au-delà de l'impact mécanique que peuvent avoir ces grandes masses dérivantes sur le colmatage des ouvrages de prise et de rejet d'eau, un impact important a pu être observé sur les cycles des paramètres oxygène et pH, avec le risque de toxicité induit par l'apparition de formes ammoniacales dans le milieu (Collectif, 1997).

IMPACTS ET MESURES DE GESTION

IMPACTS POSITIFS

Sur le milieu naturel et les autres espèces présentes

Sur l'homme et ses activités

IMPACTS NEGATIFS

Depuis une trentaine d'années, est apparu un nombre important de problèmes liés aux intenses développements des algues filamenteuses, notamment en cours d'eau et en relation fréquente avec l'augmentation du niveau de l'eutrophisation des milieux (Collectif, 1997).

Les modifications les plus spectaculaires et les plus préoccupantes, en termes sanitaires et **halieutiques**, concernent les mortalités de poissons et l'apparition de goûts indésirables dans l'eau de consommation prélevée en rivière ou en lac (Anonyme).

Sur le milieu naturel et les autres espèces présentes

L'envahissement des rivières par les formations filamenteuses et l'entrée en dérive et en putréfaction des masses algales sont à l'origine de graves désordres en pleine eau, au niveau des substrats et au sein de l'édifice biologique (Anonyme).

Les mortalités de poissons liées aux proliférations algales ont deux causes principales, associées dans les situations les plus critiques :

- concernant l'oxygène dissous : consommation nocturne et apparition de teneurs très faibles ou nulles au point du jour, les poissons meurent par asphyxie ;
- concernant le pH : variations accrues avec des valeurs élevées en phase de **photosynthèse** active diurne. Si ces pics de pH sont conjugués à des températures maximales et à de fortes teneurs en ammoniac gazeux, très toxique à faibles doses pour les poissons, alors dans ce cas, les poissons meurent intoxiqués (Anonyme).

Sur l'homme et ses activités

L'apparition de goûts rendant l'eau impropre à la consommation sur les sites de prélèvements en rivière peut être associée à un ensemble de phénomènes : prolifération d'algues filamenteuses sur le fond et en pleine eau, variation du niveau de l'eau par éclusées, rejets de produits de décomposition, d'algues collectées par dégrillage de la prise d'eau, mortalité de toutes les espèces de poissons (Anonyme).

Le prolifération d'algues filamenteuses aboutit également à des gênes d'ordre esthétique (GEREA, 1999).

INTERVENTIONS HUMAINES / METHODES DE GESTION

En raison de l'augmentation régulière des rejets de nitrates et de phosphates dans l'eau, de la baisse des débits (prélèvements) et de la diminution de la vitesse du courant (barrages), les proliférations d'algues filamenteuses deviennent des phénomènes de plus en plus courants, dans les cours d'eau et les plans d'eau.

Cette évolution bien connue n'est pas souvent perçue comme une prolifération mais plutôt comme un problème de gestion de la ressource en eau, quantitativement et qualitativement.

Il s'agit pourtant bien d'un problème de prolifération, dû aux activités humaines et souvent accru par des conditions météorologiques (GEREA, 1999).

Les solutions proposées pour gérer les proliférations d'algues filamenteuses sont des interventions indirectes ; elles consistent essentiellement en des aménagements des bassins versants avec des lignes d'action préventives concertées (Anonyme) :

- réduire les apports nutritifs en provenance des bassins versants (activités agricoles, industrielles et domestiques) ;
- réduire le ruissellement, l'érosion des sols et le transit d'éléments fertilisants vers les rivières par création et entretien des haies, de boisements riverains, et de dispositifs de retenues d'eau de ruissellement et de revêtements de voirie filtrant ;
- maintenir une bande de terre suffisante (10 à 15 m) non cultivée le long des cours d'eau ;

- maintenir et entretenir les zones humides, les petits cours d'eau principaux ;
- maintenir l'hétérogénéité des profils longitudinaux et transversaux de la rivière et la diversité des habitats et des peuplements aquatiques en évitant les rectifications et les curages systématiques des cours d'eau ;
- optimiser les procédures d'assainissement (qualité des réseaux de collecte et des unités de traitements des eaux usées) et mise en place de traitements complémentaires physico-chimique ou biologique.

POUR EN SAVOIR PLUS

- Anonyme. *Proliférations des algues en Franche-Comté*. Direction Régionale de l'Environnement de Franche-Comté, Service de l'eau et des milieux naturels.
- Collectif. (1997). Biologie et écologie des espèces végétales proliférant en France. Synthèse bibliographique. In *Les études de l'Agence de l'eau n°68*, pp. 199 pp.
- GEREA (1999). Les espèces en prolifération. Espèces végétales et animales inféodées aux milieux aquatiques: impacts, enjeux et modes de gestion. In *Vivre avec la rivière; Agence de l'Eau Adour-Garonne*, Groupe d'Etudes et de Recherche en Ecologie Appliquée de Bordeaux-Montesquieu, pp. 1-55.
- Khalanski, M., Bonnet, M. & Gregoire, A. (1987). Evaluation quantitative de la biomasse végétale en Durance à l'aval de Serre-Ponçon. In *Hydroécologie appliquée*, vol. 1-2, pp. 55-89.
- Nauleau, O. (1988). *Analyse bibliographique des conditions du développement des algues coloniales à formations microscopiques*. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.
- Rodriguez, S. & Vergon, J. P. (1996). *Guide pratique de détermination générique des algues macroscopiques d'eau douce. Rapport d'étude pour le compte du Ministère de l'Environnement*. DIREN Franche-Comté, Besançon.
- Simons, J. & van Beem, A. P. (1990). *Spirogyra* species and accompanying algae from pools and ditches in The Netherlands. In *Aquat. bot*, vol. 37, pp. 247-269.
- Whitton, B. A. (1970). Biology of *Cladophora* in fresh water. In *Water res*, vol. 4, pp. 457-476.

Les cyanobactéries

Les cyanobactéries, encore appelées **cyanophycées** ou **algues bleues**, forment une classe de l'embranchement des **schizophytes** qui regroupe les cyanobactéries et les bactéries. Elles se différencient des autres algues par l'absence de noyau différencié, et des bactéries par la présence de chlorophylle a.

On ne peut donc pas les regrouper sous le vocable de macrophytes, qui sont majoritairement des plantes supérieures aquatiques fixées et intègrent au sens large les macroalgues, les **bryophytes** et les **ptéridophytes**. De plus certaines de ces espèces sont fixées, mais d'autres sont **planctoniques** (Collectif, 1997).

En plus des problèmes d'**anoxie** des milieux apparaissant lors de la dégradation d'un « bloom », certaines espèces se caractérisent par la production de toxines, ce qui pose un problème de gestion environnementale et toxicologique supplémentaire (Collectif, 1997).

TAXONOMIE

Les cyanobactéries sont des organismes ayant les caractéristiques de la cellule **procaryote**, doués de **photosynthèse aérobie**, semblable à celle des végétaux. Cette bivalence, procaryote et photosynthèse en **aérobie**, les a rendues difficilement classables. Il en découle le problème du choix des nomenclatures. Ainsi, selon les auteurs et les classifications, elles peuvent être nommées : cyanobactéries, cyanophycées (algues bleues) ou plus rarement schizophycées (algues ayant une reproduction par simple division) ou myxophycées (algues muqueuses) (Collectif, 1997).

Si les cyanobactéries sont apparentées aux bactéries par l'absence de noyau différencié (**ADN génomique** non isolé du **cytoplasme**) et par l'absence de **plaste** et de **vacuole**, elles se différencient des autres bactéries par la présence de **chlorophylle a** (seule chlorophylle présente chez les cyanobactéries) et des pigments hydrosolubles : les **phycobilines** bleues (**phycocyanine**) et rouges (**phycocérytrine**) (Collectif, 1997).

Trois familles de cyanobactéries sont recensées dans cette fiche :

D :	Schizophytes
Cl :	Cyanobactéries
O :	Chroococcales
F :	Chroococcaceae

Famille représentée par les genres :

Mycrocystis sp.

D :	Schizophytes
Cl :	Cyanobactéries
O :	Nostocales
F :	Nostocaceae

Famille représentée par les genres :

Anabaena sp.,
Aphanizomenon sp.,
Nostoc sp.

D :	Schizophytes
Cl :	Cyanobactéries
O :	Nostocales
F :	Oscillatoriaceae

Famille représentée par les genres :

Lyngbia sp.,
Oscillatoria sp.

BIOLOGIE

Description

Morphologie

Les cyanobactéries peuvent être soit **benthiques** soit planctoniques, on peut d'ailleurs rencontrer les 2 types d'espèces dans un même genre (Collectif, 1997).

Aspect macroscopique

Les espèces benthiques se présentent soit sous la forme de boules gélatineuses (*Nostoc*) soit sous la forme de croûtes, de plaques, de mèches plumeuses (*Oscillatoria*, *Lyngbia*, *Phormidium*). La couleur est relativement variable de bleu-vert pour les premières à noirâtre pour les secondes (Collectif, 1997).

Les planctoniques sont de deux types : soit filamenteuses pour *Anabaena*, *Oscillatoria* et *Aphanizomenon*, soit en forme de petites boules plus ou moins digitées pour *Microcystis* (Collectif, 1997).

Reproduction et propagation

Aucune reproduction sexuée n'est actuellement connue, mais il existe des cellules spécialisées qui présentent des formes particulières de reproduction (**baeocystes**, **hormogonies**) ou des formes de survies (**akinètes**) :

- les hormogonies se rencontrent dans le cas des espèces se développant en trichomes, ce sont des fragments pluricellulaires détachés d'un filament et faisant office de boutures (Collectif, 1997) ;
- les baeocystes se rencontrent généralement dans le cas des espèces unicellulaires. La cellule végétative grossit, sa paroi s'épaissit. Des divisions cellulaires multiples se produisent, entraînant la rupture de la paroi et de nombreuses baeocystes sont libérés (Collectif, 1997) ;
- les akinètes sont des spores durables unicellulaires à paroi épaissie. Ces cellules se forment quand les conditions sont défavorables et germent quand les conditions s'améliorent (Collectif, 1997).

Croissance

Bien que certaines espèces benthiques (*Oscillatoria*, *Lyngbia*) démarrent leur développement à la fin de l'hiver (février-mars), la prolifération des espèces planctoniques (*Aphanizomenon*, *Microcystis*) a lieu pendant la période chaude et ensoleillée de l'été (Collectif, 1997).

Biomasse

Les espèces benthiques recouvrent généralement le fond des **écosystèmes** aquatiques. Souvent les perturbations physiques (crues) réduisent considérablement leur recouvrement. Après trois semaines de conditions favorables, elles peuvent recoloniser le même milieu de façon exhaustive.

Les espèces planctoniques colonisent les couches superficielles des eaux stagnantes et peuvent engendrer des teneurs en chlorophylle a de 300 à 500 µg/l (Collectif, 1997).

DISTRIBUTION ACTUELLE

La plupart des espèces proliférantes sont présentes sur l'ensemble du territoire français.

Elles sont bien connues : des retenues de la Loire, de Lorraine et des Ardennes ; de nombreux sites de Bretagne ; de certains lacs des Alpes et de quelques-uns du Jura (Collectif, 1997).

Dans le bassin Artois-Picardie, elles sont signalées dans la retenue du Val Joly (Collectif, 1997).

BIOTOPES

Les espèces planctoniques colonisent les milieux stagnants (lacs, étangs, retenues) (Collectif, 1997).

Les espèces benthiques sont rencontrées aussi bien dans les eaux stagnantes que courantes. Elles se développent dans des eaux suffisamment claires, de préférence sur les substrats vaseux pour les oscillatoriacées, sur les galets ou les blocs pour les nostocacées (Collectif, 1997).

Paramètres physiques

Eclaircissement

Les cyanobactéries ont de moins grands besoins en lumière pour leur croissance que l'ensemble des microalgues qui ne sont plus compétitives dans des environnements plus sombres.

Ce phénomène est lié à la présence chez les cyanobactéries, de pigments particuliers : les phycobilines. Elles se comportent comme des pigments antennaires (capteurs de rayonnements lumineux) ce qui confère aux algues bleues un avantage écologique considérable par rapport aux microalgues dans des conditions de lumière de faible intensité. Ces pigments absorbent les **photons** dans la zone spectrale de 500 à 650 nm. Cette zone d'absorption est donc complémentaire à celle des caroténoïdes et de la chlorophylle a (autres pigments antennaires des cyanobactéries) (Collectif, 1997).

Certaines espèces présentent des particularités :

- *Oscillatoria rubescens*, grâce à sa composition pigmentaire (phycocyanine et phycoérythrine), a la capacité d'utiliser tout le spectre lumineux, ce qui peut expliquer qu'un faible éclaircissement suffit à lui assurer une croissance maximale (Collectif, 1997) ;
- *Microcystis aeruginosa* est sensible aux fortes radiations lumineuses, comme toutes les cyanobactéries, mais est capable d'utiliser ces fortes radiations sans que son équipement **photosynthétique** soit inhibé. En effet, ce dernier est protégé par des pigments de la famille des caroténoïdes ainsi que par une adaptation physiologique : groupées en colonies, les cellules situées à l'intérieur de cet édifice sont protégées des forts rayonnements lumineux (Collectif, 1997) ;
- de faibles intensités lumineuses conduisent à la production de vacuoles gazeuses chez *Anabaena variabilis*. Inversement de forts flux lumineux peuvent conduire à une diminution du nombre de vésicules gazeuses accompagnée d'une accumulation de **polysaccharides**. Ainsi les cellules perdent de leur capacité à flotter par augmentation de leur densité (Collectif, 1997).

En fait, les cyanobactéries sont capables de **réguler leur flottabilité en réponse à un changement de leur taux de photosynthèse** : en effet, si l'intensité des rayons lumineux augmente, l'énergie nécessaire à la photosynthèse afflue ce qui induit l'accroissement du taux de photosynthèse, il y a alors une production élevée de sucres que les cyanobactéries accumulent ainsi elles augmentent leur densité (donc leur poids), ce qui leur permet de descendre dans la masse d'eau et de se protéger des rayons lumineux.

Par conséquent, les nuits longues semblent favoriser la flottabilité et la formation de blooms. Par contre, les nuits courtes paraissent modifier l'équilibre entre la production et la consommation glucidique des cellules au point de les rendre moins flottantes ce qui a pour conséquence de mieux les répartir dans la colonne d'eau (Collectif, 1997).

Température

La température influence grandement la présence de cyanobactéries dans un **écosystème** donné. Elle va non seulement déterminer leur **biomasse** mais elle pourra être l'un des facteurs responsables de l'**efflorescence** (biomasse en excès à la surface de l'eau) (Collectif, 1997).

Les cyanobactéries ont en général une température optimale de croissance plus élevée que les autres microalgues. Pour une température supérieure à 20°C elles sont les plus compétitives. Cependant, les températures optimales de croissance doivent être nuancées selon les espèces. En effet les poussées d'*Anabaena* surviennent lorsque la température de l'eau est aux environs de 15 à 17°C. Pour *Aphanizomenon* et *Microcystis*, leur optimum de croissance est respectivement de 17 à 19°C et de 18 à 21°C. Pour le genre *Oscillatoria*, les avis divergent : certains auteurs déclarent que cet organisme se comporte comme un **sténotherme** d'eau froide ayant une température optimale décroissante comprise entre 5 et 10 °C car l'espèce est abondante dans le lac Léman en novembre, alors qu'on ne l'y observe pas en septembre (Pelletier & Druart, 1968) ; d'autres ont montré que l'optimum de croissance d'*Oscillatoria rubescens* se situe entre 25 et 30 °C et que, si cet organisme est visible en surface en hiver et se tient dans les couches profondes en été, ce serait plutôt le fait de l'éclaircissement et non de la température (Collectif, 1997).

La température associée à d'autres facteurs serait donc responsable du déclenchement du phénomène d'efflorescence. En effet, lors de **carences** avancées en éléments nutritifs, les cyanobactéries peuvent survivre pendant un temps plus ou moins long avant leur dépérissement. Mais à ce stade, elles sont plus sensibles aux changements défavorables des conditions du milieu comme un abaissement de la température de l'eau par exemple. Une explication possible de ce phénomène est illustrée par le comportement de *Microcystis aeruginosa* qui en dessous de 10 °C semble avoir perdu sa capacité à réguler tout mouvement vertical dans la colonne d'eau (Collectif, 1997).

Il est important de signaler qu'il est possible d'avoir une biomasse assez importante de cyanobactéries et qu'aucune efflorescence n'ait lieu. En fait s'il n'y a pas accumulation à la surface, la présence d'algues bleues passe inaperçue (Collectif, 1997).

Agitation du milieu, courant

Les cyanobactéries benthiques affectionnent les zones calmes ou à faible courant. Les courants trop forts arrachent cette couverture biologique et l'évacuent vers l'aval à la dérive (Collectif, 1997).

Les mouvements turbulents provoqués soit par la présence de courants, soit par le vent, sont défavorables à la croissance des cyanobactéries. Ces mouvements ont pour effet une homogénéisation de la colonne d'eau (disparition de la stratification thermique) ; or les cyanobactéries sont adaptées à une stratification stable de la masse d'eau. En période d'homogénéisation, la régulation de la densité des cellules par les pseudo-vacuoles à gaz n'est plus efficace, les cyanobactéries sont dispersées dans toute la couche d'eau. Une partie de la population étant entraînée à des niveaux où l'éclairement ne lui est pas propice, les conditions deviennent défavorables (Collectif, 1997).

Profondeur

Les proliférations ont lieu en général dans les profondeurs d'eau faibles (inférieures à 2 m). Mais certaines espèces comme *Microcystis farlowiana* dans le lac du Bourget peuvent supporter plusieurs dizaines de mètres d'eau (Collectif, 1997).

Substrat

Le substrat est composé la plupart du temps d'éléments fins sous forme de vase pour les espèces benthiques filamenteuses, alors que les granulométries les plus grossières (dalles, blocs, sables) accueillent plutôt les espèces à thalle gélatineux (Collectif, 1997).

Paramètres chimiques

La limite de pH acide pour les cyanobactéries est comprise entre 4 et 5 car aucune espèce n'a jamais été trouvée dans un habitat de pH inférieur à 4. Ceci s'explique par le fait que chez les cyanobactéries, l'équipement photosynthétique est dans le cytoplasme donc au contact direct des **protons** or la chlorophylle est une molécule très sensible à l'acidité (Collectif, 1997).

Par contre, l'élévation de pH favorise les algues bleues car elles peuvent assimiler les ions carbonates grâce à la présence d'une anhydrase carbonique (enzyme). En effet, à pH élevé le CO₂ libre n'est présent qu'à l'état de traces dans l'eau, le carbone inorganique dissous étant principalement sous forme d'ions HCO₃⁻, l'anhydrase carbonique transforme ces ions bicarbonate en CO₂ (Collectif, 1997).

L'absence de CO₂ à pH élevé ne posait aucun problème aux algues bleues puisqu'elles possèdent une anhydrase carbonique. De plus, il a été démontré que certaines espèces (par exemple *Oscillatoria rubescens*) pouvaient être hétérotrophes et assimiler des acides aminés présents dans le milieu. Les cyanobactéries sont également capables de réassimiler leurs propres **exudats** ce qui limite la fuite de **carbone** vers le milieu extérieur (Collectif, 1997).

Le **phosphore** est assimilé par les microalgues et cyanobactéries sous forme d'orthophosphates (PO₄³⁻). Le phosphore étant un facteur limitant pour la croissance du **phytoplancton**, il en résulte une compétition entre les différentes espèces. Cependant les algues bleues sont également capables d'assimiler le phosphate sous diverses autres formes : polyphosphates, composés organiques phosphatés, grâce à des phosphatases produites par la membrane cellulaire. Des réserves de phosphore peuvent également être effectuées à l'intérieur des cellules. Ces dernières seront utilisées lors de carence en phosphore **exogène** (Collectif, 1997).

Les sources d'**azote** sont diverses : nitrates, nitrites, ammonium, azote atmosphérique, azote organique. C'est la forme ammoniacale qui est préférentiellement assimilée mais les nitrates sont la forme la plus fréquente d'azote minéral dans les eaux naturelles normalement oxygénées. Certaines cyanobactéries sont capables, en plus, d'absorber l'azote organique, d'autres à **hétérocystes** assimilent l'azote atmosphérique, celles qui en sont dépourvues ont la capacité de descendre dans la colonne d'eau grâce à des pseudo-vacuoles à gaz dans des zones plus riches en azote lors de pénurie de cet élément en surface. Lors d'un excès d'azote les algues bleues synthétisent des protéines qu'elles pourront utiliser si la teneur en cet élément venait à diminuer (Collectif, 1997).

Le **rapport azote/phosphore** favorisant leur présence est bas : inférieur à 7/1, la dominance de la communauté planctonique par les cyanobactéries est, en fait, la caractéristique de nombreux écosystèmes aquatiques eutrophisés. (Collectif, 1997).

IMPACTS POSITIFS

Sur le milieu naturel et les autres espèces présentes

Sur l'homme et ses activités

IMPACTS NEGATIFS

Sur le milieu naturel et les autres espèces présentes

Le développement massif de cyanobactéries planctoniques provoque une efflorescence synonyme du terme anglophone «bloom». Cette efflorescence est généralement caractérisée à la fois par une coloration de l'eau bleue, verte ou rouge, selon la pigmentation des espèces proliférantes et par une réduction importante de la transparence qui peut devenir inférieure à 0,1 m (Collectif, 1997).

En fonction de leur pigmentation, les cyanobactéries planctoniques sont capables au cours de proliférations intenses de donner une coloration à l'eau. Elle peut être rouge lie de vin pour les *Oscillatoria rubescens* (sang des Bourguignons) et peut aller jusqu'au bleu-vert pour les genres *Aphanizomenon* et *Microcystis* (Collectif, 1997).

Lors de la disparition d'un bloom à cyanobactéries, des phénomènes d'anoxie, liés à la décomposition d'une importante quantité de matières organiques, peuvent avoir de graves conséquences sur l'écosystème. On peut ainsi observer des sursaturations en O₂ dissous en fin de journée dépassant les 20 mg/l. Simultanément en fin de nuit, on assiste à des déficits importants avec des valeurs inférieures à 0,5 mg/l. Cette désoxygénation s'accompagne souvent de l'apparition d'ammoniac, gaz très toxique pour les poissons à des pH élevés (Collectif, 1997).

La présence de cyanobactéries perturbe la croissance des autres groupes d'algues, principalement les chlorophycées, par compétition vis-à-vis de deux éléments vitaux : la lumière et les nutriments. La prolifération des différentes espèces va produire un épuisement du milieu en sels minéraux, principalement en phosphore et azote ainsi qu'une diminution de la lumière reçue par augmentation de la turbidité du milieu (Collectif, 1997).

Les cyanobactéries ne constituent pas une nourriture appréciée des consommateurs, la présence de paroi mucilagineuse empêche le broutage par le zooplancton brouteur ou filtreur. Ainsi, le zooplancton, placé dans un bloom de bactéries ne va pas pouvoir s'en nourrir et va donc mourir d'**inanition**. Comme il disparaît, les organismes qui s'en nourrissent ne vont plus avoir assez de nourriture pour survivre. De ce fait, c'est toute la chaîne alimentaire qui est affectée, c'est pourquoi les blooms à cyanobactéries sont considérés comme des « impasses trophiques » (Collectif, 1997).

Les algues bleues excrètent des toxines qui atteignent la plupart des organismes de l'écosystème. Ces toxines peuvent avoir une action défavorable sur la nutrition et la reproduction et même entraîner la mort des prédateurs. Des organismes aussi divers que les anodontes, les chironomes, les limnées, les daphnies, les rotifères et les poissons sont plus ou moins sensibles aux toxines excrétées dans le milieu par *Microcystis*. (Collectif, 1997).

La plupart des cyanobactéries peuvent produire dans des conditions pas toujours bien définies trois types de toxines : hépatotoxines, neurotoxines, et dermatotoxines. Les deux premières catégories de toxines ont causé l'empoisonnement d'animaux (bovins, équins, chiens, poissons) dans le monde. En Europe, les pays scandinaves ont signalé des cas depuis 1933 (Collectif, 1997).

Sur l'homme et ses activités

L'homme n'est pas hors d'atteinte des trois types de toxines synthétisées par les algues bleues, à la fois par ingestion de l'eau ou par contact de la peau aux dermatotoxines, des irritations aux cours de baignades sont parfois signalées (Collectif, 1997).

Les hépatotoxines sont connues pour inhiber la formation de phosphatases protéiques (enzyme) chez les mammifères et pour être un facteur favorable de développement de tumeurs (Collectif, 1997).

En outre, ces proliférations ont pour conséquence de réduire considérablement la transparence de l'eau jusqu'à 0,1 ou 0,2 m et de ce fait l'usage baignade s'en trouve interdit (Collectif, 1997).

Les odeurs de terre et de moisi rencontrées parfois dans l'eau potable sont liées à l'existence du **2-méthylisobornéol** et de la **géosmine**, substances émises par les cyanobactéries en association avec les actinomycètes. Ces mêmes produits peuvent être absorbés par les poissons via les voies digestives et par les membranes branchiales. Les goûts cités ci-dessus se retrouvent alors dans la chair du poisson et sont généralement connus sous le vocable « goût de vase ». Ces algues sécrètent d'autres substances malodorantes notamment des substances phénolées qui, lors de la désinfection de l'eau sont transformées en **chlorophénols** et rendent l'eau impropre à la consommation (Collectif, 1997).

INTERVENTIONS HUMAINES / METHODES DE GESTION

Il est nécessaire de limiter le développement des cyanobactéries (Anonyme).

Quand la prolifération de ces algues est la conséquence d'une augmentation de l'apport en nutriments, toutes les actions visant à les réduire limiteront leur croissance et leur extension. Ces actions préventives peuvent être (Anonyme) :

- la mise en œuvre de filières de déphosphatation pour les rejets domestiques ;
- limitation des apports d'origine agricole par une meilleure gestion des effluents d'élevage, de la fertilisation et de la maîtrise de l'érosion ;
- contribution des usagers, surtout par l'utilisation de lessives sans phosphates.

Comme les algues bleues sont sensibles à l'homogénéisation de la colonne d'eau dans les plans d'eau, des opérations de **déstratification** de la masse d'eau peuvent freiner leur développement. Cependant le coût élevé de cette technique limite actuellement son utilisation aux retenues destinées à produire de l'eau potable (Anonyme).

POUR EN SAVOIR PLUS

Anonyme. *Vivre avec la rivière : les végétaux aquatiques: le point dans le bassin Adour-Garonne*. Agence de l'eau Adour-Garonne.

Collectif. (1997). *Biologie et écologie des espèces végétales proliférant en France*. Synthèse bibliographique. In *Les études de l'Agence de l'eau n°68*, pp. 199 pp.

Pelletier, J. & Druart, J. C. (1968). Colonisation du Léman par *Oscillatoria rubescens*. In *Revue algologique*, vol. 9, pp. 187-193.