

# **ELIMINATION DES ALGUES TOXIQUES ET DE LEURS TOXINES**

## **Efficacité des filières de traitement**

V. BONNELYE\*, J. MOLES\*\*, P. MOUCHET

\*Degrémont, 87 chemin de Ronde, 78 290 Croissy sur Seine

\*\*Degrémont, 183 avenue du 18 juin 1940, 92 500 Rueil Malmaison

### **Introduction – problématique :**

Le traiteur d'eau rencontre aujourd'hui plusieurs difficultés dans la définition et l'exploitation des unités de production d'eau potable à partir de ressources sujettes à des blooms de Cyanobactéries :

la concentration en algues fluctue dans le temps,

la composition de la population d'algues, évolue au cours de l'année,

les algues bleues sont plus ou moins toxiques (0 à plusieurs milliers de  $\mu\text{g}$  de toxine par g de matière sèche rapportés),

la présence de toxines dans les eaux varie suivant la période (0 à plusieurs milliers de  $\mu\text{g}$  de toxine par litre d'eau rapportés),

plusieurs types de toxines peuvent être présents.

De plus, lors de la définition de la filière de production d'eau potable, la qualité de la ressource en terme d'algues n'est pas toujours connue : ce point évolue avec un meilleur suivi de la qualité biologique des ressources en eau.

Les Cyanotoxines sont généralement localisées à l'intérieur des cellules. Lorsque les cellules sont intactes, il est impératif de les séparer de l'eau sans les endommager ; des technologies de séparation des particules sont employées. D'autre part, certaines toxines sont extracellulaires, et la lyse des cellules entraîne un passage des toxines intracellulaires dans le milieu naturel : dans ce cas, il est nécessaire de mettre en œuvre des technologies de séparation de la pollution dissoute. L'exposé qui va suivre est donc articulé autour de ces deux objectifs : séparer les algues particulaires de l'eau et éliminer les toxines en solution.

### **Elimination des algues particulaires**

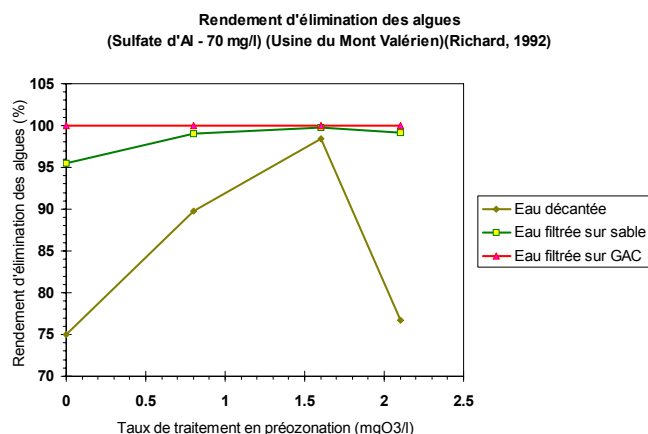
L'élimination des algues particulaires est basée sur des techniques classiques de clarification des eaux tel que la coagulation/séparation et la filtration membranaire. Une attention grandissante a été apportée au fil du temps à la résistance des algues aux traitements mis en œuvre (Hart et al., 1998) : impact du coagulant, préoxydation et autres réactifs favorisant l'élimination des algues en coagulation – floculation – séparation, transferts hydrauliques (pompe, chutes d'eau...), ceci afin d'éviter l'ouverture des cellules et le relargage des composés intracellulaires, matières organiques et toxines.

La coagulation doit être réalisée à son optimum en terme de taux de traitement (optimum de la dose jar test ou à l'annulation du potentiel Zêta), de pH, de temps de coagulation...(Mouchet, 1979). La coagulation, mise en œuvre depuis des décennies, a fait l'objet de différentes tentatives d'amélioration. Ainsi, l'emploi de la préchloration pour améliorer les rendements d'élimination des algues particulaires a été testé avec succès dès le milieu des années 60 sur l'eau de la Seine, permettant d'atteindre de façon fiable un rendement d'élimination de 96-98% sur un appareil à lit de boues (Pulsator).

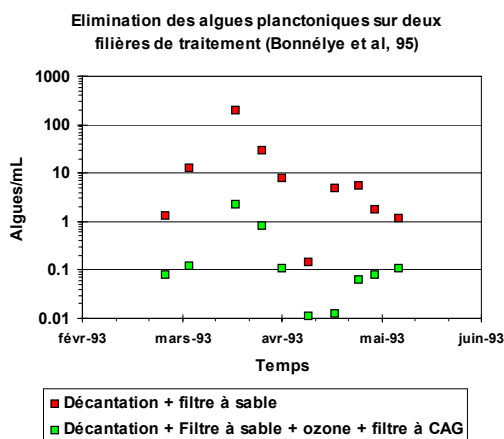
L'emploi du chlore a toutefois été remis en cause lors de la mise en évidence de composés halogénés, sous-produits d'oxydation tel que les trihalométhanes, qui font aujourd'hui l'objet d'une réglementation. Parallèlement à la remise en cause du chlore en prétraitement de la coagulation, des essais ont été réalisés avec un autre oxydant, l'ozone, qui présente l'avantage de donner de bons résultats à des taux de traitement plus faibles (Figure 1), de l'ordre de 1-1.5 mg/L. Un relargage de toxines d'algues a néanmoins été observé par certains auteurs (Hart et al, 1998)

L'emploi de sulfate de cuivre en amont de la coagulation a été testé ponctuellement afin d'améliorer le rendement d'élimination des algues lors de la clarification (Rigal et al, 94) ; cette pratique a depuis été abandonnée, certains auteurs rapportant le relargage de toxines d'algues lorsque des Cyanobactéries toxiques sont mises en contact avec du  $\text{CuSO}_4$  (Drikas et al, 2001).

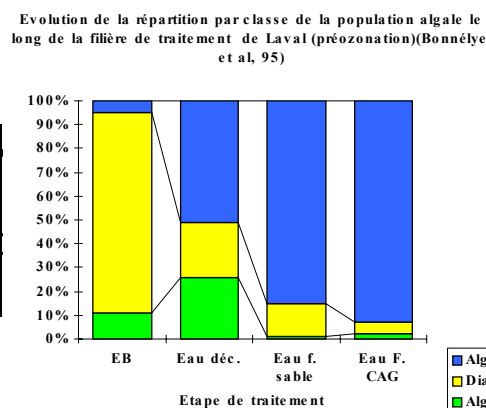
Le choix du séparateur est fonction de la nature de la ressource (rivière ou retenue), de la qualité générale de l'eau à traiter (turbidité, matières organiques, algues, température), de la variabilité de la ressource (crue, ...), de la population algale généralement rencontrée et des traitements associés (préoxydation, charbon actif en poudre). Au même titre que pour éliminer les particules, l'association de plusieurs étapes de clarification permet d'augmenter l'abattement des algues (figure 2). Pourtant, l'optimisation de la clarification (conditions de coagulation) est d'autant plus délicate que la population algale est riche en Cyanobactéries (figure 3).



**Figure 1**



**Figure 2**



**Figure 3**

Enfin, les membranes de clarification (microfiltration et ultrafiltration), dernières-nées des techniques de clarification, constituent une barrière physique permettant une élimination totale des algues particulaires. Là encore, plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer les risques de dommages des cellules algales, dommages causés par la filtration sur membrane (Petrusevski et al., 1995, M. Drikas et al., 2001), par une recherche de toxines dans les eaux produites suivant les différents modes de fonctionnement (frontal et tangentiel), et durant le rétrolavage, sans qu'il ne soit mis en évidence de toxine dans l'eau traitée. Pour le traitement des eaux présentant des risques d'eutrophisation, il est toutefois

recommandé de réaliser un prétraitement en amont de l'étage de membrane pour limiter le colmatage de ces dernières et optimiser le fonctionnement.

## **Elimination des toxines d'algues**

Le traitement de l'eau d'une ressource présentant des développements de Cyanobactéries potentiellement toxiques doit inclure un traitement d'élimination des toxines d'algues (et des goûts et odeurs généralement associés à ces fleurs d'eau). Différentes voies d'élimination des toxines d'algues ont été explorées à ce jour, techniques qui sont similaires à celles mises en œuvre pour éliminer les micropolluants :

l'oxydation par différents agents chimiques,  
la séparation par membrane (membrane de nanofiltration et d'osmose inverse),  
l'adsorption sur charbon actif.

L'oxydation des toxines d'algues peut être réalisée par différents oxydants : le chlore, l'ozone ou les UV. En règle générale, il est recommandé de n'appliquer les oxydants (généralement utilisés en désinfection) qu'après élimination des algues cellulaires, pour éviter de casser les cellules et relarguer des composés intracellulaires. Les sous-produits formés n'étant pas tous identifiés, les études doivent être conduites en terme d'élimination des toxines et d'évolution de la toxicité de l'eau.

L'oxydation des toxines d'algues par l'ozone dépend de la demande en ozone de l'eau (COD, alcalinité...), du temps de contact et de la toxine : Microcystine LR et LA, Anatoxin-a bien éliminées, et ceci dès l'obtention d'un résiduel d'ozone dans l'eau (Rosinato et al., 1998). La Saxitoxine est plus faiblement oxydée. Une étude menée par l'AWWARF (90904 - 2002) conclut à une diminution de la toxicité des eaux ozonées, sans mise en évidence de sous-produits toxiques (inhibition de la phosphatase, toxicité sur la souris)

Plusieurs études rapportent l'efficacité des UV pour oxyder les toxines. Les conditions optimales doivent encore être déterminées, avec en particulier une dose à appliquer plus élevée qu'en désinfection, et la nécessité de mettre en œuvre un catalyseur. L'emploi de l'oxydation UV nécessite un complément d'information sur cette application.

L'élimination des toxines par rétention membranaire (nanofiltration – osmose inverse) est liée au taux de rejet de ces molécules organiques :

au poids moléculaire des toxines considérées (anatoxines, 150 à 250 dalt ; saxinotoxines, 250 à 450 dalt ; microcystines, 900 à 1100 dalt),  
au rayon hydraulique des molécules,  
à la charge de ces molécules.

Les principaux résultats de la littérature concernent l'élimination de la microcystine LR, avec des concentrations rapportées toujours inférieures à 1 µg/L dans le perméat. Outre le taux de rejet de plus petites toxines qui n'est pas toujours connu, ces techniques posent toujours le problème du traitement des rejets (concentrats) et de la reminéralisation de l'eau traitée.

L'adsorption sur charbon actif donne de bons résultats : elle peut être mise en œuvre sous deux formes, charbon actif en poudre associé à un étage de clarification conventionnel ou dans un réacteur spécifique (type couplage CAP et ultrafiltration) ou filtre à charbon actif en grain CAG.

La capacité d'adsorption du matériau est fortement liée à la compétition avec les matières organiques, comme l'indique la figure 4, qui présente, pour deux qualités d'eau (eau ultrapure et eau de Seine), l'évolution de la concentration résiduelle en Microcystine LR en fonction du taux de traitement en (CAP)(Mouchet et al, 1998). Mis en œuvre sous la forme de CAG, le dimensionnement du filtre doit prendre en compte :

le type de charbon actif,  
la capacité d'adsorption, les cinétiques,  
la durée de vie du CAG, liée à la compétition matière organique/toxines.

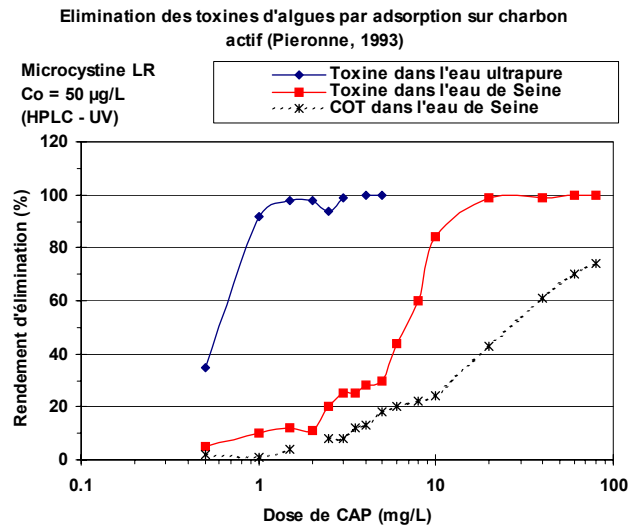


Figure 4

La biodégradation des toxines (microcystine LR, LA, YR, RR) est rapportée par plusieurs auteurs (Saitou, 2002, 2003, AWWARF 2002) : voie potentielle d'élimination, considérée aujourd'hui comme un plus par rapport à la durée de vie du CAG.

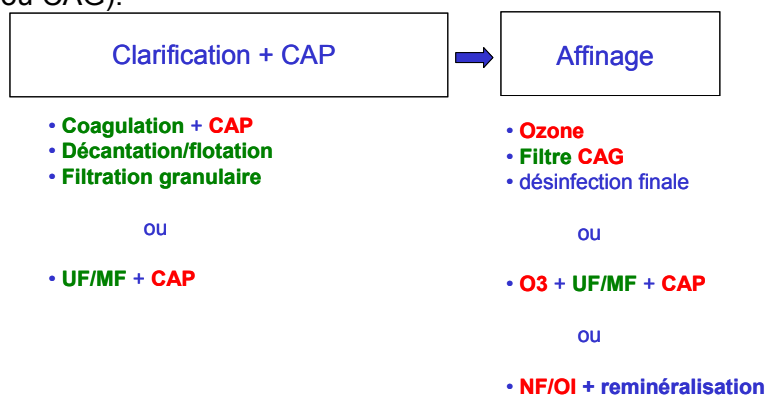
## Conclusion

L'élimination des algues et de leurs sous-produits (principalement les toxines, mais aussi les goûts et odeurs) est au cœur des préoccupations des traiteurs d'eau. La première priorité est d'éliminer les cellules algales intactes, le plus en amont possible dans la chaîne de traitement, par :

coagulation/flottation ou décantation/ filtration,  
coagulation directe sur filtre à sable ou filtre bicouche,  
filtration membranaire.

Ce traitement de séparation de particules doit être impérativement complété par des techniques d'élimination des toxines en solution, avec principalement (Bruchet et al., 1998) : oxydation (ozone principalement), adsorption sur charbon actif (CAP ou CAG).

Différentes filières sont donc possibles, les ouvrages de séparation et les réacteurs de contacts devant être agencés afin de respecter certaines règles énoncées dans cet exposé : séparer les algues particulières avant tout risque de détérioration des cellules, optimiser la coagulation (taux de traitement en coagulant, pH, temps de contact,...).



Si une étape d'élimination des toxines est nécessaire, appliquer le charbon actif sur une eau faiblement chargée en matière organique pour limiter la compétition matières organiques/toxines.

## **Bibliographie :**

- AWWA Research Foundation (2002) : "Removal of algal Toxins from Drinking Water Using Ozone and GAC."- AWWARF & AWWA, 90904, 133 p.
- BONNELYE, V., BAUDIN, I., BERNAZEAU, F., GISLETTE, P., MOUCHET, P., (1995) : "Elimination des algues planctoniques : efficacité des filières de traitement".- *TSM - L'EAU*, Oct 95, pp 721-727.
- BRUCHET A., BERNAZEAU F., BAUDIN I., PIERONNE P. (1998) : " Algal toxins in surface waters: analysis and treatment."- *Water Supply*, Vol. 16, Nos 1/2, 611-623.
- HART J., FAWELL J.K., CROLL B. (1998) : " Algal toxins in surface waters: origins and removal during drinking water treatment processes. The Fate of Both intra- and extracellular toxins during drinking water treatment."- *Water Supply*, Vol. 16, Nos 1/2, 611-623.
- MOUCHET P. (1979) : " A propos des algues toxiques..."- *L'Eau et L'Industrie*, n°33, mars 1979, pp36-42 et pp 50-54.
- MOUCHET, P. ; BONNELYE, V. (1998) : "Solving algae problems : French expertise and world-wide applications".- *Journal Water SRT - Aqua*, 47(3), 125-141.
- MOUCHET J. MOUCHET P. (1972) : " Estimation quantitative du plancton dans les eaux de surface. Application au traitement des eaux".- *La technique de l'eau et de l'assainissement*, 2, pp 19-26.
- PETRUSEVSKI, B., BOLIER, G., BREEMEN, A.N., ALAERTS, G.J., (1995) : " Tangential Flow filtration : a method to concentrate freshwater algae."- *Wat. Res.* Vol.29, n°5, pp 1419-1424.
- RICHARD, Y. ; DALGA, N. (1992) : "Preozonation related to Algae removal ; a case history : the plant of Mont Valérien".- IOA, Symposium Afrique du Sud (26-28 oct. 92) - *Ozone Sci Eng* 1993 ; 15, pp445-456.
- RIGAL, S. ; DAPAEPE (1994) : "Evaluation de la population algale et des caractéristiques des eaux avec et sans traitement au sulfate de cuivre dans une filière de décantation - filtration".- Colloque AGHTM - Nîmes – 1994.
- ROSINATO J., NICHOLSON B.C., PIERONNE P. (1998) : " Destruction of Cyanobacterial Toxins By Ozone."- *Ozone Science & Engineering*, Vol. 20, pp 223-238.