

Les mousses lacustres sur les lacs aquitains



Octobre 2011



La rédaction et la mise en forme du présent document ont été réalisées par Alain Dutartre. Les investigations et analyses diverses sont l'œuvre (par ordre alphabétique) de Vincent Bertrin, Muriel Bonnet, Maryse Boudigues, Maria Cellamare, Brigitte Delest, Christophe Laplace, Nicolas Mazzella, Brigitte Méchin et Jacky Védrenne.

Photos de couverture : Maria Cellamare, 2006

Bilan et synthèse

En 2005 et 2006, des apparitions assez fréquentes de mousses lacustres blanchâtres (Annexe 1) sur les rives des lacs aquitains en Gironde et dans les Landes (du Nord au Sud, lacs de Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse) avaient inquiété usagers, gestionnaires et élus et avaient été régulièrement évoquées dans certains articles de la presse locale (Annexe 2).

Les manifestations répétées de ces inquiétudes avaient conduit l'Agence de l'Eau Adour-Garonne à demander une synthèse bibliographique au Groupement d'Intérêt Scientifique ECOBAG (Annexe 3) pour faire le point sur les connaissances acquises sur ce phénomène et proposer des investigations complémentaires destinés à caractériser ces mousses, leurs causes et les risques potentiels vis-à-vis des usages et des milieux.

Ces apparitions de mousses n'étaient toutefois pas une nouveauté puisque en 1973, déjà, des d'échantillons de ces mousses avaient été prélevés par le CTGREF à l'occasion d'un premier programme de recherche sur la qualité des eaux des lacs. Les analyses réalisées alors par l'Institut du Pin avaient fait l'objet d'une annexe dans un premier rapport partiel du CTGREF (Annexe 4)

Les commentaires issus de ces analyses précisaient la composition chimique de ces mousses, dépourvues de détergents et comportant des acides gras et des sucres complexes (ou "polysaccharides"), ce qui en démontrait l'origine organique. La conclusion de l'Institut du Pin était que ces mousses pouvaient provenir d'un mucilage¹ issu d'une "*plante à fleurs très rencontrée dans ces terrains... Littorella lacustris*". Notons que cette espèce de plante aquatique protégée est effectivement présente dans les quatre lacs aquitains. Un autre élément permettant de relativiser ces phénomènes était que des personnes âgées de Sanguinet nous avaient alors indiqué que de tels développements de mousse s'étaient déjà produits dans le passé.

Afin d'améliorer les connaissances sur ces mousses et faire un point sur les enjeux réels de leurs apparitions, l'Agence de l'Eau a ensuite lancé une étude spécifique sur ce phénomène en partenariat avec l'Unité de Recherche Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux du Cemagref qui, depuis le début des années 70, participe aux études de qualité des plans d'eau douce du littoral aquitain. Le principal objectif de cette étude était de tenter de préciser la nature et les causes d'apparition de ces mousses (Annexe 5).

En parallèle à des prélèvements et analyses réalisés en interne par le Cemagref, la mise en place d'un "réseau d'alerte", couvrant les quatre lacs, avait été proposée. Les objectifs de ce réseau étaient de créer un partenariat direct avec les gestionnaires locaux et les parties prenantes concernées et de permettre une information rapide sur l'apparition des mousses afin que les agents du Cemagref puissent réaliser eux-mêmes les prélèvements de mousse dans des conditions adéquates et dans les meilleurs délais possibles.

¹ "Substance végétale ayant la propriété de gonfler dans l'eau", Dictionnaire Le Petit Robert, édition 1967.

Suite à une invitation de l'Agence de l'Eau (Annexe 6) une réunion de démarrage de ce réseau a eu lieu en avril 2007. Elle a rassemblé une quinzaine de personnes (Annexe 7) représentants les quatre lacs et les deux Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) des lacs ("Born et Buch" et "Lacs médocains"). Elle a permis de présenter la démarche poursuivie dans le cadre du partenariat Agence / Cemagref, dont des fiches d'informations (Annexe 8) aux interlocuteurs sur le terrain et aux standardistes du Cemagref pour faciliter le recueil des informations nécessaires au bon déroulement du programme.

Cette réunion a aussi été l'occasion de présenter les premiers résultats des analyses réalisées au Cemagref (Annexe 9). Ils ont confirmé l'absence de détergents dans les échantillons analysés. Des déterminations des algues présentes dans ces mousses indiquaient la présence de diatomées et de cyanobactéries pouvant également produire des mucilages susceptibles de créer des mousses dans des conditions de turbulences des eaux.

Une note rassemblant une synthèse bibliographique sur les produits susceptibles de produire des mousses en milieux aquatiques et les résultats de l'ensemble des analyses réalisées par le laboratoire de chimie de l'Unité de Recherche du Cemagref a également été rédigée (Annexe 10).

Des analyses ultérieures, réalisées par un laboratoire spécialisé², ont montré une composition chimique des polysaccharides contenus dans ces mousses très proche de celle des échantillons analysés en 1973, avec notamment la même dominance de deux sucres : le galactose et le glucose ; ces résultats pourraient donc indiquer une relative constance dans la source végétale de ces mousses.

Les résultats de ces analyses figurent dans un chapitre de la thèse de Maria Cellamare soutenue au Cemagref en 2009 (Annexe 11). Les identifications d'algues réalisées sur les mousses montraient des densités importantes de cyanobactéries appartenant au genre *Planktolyngbya* et *Chroococcus*, ainsi que des diatomées des genres *Navicula*, *Tabellaria* et *Cymbella*.

La synthèse bibliographique réalisée par Maria Cellamare montrait que la plupart des polysaccharides analysés dans les mousses des lacs aquitains avaient également été identifiés par d'autres chercheurs chez des diatomées et des cyanobactéries produisant des mucilages. Ces mucilages jouent un rôle important dans la fixation des algues sur leurs supports qui sont d'autres plantes et des substrats divers. La présence de ces algues dans les mousses n'est cependant pas la preuve absolue qu'elles en soient la source : elles peuvent tout à fait avoir été piégées dans la mousse lors de la création de l'émulsion.

Des travaux sur les mousses dans d'autres types de milieux aquatiques indiquent que de tels mucilages peuvent être produits par d'autres espèces végétales : par exemple, les mousses présentes de manière régulière sur le Rhin en aval des chutes de Schaffhausen semblaient provenir de molécules issues d'une renoncule aquatique (*Ranunculus fluitans*) largement présente dans le

² Polymaris Biotechnology

fleuve³. Il semblerait donc difficile d'imputer systématiquement à tel ou tel groupe d'espèces végétales la production de mousses dans tous les milieux où ces mousses se produisent. Rappelons que de telles productions de mousses sont également observables en milieu marin.

Sur les lacs aquitains, aucun développement significatif de mousses lacustres n'a apparemment eu lieu en 2007 et dans les trois années qui ont suivi, puisqu'aucune alerte devant déclencher des prélèvements du Cemagref n'a été donnée par le réseau.

Lors de différentes campagnes de terrain réalisées par l'équipe du Cemagref depuis cette époque, des observations de mousses ont cependant été faites sur les lacs mais ces développements restaient peu importants. Ils n'étaient sans doute pas jugés significatifs ou inquiétants puisqu'ils n'ont pas déclenché de réaction d'alerte des participants du réseau. C'est pourquoi le programme d'investigations initialement prévu n'a pas été poursuivi.

Durant la campagne de terrain de juillet 2011 réalisée sur les lacs médocains dans le cadre d'une étude sur les communautés de macrophytes, nous avons assez régulièrement observé des mousses sur la rive Est du lac de Carcans-Hourtin lors d'épisodes de vents forts (Annexe 12). Nous n'avons pas eu d'informations sur la présence de mousses sur les autres lacs mais les conditions climatiques de ce mois de juillet auraient pu en faciliter l'apparition. En effet, quel que soit le milieu aquatique, ces développements de mousses se produisent systématiquement dans des conditions de turbulences des eaux, au dessous des chutes d'eau dans les cours d'eau, dans les zones de batillage ou de ressac sur les rivages des plans d'eau ou de la mer.

Ces caractéristiques de formation des mousses sont citées dans la plupart des publications disponibles sur le sujet. Les turbulences engendrées par les vents ou des chûtes d'eau créent des émulsions plus ou moins stables dans le temps avec les mucilages présents dans les eaux, pouvant s'accumuler en masses de mousses à la surface ou le long des rives, quelquefois sur plusieurs décimètres d'épaisseur.

Dans une revue bibliographique très récente sur les mousses en milieux aquatiques, Schilling et Zessner (2011)⁴ rappellent la diversité des composés tensio-actifs susceptibles de produire des mousses. Leur liste comporte des substances humiques et fulviques, des particules colloïdales fines, des lipides, des protéines et des saponines issues de plantes aquatiques ou terrestres, des produits de décomposition du phytoplancton contenant glucides et protéines et des matières organiques du sédiment.

Par ailleurs, l'ensemble des informations disponibles à l'heure actuelle sur ces mousses ne montre pas de toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques. Par exemple, les travaux menés sur le Rhin par Wegner et Hamburger (2002) montraient qu'aucune toxicité aiguë n'avait été observée à des

³ Wegner C., Hamburger M., 2002. Occurrence of stable foam in the Upper Rhine River caused by plant-derived surfactants. Environ. Sci. Technol.36, 3250-3256

⁴ Foam in the aquatic environment. [Water Research](#), 45, 4355 -4366

concentrations qui étaient au moins 50 fois plus élevées que celles trouvées dans les échantillons prélevés dans le fleuve.

Schilling et Zessner (2011) indiquent que les mousses peuvent éventuellement contribuer à accumuler des contaminants tels que métaux lourds ou pesticides, voire même servir de transfert entre ces contaminants et les chaînes alimentaires (par exemple par consommation des mousses par des poissons ou des oiseaux). Dans le cas des mousses se produisant sur les lacs aquitains, ces risques indirects sont très probablement insignifiants, compte tenu de l'extrêmement faible contamination des plans d'eau et du caractère éphémère de ces mousses.

Enfin, en ce qui concerne les questionnements et les inquiétudes des usagers, nous avons déjà signalé l'absence d'alerte entre le printemps 2007 et l'été 2011 du réseau pourtant mis en place. Sans que nous puissions évidemment conclure sur ce point, les informations reçues par les participants à la réunion d'avril 2007 ont pu leur apporter des éléments de relativisation des risques inhérents à ces apparitions de mousses. Elles ont peut-être conduit ces interlocuteurs à n'envisager une alerte que dans des situations de forte et durable apparition, événements qui ne semblent pas s'être produits depuis.

Sur ces aspects de réactions du public et des usagers, Schilling et Zessner (2011) faisaient remarquer que *"la formation de mousse est observée dans presque tous les milieux aquatiques, tels que rivières, lacs et océans. Bien que la majorité des études montre que la mousse est la conséquence de processus et de facteurs naturels, le public a tendance à associer la formation de mousse à la pollution anthropique. L'inquiétude du public est accrue par la visibilité de la mousse, qui conduit à ce qu'elle soit plus évidente que la pollution chimique "cachée".*⁵

Ainsi, bien que nous n'ayons pas encore d'absolue certitude sur la nature exacte des organismes (algues, plantes à fleurs) produisant les mucilages sources de ces phénomènes dans les lacs aquitains, les mousses lacustres se produisant dans certaines conditions dans ces lacs nous semblent plutôt constituer des curiosités naturelles que des indices d'une pollution.

A ce titre, elles ne devraient plus causer d'inquiétude et une information régulière sur leur nature et leurs causes devrait permettre de rassurer les usagers de ces lacs. A la suite d'une demande d'un élu de Parentis, une note a d'ailleurs été rédigée sur ce sujet en septembre 2011 (Annexe 13), note téléchargeable sur le site de l'Office de Tourisme de la ville⁶.

⁵ Le texte original est le suivant : "Foam formation is observed in nearly every aquatic environment, such as rivers, lakes and oceans. Although the majority of studies show that foam is the product of natural processes and factors, the public tends to associate foam formation with manmade pollution. Public concern is likely to be enhanced due to the visibility of foam, which lead to it being more obvious than "hidden" chemical pollution."

⁶ <http://tourisme.parentis.com/Vie-municipale/Actualites/A-propos-des-mousses-sur-le-lac>

ANNEXES

| | |
|--|----|
| 1. Exemples de photographies de mousses (2005) | 6 |
| 2. Articles du journal Sud Ouest (2995 -2006) | 7 |
| 3. Note ECOBAG (2006) | 13 |
| 4. Annexe rapport CTGREF (1973) | 25 |
| 5. Texte de la convention Agence de l'Eau / Cemagref (2006) | 26 |
| 6. Lettre de mise en place "du réseau d'alerte" (2007) | 29 |
| 7. Réunion "Réseau d'alerte" : liste des participants | 31 |
| 8. Réunion "Réseau d'alerte" : fiches logistiques | 32 |
| 9. Réunion "Réseau d'alerte" : présentations des données disponibles | 34 |
| 10. Synthèse sur les tensioactifs et les surfactants, analyses chimiques des mousses lacustres | 42 |
| 11. Thèse de Maria Cellamare (2009) : chapitre 6 | 59 |
| 12. Mousses lacustres, rive est du lac de Carcans-Hourtin (juillet 2011) | 67 |
| 13. Note de synthèse sur les mousses lacustres (septembre 2011) | 68 |

**Exemples de photographies de mousses (plage de Cazaux,
7 novembre 2005, clichés Marie-France Perrin)**

Lundi 7 novembre 2005 16^h 30
1/2 1 - grande plage de Cazaux
3/4 2 - détail de ''
3 - A proximité du club nautique
4 - Entre halte nautique et laouga
- clichés M.F. Perrin -



Articles du journal Sud Ouest (2005 – 2006)

SUD OUEST

Sud Ouest

Landes départementale, lundi 24 janvier 2005, p. 20

Aux bons soins du lac

Jean-Louis Hugon

SANGUINET. Devant les phénomènes d'eutrophisation et l'invasion de plantes exotiques, les élus des étangs du nord landais prennent les choses en main. Un docteur en éco-toxicité a été recruté

Depuis plusieurs années et même décennies, des espèces exotiques à caractère envahissant ont été observées dans les lacs et étangs landais. Dotées de capacités importantes de colonisation, jussie, myriophylle du Brésil et lagarosiphon concurrencent énormément les plantes peuplant habituellement ces étendues d'eau. Ce qui présente un risque pour la faune, privée de sa nourriture préférée et peu friande de ces plantes d'ailleurs.

La commune de Sanguinet, préoccupée par la qualité des eaux du lac de Cazaux- Sanguinet- Biscarrosse, qui alimente en eau potable une grande partie de la population du Pays de Born, organisait récemment un débat sur ce thème. Débat d'autant plus suivi que le lac, d'habitude une référence en matière de transparence et de qualité de l'eau, a connu en 2004 ses premiers symptômes d'eutrophisation (accumulation de débris organiques provoquant l'affaiblissement en oxygène).

« Crise de foie ». Pour la première fois depuis de nombreuses années en effet, la surface de l'étang de Cazaux-Sanguinet était par endroits couverte de **mousses** blanches ou colorées. A la suite d'observations d'étudiants venus en octobre plonger avec le CRESS (Centre de recherche et d'études scientifiques de Sanguinet), qui avaient du mal à y voir clair dans l'eau trouble, des prélèvements ont été analysés. L'étude menée par les ingénieurs biologistes du Cemagref (Centre d'études du machinisme agricole, du génie rural et des eaux et forêts), établit que le phénomène est bien dû à une augmentation des organismes vivant dans le lac. Des algues en quantité plus importante ont produit des substances carbonnées responsables de la production de ces **mousses**. Mais on n'explique pas les raisons de cette croissance conduisant à cette « crise de foie » du lac, qui pourrait cesser lorsque les conditions seront normales.

Pour l'instant, la qualité de l'eau de baignade n'est pas remise en cause, ainsi qu'elle peut l'être dans d'autres étangs landais du nord, puisque la CGE, qui alimente localement 150 000 personnes, avoue ne pas rencontrer de problème. Les analyses de la DDAS recommandent néanmoins la vigilance, la présence de ces micro-organismes pouvant entraîner une certaine toxicité.

En tout cas, les élus ont décidé de prendre les choses en main. La Communauté de communes des Grands Lacs vient d'embaucher un docteur en éco-toxicité. Lorena Via-Ordorika, qui vient de l'université de Bordeaux, est chargée de mener à bien les recherches en ce sens et attend tous les témoignages des personnes intéressées.

D'autre part, le syndicat mixte Géolandes, en charge de la sauvegarde et de la gestion des étangs, annonce pour 2006 un système d'évaluation de la qualité des eaux, établi par l'agence de l'eau Adour-Garonne suite à la directive cadre de l'Union européenne. Les lacs de Soustons et Cazaux-Sanguinet seront ainsi étudiés.

Illustration(s) :

Lorena Via-Ordorika, docteur en éco-toxicité, a été embauchée pour analyser l'évolution de la faune et de la flore dans les étangs du nord landais

PHOTO MATTHIEU SARTRE

Une réflexion globale sur l'ensemble du bassin versant

J.-L.H.

ÉTANGS LANDAIS DU NORD. Un schéma d'aménagement et de gestion des eaux est en préparation

Depuis plusieurs années, les étangs landais du nord subissent une lente mais inéluctable altération de la qualité de l'eau. Les lacs d'Aureilhan, de Parentis-Biscarrosse, et même l'été dernier celui de Cazaux-Sanguinet, habituelle référence en matière de transparence, voient apparaître des poussières, **mousses** ou plantes exotiques de plus en plus envahissantes. Après diverses enquêtes et réunions publiques - la dernière à Sanguinet fin janvier, à la demande des usagers inquiets sur l'avenir de leur patrimoine - les élus ont décidé la mise en oeuvre d'un SAGE (schéma d'aménagement et de gestion des eaux), financé en partie par l'Agence de l'eau.

« Il s'agit d'une réflexion globale sur l'ensemble du bassin, indique M. Fournier, de Géolandes, pour essayer de coordonner les usages faits de cette eau. Suivant les populations et les périodes de l'année, les usages en sont contradictoires : agriculteurs, sylviculteurs, pêcheurs, pisciculteurs, industriels, touristes, promeneurs, n'ont pas les mêmes besoins ni les mêmes exigences. Le SAGE est un outil réglementaire, établi après avoir entendu l'ensemble des parties concernées, pour proposer une gestion intégrée du bassin hydraulique. »

Deux ans de travaux. Sur les quatre lacs nord (étang de Cazaux-Sanguinet, petit lac de Biscarrosse, étang de Parentis-Biscarrosse, étang d'Aureilhan), et l'ensemble des cours d'eau qui s'y jettent, d'un bassin versant de 475 m2, sans oublier l'exutoire vers le bassin d'Arcachon, seront précisés les besoins quantitatifs et qualitatifs en eau (pour la consommation). De même, il s'agira de réglementer les niveaux des différentes étendues d'eau, afin qu'en cas de précipitation l'ouverture de vannes d'un des lacs n'entraîne pas l'inondation du suivant. Les résultats seront fournis après deux ans de travaux.

De plus, une directive-cadre européenne d'octobre 2000 oblige les états membres de l'Union européenne à atteindre en 2015 un bon état écologique de toutes les eaux, qu'elles soient littorales, de surface (cours d'eau et plans d'eau) ou souterraines. Manquant d'information, de données objectives sur les interactions des milieux les uns sur les autres, l'agence de l'eau Adour-Garonne va mettre en oeuvre un système d'évaluation de la qualité (SEQ) sur cinq lacs du bassin dont font partie l'étang de Cazaux-Sanguinet et le lac de Soustons. Qualité de l'eau, des berges, des plantes et état de la population piscicole sont concernés. Sacré programme.

© 2005 Sud Ouest. Tous droits réservés.

De bonnes baignades

Pierre Vallade

CARCANS-MAUBUISSON. La qualité des eaux des lacs médocains est placée sous haute et constante surveillance

Alors que la saison va battre son plein, la qualité de l'eau demeure un des atouts majeurs de la réussite touristique. La clientèle de France et d'Europe recherche les stations où les eaux de baignades et leur environnement sont les mieux protégées.

Lancée en 2004, pour un coût de 23 400 euros, une étude a été réalisée par la commission locale de l'eau, en partenariat avec le Conseil générale, le Conseil régional, l'agence locale de l'eau. Elle laisse apparaître que la qualité des eaux est stable depuis vingt ans - ni amélioration ni pollution - sur l'ensemble des lacs médocains, c'est-à-dire les crastes, le canal des étangs, le canal du Porge.

Un équilibre naturel. Cet équilibre est dû en partie aux zones humides situées en bordure des lacs qui jouent un rôle épurateur biologique. Autre atout, la végétation des marais (surtout roselière) et le phytoplancton qui consomme les nutriments (nitrates et phosphate) des eaux de surface et des eaux souterraines par absorption racinaire.

Toutefois, la transparence des eaux suscite bons nombres de points d'interrogation. Céline Debailleul, animatrice du Sage (shema d'aménagement et de gestion des eaux), précise qu'en aucun cas il s'agit de pollution : « C'est un phénomène naturel lié à l'environnement forestier et qui, par l'intermédiaire des crastes, apporte des colloïdes (substances brunes). Ce phénomène peut tout de même entraîner des conséquences graves sur la sécurité des baigneurs et en particulier des enfants. Il est donc interdit de pratiquer la plongée en apnée et tuba et il est recommandé aux parents de surveiller avec attention les jeunes enfants ».

Autre point d'interrogation pour les baigneurs : les **mousses** blanches, dont Céline Debailleul explique « qu'elles proviennent d'une activité naturelle des micros organismes végétaux présents naturellement dans les lacs et ne sont pas toxiques ».

Atouts et enjeux. Pas d'inquiétude donc sur la qualité des eaux de baignade des stations lacustres du Médoc. Cependant, la vigilance s'impose, les vecteurs d'une dégradation potentielle existent. Parmi eux : rejet des eaux de drainage agricole et jardins privés; eaux pluviales de ruissellement chargées de bactéries après lessivage des voiries, hydrocarbures et métaux lourds; les espaces verts, contenant des engrais (nitrates et phosphates), ainsi que les produits phytosanitaires, les rejets liés à l'activité industrielle, à l'activité nautique motorisée et aux vidanges sauvages.

De nombreux facteurs modifient l'état physique des lacs, ce qui mène, par exemple, à privilégier les entretiens hydrauliques légers aux détriments des gros travaux de terrassement. Parmi les nuisances, il faut compter les apports de sable, la prolifération des plantes et animaux invasifs (les ragondins et les écrevisses rouges de Louisiane qui creusent des terriers et qui accentuent l'effondrement des berges), les passages d'engins lourds et de loisirs (quads, 4x4).

Protéger la qualité de l'eau permet d'entretenir la richesse biologique liée à la variété des milieux. Les enjeux : protéger, maintenir et entretenir la qualité des milieux remarquables tout en étant vigilant sur les documents d'urbanisme, restaurer l'axe migrateur de l'anguille, du brochet et optimiser la gestion des espèces. Ces enjeux sont l'affaire de tous !

Illustration(s) :

L'eau au centre des préoccupations

PHOTO PIERRE VALLADE

© 2005 Sud Ouest. Tous droits réservés.

SUD OUEST

Sud Ouest

Landes Mont-de-Marsan, mercredi 12 octobre 2005, p. 7

Le lac en profondeur

Francis Nin

SANGUINET Une conférence a permis de répondre à de nombreuses interrogations quant à la qualité des eaux du lac

Succès oblige, le cycle des conférences organisées par le Centre de recherches et d'études scientifiques de Sanguinet attire un auditoire de plus en plus fourni. 150 personnes ont assisté au brillant et passionnant exposé imagé sur les plantes émergées et immergées ainsi que sur la qualité des eaux du lac.

Présenté par le président du CRESS Bernard Maurin, l'hydrobiologiste du CEMAGREF de Bordeaux Alain Dutartre a expliqué la différence entre plantes aquatiques et algues. Mis en évidence, le rôle des plantes, leur répartition en fonction de la profondeur des eaux, de la nature du sol et des mouvements des eaux. Il a insisté sur les « pelouses » submergées des plantes protégées, au niveau national, présentes près des rives du lac. « Les actions de nettoyage profitent à la prolifération d'espèces envahissantes au détriment de l'action bénéfique des espèces protégées ».

En abordant la présence des plantes d'origine étrangère, Alain Dutartre souligne que « leur évolution depuis leur apparition et l'impact écologique sur les surfaces occupées sont un facteur de régression des espèces protégées et des espèces indigènes ».

Une partie de cette conférence fut également consacrée à la présentation de l'influence de l'homme sur ce milieu. « Chacun d'entre nous doit se responsabiliser quant à son usage du lac. Quelle gestion appliquer sur les plantes aquatiques sachant qu'elles sont un des maillons de l'écosystème lacustre ?

Surveillance accrue. Ensuite, l'hydrobiologiste du CEMAGREF a donné quelques informations générales sur la qualité des eaux, apportant des réponses aux nombreuses questions posées. « Différents types d'analyses sont effectués. Concernant les analyses de santé publique (qualité des eaux de baignades et eau potable), les prélèvements effectués régulièrement permettent une surveillance accrue. La moyenne qualité dont est qualifié le lac n'est pas synonyme de pollution, bien au contraire ».

Le scientifique a évoqué les analyses sur les états physico-chimiques plus particulièrement des éléments nutritifs, le développement des algues, l'état écologique des eaux et ceux des communautés vivantes (plantes, poissons, invertébrés, etc), afin de présenter succinctement l'étude en cours réalisée à la demande de l'Agence Adour Garonne en relation avec la Directive européenne (DCEE 2000) dont le résultat devrait être connu à l'automne 2006.

Une émulsion stable. A la question sur la transparence de l'eau, Alain Dutartre démontre, graphique à l'appui, que « celle-ci varie cycliquement au cours des décennies écoulées. Pour cette année, elle se situe de 3 à 3,50 m ».

Quant aux **mousses** aperçues sur le lac, « ce n'est pas un phénomène récent, dit-il. Cette présence sur le lac et ses rives n'est pas une pollution mais une émulsion stable comportant des molécules organiques provenant des plantes aquatiques (à fleurs et algues). Les analyses effectuées sur l'eau montrent une bactériologie et une chimie normale ».

Illustration(s) :

Alain Dutartre, hydrobiologiste du CEMAGREF, étudie le lac depuis plus de trente ans

PHOTO F. N

© 2005 Sud Ouest. Tous droits réservés.

L'année du SAGE

Pierre Vallade

CARCANS-MAUBUISSON La commission locale de l'eau avance vers une résolution finale du schéma d'aménagement et de gestion des eaux

La commission locale de l'eau présidée par Henri Sabarot, qui regroupe les treize communes du SAGE (Schéma d'aménagement et de gestion des eaux) des lacs médocains, s'est réunie fin décembre à la mairie de Carcans pour valider le troisième document appelé « Tendances et scénarios » servant à l'élaboration finale du SAGE. L'objectif de cette structure est de réglementer tous les usages et activités liées à l'eau sur les lacs et leurs réseaux hydrographiques.

Cette phase permet de faire un bilan de l'évolution des communes depuis les vingt dernières années en terme de population et d'activités spécifiques : la sylviculture, l'agriculture, le tourisme, la pêche, la chasse, le nautisme... et dans le même temps, d'établir des prévisions en matière de gestion pour les dix années à venir.

Une nouvelle carte du lac en 2006. Au cours de cette réunion, Patrice Bretel, ingénieur chercheur à l'université de Bordeaux 1, spécialiste de l'hydrodynamique sédimentaire en milieu côtier, a présenté les travaux d'études bathymétriques du lac de Carcans-Hourtin. Ces travaux se sont déroulés courant 2005. Ils comportaient un sondage des profondeurs dans le but d'établir des comparaisons avec les précédents relevés pratiqués en 1931 par le service hydrographique de la Marine nationale.

Cette étude effectuée avec des moyens performants laisse apparaître, selon Patrice Bretel, « très peu de changement sur l'évolution des fonds ».

Céline Debailleul, coordinatrice du SAGE estime, au vu des données collectées, que « la nouvelle carte du lac sera à la disposition du public courant 2006 ».

Le SAGE en 2006. L'année 2006 permettra d'aborder la rédaction finale du SAGE en terme de réglementation sur l'eau et les milieux aquatiques du bassin versant des lacs médocains. Parallèlement, la commission locale de l'eau souhaite mener des études plus poussées sur les **mousses** blanches qui apparaissent de temps à autre sur la surface des eaux. Toutefois, ces **mousses** blanches ne sont absolument pas toxiques et ne présentent donc, aucun danger pour la baignade.

Enfin, un bilan hydrologique du lac Carcans-Hourtin et des flux d'azote et de phosphore devraient également être établis.

Communes du SAGE : Arès, Brach, Carcans, Hourtin, Lacanau, Lanton, Le Porge, Lège-Cap-Ferret, Le Temple, Saint-Laurent-Médoc, Sainte-Hélène, Salaunes, Saumos.

Illustration(s) :

Mousses blanches : aucun danger pour la santé

PHOTO P. V.

© 2006 Sud Ouest. Tous droits réservés.

SUD OUEST

Sud Ouest

Gironde

Gironde Bassin Arcachon, jeudi 12 janvier 2006, p. 6

Ce sera l'année du SAGE

GESTION DES EAUX. La commission locale de l'eau avance vers une résolution finale du schéma d'aménagement et de gestion des eaux

La commission locale de l'eau présidée par Henri Sabarot, qui regroupe les treize communes du SAGE (Schéma d'aménagement et de gestion des eaux) des lacs médocains, s'est réunie fin décembre à la mairie de Carcans pour valider le troisième document appelé « Tendances et scénarios » servant à l'élaboration finale du SAGE. Sont concernés sur le Bassin d'Arcachon les communes d'Arès, Lanton, et Lège-Cap-Ferret. L'objectif de cette structure est de réglementer tous les usages et activités liées à l'eau sur les lacs et leurs réseaux hydrographiques.

Rédaction finale. Cette phase permet de faire un bilan de l'évolution des communes depuis les vingt dernières années en terme de population et d'activités spécifiques : la sylviculture, l'agriculture, le tourisme, la pêche, la chasse, le nautisme... et dans le même temps, d'établir des prévisions en matière de gestion pour les dix années à venir.

L'année 2006 permettra d'aborder la rédaction finale du SAGE en terme de réglementation sur l'eau et les milieux aquatiques du bassin versant des lacs médocains. Parallèlement, la commission locale de l'eau souhaite mener des études plus poussées sur les **mousses** blanches qui apparaissent de temps à autre sur la surface des eaux. Toutefois, ces **mousses** blanches ne sont absolument pas toxiques et ne présentent donc, aucun danger pour la baignade.

Enfin, un bilan hydrologique du lac Carcans-Hourtin et des flux d'azote et de phosphore devraient également être établis.

© 2006 Sud Ouest. Tous droits réservés.

Note ECOBAG (2006)

CONTEXTE

Dans le cadre de l'élaboration du SAGE des Lacs Médocains, la CLE souhaitait engager une campagne d'analyses sur les mousses blanches observées sur les plans d'eau afin de répondre aux inquiétudes des usagers.

Avant d'initier une telle étude, l'Agence de l'Eau Adour Garonne a souhaité dans un premier temps faire le point sur les connaissances acquises sur ce phénomène (synthèse bibliographique) et dans un second temps de définir les connaissances supplémentaires à acquérir pour caractériser ces mousses, les phénomènes qui les génèrent et les risques potentiels vis-à-vis des usages et des milieux.

Il a été demandé au Groupement ECOBAG d'apporter quelques éclaircissements à ce sujet.

Plan du rapport :

LES PHENOMENES D'APPARITION DE MOUSSES DANS LES COURS D'EAU ET LES PLANS D'EAU

- 1- Principes et origines des mousses**
 - 1-1- Agitation
 - 1-2- Origine des tensio-actifs ou surfactants
- 2- Répartition spatiale des mousses**
 - 2-1- Zones de présence de la mousse
 - 2-2- Période d'apparition
 - 2-3- Persistance
- 3- Méthodes d'analyse**
- 4- Risques liés à la présence de mousse**

CAS DES LACS MEDOCAINS

- 1- Contexte**
- 2- Potentiel d'apparition des mousses**
- 3- Agitation**
- 4- Périodes d'apparition des mousses**
- 5- Toxicité de ces mousses**
- 6- Perspectives**

BIBLIOGRAPHIE

LES PHENOMENES D'APPARITION DE MOUSSES DANS LES COURS D'EAU ET LES PLANS D'EAU

1- Principes et origines des mousses

Le développement de la mousse se produit en raison du changement de la tension superficielle de l'eau et de l'introduction physique d'air, par aération ou par des mécanismes de mélanges (R.B. Pojasek, 2003).

Le changement de la tension superficielle de la surface de l'eau est provoqué par l'attraction chimique de molécules qui réduisent la tension superficielle.

Ces molécules sont appelées : agents tensio-actifs ou surfactants qui couplées à un phénomène d'agitation produisent des bulles, donc de la mousse, en présence d'air.

Des mesures réalisées dans l'étude « *Cottonwood Creek* » ont permis d'observer une relation entre la présence de mousses et :

- une augmentation des teneurs en Carbone Organique Dissous (COD) ; témoins d'un enrichissement du milieu en COD, indicateurs d'une présence importante de surfactants,
- une baisse de pH; en relation avec l'augmentation de COD et témoins du changement de la tension superficielle de l'eau,
- et des phénomènes d'agitations / de mélanges.

1-1- Agitation

Les phénomènes d'agitation sont nombreux :

- zones de turbulence dans les cours d'eau,
- au-dessous des chutes d'eau,
- lorsque les vagues se cassent sur le rivage.,
- le vent, ...

1-2- Origine des tensio-actifs ou surfactants

On observe divers surfactants :

- Protéines (L. Madrange et al, 1993),
- acides gras (L. Madrange et al, 1993),
- acides humiques,
- détergents synthétiques,
- anions bivalents - rapidement biodégradable dans l'environnement (N.J. Fendinger et al, 1994),
- ions sulfates – qui augmenteraient par leur présence la rigidité des couches de surface des mousses (L. Madrange et al, 1993).

| Surfactants naturels à l'origine de mousses | Auteur (s) |
|---|-------------------------|
| Matière organique issue des arbres apportée par le ruissellement des eaux de pluie | R.B. Pojasek, 2003 |
| Surfactants issus du détachement et de la décomposition des plantes aquatiques <i>Ranunculus</i> dans un réservoir de barrage, et concentrés sur des zones de mélange lors d'une augmentation rapide du niveau de l'eau. | C. Wegner, 2002 |
| Surfactants secrétés par des plantes aquatiques vivantes (macrophytes ou algues), durant leur photosynthèse au printemps / été et concentrés sur des zones de mélange lors d'une augmentation rapide du niveau de l'eau. | D. Fuller, 2003 |
| Surfactants issus des plantes aquatiques (macrophytes ou algues), mortes en automne et concentrés sur des zones de mélange lors d'une augmentation rapide du niveau de l'eau. | D. Courtemanch, 1979, |
| Les composés organiques lixiviés des sols, concentrés sur des zones de mélange. | D. Courtemanch, 1979 |
| Le développement massif de bloom algaux et leurs mort peut amener à une baisse de la tension superficielle | D. Fuller, 2003 |
| Exemple des <i>Phaeocystis</i> , en milieu marin, qui sécrètent du mucus qui constitue l'enveloppe de la colonie. La sécrétion de mucus peut constituer 50% du carbone fixé par les <i>Phaeocystis</i> . En dehors de son rôle structural, le mucus semble avoir un rôle physiologique important, les polysaccharides composant le mucus constituent un substrat énergétique. Ensuite, le mucus peut être soit dégradé par les bactéries, <u>soit former de la mousse</u> . | Ifremer, Septembre 2004 |

| Surfactants anthropiques à l'origine de mousses | Auteur (s) |
|--|---|
| Les rejets des usines de fabrication de pâte à papier | L. Madrange et al, 1993 |
| Les détergents ABS développés après guerre étaient non biodégradables par les bactéries et contenaient du phosphore qui jouait un rôle dans la formation des mousses, et dans la croissances des plantes et la prolifération des algues. Aujourd'hui, ces produits ne sont plus utilisés. | C. Jeffrey, 2005 ; D. Courtemanch, 1979 ; L.K. Koopal, 2004 |
| Stations d'épuration | L.K. Koopal, 2004 |

2- Répartition spatiale des mousses

2-1- Zones de présence de la mousse

La mousse peut être présente, accumulée le long des berges ou sur les bancs de sables des cours d'eau, ou le long des rivages des lacs ou dans les criques et/ou sur les plages les jours de vent (D. Fuller, 2003).

Sur des plages, des hauteurs de mousse allant jusqu'à 90 cm ont été observées (C. Jeffrey, 2005).

Quand elle apparaît, la mousse peut-être blanche puis devient brune en fonction de son origine et /ou avec le temps avec l'apport de matière organique issue de la vase ou de l'érosion (D. Courtemanch, 1979).

Si l'origine est liée à des rejets polluants, on la retrouve généralement près de la source polluante (D. Courtemanch, 1979).

2-2- Période d'apparition

On peut observer des présences de mousses après des pluies d'orages ou des jours venteux (L. A. Kaplan, 1993).

Les périodes les plus fréquentes d'apparitions des mousses sont le printemps et l'automne.

2-3- Persistance

Des essais de moussage à différentes températures ont montré que le pouvoir moussant et la stabilité de la mousse augmentent lorsque la température diminue ; ce qui peut expliquer les variations de quantité de mousses dans la journée en fonction des variations hygrométriques et/ou de la température de l'air (L. Madrange et al, 1993).

La mousse est notamment observée dans les heures tôt de la matinée puis disparaît dans la journée (D. Courtemanch, 1979).

Une expérience en laboratoire a permis de montrer que pour faire apparaître de la mousse, il faut utiliser 0,07 gramme de détergents par litres d'eau sous agitation (D. Courtemanch, 1979).

3- Méthodes d'analyse

Les analyses réalisées par Madrange (1993), avec l'HPLC et le MBAS sont faites sur des prélèvements d'eau, où il y a présence de mousses, mais pas sur la mousse elle même.

3-1- Définition de la composition des mousses par HPLC (L. Madrange et al, 1993).

Avec l'HPLC il dose dans l'eau (non dans la mousse) et montre l'influence des acides gras et des protéines, connus pour stabiliser les couches de surface, et de l'influence d'anions comme les ions sulfates qui augmenteraient par leur présence la rigidité des couches de surface des mousses.

- 3-2- Identification des substances tensioactives par dosage à l'aide du Methylene Blue Active Substance (MBAS) (L. Madrange et al, 1993).

Avec le MBAS, il dose les tensioactifs anioniques dans l'eau à différents points et à différents moments de la journée.

Il fait une relation entre la concentration des tensioactifs anioniques et la présence de mousse. Il montre aussi qu'en un même point, les concentrations ne varient pas, mais que la présence de mousses est dépendante d'une température plus basse (ce qui explique la présence plus importante de mousses le matin).

- 3-3- Définition du pouvoir moussant et de la stabilité de la mousse à l'aide d'une colonne de verre avec diffuseur d'air, agitation mécanique (L. Madrange et al, 1993).

4- Risques liés à la présence de mousse

Des tests écotoxicologiques réalisés à partir des constituants des plantes Ranunculus, de l'eau et de la mousse, n'ont montré aucune toxicité même à des doses 50 fois supérieures à ce qui a été mesuré dans l'environnement (C. Wegner, 2002).

Des études toxicologiques ont été réalisées en laboratoire à partir de surfactants issus de l'industrie, des résultats sont observés aussi bien sur des organismes aquatiques que terrestres, mais pour des teneurs de quelques **mg/L dans l'eau et quelques mg/Kg dans le sol**, alors que dans le milieu naturel les teneurs ne dépassent pas quelques **µg/L** (G. G. Ying, 2005).

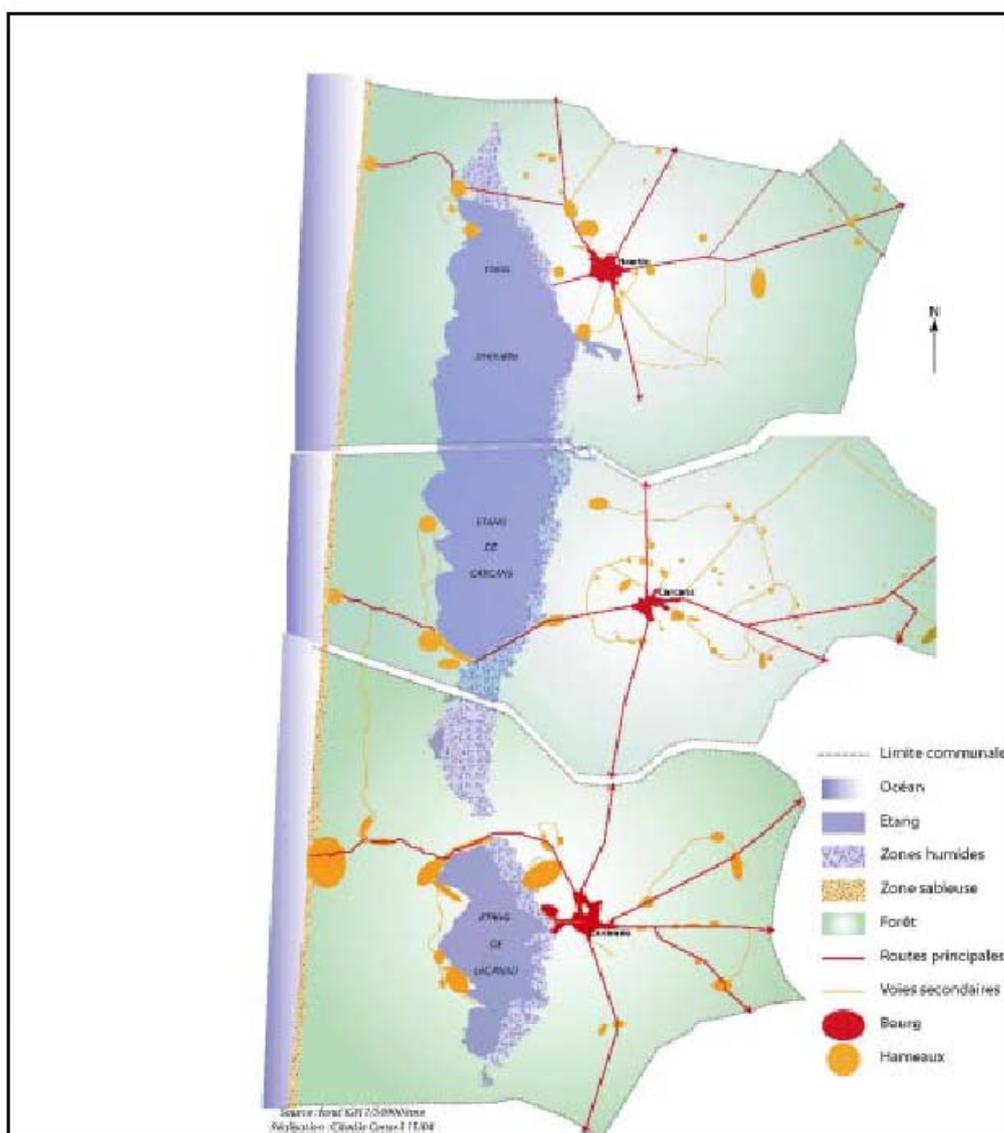
CAS DES LACS MEDOCAINS

1- Contexte

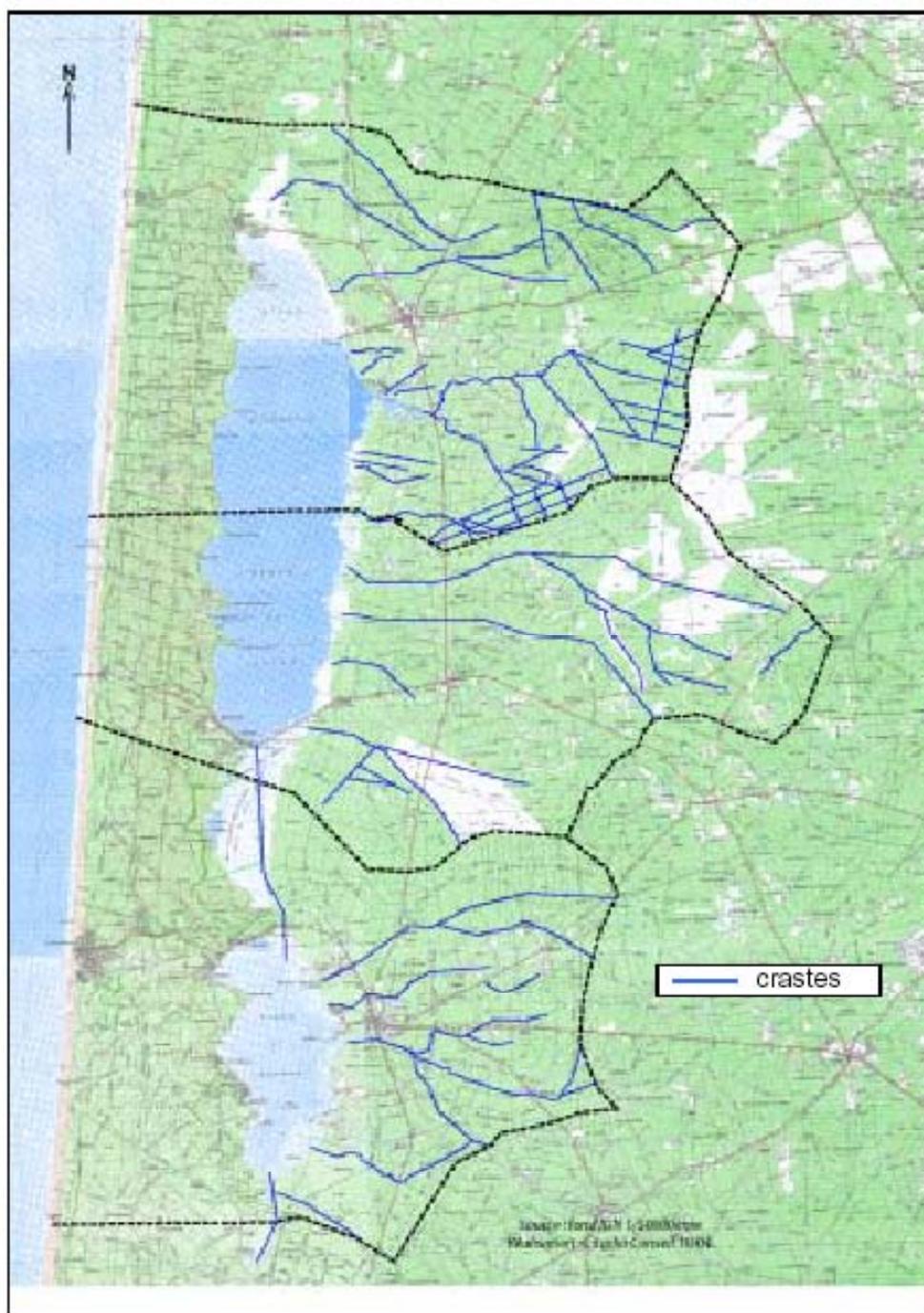
Le "Médoc Bleu" est le nom donné à cette partie de territoire où les marais se déversent dans une série de lacs. Cette eau lacustre ne peut se jeter directement en mer car elle est contenue par un long cordon dunaire. Un canal relie tous les étangs qui trouvent ainsi leur exutoire dans le Bassin d'Arcachon.

Les lacs définis comme les lacs médocains sont présentés sur la carte ci-dessous (*issue du « Schéma de Cohérence Territoriale – Diagnostic et état initial de l'Environnement – Communauté de communes des lacs médocains »*).

Sur la carte on remarque l'importance des forêts de pins et la présence des marais autour de ces lacs.



Sur la seconde carte (issue du « Schéma de Cohérence Territoriale – Diagnostic et état initial de l'Environnement – Communauté de communes des lacs médocains »), on observe la présence de drains nommés crastes, qui comme le dit le texte « **ont pour vocation de drainer les marais ...** », qui traversent les forêts de pins.



2- Potentiel d'apparition des mousses

Différentes conditions peuvent être favorable à l'apparition de mousse :

- Agents tensioactifs d'origine organique :
 - o Apport potentiel via les crastes de matières organiques, résine, lignine et autres substances carbonées originaires des forêts de pins.
 - o Apport potentiel de matières organiques des eaux drainant les marais (« *les marais connaissent une évolution à sens unique avec accumulation de sédiments et modification de la végétation* »),
 - o Production d'algues et de macrophytes (et donc de matières organiques) par les conditions favorisant l'eutrophisation (faible hauteur d'eau des lacs, apports agricoles), (le SAGE 2005, valide une présence importante de cyanobactérie et de chromophytes et la présence de Jussie dans certaines crastes).
- Agents tensioactifs d'origine chimique :
 - o Motonautisme (d'après le « *Schéma de Cohérence Territoriale* », cf. ci-dessous).

6. La pollution liée au motonautisme

La pratique des activités motonautiques, développée essentiellement sur le lac de Carcans-Hourtin, entraîne la présence de nappes d'huile liées aux rejets d'hydrocarbures.

Des études du CEMAGREF ne montrent pas d'impacts du nautisme sur la qualité de l'eau du Lac de Carcans-Hourtins. (Rapport SAGE 2005).

- o Rejets des eaux de pluies (« *Schéma de Cohérence Territoriale* », cf ci-dessous).

Il résulte de cet Etat Initial de l'Environnement que les espaces naturels protégés sont actuellement très nombreux sur le territoire intercommunal. Les espaces les plus caractéristiques et les plus sensibles sont tous sujets à des mesures de protection particulières et il ressort de cette première analyse qu'aucun ensemble écologique ou paysager de grande envergure nécessite de nouvelles mesures de protection strictes. Les questions d'ordre environnemental portent sur :

- la gestion des interfaces entre milieu urbain et milieu naturel
- la gestion du risque
- le non respect de la réglementation et la sur-fréquentation du cordon dunaire à certains endroits
- la pollution des eaux (notamment par accroissement de l'imperméabilisation et le non traitement des eaux pluviales avant rejet dans le milieu naturel)
- l'acceptation des activités humaines par le milieu

Mais après discussion avec Mme Céline DEBAILLEUL, animatrice SAGE Lacs Médocains, il semble que cette problématique soit réglée (voir le rapport SAGE 2005).

- o Les pesticides font partie de la famille des tensioactifs (G.G. Ying, 2005). La présence d'activité agricole peut être source de telles substances.

3- Agitation et accumulation

Après discussion avec Céline DEBAILLEUL, elle observe la présence de mousses déjà dans les crastes puis dans le lac.

Les phénomènes d'agitation dans ces lacs sont les vagues et le vent.

Peut-être existe-il des phénomènes d'agitation dans les crastes dus à la variation des hauteurs d'eau, très dépendantes des pluies.

Les mousses peuvent être déplacées via le vent et le courant.

Après échanges téléphoniques avec Céline DEBAILLEUL, elle observe :

- un déplacement des mousses des crastes vers le lac,
- une accumulation de la mousse en amont de l'écluse, une nouvelle formation de mousse en aval de l'écluse sous la surverse (sûrement du à un mélange important air/tensioactifs).

4- Période d'apparition des mousses

L'apparition des mousses peut se faire à différents moments de l'année en fonction de l'origine et des conditions climatiques (soit après des orages ou par grand vent).

Céline DEBAILLEUL, valide une présence annuelle dans les lacs, dans les crastes et dans le canal de mousses très blanches.

5- Toxicité de ces mousses

Après contacts téléphoniques auprès du :

- Laboratoire Départementale des Eaux (LDE) de Gironde,
- Laboratoire Départementale des Eaux (LDE) des Landes,
- et de l'Institut Européen de l'Environnement de Bordeaux (IEEB) (un laboratoire d'hygiène et santé),

aucun de ces laboratoires n'a déjà analysé de mousses, d'après eux le phénomène est connu « *d'origine organique avec des phénomènes tensioactifs et d'agitation* ».

S'ils devaient analyser ces mousses, ils enverraient les échantillons à un laboratoire sur Lyon, car ils ne sauraient pas faire.

6- Perspectives

En perspective, on peut envisager de :

- vérifier la présence et l'origine des tensioactifs
 - o Matière organique des marais,
 - o Matière organique issue du développement algal,
 - o Matière organique issue des eaux de pluies,
 - o Regarder si les populations algales présentes dans les mousses sont identiques d'un point à un autre et si elles peuvent être responsables de la production de mousses (tels les *Phaeocystis*, en milieu marin, cités dans la partie 1.1), et ainsi identifier si il existe une ou plusieurs origines possibles,
 - o Mesurer la présence des tensioactifs pour voir si ce sont les mêmes différents points.
- évaluer la toxicité potentielle (par exemple avec la méthode TIE développée par le laboratoire du LPTC) :



- des eaux (lacs, zones d'arrivées des marais, zones d'influence de formation des mousses),
 - des sédiments
 - des mousses formées
 - et des rejets des eaux de pluies.
- Evaluer « l'inquiétude des usagers » (approche sociologique).

BIBLIOGRAPHIE

C. Jeffrey, What causes foam in streams and lakes ?, 2005, Alaska Clean Water Action Grant N°05_02.

C. Wegner, M. Hamburger, Occurrence of stable foam in the upper Rhine River caused by plant derived surfactants, 2002, Environ Sci Technol.

Cottonwood Creek TMDL Development – Residu, Final report, 2005.

D. Courtemanch, Foam a cause for concern, 1979, Maine fish and game.

D. Fuller, The occurrence of foam on lakes and streams, 2003, Tip of the Mitt Watershed Council.

Etudes des lacs médocains, <http://www.avcommunication.fr/medoc>, 2005.

G. G. Ying, Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment, 2005.

[IFREMER, Le bloom de Phaeocystis en Manche orientale, Septembre 2004,](#)

L. Madrange, P. Chaboury, O. Ferrandon, M. Mazet, J. Rodeaud , Etude de la formation et de la stabilité des mousses chimiques de surface de la Vienne, 1993.

L.K. Koopal, T.P Golooub and T.A. Davis, Binding of ionic surfactants to purified humic acid, 2004.

N.J. Fendinger, D.J. Versteeg, E. Weeg, S.D. Dyer, R.A. Rapaport, Environmental behavior and Fate of anionic surfactants, 1994.

R.B. Pojasek and O.T. Zajicek, Surface microlayers and foams – source and metal transport in aquatic systems, 2003.

[Rapport SAGE « Lacs Médocains », Diagnostic, 2005.](#)

Rapport CTGREF, 1973

(Balland P., 1973. Les étangs aquitains, rapport partiel d'étude. CTGREF, 36 p.)

A N N E X E

-*_*_*_*_*_*_*

LE PROBLEME DES MOUSSES

En Août 1972, le C.T.G.R.E.F. a été saisi du problème des mousses qui apparaissent en abondance sur CARCANS et LACANAU. Il a alors été procédé à des prélèvements qui ont été envoyés à l'Institut du Pin (que dirige le Professeur VALADE).

De celles-ci, il ressort la composition moyenne suivante (identique pour les 2 étangs).

- 97,85 % eau
- 2,15 % matières sèches dont :
 - 0,80 % matière organique
 - 1,35 % matières minérales (silice surtout)

La partie organique est constituée

- d'acides gras (palmitique, stéarique, arachidique, principalement)
- de sucres.

Les sucres sont essentiellement :

- du galactose
- du glucose
- du mannose
- de l'arabinose
- du xyclose
- du rhamnose

Il existe deux autres sucres qui n'ont pu être déterminés avec certitude.

La conclusion de l'Institut du Pin est que ces mousses ont une origine identique quel que soit l'étang, en l'occurrence elles proviendraient des mucilages constituant le parenchyme d'une plante à fleurs très fréquemment rencontrée dans ces terrains : il s'agit de *Littorella lacustris*, dont les acides gras sont aussi des constituants normaux.

L'origine végétale des mousses est certaine. Elles n'ont rien à voir avec une quelconque pollution.

Texte de la convention Agence de l'Eau / Cemagref (novembre 2006)

Proposition d'étude des mousses se produisant à la surface des lacs aquitains

Introduction

Depuis le début des investigations limnologiques engagées sur les grands lacs aquitains, c'est à dire du Nord au Sud, les lacs de Hourtin-Carcans, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse, des mousses blanchâtres ont été sporadiquement observées en surface des eaux, soit vers le large, soit dans des zones proches des rives. Selon les témoignages de résidents des rives de ces plans d'eau, ces apparitions de mousses étaient bien antérieures à ces investigations qui ont débuté en 1971.

Des analyses réalisées en 1973 par l'Institut du Pin pour le compte du CTGREF (dénomination antérieure du Cemagref), alors en charge d'une étude destinée à préciser la qualité des eaux de ces quatre lacs pour le compte de la Mission Interministérielle d'Aménagement de la Côte Aquitaine ; les résultats de ces analyses indiquaient que ces mousses étaient composées de molécules organiques naturelles provenant de plantes.

Depuis quelques années, des demandes de gestionnaires et d'usagers concernant à la fois la nature et les éventuels risques de toxicité de ces mousses sont arrivées à l'Agence, indices d'une certaine inquiétude de ces demandeurs.

Afin de commencer de répondre à ces demandes, une analyse bibliographique a été réalisée en 2006 par le Groupement ECOBAG à la demande de l'Agence ; s'appuyant sur des informations issues de la littérature internationale, cette analyse a permis de confirmer la nature organique naturelle de ces mousses qui forment des émulsions relativement stables à la surface des eaux, quelquefois sur des superficies dépassant des dizaines de m².

Elle n'a pas permis, en revanche, de préciser la nature des molécules responsables de ces émulsions ni leur provenance.

La présente proposition porte donc sur la nature de ces mousses, les éventuels risques toxiques qu'elles pourraient créer et sur leurs éventuelles sources.

Proposition

La littérature disponible sur le sujet n'est pas extrêmement fournie, comme l'a bien montré la note d'ECOBAG déjà citée mais des publications ou rapport sont déjà disponibles qui devraient permettre d'avancer, en particulier sur les aspects analytiques. Une recherche bibliographique sera donc lancée sur ce sujet avec comme thématiques complémentaires les méthodologies de prélèvements et d'analyses, les causes d'apparition de ces mousses et l'évaluation des impacts de leur présence sur les milieux aquatiques.

Les quatre lacs cités en introduction seront les milieux étudiés à l'occasion de quatre campagnes d'observations et de prélèvements qui seront déclenchées à l'apparition des mousses par des appels provenant de nos correspondants locaux sur les lacs.

Les prélèvements réalisés sur le terrain comporteront des eaux prises dans les zones de présence des mousses et les mousses elles-mêmes. Des prélèvements seront fait dans la couche de surface (moins de 20 cm de profondeur), couche en contact avec l'atmosphère, pour récupérer des eaux dont la composition pourrait être proche de celle des mousses.

Les analyses d'eau comporteront les principales formes de l'azote et du phosphore, le carbone organique total et le carbone organique dissous, ainsi que les pigments chlorophylliens. Dans la mesure où les plantes produisant les molécules responsables de ces mousses ne sont pas clairement identifiées, cette dernière analyse pourrait permettre une identification des groupes d'algues présentes dans les eaux à ce moment.

Les analyses des mousses elles-mêmes seront réalisées après traitement des échantillons prélevés sur le terrain. Ces traitements préalables restent encore à préciser (centrifugation, filtration, remise en phase liquide ?) : ils sont indispensables pour permettre des analyses correctes.

Les analyses seront réalisées par chromatographie liquide et spectrométrie de masse. Une recherche générale sera d'abord faite, elle sera suivie par des analyses plus précises des types de molécules rencontrées.

Cette partie analytique reste encore partiellement à définir car les informations disponibles dans la littérature sont insuffisantes ou trop vagues pour travailler avec des *a priori* sur les types de molécules présentes (lipides, protéines, polysaccharides, etc. ?) : elle comportera donc une phase exploratoire destinée à identifier ces grands types de molécules avant de tenter une approche de discrimination plus précise.

Afin d'évaluer l'éventuelle toxicité de ces mousses, des tests classiquement appliqués au Cemagref (Unité de Recherche Biologie des Ecosystèmes Aquatiques, équipe Ecotoxicologie), utilisant les daphnies, seront utilisés. Dans la mesure où il nous semble probable que les causes de production de ces mousses sont similaires entre les différents plans d'eau, il est prévu de mettre en œuvre à deux

reprises un test de toxicité aiguë et un test de toxicité chronique (sur 21 jours) sur des échantillons provenant de l'un ou l'autre des sites étudiés.

Enfin, des observations au microscope sont également prévues sur les échantillons de mousses afin d'identifier les organismes éventuellement présents : des observations antérieures indiquaient que dans certains des échantillons se trouvaient des frustules de diatomées, des dinophycées ou une espèce de cyanobactérie, sans qu'il soit possible de préciser si ces organismes étaient la cause des mousses ou y étaient seulement piégées.

Si les conditions d'apparition et de maintien des mousses dans certains sites des plans d'eau le permettent, des analyses complémentaires d'eau seront réalisées pour tenter d'évaluer les impacts éventuels des mousses sur des eaux plus ou moins confinées.

Enfin, les données météorologiques des stations proches des lacs seront examinées pour préciser les conditions climatiques facilitant l'apparition des mousses (vitesse et direction des vents, température, ensoleillement, précipitations).

Lettre de mise en place "du réseau d'alerte" (2007)

Agence de l'Eau
Adour Garonne



Etablissement Public de l'Etat.
Article 14 de la Loi sur l'eau du 16 décembre 1964
190, rue du Férétra - 31078 Toulouse Cedex 4
Tél. : 05 61 36 37 38 - Télécopie : 05 61 36 37 28
E-mail : contact@eau-adour-garonne.fr

Toulouse, le 21 février 2007

Destinataires :

Voir liste jointe



N/Réf : SDCP-SCV/JPR-SP/2007-17
Affaire suivie par Philippe Thiebaut - Tél : 05.61.36.36.56. E-mail : philippe.thiebaut@eau-adour-garonne.fr

Objet : Etude des mousses se produisant à la surface des lacs aquitains

Madame, Monsieur,

Les usagers et les gestionnaires des lacs aquitains (Hourtin-Carcans, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse) s'interrogent sur la nature, la toxicité et les causes d'apparition des mousses blanchâtres observées sur ces plans d'eau. C'est pourquoi, le Cemagref de Bordeaux et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne ont décidé de lancer une étude sur cette thématique en 2007.

Afin de procéder à des échantillonnages corrects de ces mousses, le Cemagref et l'Agence envisagent de constituer un réseau dit "d'alerte". Ce réseau serait composé par des personnes dont les activités les conduisent à fréquenter régulièrement ces plans d'eau. Si vous souhaitez être associé à la mise en place de ce réseau d'alerte, je vous invite à préciser au Cemagref¹ les coordonnées des personnes qui pourraient y participer. Une réunion de présentation du projet se déroulera le :

**Mardi 3 avril 2007 à 14h00 au Groupement de Bordeaux du Cemagref
50, Avenue de Verdun, 33612 CESTAS**

Au cours de cette réunion vous sera présenté le projet et les tous premiers résultats d'analyse.

Le plan d'accès au Cemagref de Bordeaux vous sera transmis ultérieurement.

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de mes sentiments dévoués.

Jean-Pierre Rebillard
Chef de Service Connaissance et Valorisation

¹ (Cemagref, Unité de Recherche Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux, 50, Avenue de Verdun, 33612 CESTAS CEDEX, à l'attention d'Alain Dutartre) ou (alain.dutartre@bordeaux.cemagref.fr).

DÉLÉGATIONS ET DÉPARTEMENTS CONCERNÉS

Quartier du Lac - Rue du P^e André Lavigroüe
33049 Bordeaux Cedex
Tél. : 05 56 11 19 99
Fax : 05 56 11 19 98
Départements :
33 11 33 48 33 63

94, rue du Grand Prat
19000 St-Pantaléon-de-Larche
Tél. : 05 55 88 02 00
Fax : 05 55 88 02 01
Départements :
87 19 23 25

7, passage de l'Europe
BP 2503 - 64075 Pau Cedex
Tél. : 05 59 80 77 80
Fax : 05 59 80 77 99
Départements :
64 65 64

Rue de Bruxelles - Bourran
BP 3610 - 12005 Rodez Cedex 9
Tél. : 05 65 75 56 00
Fax : 05 65 75 56 09
Départements :
12 29 12 31

46, av. du Général de Grouët
Basso Cambo - 31100 Toulouse
Tél. : 05 61 43 28 80
Fax : 05 61 43 28 98
Départements :
31 31 31 31 31 31

LISTE DES DESTINATAIRES

Mairie 33990 HOURTIN
Mairie 33121 CARCANS
Mairie 33680 LACANAU
Mairie 33260 LA TESTE DE BUCH
Mairie 40460 SANGUINET
Mairie 40600 BISCARROSSE
Mairie 40160 PARENTIS EN BORN
Mairie 40200 STE-EULALIE-EN-BORN
Mairie 40160 GASTES
Mairie 40200 STE-EULALIE-EN-BORN

Communauté de Communes des Grands Lacs 18 r Jules Ferry 40160 PARENTIS EN BORN

ACGELB : Monsieur Alain HALIBERT route de Pontenx 40160 PARENTIS-EN-BORN Tél/Fax :
05 58 78 45 06

STAEVBELG - Syndicat Intercommunal. d'Aménagement des Eaux du Bassin versant des
étangs du littoral girondin. Mairie. 33121 Carcans

SAGE Lacs médocains, Mairie de Carcans, 21, route de Bordeaux, 33 121 CARCANS (Céline
Debailleul)

GEOLANDES, Hôtel du Département, 23 Rue Victor Hugo, 40025 MONT DE MARSAN (Lionel
Fournier, Delphine Pelouin *) * Delphine Pelouin, chargée de mission du SAGE Born et Buch

CRESS, Bernard Dubos, 130, chemin de Mayotte, 40600 BISCARROSSE

AAPPMA CARCANS : l'A.A.P.P.M.A. de Carcans Président : M. René LACOMBE, , place du Rond-
Point - Maubuisson, 33121 Carcans

AAPPMA HOURTIN : le Sandre Hourtinais Président : M. Jean Jacques DUPUY, 24, rue des
écoles, 33121 Carcans-Maubuisson

AAPPMA CAZAUX : la Gaule Cazaline Président : M. Jean MAZE, 31, rue Sanchez, 33260
CAZAUX

AAPPMA Sanguinet : M. LESAGE André - 26. Impasse des Genêts - 40460 SANGUINET

AAPPMA Biscarrosse : M. RAULT Hermann - 41 rue des Canas - 40600 BISCARROSSE

AAPPMA Parentis : M. LABAT Thierry - 24 avenue du Lac - 40160 PARENTIS-EN-BORN

AAPPMA Sainte Eulalie en Born : M. KUCHENBUCH André - 'Kemplan' - 29. Rte de Rozan -
40200 STE-EULALIE-EN-BORN

Réunion "Réseau d'alerte" : liste des participants

| Nom, prénom | Organisme |
|----------------------|---|
| BROQUAIRE Jean-Marie | Mairie de Lacanau (conseiller) |
| CELLAMARE Maria | Cemagref |
| DARTIGUELONGUE J. C. | Mairie de Lacanau (délégué au lac) |
| DEBAILLEUL Céline | SAGE Lacs Médocains |
| DUBOS Bernard | CRESS |
| DUBOURG Michèle | DGAS, Mairie de La Teste |
| DUCOURNAU Guy | Communauté de Communes des Grands Lacs (Vice Président) |
| DUTARTRE Alain | Cemagref |
| FOURNIER Lionel | Conseil Général des Landes |
| GRANGE Jérôme | Cemagref |
| HALIBERT Alain | ACGELB |
| LACOSTE Sylvain | Services techniques, Mairie de Biscarrosse |
| LAPLACE Christophe | Cemagref |
| LEGER Séverine | Conseil Général des Landes |
| MAZE Jean | AAPPMA La Gaule Cazaline |
| MAZZELLA Nicolas | Cemagref |
| PELOUIN Delphine | SAGE Born et Buch |
| PERRIN Marie-France | Conseillère municipale, Mairie de La Teste |
| POULAIN Daniel | Cemagref |
| SIN Fabrice | ONF |
| THIEBAUT Philippe | Agence de l'Eau Adour Garonne |
| VEDRENNE Jacky | Cemagref |
| VIA ORDORIKA Lorena | Aqua Gestion |

Réunion "Réseau d'alerte" :
fiche logistique "Standard Cemagref"



*Pour les personnes
chargées du
standard*

**Etude des mousses se
produisant à la surface
des lacs aquitains ou
"mousses lacustres"**

L'UR Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux réalise cette année une étude sur ces mousses lacustres pour le compte de l'Agence de l'Eau Adour Garonne.

Un réseau de "personnes-relais" habitant au bord des lacs est prévu pour que nous soyons informés de l'apparition de ces mousses.

En cas d'appel pour cette étude :

1/ Ne pas basculer en interne, prendre en note le nom de la personne et ses coordonnées téléphoniques,

2 / Appeler ensuite un des collègues pour transmettre ces informations.

L'ordre des collègues à contacter est le suivant : Alain Dutartre, Christophe Laplace, Jérôme Grange, Nicolas Mazzella, Maryse Boudigues

Alain Dutartre, 21 février 2007

Réunion "Réseau d'alerte" :
fiche logistique "Personne-relais"

ETUDE MOUSSES

QUESTIONNAIRE A UTILISER POUR LES PERSONNES-RELAIS

(ne pas hésiter à reposer les questions si les réponses ne sont pas jugées satisfaisantes)

| Date / heure du contact téléphonique | |
|---|--|
| 1 / vérifier identité de la personne et lui demander son "profil" (pêcheur, agent municipal, etc...) | |
| 2 / localisation des mousses : quel lac, dans quelle partie du lac ? au centre, sur les rives ? | |
| 3 / moment de l'observation (faire préciser la date, l'heure ?) | |
| 4 / abondance / intensité du phénomène (épaisseur, superficie) | |
| 5 / couleur, texture (mousse "solide") ? | |

Réunion "Réseau d'alerte" :
présentation des données disponibles

Mousses lacustres : nature, causes d'apparition, risques

A. Dutartre, N. Mazzella, J. Védrenne

Unité de recherche Réseaux,
Epuración et Qualité des Eaux

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Contexte général de l'étude (1)

- de nombreuses **questions d'usagers et de gestionnaires** depuis quelques années sur la nature et les risques liés à ces mousses lacustres,
- des inquiétudes concernant **les risques pour la santé publique** engendré par les proliférations de cyanobactéries,
- un besoin de **faire un point sur ces phénomènes** et d'obtenir des informations fiables sur la nature de ces mousses, leurs causes et les risques de toxicité pour répondre aux demandes d'informations.

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Quelles mousses lacustres ? (1)

- remarquables lorsqu'elles s'accumulent en bordure des plans d'eau,

Hourtin

Lacanau

Cazaux



Photos Maria Cellamare, 2006

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Contexte général de l'étude (2)

- un **partenariat** Agence de l'Eau Adour Garonne, Cemagref,
- une mise en commun des informations disponibles et la mise en œuvre d'une démarche de recherche,
- les **unités de recherches** du Cemagref engagées dans le projet :
 - à **Bordeaux** : Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux (chimie des eaux et des mousses, observations au microscope),
 - à **Antony** : Hydrosystèmes et Bioprocédés (biochimie),
 - à **Lyon** : Biologie des Ecosystèmes Aquatiques (toxicologie).

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Quelles mousses lacustres ? (2)

- mais aussi quelquefois à peine visibles en pleine eau,



- ou, au contraire, largement présentes...

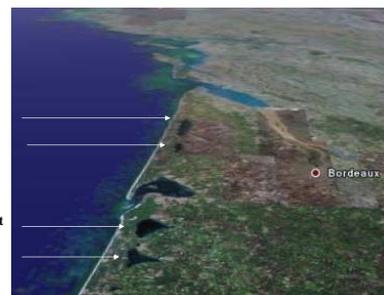
Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Les mousses lacustres ?

- des **manifestations récentes** visibles sur les quatre plus grands plans d'eau du littoral aquitain

Lac d'Hourtin-Carcans
Lac de Lacanau
Lac de Cazaux-Sanguinet
Lac de Parentis



Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



▶ Les mousses lacustres ?

- deux bassins versants, des **niveaux trophiques différents**, des **évolutions variables**,



Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



▶ Les mousses lacustres : causes de leur formation

- augmentation des teneurs en Carbone Organique Dissous (COD)
- baisse de pH,
- phénomènes d'agitations / de mélanges des eaux dans tous les types de milieux aquatiques :
 - * zones de turbulence dans les cours d'eau,
 - * au-dessous des chutes d'eau,
 - * ressac sur le rivage,
 - * batillage, tempêtes.

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



▶ Les mousses lacustres ?

- ce n'est pas un **phénomène récent** (questions déjà posées au Cemagref en 1973),
- ce n'est **sans doute pas une pollution** : absence de détergents dans les analyses antérieures, et les analyses réalisées en 2005 sur le lac de Cazaux-Sanguinet lors d'une période de forte présence de mousses n'ont pas révélé de présence de détergents,
- il s'agit très probablement d'une **émulsion plus ou moins stable** composée de **molécules organiques** provenant apparemment de plantes aquatiques (plantes à fleurs ou algues ?) ou de bordure des plans d'eau.

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



▶ Les mousses lacustres : sources ?

- **matières organiques** issues de plantes riveraines ou du bassin versant apportées par le ruissellement des eaux de pluie,
- molécules issues du détachement et de la **décomposition des plantes aquatiques** (renoncules aquatiques) dans un réservoir de barrage,
- molécules secrétées par des **plantes aquatiques vivantes** (macrophytes ou algues), durant leur période de développement (printemps à automne),
- molécules issues de **plantes aquatiques** (macrophytes ou algues) à leur **mort en automne**,
- **proliférations** d'algues (blooms).

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



▶ Les mousses lacustres

- analyses réalisées par l'Institut du Pin (1973) à la demande du Cemagref, présence :
 - d'acides gras,
 - de sucres,
- origine végétale certaine,
- origine supposée : mucilages de plantes...

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



▶ Démarche générale de l'étude

- **réseau d'alerte local** pour intervention rapide sur le terrain,
- **échantillonnage** : prélèvement de mousses en pleine eau et des eaux de surface dans les mêmes zones,
- **préparation des échantillons** : émulsions à "refluidiser" pour la suite des analyses,
- **analyses chimiques et biochimiques**,
- observations au **microscope** : algues, bactéries filamenteuses,
- **tests écotoxicologiques** (équipe EXPER, Lyon)
- en parallèle, **essais de production de mousses** en conditions de laboratoire à partir des prélèvements d'eau dans les zones de présence de mousses.

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Caractérisation chimique

N. Mazzella, M. Boudigues, M. Bonnet,
B. Méchin, B. Delest

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007

▶ Caractérisation chimique (2)

Détergents

Anioniques (alkylsulfates, alkylsulfonates, alkylaurylsulfates)
lessives et produits de nettoyage

Cationiques (chlorhydrates d'amine, ammoniums quaternaires)
milieux industriels et hospitaliers, propriétés désinfectantes

Non-ioniques (alkylphénols, polyéthylène glycols)
industrie textile en cosmétologie, agressivité moindre et pouvoir moussant plus faible

Substances prioritaires DCE : octylphénol et nonylphénol
(interdiction en 2005 excepté résines, peintures et adhésifs)

Réprotoxicité et perturbateurs endocriniens

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007

▶ Caractérisation chimique (1)

Tensioactifs et surfactants

Sucres et protéines Huiles et graisses
Tête hydrophile Queue hydrophobe

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007

▶ Caractérisation chimique (3)

Composés biologiques

Acides gras et lipides

Polysaccharides

Protéines

Origine des bio-surfactants

Bactéries
Macrophytes
Phytoplancton

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007

▶ Caractérisation chimique (1)

Tensioactifs et surfactants

Eau

Origine naturelle : Lipides
Polysaccharides
Protéines

Origine anthropique : Détergents anioniques, cationiques et neutres

Poids moléculaire :
Agents mouillants
Agents dispersants
Emulsifiants

Tensioactif
Molécule insoluble
Corps gras

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007

▶ Caractérisation chimique (4)

Chimie générale :

- ▶ Physico-chimie, MO et stabilité des émulsions
- ▶ Dosage global des tensioactifs

Analyses détergents :

- ▶ tensioactifs ioniques (alkylbenzène-sulfonates, laurylsulfate)
- ▶ tensioactifs neutres (alkylphénols)

Analyses biochimiques

- ▶ Lipides (acides gras, glycolipides, phospholipides)
- ▶ Protéines (kits de dosage, séquençages peptidiques)

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007

Premiers résultats : physico-chimie

Emulsion très stable et dense
 pH=5,88 (eau déminéralisée pH=6,5)
 Conductivité=11,2 µS/cm

Constitué à 98,72 % d'eau et 1,28 % de matière sèche
 48,7 % de fraction minérale pour la matière sèche
 Oxydabilité : environ 9,5 % de la matière sèche
 Nitrates, Nitrites, NH₄⁺ : non détectés
 P_{org} : 0,21 % de la matière sèche

Dosage global des tensioactifs anioniques : coloration positive au bleu de méthylène mais non-spécifique (MO acide extractible)
 Indice de saponification nul (manque de sensibilité)

A réaliser : formes du phosphate et sulfates

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

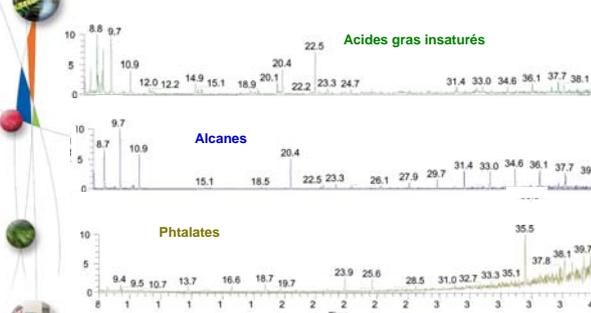
Chimie : conclusions partielles

Détergents neutres (octylphénols et nonylphénols) non détectés
 Traces de **détergents anioniques**...

Dosage et détermination quantitative
Acides gras mis en évidence mais composition à déterminer
 Recherche de **lipides complexes** (phospholipides, glycolipides)
 Dosage global des **protéines**, séparation et identification si nécessaire
Contrainte : plusieurs grammes de mousses sont nécessaires

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Premiers résultats : analyse des tensioactifs (1)



Aucun alkylphénol détecté, composition des acides gras à déterminer

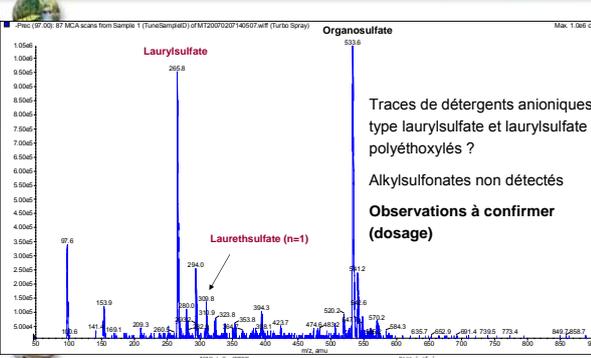
Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Observations au microscope

J. Vedrenne, J. Grange, C. Laplace-Treytoure,
 M. Cellamare

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Premiers résultats : analyse des tensioactifs (2)



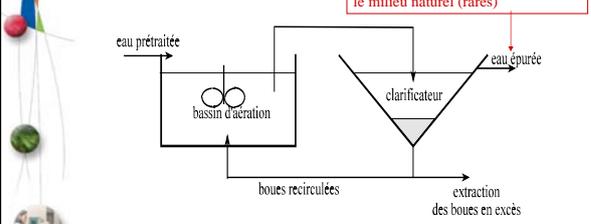
Traces de détergents anioniques type laurylsulfate et laurylsulfate polyéthoxylés ?
 Alkylsulfonates non détectés
Observations à confirmer (dosage)

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Les mousses en station d'épuration

Station d'épuration à technique « boues activées » :
 60 % des stations et 90 % de la capacité épuratoire en France
 25 % ont des dysfonctionnements biologiques (certaines mousses)

Problème si rejet des mousses dans le milieu naturel (rares)



Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

▶ Les mousses en station d'épuration

- **4 types :**
 - **Les mousses de démarrage :**
 - Blanchâtres et légères
 - Phénomènes transitoires (dégradation partielle de détergents)
 - **Les mousses à détergents :**
 - Blanchâtres et légères
 - Phénomènes transitoires ou récurrents (apports détergents)
 - **Les mousses de dénitrification :**
 - Marrons
 - Apparition de gaz dans le clarificateur donc flottation des boues des stations d'épuration
 - Phénomène contrôlable par exploitant
 - **Les mousses biologiques « stables » :**
 - Marrons, visqueuses
 - Phénomène parfois stable

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

▶ Les mousses en station d'épuration

- **Observations microscopiques :**
 - Mousses biologiques ou non : fonction de la présence excessive de bactéries filamenteuses
- **Identification des souches de bactéries filamenteuses :**
 - Critères morphologiques
 - Colorations
 - biochimie
 - Techniques de biologie moléculaire
 - matériel génétique
- **Anticiper un dysfonctionnement biologique et/ou diagnostiquer les causes**
- **Orienter les stratégies d'exploitation et/ou traitements curatifs**

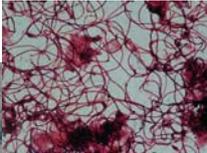
Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

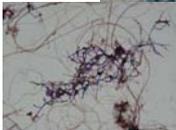
▶ Les mousses en station d'épuration

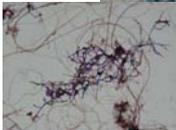


Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

▶ Développement excessif de bactéries filamenteuses

Nostocoida limicola – coloration Gram 

Microthrix parvicella – coloration des PHB 

Gordonia amara – coloration de Neisser 

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

▶ Les mousses en station d'épuration



Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

▶ Observations microscopiques des mousses lacustres (1)

- **Prélever un échantillon représentatif de mousses**
 - Observation à l'état frais : rapidité prélèvement/observation (microscope)
 - Métazoaires (org. pluricellulaires) : 100 à 10 000 µm
 - Protozoaires (org. unicellulaires) : 10 à 400 µm
 - Algues (unicellulaires, filamenteuses) : 5 à 400 µm
 - Bactéries (isolées ou filamenteuses) : taille 5 µm à 500 µm
 - Champignons : taille 5 µm à 1000 µm
 - Débris divers : tailles très variables

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Observations microscopiques des mousses lacustres (2)

- Observations avec des colorations cytoplasmiques (microscope classique)
 - Bactéries et algues (isolées ou filamenteuses)
 - Débris

Observations à l'aide d'outils de biologie moléculaire : (microscope : Epifluorescence)

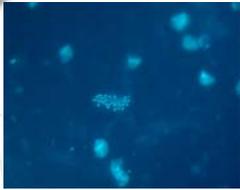
Technique FISH : Fluorescence en fonction de l'espèce bactérienne

Technique DAPI : Fluorescence bleu si organismes vivants

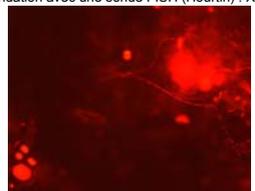
Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Identification FISH et DAPI (Résultats d'observations)

Coloration au DAPI (Hourtin) : X500



Hybridation avec une sonde FISH (Hourtin) : X500



Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Identification FISH

FISH (Fluorescence *in situ* hybridization) :
Fluorescence de l'ARN spécifique de l'espèce

Perméabilisation des parois des organismes (bactéries, algues, champignons)

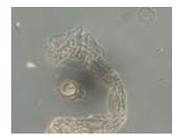
Mise en présence des organismes avec des marqueurs spécifiques aux espèces + fluorophore (colorant)

Si adéquation entre organisme et le marqueur : fixation sur microorganisme

Mise en évidence de l'hybridation (fixation) : microscope équipé d'une source de lumière particulière permettant l'excitation du fluorophore, entraînant l'émission d'une lumière spécifique (visible au microscope)

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Les mousses lacustres (résultats observations)

| | |
|--|---|
| Hourtin | Cazaux |
|  Microcystis : X800 |  Diatomées : X400 |
|  Champignons : X800 |  Indéterminé : X100 |

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Identification DAPI

DAPI (Di Aminido Phenyl Indol) :
Colorant l'ADN organismes vivants

Mise en présence des organismes avec DAPI

Si adéquation entre organisme et DAPI : fixation sur microorganisme

Même principe que FISH : révélation grâce à l'émission d'une couleur de lumière particulière.

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

Les mousses lacustres (résultats observations)

- 2 mousses d'aspect apparemment identique

| | |
|--|--|
|  Cazaux |  Hourtin |
|--|--|

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007 

▶ Les mousses lacustres (résultats observations)

- **Hourtin (Rive Ouest) : 9/2/7**
 - Algues unicellulaires (++) dont diatomées (+++)
 - Champignons (+)
 - Débris divers et bactéries libres (+)
 - Peu de bactéries filamenteuses et protozoaires (-)
 - **Mousse stable**
- **Cazaux (Rive Est) : 27/2/7**
 - Débris divers (+++)
 - Algues unicellulaires (++) dont diatomées (+)
 - Peu de bactéries filamenteuses et protozoaires (-)
 - Pas de bactéries libres
 - **Mousse instable**

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Merci de votre attention



Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Un réseau d'alerte ?

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



▶ Des personnes-relais

- nous informer de la présence de mousses (localisation, abondance apparente),
- contact téléphonique avec le standard du Cemagref (horaires 8 H 15 – 12 H, 14 H – 17 H),
- coordonnées à laisser pour un rappel rapide d'un des participants de l'Unité de Recherche,
- rappel de notre part pour précisions permettant de préparer la campagne de mesures de terrain et de prélèvements,
- éventuelle rencontre sur place.

Réunion réseau d'alerte "mousses lacustres", 3 avril 2007



Synthèse sur les tensioactifs et les surfactants, analyses chimiques des mousses lacustres

(Rédaction Nicolas Mazzella)

1. Tensioactifs et surfactants

Les tensioactifs ou agents de surface sont des molécules d'origine naturelle ou synthétique possédant d'une part une chaîne à caractère lipophile (ou queue hydrophobe) et d'autre part un groupement à caractère hydrophile (aussi appelé tête polaire) comme illustré sur la Figure 1. Ces composés sont dits amphiphiles.

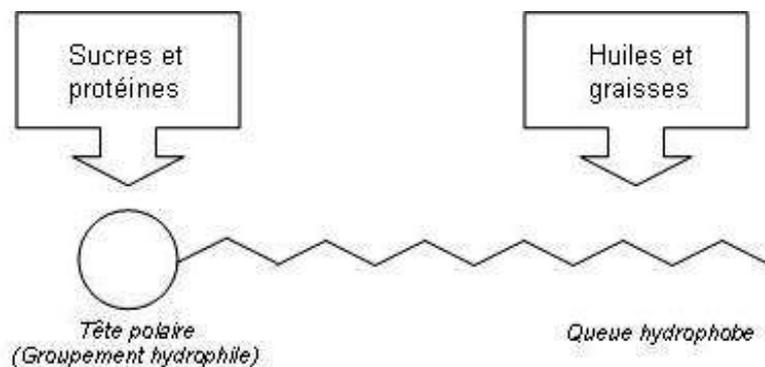


Figure 1. Schéma simplifié d'un tensioactif.

Il existe quatre grandes classes de tensioactifs : les anioniques, les non ioniques, les cationiques et les amphotères. Quel que soit le groupement hydrophile de la molécule, la queue hydrophobe est constituée par une chaîne alkyle dite chaîne grasse.

Si la tête polaire liée de façon covalente à la queue hydrophobe du tensioactif porte une charge négative (COO^- , $-\text{SO}_3^-$, $-\text{SO}_4^-$, etc.), le tensioactif est dit anionique. Les savons, les alkylbenzènes sulphonates, les sulfates d'alcool gras, sont anioniques.

Si la tête polaire porte une charge positive, l'agent de surface est cationique. Les sels d'ammonium quaternaire constituent un exemple de cette catégorie.

Les tensioactifs non ioniques sont constitués d'une tête polaire non ionisable en solution aqueuse. La formation de liaisons hydrogène entre les molécules d'eau et certaines fonctions des groupements hydrophiles les rendent solubles.

Dans cette catégorie, on retrouve principalement les alcools éthoxylés, les alkylpolyglycosides, les esters de sucre et les alcanolamides.

Les amphotères sont des composés généralement neutres en milieu aqueux car ils comportent des groupements anioniques et cationiques (zwitterions), c'est le cas des tensioactifs à base d'acides aminés par exemple.

La classe des tensioactifs anioniques est la plus importante, elle représente 60 % de la production mondiale. Les tensioactifs non ioniques, sur le plan du tonnage, sont moins importants avec environ 30 %, mais ils comprennent une variété considérablement plus grande d'espèces chimiques. Quant aux deux autres classes, amphotère et cationique, elles constituent de plus faibles volumes. En Europe, cette répartition est un peu différente, la classe des non ioniques est prépondérante, elle représente 51 % contre 40 % pour les tensioactifs anioniques. Ces chiffres sont rappelés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Répartition des différentes classes de tensioactifs en Europe et dans le monde en 1999 (Statistiques CESIO, 2000¹).

| Classes | Volume de production en Europe (10³ tonnes) | Pourcentage en Europe | Pourcentage dans le monde |
|---------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|
| Anioniques | 970 | 40 | > 60 |
| Non Ioniques | 1 245 | 51 | 30 |
| Cationiques | 179 | 7 | < 10 |
| Amphotères | 57 | 2 | |
| Total | 2 451 | 100 | 100 |

La structure amphiphile détermine les propriétés des tensioactifs. Ils présentent principalement des pouvoirs mouillant, solubilisant, détergent et émulsifiant. Leur capacité d'adsorption préférentielle en surface et aux interfaces provoque un abaissement de la tension interfaciale. Ceci se traduit concrètement par un pouvoir mouillant qui favorise l'étalement d'un liquide sur une surface².

Les tensioactifs peuvent également augmenter la solubilité de certaines matières organiques pratiquement insolubles dans l'eau. Ce phénomène, appelé solubilisation, est dû à l'incorporation de ces matières organiques dans les micelles des tensioactifs tel qu'illustré sur la Figure 2. La formation de ces micelles n'intervient qu'à partir d'une certaine concentration en tensioactifs, elle est appelée concentration micellaire critique.

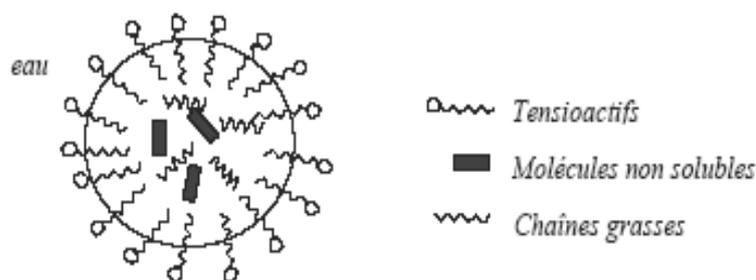


Figure 2. Solubilisation de molécules insolubles dans les micelles.

1.1. Détergents

Les tensioactifs anioniques du type alkylsulfates, alkylsulfonates ainsi que leurs dérivés éthoxylés (Figure 3) entrent essentiellement dans la composition des lessives et des produits de nettoyage. Parmi les tensioactifs anioniques, le **laureth-3-sulfate**, qui est un dérivé éthoxylé (n=3) du **laurylsulfate**, est fréquemment rencontré. Les pouvoirs détergent et émulsifiant de ces composés sont généralement élevés.

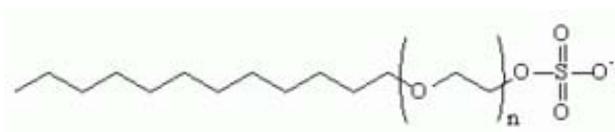


Figure 3. Structure des dérivés polyéthoxylés du laurylsulfate.

Les composés cationiques basés sur des chlorures d'ammonium quaternaires (Figure 4) sont surtout utilisés dans les milieux industriels et hospitaliers. En effet, en plus de leur pouvoir détergent certaines substances de cette famille possèdent des propriétés désinfectantes (dérivés du benzalkonium par exemple).

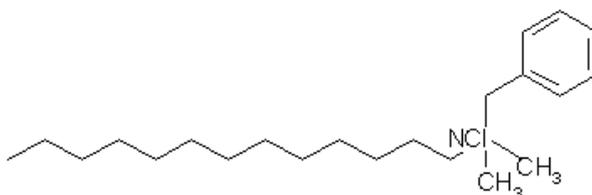


Figure 4. Structure du chlorure d'octadecylbenzalkonium.

Les tensioactifs non ioniques (exemple : propylène et polyéthylène glycols) sont utilisés dans l'industrie textile mais également en cosmétologie car ils sont caractérisés par une agressivité moindre ainsi qu'un pouvoir moussant plus faible par rapport aux tensioactifs anioniques.

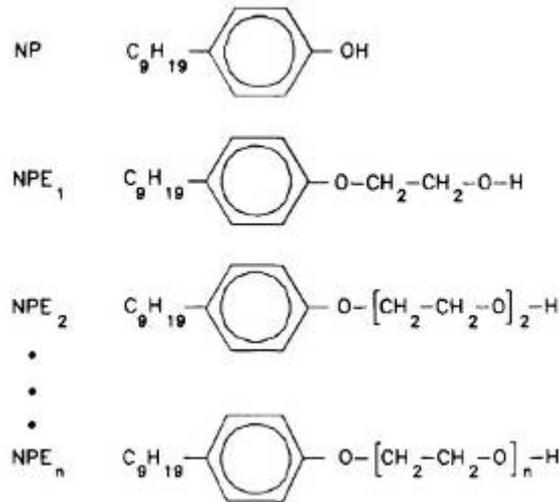


Figure 5. Structures du 4-nonylphénol et des dérivés éthoxylés.

Parmi cette dernière classe de détergents non ioniques, une attention toute particulière est portée au niveau des alkyphénols éthoxylés (**APEO**) et leurs produits de dégradation les alkyphenols (**AP**). En effet, il a été largement reconnu que les substances de ce type sont reprotoxiques et jouent le rôle de perturbateurs endocriniens dans les milieux naturels.

En 1998, la réunion ministérielle d'OSPAR s'est accordée sur l'objectif de cessation des rejets, émissions et pertes de toutes les substances dangereuses dans les environnements aquatiques d'ici 2020 et a inclus les nonylphénols et les nonylphénols éthoxylates sur la première liste de substances nécessitant une action prioritaire pour atteindre cet objectif³. Depuis lors, tous les dérivés du 4-nonylphénol (**4-NP**) et du 4-octylphénol (**4-OP**) ont été classés dans le cadre de la Directive Eau de l'Union Européenne comme substances dangereuses prioritaires.

Les alkyphénols sont fabriqués en grandes quantités et servent d'intermédiaires dans la fabrication des agents tensioactifs, des résines phénoliques, des peintures, etc. Ils se forment également lors de la dégradation des alkyphénols éthoxylés. Il n'y a pas d'exemple de synthèse naturelle des AP et APEO. Leur présence dans les milieux aquatiques est donc uniquement anthropogénique.

En Europe, la production et l'importation des nonylphénols avoisinaient les 82 000 tonnes en 1997⁴. En Allemagne, cette production est passée de 18 500 tonnes en 1984 à 4 900 tonnes en 1990⁵. Les alkyphénols sont ubiquitaires dans l'environnement de par leur large spectre d'utilisation et l'absence de traitement approprié dans les stations d'épuration. En effet, on estime que 65 % des alkyphénols et dérivés entrant dans les stations d'épuration sont rejetés dans l'environnement⁶.

Une interdiction d'emploi et de mise sur le marché pour la plupart des usages, excepté l'utilisation en tant que matière première pour la fabrication de résines de peintures et d'adhésifs, est en vigueur depuis 2005 (directive 2003/53/CE). Cependant la présence d'alkylphénols est toujours détectée dans l'air, l'eau, les sédiments et les sols⁷.

1.2. Surfactants d'origine biologique

1.2.1. Les acides gras et lipides complexes

Les acides gras ou acides carboxyliques peuvent être libres (le plus souvent sous la forme d'un sel avec du sodium) ou incorporés dans une structure plus ou moins complexe via une liaison ester ou amide. La majeure partie des acides gras rencontrés dans la nature est formée d'acides monocarboxyliques, cependant, on peut observer des composés dicarboxyliques constituant une forme métabolique ou résultant d'une oxydation. La plupart des acides gras sont également linéaires et comprennent un nombre pair d'atomes de carbone. Le plus souvent, la longueur des chaînes est comprise entre 12 et 24 atomes de carbone.

On distingue principalement les acides gras saturés, les acides gras monoinsaturés et les acides gras polyinsaturés. Chez certains animaux, plantes ou bactéries, on rencontre également des composés comportant un nombre impair d'atomes de carbone ainsi que des structures ramifiées, les ramifications étant exclusivement des groupements méthyles. Plus rarement, d'autres fonctions telles que des groupements époxy-, hydroxy- ou cétone mais aussi toute une série de cycles (cyclopropane, cyclopropène, cyclopentane, furane, cyclohexyl, etc...) peuvent être présents. Les principaux acides gras sont souvent désignés par des noms usuels (Tableau 2).

Toutefois, il est courant d'utiliser un symbole comprenant dans l'ordre :

- la position et la nature des substituants sur la chaîne alkyle ;
- le nombre d'atomes de carbone ;
- le nombre d'insaturations ;
- la position et la géométrie Z et E (ou *cis* et *trans*) des doubles liaisons.

Deux systèmes de numérotation sont généralement utilisés pour indiquer la position des insaturations et des substituants. La nomenclature officielle attribue au carbone carboxylique le numéro 1 et définit la position des insaturations et des substituants à partir de celui-ci. Dans cette numérotation, les doubles liaisons sont indiquées par le sigle Δ . Une autre nomenclature (ω ou n), utilisée pour les acides gras mono et polyinsaturés, consiste à numéroter les positions des insaturations à partir du carbone terminal (groupement méthyle) de la chaîne aliphatique. Dans ces conditions, les doubles liaisons sont indiquées par les sigles ω_x ou $n-x$, x désignant la position de la double liaison.

Tableau 2. Noms usuels et symboles des acides gras.

| Noms usuels | Symboles | Noms usuels | Symboles |
|--------------------|----------|-------------------------------|---|
| Acide laurique | 12:0 | Acide myristoléique | 14:1 Δ^{9Z} ou 14:1 \square_5 cis |
| Acide myristique | 14:0 | Acide palmitoléique | 16:1 Δ^{9Z} ou 16:1 \square_7 cis |
| Acide palmitique | 16:0 | Acide palmitélaïdique | 16:1 Δ^{9E} ou 16:1 \square_7 trans |
| Acide margarique | 17:0 | Acide oléique | 18:1 Δ^{9Z} ou 18:1 \square_9 cis |
| Acide stéarique | 18:0 | Acide élaïdique | 18:1 Δ^{9E} ou 18:1 \square_9 trans |
| Acide arachidique | 20:0 | Acide <i>cis</i> vaccénique | 18:1 Δ^{11Z} ou 18:1 \square_7 cis |
| Acide béhénique | 22:0 | Acide <i>trans</i> vaccénique | 18:1 Δ^{11E} ou 18:1 \square_7 trans |
| Acide lignocérique | 24:0 | Acide linoléique | 18:2 $\Delta^{9Z,12Z}$ ou 18:2 \square_6 |
| Acide cérotique | 26:0 | Acide arachidonique | 20:4 $\Delta^{5Z,8Z,11Z,14Z}$ ou 20:4 \square_6 |

Les **lipides simples**, mis à part les lipopeptides, sont caractérisés par une très faible polarité. C'est pour cette raison qu'on les qualifie également de lipides neutres.

De tels composés sont considérés comme « simples » car ils comportent un ou plusieurs acides gras directement liés à un glycérol (**glycérides**), un peptide (**lipopeptides**) ou un stérol (**stérides**). En outre, on classe dans ce groupe des lipides insaponifiables comme les **hydrocarbures** (*n*-alcanes, isoprénoïdes, cycloalcanes, alcènes, HAP, etc...) et les **terpènes**.

On rencontre, parmi les lipides neutres, les monoglycérides, les diglycérides et les triglycérides qui correspondent respectivement à un glycérol estérifié par un, deux ou trois acides gras (Figure 6).

Ces derniers pouvant être identiques ou différents. Les esters de glycérol forment l'essentiel des réserves (graisses, huiles) chez les eucaryotes. Chez les procaryotes, ils demeurent rarement observés.

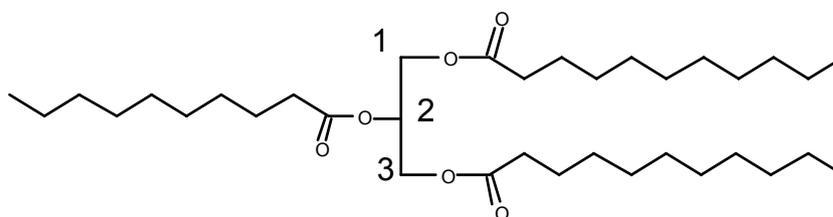


Figure 6. Exemple d'un triglycéride : le 1,2,3-tridecanoyl-*sn*-glycérol.

On distingue parmi les **lipides complexes** ceux formés à partir d'un groupement glycosidique lié à un glycérol ou un aminoalcool portant un ou plusieurs acides gras. De tels composés sont nommés

glycolipides. Un second groupe de lipides complexes comprend l'ensemble des composés contenant un groupement phosphatide lié à un glycérol, un aminoalcool ou un alcool gras portant un ou plusieurs acides gras. Il s'agit du groupe des **phospholipides**.

Les **glycéroglycolipides** contiennent un, deux (cas le plus fréquent) voire trois sucres liés glycosidiquement à un diacylglycérol. La Figure 7 illustrant la structure de deux glycéroglycolipides types. Ces lipides sont particulièrement importants chez les plantes supérieures, les algues et les bactéries. On les trouve également dans les tissus animaux mais en quantités moindres.

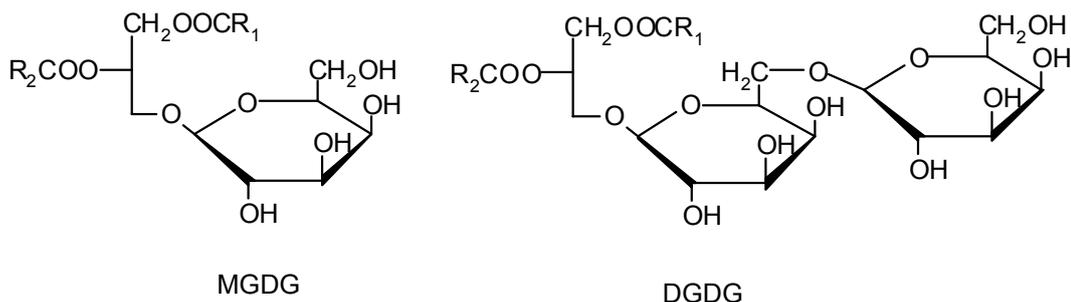


Figure 7. Structures du monogalactosyl diacylglycérol (MGDG) et du digalactosyl diacylglycérol (DGDG).

Parmi les glycolipides, les **sulfoglycéroglycolipides** sont des composés plus atypiques. Toutefois, les membranes des plantes, des algues, des cyanobactéries et de certains champignons contiennent de larges proportions d'un dérivé du MGDG : le sulfoquinovosyl diacylglycérol^{8,9} (Figure 8).

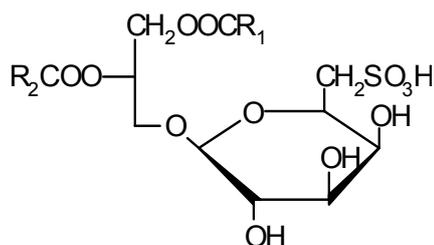


Figure 8. Structure du sulfoquinovosyl diacylglycérol.

Les **glycérophospholipides** sont les constituants lipidiques majeurs des membranes cytoplasmiques animales. Ces lipides sont constitués d'un squelette glycérol portant deux acides gras (ou groupements acyles) ainsi qu'un ester d'acide phosphorique.

On définit également la partie phosphatidique comme étant l'ensemble comprenant un groupement polaire (éthanolamine, choline, glycérol, inositol, sérine, etc.) et le phosphate qui le porte. La structure globale des glycérophospholipides est illustrée sur la Figure 9 dans laquelle on considère le composé le plus simple : l'acide phosphatidique.

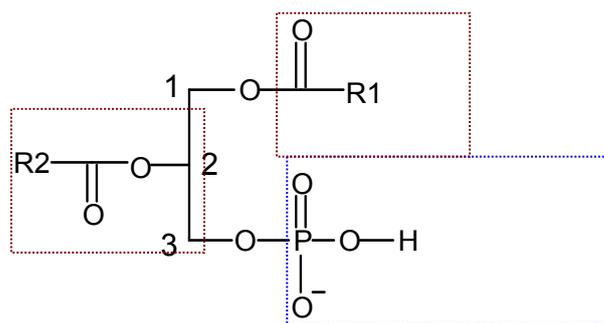


Figure 9. Structure globale des phospholipides, exemple de l'acide phosphatidique.

Il est à noter que les acides gras, les phospholipides et les sulfoglycéroglycolipides peuvent être considérés comme des tensioactifs anioniques puisqu'ils possèdent un caractère acide. Les mono- et diglycérides ainsi que les glycolipides sont non ioniques.

1.2.2. Autres composés

Hormis les lipides, plusieurs molécules d'origine biologique comme les polysaccharides et les protéines peuvent être également à l'origine d'émulsions¹⁰. La complexité et la spécificité des techniques analytiques à mettre en œuvre ne nous permettent pas de rechercher, de caractériser et de quantifier les polysaccharides et les protéines dans le cadre de cette étude. Toutefois, il sera proposé ultérieurement le dosage global des protéines (méthode de Lowry).

Enfin, certains acides humiques et fulviques provenant de la décomposition des végétaux ont des propriétés amphiphiles et, par conséquent, un pouvoir moussant. La caractérisation fine de ces substances est assez complexe à cause de la diversité des structures rencontrées. Ainsi, nous nous limiterons à une estimation globale via les mesures de la teneur en matière oxydable ou en carbone organique total.

2. Échantillonnage et traitement des échantillons de mousses lacustres

Les échantillons de mousse ont été collectés à la surface en évitant de prélever également de l'eau. Afin de faciliter le traitement des échantillons et les différentes analyses, les mousses prélevées ont été centrifugées (3500 tours par minute) pendant 10 minutes.

3. Analyses physico-chimiques

3.1. Protocoles et méthodes

La détermination de la teneur en matière sèche, les formes de l'azote, du phosphore organique, de l'oxydabilité, du pH et de la conductivité ont été obtenues en appliquant les normes reportées dans le Tableau 3.

Les mesures de l'azote nitreux et de l'azote nitrique par analyse en flux et détection spectrométrique ont été effectuées avec un autoanalyseur Macroflux Evolution 2 (Alliance). L'extraction liquide-liquide des tensioactifs anioniques a été réalisée à partir de 20 mL d'échantillon auquel on a ajouté 20 mL de chloroforme (ampoule à décanter de 100 mL).

L'addition de 1 mL d'une solution de bleu de méthylène (0,350 g dans 500 mL d'eau déminéralisée acidifiée avec 65 mL d'acide sulfurique anhydre, puis dilué à 1000 mL après avoir complété avec de l'eau déminéralisée) permet, après agitation, de mettre en évidence la présence de tensioactifs anioniques (coloration bleue de la phase chloroformique).

Tableau 3. Paramètres physicochimiques et chimie générale

| Paramètres | Valeurs | Normes |
|--|-------------|-----------------|
| pH | 5,88 | NF T 90-008 |
| Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 11,2 | NF EN 27888 |
| Matière sèche (mg/g) | 12,8 | NF EN 872 |
| Fraction minérale de la matière sèche | 48,7 % | - |
| Oxydabilité (mg/L) | 24 | NF EN ISO 8467 |
| Nitrates | N.D. | NF EN ISO 13395 |
| Nitrites | N.D. | |
| Ammonium | N.D. | NF EN ISO 11732 |
| P _{organique} (mg/L) | 0,53 | NF T 90-023 |
| Indice de saponification | N.D. | - |
| Stabilité de l'émulsion | Très stable | - |

3.2. Résultats

Les échantillons du mois de juillet 2007 ont montré une coloration négative au bleu de méthylène ainsi qu'une très faible stabilité (déphasage de l'émulsion en quelques heures seulement lors de la conservation au réfrigérateur ; Tableau 4). Par conséquent ces échantillons n'ont pu être traités ni analysés.

Le prélèvement du 06 février 2007 a permis de faire un certain nombre d'analyses qualitatives et quantitatives. Nous présenterons uniquement les résultats associés à cet échantillon. Après centrifugation, nous avons obtenu un liquide visqueux (environ 5 mL), 2 grammes ont été

immédiatement prélevés, dilués dans 100 mL d'eau déminéralisée (soit une solution à 20 g/L) puis filtrés (GF/F, porosité 0,7 µm) afin de réaliser les analyses physico-chimiques (Tableau 3).

Tableau 4. Lieux et dates de prélèvement des mousses

| Lac | Dates | Coloration au bleu de méthylène | Stabilité de l'émulsion |
|-----------------------------|----------|---------------------------------|-------------------------|
| Hourtin (rive est) | 06/02/07 | Positive | Elevée |
| Hourtin (rive est) | 02/07/07 | Négative | Faible |
| Hourtin (rive est et ouest) | 27/07/07 | Négative | Faible |

Le pH légèrement acide (pH=6,5 pour l'eau déminéralisée) et la faible conductivité indiquent la probable présence de composés anioniques. L'échantillon de mousse contient 1,28 % de matière sèche, celle-ci étant constituée quasiment pour moitié de substances inorganiques (fraction minérale). L'oxydabilité montre que la matière sèche contient environ 9,5 % de matière organique non réfractaire. Cette analyse pourra être complétée par la mesure en carbone organique total par la suite. En effet, l'enrichissement du milieu en carbone organique peut témoigner de la présence de surfactants¹¹.

La stabilité élevée de l'émulsion (stable durant plusieurs jours) semble indiquer la présence de tensioactifs neutres, cationiques et/ou anioniques. L'extraction liquide-liquide par le chloroforme, puis la coloration positive de l'extrait organique au bleu de méthylène a révélé la présence probable de tensioactifs anioniques. Cependant, cette méthode n'est pas spécifique puisque des composés inorganiques tels que sulfates et les phosphates, bien que peu solubles dans le chloroforme et en grande partie éliminés lors de l'acidification de l'échantillon, peuvent interférer. La prise d'essai étant trop faible pour permettre un dosage précis, nous avons seulement obtenu une information qualitative à ce stade.

Les différentes formes de l'azote n'ont pas été détectées. L'indice de saponification n'a pas pu être déterminé également. Les seuils de quantification étant trop élevés (de l'ordre du mg/L), la présence d'acides gras ne pourra être révélée qu'avec les analyses par chromatographie gazeuse.

Enfin, la très faible teneur en matière organique (maximum de 6,6 mg/g) risque de se relever problématique pour la recherche de micropolluants organiques à l'état de trace. De même, la teneur en phosphore organique (27 µg/g) nécessitera des méthodes d'extractions et d'analyses très performantes afin de mettre en évidence les phospholipides par exemple. Les résultats concernant les analyses organiques seront discutés par la suite mais au vu des analyses physico-chimiques, une prise d'essai plus importante semble nécessaire.

4. Analyses organiques

4.1. Protocoles et méthodes

4.1.1. Techniques d'extraction

Nous avons souhaité comparer deux techniques d'extractions différentes : l'extraction liquide-liquide (LLE) au moyen de solvants organiques qui autorise une extraction globale des composés organiques et l'extraction sur phase solide (SPE) qui est plus sélective vis-à-vis de la polarité des composés et des structures chimiques rencontrées (fonctions alcools, carboxyliques, amines, urées, etc.).

Extraction liquide-liquide :

Diluer 1 mL d'échantillon centrifugé (environ 1 g) dans 20 mL d'un mélange dichlorométhane/méthanol (1:1, v/v), réaliser l'extraction par agitation aux ultrasons pendant 5 minutes dans un tube à centrifuger de 50 mL. Ajouter ensuite 10 mL d'eau ultrapure (déphasage) puis centrifuger (4500 tours par minutes) pendant 5 minutes. Récupérer la phase chloroformique et la sécher avec Na₂SO₄ (anhydre) puis éliminer le solvant au moyen d'un évaporateur rotatif.

Reprendre l'extrait sec avec 2 mL de dichlorométhane, transférer la moitié (1 mL) dans deux piluliers différents puis évaporer sous azote le solvant. Reprendre un des deux piluliers avec 500 µL d'acétate d'éthyle (analyses par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse) puis l'autre pilulier avec 500 µL d'un mélange eau/méthanol (1:1, v/v). Ce dernier pilulier sera destiné à l'analyse par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem.

Les rendements d'extraction (n=3) varient entre 90-110 % pour les alkylphénols (4-*n*-octylphénol, 4-tert-octylphénol et 4-*n*-nonylphénol). Ils n'ont pas été déterminés pour les autres composés ciblés.

Extraction sur phase solide :

Diluer 1 mL d'échantillon centrifugé (environ 1 g) dans 10 mL d'eau ultrapure. L'extraction sous vide (environ -50 kPa) des échantillons est réalisée avec des cartouches SPE Oasis HLB (6 mL, 500 mg, Waters) disposées sur un visiprep.

Des réservoirs de 100 mL sont placés au dessus de chaque cartouche. Les cartouches sont initialement rincées avec 10 mL de méthanol suivi de 10 mL d'eau ultrapure. Suite à cette étape de rinçage et en évitant que l'adsorbant soit sec, faire percoler l'échantillon.

Après extraction, rincer de nouveau l'adsorbant avec 20 mL d'eau ultrapure puis le sécher sous un courant d'azote pendant 30 minutes. Les cartouches peuvent être conservées au réfrigérateur (4 °C) jusqu'à l'étape d'élution. L'élution des cartouches SPE est obtenue à l'aide de 5 mL de méthanol. L'éluat est évaporé à sec sous un flux d'azote.

Reprendre l'extrait sec avec 2 mL de méthanol, transférer la moitié (1 mL) dans deux piluliers différents puis évaporer sous azote le solvant. Reprendre un des deux piluliers avec 500 µL d'acétate d'éthyle (analyses par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse) puis l'autre pilulier avec 500 µL d'un mélange eau : méthanol (1:1, v/v). Ce dernier pilulier sera destiné à l'analyse par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem.

4.1.2. Techniques analytiques

Certaines analyses ont été réalisées par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Cette technique convient pour l'étude des mélanges complexes contenant des composés volatiles (molécules de faible poids moléculaire), peu polaires et non thermolabiles.

Dans cette étude, la GC-MS a été employée afin d'analyser qualitativement les acides gras, les hydrocarbures, les phtalates et les alkylphénols. Par la suite, nous envisageons de réaliser le dosage des composés mis en évidence, notamment en ce qui concerne les acides gras et les alkylphénols.

Matériel et paramètres :

Trace GC (chromatographie en phase gazeuse)

Colonne GC : Zebron ZB-5 (60 m x 0,25 mm x 0,25 μ m).

Température injection=270°C

Volume d'injection=2,5 μ L

Solvant d'injection : acétate d'éthyle

Programmation en température= 40°C (1,2 min), puis 160°C (15°C/min), puis 270°C (4°C/min) et enfin isotherme de 270°C pendant 3,3 min. Durée totale : 40 min

Débit de la phase mobile=1 mL/min (Hélium)

Durée du mode splitless=1,2 min

Split flow=40 mL/min

Polaris (spectromètre de masse)

Mode d'ionisation : impact électronique

Analyseur : trappe ionique

Température de la source=240°C

Température de la ligne de transfert=280°C

Scan=100-350 uma (6 μ scans)

Début d'acquisition : 10 min

Tableau 5. Paramètres d'analyse GC-MS des alkylphénols

| Composés | Ions de quantification (m/z) | Ions de confirmation (m/z) | Limites de quantification (ng/mL) |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 4- <i>n</i> -octylphénol | 135 | 107, 206 | 100 |
| 4- <i>tert</i> -octylphénol | 107 | 206 | 100 |
| 4- <i>n</i> -nonylphénol | 107 | 220 | 100 |

La chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (HPLC-ESI-MS/MS) est utilisée en complément de la GC-MS puisqu'elle permet l'analyse des composés plus ou moins volatils et plutôt polaires.

Durant ce travail, nous avons cherché à caractériser les composés chargés (tensioactifs anioniques essentiellement) en infusion uniquement. En d'autres termes, nous n'avons pas réalisé de séparation chromatographique, seuls les spectres de masse ont été interprétés. Les composés recherchés ont été les acides gras et les lipides complexes du type glycolipides et phospholipides pour ce qui est des composés biologiques et les alkylbenzènesulfonates, le laurylsulfate et les laurethsulfates concernant les substances d'origine anthropique.

Matériel et paramètres :

API 2000 (spectromètre de masse)

Mode d'ionisation : electrospray (ESI)

Analyseur : triple quadripole

Ion spray voltage= -4500 V (ionisation negative)

Declustering potential=20-30 V

Pression gaz de nebulisation CG1 (N₂)=15 psi, Pression curtain gaz (N₂)=10 psi

Scan=50-900 uma

Dwell time=1 seconde

Résolution unitaire, Energie de collision=20-30 V, Pression gaz de collision CAD=3 psi

Débit de l'infusion=10 µL/min

4.2. Résultats

4.2.1. Extraction liquide-liquide

La Figure 10 (A) représente le chromatogramme brut (courant ionique total) obtenu lors de l'analyse de l'extrait par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. L'utilisation d'un spectromètre de masse en tant que détecteur nous permet d'identifier certains composés.

Nous avons ainsi isolé les ions caractéristiques de différentes familles de composés organiques : l'ion $m/z=55$ pour les acides gras insaturés (B), l'ion $m/z=71$ pour les alcanes linéaires et ramifiés (C) et enfin l'ion $m/z=149$ pour les phtalates (D). Les acides gras monoinsaturés sont généralement accompagnés d'acides gras saturés et polyinsaturés (non mis en évidence car nécessitant des étapes supplémentaires de dérivation¹²⁻¹⁴ de l'extrait et, par conséquent, une prise d'essai plus importante).

Les acides gras saturés du type palmitique, stéarique et monoinsaturés du type oléique sont peu spécifiques et peuvent provenir de microorganismes, de macrophytes ou de n'importe quel invertébré par exemple^{8, 15}. En revanche, les acides gras polyinsaturés comme les acides linoléique et

arachidonique sont essentiellement d'origine végétale^{8, 16, 17}. Il serait donc intéressant par la suite de mettre en évidence ces composés au sein du « pool » lipidique et, par la même, la contribution des macrophytes et des plantes supérieures.

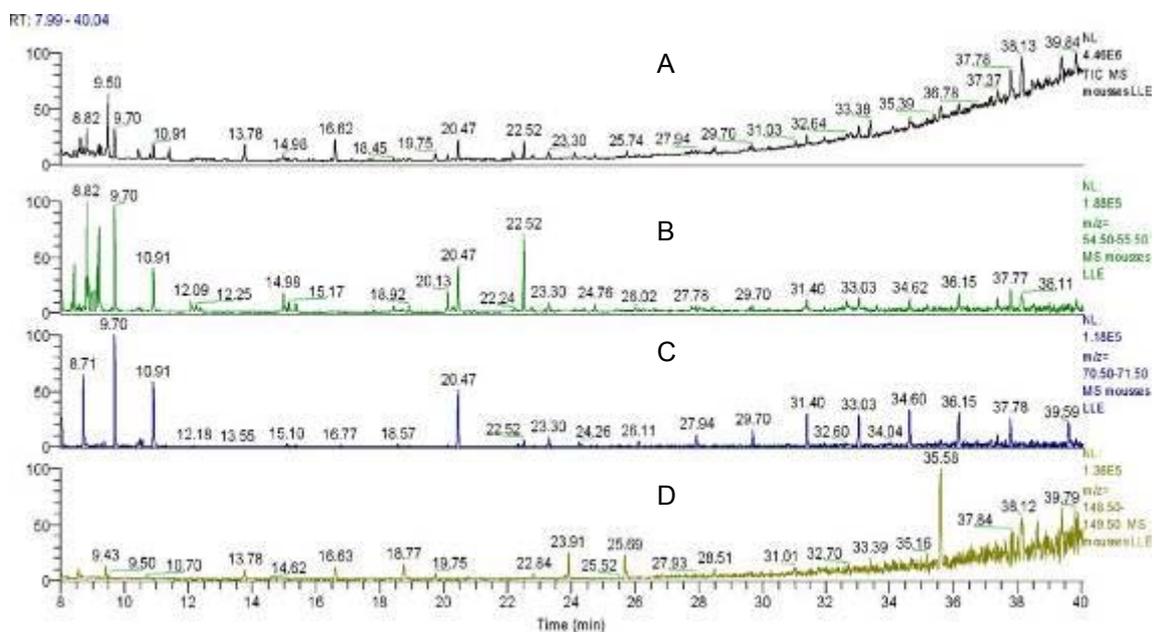


Figure 10. Analyse par GC-MS de l'extrait.

A) Courant ionique total, B) acides gras monoinsaturés, C) alcanes, D) phtalates

Les alcanes sont généralement présents en très faible quantité dans les organismes vivants, ils peuvent également avoir une origine anthropique. Il est nécessaire de réaliser ultérieurement une analyse quantitative afin de déterminer la véritable importance de ces composés au sein des échantillons de mousse prélevés. Quant aux phtalates, il s'agit de contaminants ubiquistes¹⁸ qui peuvent provenir des différents matériaux plastiques utilisés lors de l'échantillonnage ou du traitement des échantillons. Il est donc peu probable qu'ils soient réellement présents en grande quantité au sein des mousses.

Des précautions seront prises afin de minimiser la contamination lors du prélèvement (flacons en verre) et de la préparation des échantillons.

Enfin, le fait que les ions caractéristiques des alkylphénols (Tableau 5) n'aient pas été détectés indique une très faible quantité, voire l'absence de ces composés (limites de détection d'environ 25-35 ng/g de mousse humide). Toutefois, une prise d'essai plus importante pourrait confirmer ce premier résultat.

L'analyse des composés polaires chargés négativement (spectre de masse de la Figure 11) confirme la présence d'acides gras saturés et insaturés.

Il est à noter que les intensités relatives des pics associés à chaque ion ne sont pas révélatrices des proportions réelles, seul un étalonnage interne pourra fournir une information quantitative. On note également la présence de composés organiques contenant un groupement sulfate et caractérisés par des poids moléculaires moyens (532, 689 et 769 Da).

Les structures de ces organosulfates n'ont pu être élucidées (les masses et les fragmentations ne correspondant pas aux tensioactifs anioniques connus), cependant, ils ont très probablement des propriétés émulsifiantes puisqu'ils comportent au moins un groupement polaire anionique.

Par ailleurs, nous n'avons pu mettre en évidence la contribution des lipides complexes que sont les phospholipides et les glycolipides alors qu'elle était attendue au même titre que celle des acides gras. Ceci est probablement lié à leur très faible abondance (0,27 µg/g de phosphore organique pour les phospholipides par exemple ; Tableau 3).

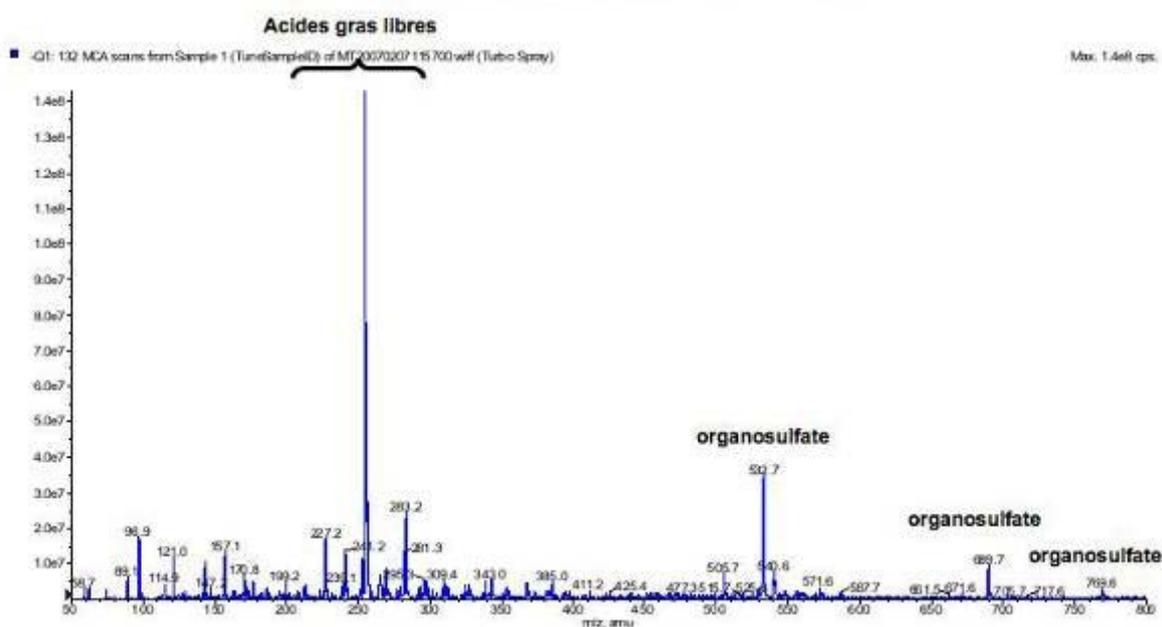


Figure 11. Spectre de masse (ESI-MS) de l'extrait

Comme pour la recherche des alkyphénols à l'état de trace, il apparaît indispensable d'augmenter la prise d'essai lors de l'échantillonnage (pour mémoire 2 g ont été utilisés pour les analyses organiques et environ 5 g d'échantillon étaient disponibles pour l'ensemble des analyses).

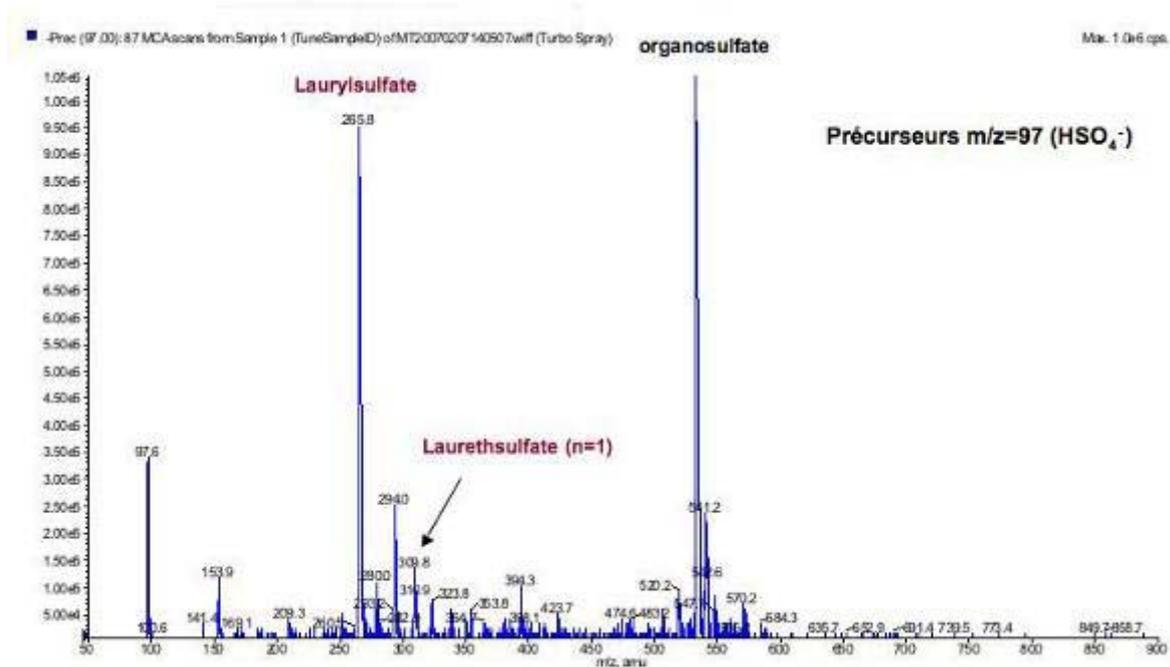


Figure 12. Balayage des ions précurseurs de l'ion hydrogénosulfate (HSO_4^-)

A partir du même échantillon, nous avons fait une recherche des ions précurseurs de l'ion hydrogénosulfate (Figure 12).

Ce mode de balayage réalisable grâce à la spectrométrie de masse en tandem permet de révéler l'ensemble des composés contenant un groupement sulfate. Nous retrouvons bien évidemment les organosulfates observés auparavant (Figure 11), notamment le composé possédant une masse d'environ 532 Da, mais également le laurylsulfate (265 Da) et le laureth-1-sulfate (309 Da) dont les ions correspondants étaient masqués par ceux des acides gras.

Cette analyse révèle donc les traces de quelques détergents qu'il faudra confirmer à partir d'autres échantillons de mousse.

4.2.2. Extraction sur phase solide

L'analyse par GC-MS a donné des résultats similaires à ceux de l'extraction liquide-liquide. Les acides gras et les alkylsulfates n'ont pas été détectés par ESI-MS, indiquant probablement une trop forte rétention de ces composés sur l'adsorbant utilisé durant l'extraction sur phase solide.

Cette technique ne sera plus utilisée hormis dans le cas où une purification de l'échantillon issu de l'extraction liquide-liquide serait nécessaire.

Références

1. Dolkemeyer, N., Surfactant on the Eve of the Third Millenium – Challenges and opportunities. In *5th World Surfactant Congress, Cesio 2000*, Florence 2000.
2. Ho Tan Tai, L., *Détergents et produits de soins corporels*. Ed Dunod: 1999; p 15-54.
3. OSPAR, OSPAR strategy with regard to hazardous substances, OSPAR convention for the protection of the marine environment of the North-East Atlantic **1998**, 98/14/1 annexe 34.
4. General environment socio-economic impacts of the identification of priority hazardous substances under the Water Framework Directive. Final report; Risk and policy analysts limited, European commission Directorate: Norfolk, 2002.
5. Poremski, Use pattern of nonylphenol ethoxylates and their application properties. In Proceedings of the seminar on nonylphenol ethoxylates and nonylphenol. Saltsjöbaden. Inguar Bingman, publ., Stockholm ISBN91-620-3907-5: 1991; p 23-40.
6. Ahel, M.; Giger, W.; Koch, M., Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment – I. Occurrence and transformation in sewage treatment. *Wat. Res.* **1994**, 28, 1131-1142.
7. Ying, G.-G.; Williams, B.; Kookana, R., Environmental fate of alkylphenols and APE – a review. *Environment International* **2002**, 28, 215-226.
8. Sanina, N. M.; Goncharova, S. N.; Kostetsky, E. Y., Fatty acid composition of individual polar lipid classes from marine macrophytes. *Phytochemistry* **2004**, 65, (6), 721-730.
9. Cedergren, R. A.; Hollingsworth, R. I., Occurrence of sulfoquinovosyl diacylglycerol in some members of the family Rhizobiaceae. *J. Lipid Res.* **1994**, 35, 1452-1461.
10. Madrange, L.; Chaboury, P.; Ferrandon, O.; Mazet, M.; Rodeaud, J., Etude de la formation et de la stabilité des mousses chimiques de surface de la Vienne. *Revue des sciences de l'eau* **1993**, 6, 315-333.
11. *COTTONWOOD CREEK TMDL DEVELOPMENT—RESIDUE*; THE AQUATIC RESTORATION AND RESEARCH INSTITUTE, Alaska, USA: 2005; p 40.
12. Morrison, W. R.; Smith, L. M., Preparation of fatty acids methyl esters and dimethyl acetals from lipids with boron trifluoride-methanol. *J. Lip. Res.* **1964**, 5, 600-608.
13. Nichols, P. D.; Guckert, J. B.; White, D. C., Determination of monounsaturated fatty acid double bond position and geometry for microbial monocultures and complex consortia by capillary GC-MS of their dimethyl disulfide adducts. *J. Microbiol. Meth* **1986**, 5, 49-55.
14. Andersson, B. A.; Holman, R. T., Pyrrolidides for mass spectrometric determination of the position of methyl branching in branched fatty acids. *Lipids* **1975**, 10, 185-190.
15. Lechevalier, M. P., Lipids in bacteria taxonomy - a taxonomist's view. *Crit. Rev. Microbiol.* **1977**, 7, 109-210.
16. Goldfine, H., Comparative aspects of bacterial lipids. *Adv. Microb. Physiol.* **1972**, 8, 1-58.

17. Mazzella, N.; Molinet, J.; Syakti, A. D.; Bertrand, J.-C.; Doumenq, P., Assessment of the effects of hydrocarbon contamination on the sedimentary bacterial communities and determination of the polar lipid fraction purity: relevance of intact phospholipid analysis. *Mar. Chem.* **2007**, 103, 304-317.
18. Thuren, A., Determination of phthalates in aquatic environments. *Bull. environ. contam. toxicol.* **1986**, 36, 33-40.

Thèse de Maria Cellamare (2009)

(Évaluation de l'état écologique des plans d'eau aquitains à partir des communautés de producteurs primaires". Thèse de doctorat, Spécialité : Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, Université de Bordeaux 1, Cemagref. 334 p.)

Chapitre 6.

La mousse dans les lacs aquitains : une origine végétale ?

What's that along the shoreline?

(Schmitt, 2005)

6.1 Introduction

La formation de mousse à la surface des eaux existe au niveau global depuis longtemps. Ce phénomène peut avoir une origine naturelle ou anthropique. Dans les deux cas, la mousse se crée quand la tension de surface de l'eau (attraction des molécules en surface) se trouve réduite et que l'air s'y mélange en formant des bulles. Toutes les eaux (marines et douces) contiennent de la matière organique telle que des algues et des plantes et quand ces dernières se décomposent, elles libèrent dans l'eau des produits cellulaires (agents tensio-actifs, e.g. polysaccharides), réduisant la tension de surface (New Hampshire Department of Environmental Services, 2001; Hamm et Rousseau, 2003). Des agents d'origine anthropique (e.g. détergents constitués principalement d'orthophosphates) peuvent également réduire cette tension de surface (New Hampshire Department of Environmental Services, 2001).

Pendant cette étude nous avons observé d'importantes quantités de mousses dans les lacs d'Hourtin et de Lacanau (Figure 44). Ces événements ont principalement eu lieu sur la rive Est des deux lacs, juste après de forts épisodes de vent provenant de l'Ouest. Ce phénomène n'est pas nouveau puisque des témoins qui ont fréquenté ces deux lacs (ornithologues, pêcheurs, riverains), affirment observer épisodiquement ces mousses au moins depuis 30 ans. Il n'est pas non plus localisé seulement dans ces deux lacs puisque des observations ont également été faites dans les années passées sur les lacs de Cazaux (Capdevielle, 1978) et de Parentis (Dutartre, com. pers).

En plus d'avoir un impact sur l'aspect esthétique et en conséquence une influence négative sur le tourisme dans les zones affectées, les effets directs de ce phénomène sur l'écosystème sont inconnus. L'objectif de cette étude n'est pas d'identifier ces effets mais de déterminer quelle est l'origine de ces mousses, et éventuellement de préciser s'il s'agit d'un élément nuisant au fonctionnement de ces systèmes lacustres. De ce fait, des analyses de détergents ont été réalisées afin de définir si ces mousses avaient une origine anthropique. Des analyses complémentaires de plusieurs molécules d'origine biologique (i. e. lipides, polysaccharides) ainsi que des observations microscopiques ont également été effectuées pour déterminer si l'origine de ces mousses est naturelle.

6.2 Méthodologie

Prélèvement

Des échantillons de mousse ont été prélevés à plusieurs reprises pendant la période 2006-2007 sur les rives du côté Est du lac d'Hourtin. Ces mousses ont été prélevées au ras de l'eau à l'aide d'une pelle, puis stockées dans des sacs en plastique et conservées au frais jusqu'à leur analyse ultérieure.

Analyses biologiques

Des observations qualitatives dans la mousse fraîche ont été réalisées au microscope droit, afin de déterminer si le matériel prélevé dans les lacs d'Hourtin et Lacanau contenait des microorganismes et, le cas échéant, de réaliser leur identification.

Analyses chimiques

Une première série d'analyses chimiques de la mousse provenant du lac d'Hourtin (due à sa quantité suffisante sur les rives) ont été réalisées au laboratoire de chimie (Cemagref, Bordeaux). Les échantillons de mousse ont été centrifugés, puis ont subi une filtration grossière (env. 0,1 mm) afin de retirer la plupart des débris (branches, feuilles, etc.) susceptibles de fausser les résultats analytiques. Les analyses physico-chimiques sur ces extraits bruts non purifiés ont révélé une fraction minérale représentant près de 49% de la matière sèche. Un dosage global des tensio-actifs anioniques s'est révélé négatif. La recherche de tels détergents a été complétée avec l'analyse de composés neutres (alkylphénols) par chromatographie gazeuse couplée à spectrométrie de masse. Ces analyses n'ont pas donné de résultats significatifs, excluant dans un premier temps une origine principalement anthropique. Enfin, il a été constaté une très grande stabilité des mousses avant leur centrifugation (aucun déphasage n'a été observé après plusieurs jours de conservation).

Plusieurs molécules d'origine biologique comme les lipides, les polysaccharides et les protéines peuvent être également former des émulsions (Madrangé et al., 1993). De plus, certains acides humiques et fulviques provenant de la décomposition des végétaux ont des propriétés amphiphiles et, par conséquent, un pouvoir moussant (Chenu et Bruand, 1998). Toutefois, la caractérisation fine des substances humiques est assez complexe à cause de la diversité des structures rencontrées. Leur analyse n'a donc pas été réalisée. La complexité et la spécificité des techniques analytiques à mettre en œuvre pour l'identification et le dosage

des composés d'origine biologique, et surtout la diversité de ces derniers, nous a limité et orienté vers la recherche de lipides et de polysaccharides. Les analyses des acides gras issus de lipides neutres (glycolipides et phospholipides) après saponification (données non présentées) n'ont révélé que des traces. Concernant les polysaccharides, des aliquotes prélevés à partir des extraits bruts ont donc été transmis à un laboratoire spécialisé dans l'analyse de ces composés (Polymaris Biotechnology, Morlaix). Pour cela, des analyses qualitatives (composition) et quantitatives (teneur en polysaccharides dans la matière sèche) ont été réalisées (voir Annexe 5). Les dosages de la mousse (composé brut) ont été réalisés après une purification des extraits bruts.

6.3 Résultats

Composition algale

Dans les analyses microscopiques de la mousse provenant des lacs d'Hourtin et de Lacanau, il a été observé une densité importante de cyanobactéries, dont les espèces exotiques tropicales *Planktolyngbya microspira* et *P. circumcreta*, et les taxons non-exotiques *P. limnetica* et *Chroococcus minutus*, ainsi que des diatomées pennées, principalement *Navicula radiosa*, *Tabellaria flocculosa* et *Cymbella helvetica* (Figure 45). La plupart des taxons identifiés dans la mousse étaient aussi présents dans les échantillons d'eau prélevés pendant toute la période d'étude dans les deux lacs. Certains d'entre eux étaient aussi dominants en termes d'abondance. C'est le cas de *Planktolyngbya microspira*, laquelle a représenté jusqu'à 58% de l'abondance totale ($723.562 \text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$) en été 2006 dans le Lac d'Hourtin (Figure 37).

De manière anecdotique, pendant la filtration de l'eau destinée à l'analyse de pigments des deux lacs mentionnés précédemment, il s'est avéré difficile de filtrer plus de 100 ml car une substance visqueuse colmatait rapidement le filtre. En étudiant cette substance mucilagineuse au microscope, d'importantes densités de microalgues principalement constituées par les cyanobactéries et diatomées dominantes dans la mousse ont été observées.

Composition chimique

Les analyses de la mousse ont permis de montrer que 56% de la matière sèche, soit la quasi-totalité de la fraction organique de la matière sèche après purification, était constituée

d'exopolysaccharides de haute masse moléculaire (2000000 Da), dont la composition osidique est indiquée dans le Tableau 9.

Tableau 9. Composition osidique après purification des exopolysaccharides identifiés dans la mousse prélevée à la surface de l'eau du lac d'Hourtin le 19/05/2008 (analyse réalisée par le laboratoire Polymaris Biotechnology, Morlaix).

| | Rhamnose | Xylose | Glucose | Galactose | Mannose | Fucose |
|----------------|----------|--------|---------|-----------|---------|--------|
| Ratio molaire* | 1 | 3 | 3 | 5 | 2 | 2 |

(*) Proportion des différents oses dans la composition finale des polysaccharides analysés.

6.4 Discussion

La mousse observée au cours de cette étude sur les rives des lacs de Lacanau et d'Hourtin semblerait être d'origine végétale comme le montrent les résultats des analyses microscopiques (dans les deux lacs) et chimiques (dans le lac d'Hourtin). Plusieurs études réalisées sur des communautés benthiques ont montré que différentes espèces de cyanobactéries et de diatomées produisent des substances mucilagineuses constituées d'exopolysaccharides (De Philippis et al., 2005). Bruckner et al. (2008) indiquaient que les polysaccharides extracellulaires des diatomées benthiques étaient généralement composés de rhamnose, fucose, xylose, mannose, galactose et glucose, tous étant identifiés dans la mousse de notre étude (Tableau 9). La plupart de ces polysaccharides étaient également identifiés par De Philippis et al. (2005) dans des mucilages prélevés sur des organismes benthiques et des cailloux dans un archipel localisé dans la mer Tyrrhénienne. Ces auteurs signalaient que le mucilage était principalement constitué par des diatomées du genre *Synedra*, *Licmophora* et *Navicula*, ainsi que des cyanobactéries du genre *Leptolyngbya*, *Lyngbya* et *Rivularia*.

Dans cette étude, les cyanobactéries dominantes identifiées dans la mousse, comprenant les taxons exotiques, appartiennent principalement au genre *Planktolyngbya*, laquelle est caractérisée par la présence d'une gaine mucilagineuse, généralement constituée de polysaccharides, servant de barrière protectrice entre la cellule et l'environnement immédiat (De Philippis et Vincenzini, 1998). Concernant les diatomées, les espèces les plus représentatives étaient les pennées *Navicula radiosa* et *Tabellaria flocculosa*, lesquelles secrètent un mucilage composé de polysaccharides probablement afin de maintenir le lien entre les cellules formatrices de colonies ainsi que comme moyen de locomotion (Round et al., 1990). Selon De Philippis et al. (2005), le mucilage produit par certaines diatomées

benthiques joue également un rôle dans leur attachement aux macroalgues benthiques, tandis que chez les cyanobactéries l'enveloppe gélatineuse leur sert dans la formation des biofilms, pour adhérer aux surfaces ou aux agrégats benthiques.

L'un des exemples les plus spectaculaires de formation naturelle des mousses à la surface de l'eau est celui produit sur les côtes dans la Mer du Nord et celles entre l'Angleterre et la France (Kesaulya et al., 2008) (Figure 43). Dans la plupart des cas ce phénomène est dû au développement excessif et presque mono-spécifique d'une microalgue appelée *Phaeocystis globosa* appartenant à la classe Prasinophyceae. Les blooms de *Phaeocystis* sont dominés par sa forme coloniale, qui peut atteindre jusqu'à 10 mm alors que la taille d'une cellule individuelle est de seulement 6 μm (Hamm et Rousseau, 2003). *Phaeocystis* est considérée comme une algue nuisible qui produit des toxines, provoque de l'anoxie et entraîne une mortalité massive chez les poissons (Kesaulya et al., 2008), constituant également une gêne pour les utilisateurs.



Figure 43. Formation de mousse dans la zone de turbulences et sur les plages de la côte française à Le Portel (a–b) et à Audresselles (c–d) (Kesaulya et al., 2008).

Cependant, à la différence de *P. globosa*, dont les grosses colonies sont aussi constituées par des mucopolysaccharides (Kesaulya et al., 2008), les algues dominantes dans la mousse prélevée dans les deux lacs aquitains étudiés ici ne produisent pas de toxines, ou du moins leur toxicité n'a pas été prouvée jusqu'à ce jour. La formation des mousses dans les lacs de Lacanau et principalement d'Hourtin est si importante car des algues sécrétant des polysaccharides se trouvent à des densités assez élevées dans l'eau, entre autres, les

cyanobactéries exotiques. De plus, ces deux lacs ont des concentrations assez élevées en substances humiques qui sont des macromolécules tensio-actives (Chenu et Bruand, 1998). Les formations de mousse blanche et savonneuse, principalement sur la rive Est des deux lacs (Figure 44), sont probablement provoquées par les vents provenant principalement de l'Ouest qui forment des vagues et agitent ces agents présents dans l'eau et/ou dans les algues. De plus, les mousses naturelles ont parfois une odeur de poisson, de terre et possèdent une couleur blanche ou tirant sur le grisâtre, le beige ou le marron. Au contraire, les mousses de détergents ont une odeur nettement parfumée et sont souvent de couleur blanche. On attribue fréquemment la mousse le long des rives aux détergents, mais ceux-ci ne provoquent pas de mousses stables car ils perdent rapidement leur propriété savonneuse (New Hampshire Department of Environmental Services, 2001), ce qui n'était pas le cas des mousses objet de cette étude.

Nous ne pouvons pas affirmer que les espèces exotiques riches en polysaccharides, particulièrement les cyanobactéries du genre *Planktolyngbya*, soient à l'origine de la formation des mousses dans les lacs d'Hourtin et Lacanau. Cependant, ces espèces sont toujours dominantes en termes de densité dans l'eau ainsi que dans la mousse. De plus, nous avons examiné des échantillons d'eau prélevés dans ces deux lacs en 1978 par Paul Capdevielle et ces espèces étaient déjà présentes dans une densité importante. Selon des riverains, à cette époque les mousses étaient déjà observées sur ces deux lacs, ce qui tendrait à soutenir l'hypothèse d'une origine biologique de ces mousses.



Figure 44. Mousse présente sur la rive Est des lacs d'Hourtin (a-c) et Lacanau (d).

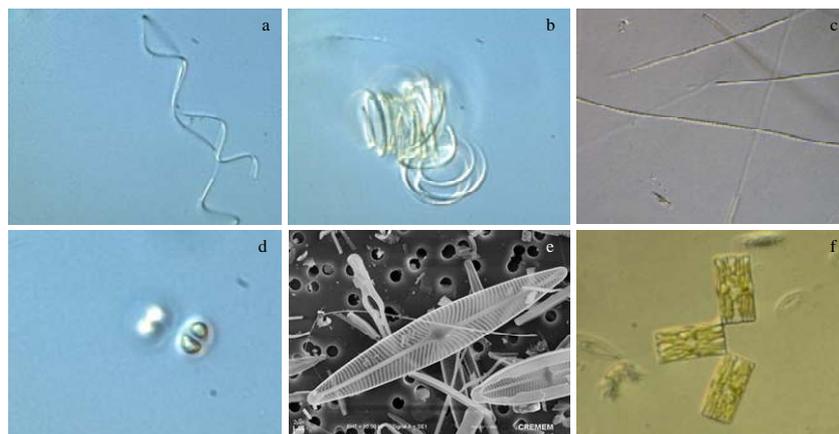


Figure 45. Microalgues identifiés dans la mousse prélevée dans les lacs d'Hourtin et Lacanau. a) *Planktolyngbya microspira*, b) *P. circumcreta*, c) *P. limnetica*, d) *Chroococcus minutus*, e) *Navicula radiosa*, f) *Tabellaria flocculosa*. Toutes les photos ont été prises sous microscope inversé, à l'exception de e) laquelle a été prise sous MEB.

Mousses lacustres, rive est du lac de Carcans-Hourtin (juillet 2011)



Un point sur les mousses lacustres

Alain Dutartre (ingénieur de recherche, Cemagref Bordeaux)

L'apparition de mousses blanchâtres à la surface des eaux des lacs du littoral aquitain ne sont ni une nouveauté ni un indice de pollution mais ce phénomène naturel continue d'inquiéter les usagers.

Déjà, en 1973, des d'échantillons de ces mousses avaient été prélevés par le CTGREF à l'occasion d'un premier programme de recherche sur la qualité des lacs. Les analyses réalisées alors par l'Institut du Pin avaient fait l'objet d'une annexe dans un premier rapport partiel du CTGREF¹. Elles précisaient la composition chimique de ces mousses, dépourvues de détergents et comportant des acides gras et des sucres complexes (ou "polysaccharides"), ce qui en démontrait l'origine organique. La conclusion de l'Institut du Pin était que ces mousses pouvaient provenir d'un mucilage² issu d'une "*plante à fleurs très rencontrée dans ces terrains... Littorella lacustris*". A cette époque, des personnes âgées de Sanguinet nous avaient indiqué que de tels développements de mousse s'étaient déjà produits dans le passé.

En 2005 et 2006, des apparitions assez fréquentes de ces mousses sur les lacs avaient de nouveau inquiété usagers, gestionnaires et élus. Cette inquiétude a conduit l'Agence de l'Eau Adour-Garonne à commander une première synthèse bibliographique au Groupement d'Intérêt Scientifique ECOBAG³ pour faire le point sur les connaissances acquises sur ce phénomène proposer des investigations complémentaires pour caractériser ces mousses, leurs causes et les risques potentiels vis-à-vis des usages et des milieux.

L'Agence a également lancé une étude spécifique sur ce phénomène en partenariat avec l'Unité de Recherche Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux du Cemagref qui, depuis le début des années 70, participe aux études de qualité des plans d'eau douce du littoral aquitain. **L'objectif de cette étude était de tenter de préciser la nature et les causes d'apparition de ces mousses.**

En parallèle à des prélèvements et analyses réalisés en interne par le Cemagref, la mise en place d'un "réseau d'alerte", couvrant les quatre lacs et permettant une information rapide afin que les agents du Cemagref puissent réaliser eux-mêmes les prélèvements de mousse dans des conditions adéquates, avait été proposée. Une réunion a eu lieu en avril 2007 qui a rassemblé des représentants des quatre lacs et des deux Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) actuellement en cours sur les lacs ("Born et Buch" et "Lacs médocains").

Cette réunion a été l'occasion de présenter les premiers résultats des analyses réalisées au Cemagref. Ils ont confirmé l'absence de détergents dans les échantillons analysés. Des

¹ Balland P., 1973. Les étangs aquitains, rapport partiel d'étude. Rapport CTGREF, 36 p.

² "Substance végétale ayant la propriété de gonfler dans l'eau", Dictionnaire Le Petit Robert, édition 1967.

³ GIS ECOBAG, 2006. Les phénomènes d'apparition de mousses dans les cours d'eau et les plans d'eau. Synthèse, 11 p.

déterminations des algues présentes dans ces mousses indiquaient la présence de diatomées et de cyanobactéries pouvant également produire des mucilages susceptibles de créer des mousses dans des conditions de turbulences des eaux.

Des analyses ultérieures, réalisées par un laboratoire spécialisé⁴, ont montré une composition chimique des polysaccharides très proche de celle des échantillons de 1973 avec notamment la même dominance de deux sucres : **le galactose et le glucose**.

Dans le cadre de sa thèse sur les lacs aquitains soutenue en 2009⁵, Maria Cellamare a consacré un chapitre à ces mousses lacustres. Ses identifications d'algues montraient des densités importantes de cyanobactéries appartenant au genre *Planktolyngbya* et *Chroococcus*, ainsi que des diatomées des genres *Navicula*, *Tabellaria* et *Cymbella*.

La synthèse bibliographique qu'elle a réalisée montrait que la plupart des polysaccharides analysés dans les mousses des lacs aquitains avaient également été identifiés par d'autres chercheurs chez des diatomées et des cyanobactéries produisant des mucilages. Ces mucilages jouent un rôle important dans la fixation des algues sur leurs supports qui sont d'autres plantes et des substrats divers.

Des travaux récents sur les mousses dans d'autres types de milieux montrent que les sources de mucilage peuvent être très diverses : par exemple, les mousses présentes de manière régulière sur le Rhin en aval des chutes de Schaffhausen semblent provenir de molécules issues d'une renoncule aquatique (*Ranunculus fluitans*) largement présente dans le fleuve⁶.

L'ensemble des informations disponibles à l'heure actuelle sur ces mousses ne montre pas de toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques. Les travaux menés sur le Rhin montraient qu'aucune toxicité aiguë n'avait été observée à des concentrations qui étaient au moins 50 fois plus élevées que celles trouvées dans les échantillons prélevés dans le fleuve.

Sur les lacs aquitains, aucun développement significatif de mousses lacustres n'a apparemment eu lieu en 2007 et dans les trois années qui ont suivi, puisqu'aucune alerte devant déclencher des prélèvements du Cemagref n'a été donnée par le réseau. Lors de différentes campagnes de terrain réalisées par l'équipe du Cemagref depuis cette époque, des observations de mousses ont cependant été faites sur les quatre lacs mais ces développements restaient peu importants.

De même, lors de la récente campagne de terrain de juillet 2011 sur les lacs médocains, nous avons assez régulièrement observé des mousses sur la rive Est du lac de Carcans-Hourtin lors d'épisodes de vents forts. Nous n'avons pas eu d'informations sur les autres lacs mais les conditions climatiques de ce mois de juillet ont pu faciliter l'apparition de ces mousses.

⁴ Polymar Biotechnology

⁵ "Évaluation de l'état écologique des plans d'eau aquitains à partir des communautés de producteurs primaires". Thèse de doctorat, Spécialité : Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, Université de Bordeaux 1, Cemagref. 334 p.

⁶ Wegner C., Hamburger M., 2002. Occurrence of stable foam in the Upper Rhine River caused by plant-derived surfactants. Environ. Sci. Technol. 36, 3250-3256

En effet, quel que soit le milieu aquatique, ces développements de mousses se produisent systématiquement dans des conditions de turbulences, au dessous des chutes d'eau dans les cours d'eau, dans les zones de batillage ou de ressac sur les rivages des plans d'eau ou de la mer. Ces turbulences créent des émulsions plus ou moins stables dans le temps avec les mucilages présents dans les eaux, s'accumulant en masses de mousses le long des rives, quelquefois sur plusieurs décimètres d'épaisseur.

Dans une revue bibliographique très récente sur les mousses en milieux aquatiques⁷, les auteurs faisaient remarquer que " *La formation de mousse est observée dans presque tous les milieux aquatiques, telles que rivières, lacs et océans. Bien que la majorité des études montre que la mousse est le produit de processus et de facteurs naturels, le public a tendance à associer la formation de mousse à la pollution anthropique. L'inquiétude du public est accrue par la visibilité de la mousse, qui conduit à ce qu'elle soit plus évidente que la pollution chimique "cachée".*"⁸

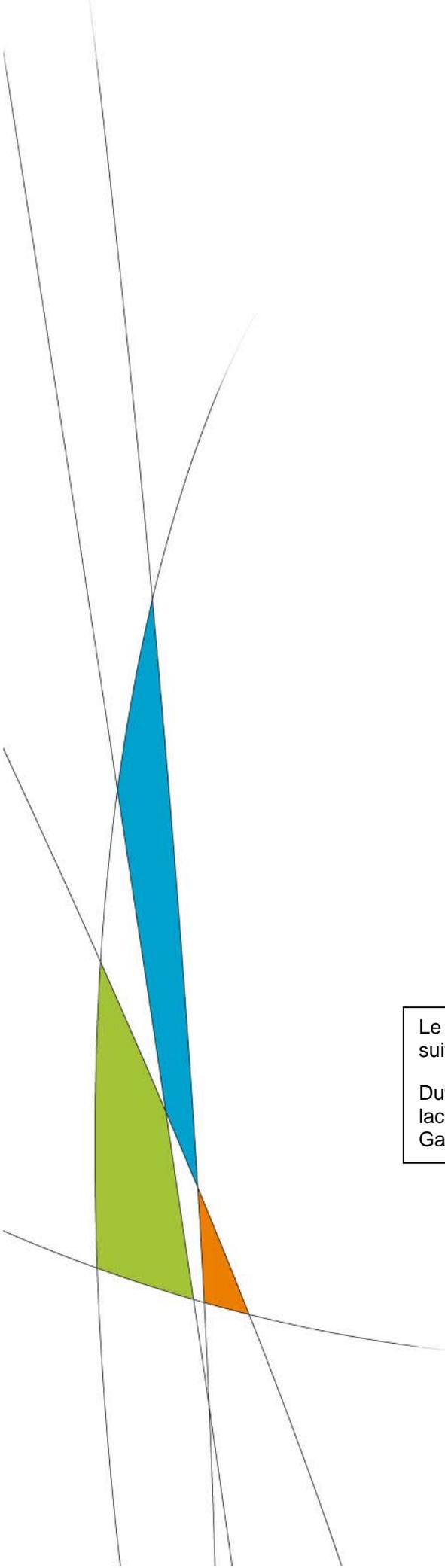
Bien que nous n'ayons pas encore d'absolue certitude sur la nature exacte des organismes (algues, plantes à fleurs) produisant les mucilages sources de ces phénomènes dans les lacs aquitains, ces mousses lacustres sont donc des curiosités naturelles et non des indices d'une pollution. A ce titre elles ne devraient plus causer d'inquiétude et une information régulière sur leur nature et leurs causes devrait permettre de rassurer les usagers de ces lacs.

13 septembre 2011



⁷ Schilling K., Zessner M., 2011. Foam in the aquatic environment. *Water Research*, 45, 4355 -4366

⁸ "Foam formation is observed in nearly every aquatic environment, such as rivers, lakes and oceans. Although the majority of studies show that foam is the product of natural processes and factors, the public tends to associate foam formation with manmade pollution. Public concern is likely to be enhanced due to the visibility of foam, which lead to it being more obvious than "hidden" chemical pollution."



Résumé :

En 2006, l'apparition de mousses blanchâtres à la surface des lacs aquitains avait fortement inquiété usagers et gestionnaires. Ces inquiétudes ont conduit à réaliser des analyses destinées à identifier la nature et les causes de ces phénomènes.

L'origine végétale naturelle de ces mousses a été montrée par ces analyses et leur formation est directement liée aux turbulences des eaux créées par les vents.

Ce phénomène reste très aléatoire : il ne s'est pas reproduit de manière significative depuis début 2007.

Abstract:

Foams on Aquitaine lakes (South-West France)

In 2006, the appearance of white foam on the surface of Aquitaine lakes was greatly concerned users and managers.

These concerns have led to carry out analysis to identify the nature and causes of these phenomena.

The original natural vegetation of these foams was shown by these analyses and their appearance is directly related to water turbulences caused by winds.

This phenomenon is very random: he did not play significantly since 2007.

Le présent document doit être référencé de la manière suivante :

Dutartre, A. *et al.*, 2011. Les mousses lacustres sur les lacs aquitains. Cemagref REBX, Agence de l'Eau Adour-Garonne, rapport. 71 pages.



Direction générale
Parc de Tourvoie
BP 44 - 92163 Antony cedex
Tél. 01 40 96 61 21
Fax 01 40 96 62 25
www.cemagref.fr