ENSP
ECOLE NATIONALE DE LA SANTE PUBLIQUE
RENNES

ECOBIO UMR 6553

ODEM

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Ecole Nationale de la Santé Publique
Ingénieur du Génie Sanitaire
Promotion 2004 – 2005
Date du Jury : Septembre 2005

Est-il possible d'améliorer le processus d'anticipation des risques sanitaires potentiellement induits par les cyanobactéries pour des plans d'eau douce à usage récréatif ? Cas du Morbihan

Présenté par :
Emilie BERTRAND
Diplômée de l'ENGEES

Lieu du stage :
Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan

Référents professionnels :
Mr Luc BRIENT
Mr Franck DANIEL

Référent pédagogique :
Mme Michèle LEGEAS

Remerciements

Ce mémoire est le fruit d'un travail réalisé au sein de l'Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan (ODEM) et du laboratoire Ecobio de l'Université de Rennes 1.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mes référents professionnels :

Un grand merci à Franck Daniel, chargé de mission au sein de l'ODEM, pour sa disponibilité, son enthousiasme et ses conseils qui ont été très importants pour le bon déroulement de ce projet, et à Luc Brient, ingénieur d'études au laboratoire Ecobio, qui m'a fait découvrir l'étonnant monde du phytoplancton et qui m'a prodigué de nombreux conseils pour le comprendre.

Mes remerciements vont également à Michèle Legeas, enseignante à l'Ecole Nationale de la Santé Publique, pour ses conseils avisés.

Mes remerciements s'adressent aussi :

A Jean-Michel Hervieux, Jean-Louis Belloncle, Caroline Plus, Nelly Bellec et Laurent Lereverend pour leur accueil au sein de l'ODEM ;

Au personnel du SIVOM de Questembert et Rochefort-en-Terre pour leur support logistique et particulièrement Monsieur Burban, toujours disponible pour résoudre mes ennuis techniques ;

A Monsieur Longueville, directeur VAL du site du Moulin Neuf, et à son personnel pour leur accueil ;

A Myriam Boormans, Directrice de Recherche à l'Université de Rennes 1, pour son aide dans l'interprétation de mes multiples données ;

A Bianca, Emilie et Thomas, stagiaires microbiologistes au laboratoire Ecobio qui ont minutieusement observé chacun de mes échantillons et ils étaient nombreux.

De manière plus informelle, je remercie tous les membres du Conseil Scientifique de l'ODEM, toutes les personnes contactées au cours de ce mémoire pour leur disponibilité et l'intérêt qu'elles ont porté à cette étude et je tiens à faire part au personnel du CAUE, permanents ou stagiaires, du plaisir que j'ai eu à les rencontrer et à partager d'agréables moments en leur compagnie.

Enfin cette étude a été rendue possible grâce au support financier du Conseil Général du Morbihan, du Syndicat Départemental de l'eau et du SIVOM de Questembert et de Rochefort-en-Terre.

Sommaire

INTRODUCTION **1**

CHAPITRE 1 : LES CYANOBACTERIES ET LEURS TOXINES **3**

1 LES CYANOBACTERIES **3**
- **1.1 Nature et diversité** **3**
- **1.2 Conditions favorisant la prolifération des cyanobactéries** **3**
- **1.3 Prédominance et écostratégie** **4**

2 LES CYANOTOXINES **5**
- **2.1 Les hépatotoxines** **6**
- **2.2 Les neurotoxines** **6**
- **2.3 Les dermatotoxines** **6**
- **2.4 Variabilité de la production de toxines** **6**

3 IMPACTS ET ENJEUX DES PROLIFERATIONS DE CYANOBACTERIES **7**
- **3.1 Impacts environnementaux** **7**
- **3.2 Effets sur la santé** **8**
- **3.3 Enjeux techniques et scientifiques** **8**
- **3.4 Enjeux socio-économiques** **9**

4 RECOMMANDATIONS SANITAIRES : SURVEILLANCE ET CONTROLE **9**
- **4.1 Absence de norme de qualité spécifique aux cyanobactéries** **9**
- **4.2 L'imbrication des compétences** **11**
- **4.3 Evolutions prévisibles de la réglementation** **11**

CHAPITRE 2 : BILAN DIAGNOSTIC DE LA PROLIFERATION DE CYANOBACTERIES DANS LES PLANS D'EAU A USAGE RECREATIF DU MORBIHAN **13**

1 CADRE DE L'ETUDE **13**
- **1.1 Le contexte hydrographique et les plans d'eau dans le Morbihan** **13**
- **1.2 Le phosphore et la problématique eutrophisation dans le Morbihan** **13**

2 ETAT DES LIEUX DE LA SITUATION CYANOBACTERIES DANS LE MORBIHAN **15**
- **2.1 Emergence et évolution de la problématique cyanobactéries** **15**
- **2.2 Un suivi de la DDASS depuis 2003** **16**
  - 2.2.1 Les sites de baignade suivis 16
  - 2.2.2 Distributions des valeurs de cyanobactéries 17
  - 2.2.3 Les espèces présentes et les toxines 19
- **2.3 Les actions et éléments de décision face aux proliférations** **19**

2.3.1 Les mesures officielles de surveillance et de limitation ou interdiction d'activités 19
2.3.2 Le cas du Lac au Duc 21

3 NIVEAU DE CONNAISSANCE ET DE SENSIBILITE DES ACTEURS LOCAUX VIS-A-VIS DE LA PROBLEMATIQUE CYANOBACTERIES 21

3.1 Méthode de collecte d'information 21
3.1.1 Principes de l'enquête 21
3.1.2 Choix des plans d'eau 22

3.2 Restitution et analyse des informations recueillies 23
3.2.1 Les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau dans le Morbihan 23
3.2.2 Les acteurs gestionnaires locaux 25

4 CONCLUSION 27

CHAPITRE 3 : CARACTERISATION DES EFFLORESCENCES A CYANOBACTERIES DANS L'ETANG DU MOULIN NEUF 29

1 LE SITE DU MOULIN NEUF 29

1.1 Attente des acteurs locaux 29

1.2 Présentation succincte du site 29
1.2.1 Localisation et origine du site 29
1.2.2 Caractérisation du site 30
1.2.3 Gestion hydraulique, piscicole et touristique du site 30

2 PROTOCOLE D'ETUDE 30

2.1 Démarche méthodologique générale 30

2.2 Lieux de prélèvements et fréquences 31

2.3 Paramètres suivis 32
2.3.1 Paramètres météorologiques 32
2.3.2 Niveau de contamination du milieu par les cyanobactéries 33
2.3.3 Analyses physico-chimiques 33

3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS 34

3.1 Les conditions météorologiques 34

3.2 Les conditions physiques 34
3.2.1 Structure de la colonne d'eau 34
3.2.2 Profondeurs euphotiques 34

3.3 Les conditions chimiques 35
3.3.1 Profil en oxygène 35
3.3.2 Variation temporelle des nutriments dans le plan d'eau 35
3.3.3 Etat d'eutrophisation du plan d'eau 36

3.4 Description écologique : caractérisation du peuplement algal 36
3.4.1 Succession des microalgues 36
3.4.2 Les espèces de cyanobactéries présentes 37

3.5 Dynamique de prolifération 37
3.5.1 Dynamique temporelle 37
3.5.2 Dynamique spatiale 38

3.6 Evaluation de l'éventuelle plus-value de la mesure à la sonde 39
3.6.1 Comparaison des comptages cellulaires et des teneurs en phycocyanine 39

3.6.2 Intérêts potentiels de la sonde 42

4 CONCLUSION 43

CHAPITRE 4 : DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS 45

1 DISCUSSION SUR LA METHODOLOGIE 45

1.1 Rappel de la démarche 45

1.2 Limites de la méthodologie retenue 45

2 RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS 46

2.1 Attentes des acteurs locaux 46

2.2 Paramètres intéressants pour la surveillance des plans d'eau 46

3 RECOMMANDATIONS 47

3.1 Recommandations pour la surveillance 47

3.2 Information des acteurs et du public 48

3.3 Perspectives pour la gestion : vers une base de données pour la connaissance et l'évaluation 49

CONCLUSION GENERALE 51

BIBLIOGRAPHIE 53

LISTE DES FIGURES 57

LISTE DES TABLEAUX 58

LISTE DES ANNEXES I

Liste des sigles utilisés

AAPPMA	Association agréée de pêche et protection du milieu aquatique
AFSSA	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AFSSE	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement
ANC	Assainissement non collectif
BEP	Bretagne Eau Pure
CSHPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
DCE	Directive cadre sur l'eau
DDAF	Direction départementale de l'agriculture et de la forêt
DDAM	Direction départementale des affaires maritimes
DDASS	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DDE	Direction départementale de l'équipement
DDSV	Direction départementale des services vétérinaires
DGS	Direction générale de la santé
DIREN	Direction régionale de l'environnement
DRASS	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
DRIRE	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
ENSP	Ecole nationale de la santé publique
EPCI	Etablissement public de coopération intercommunale
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
MISE	Mission inter service de l'eau
MLR	Microcystine LR
ODEM	Observatoire départemental de l'environnement du Morbihan
OMS	Organisation mondiale de la santé
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion des eaux
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SIAEP	Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable
SIVOM	Syndicat intercommunal à vocation multiple
SPANC	Service public d'assainissement non collectif
UMR	Unité mixte de recherche

INTRODUCTION

De nombreux barrages ont été construits en Bretagne dans les années soixante-dix initialement pour répondre à des besoins croissants en eau potable et pour aménager des aires de loisirs. Les activités domestiques et industrielles et les pratiques agricoles intensives ont entraîné des dysfonctionnements des plans d'eau ainsi créés avec des effets parfois néfastes qui ne sont pas toujours préalablement appréhendés. Le développement récurrent des cyanobactéries en est un révélateur.

Les cyanobactéries sont des microorganismes photosynthétiques capables de synthétiser des toxines reconnues dangereuses pour l'homme. En une quinzaine d'années, ces microalgues ont fait l'objet d'une préoccupation grandissante. Ce problème sanitaire émergent a conduit le CSHPF à émettre un avis relatif à la surveillance et à la gestion de situation de contamination d'eaux de baignade par la prolifération de cyanobactéries le 6 mai 2003. Suite à ces recommandations, de nombreux arrêtés d'interdiction de baignade ont été pris, notamment durant l'été 2004, dont les conséquences économiques et touristiques présentent un enjeu majeur. Par ailleurs, l'AFSSE, saisie par la DGS sur cette problématique, a organisé un groupe de travail commun avec celui de l'AFSSA et le CSHPF. L'objectif de ce groupe est de faire le point sur les éléments d'évaluation et de gestion des risques dont la publication est prévue au deuxième semestre 2005.

Dans ce contexte, l'ODEM, sollicité par le SIVOM de Questembert et Rochefort-en-Terre à propos des proliférations de cyanobactéries sur l'étang du Moulin Neuf, souhaite réaliser un diagnostic de la situation sur le département. Par ailleurs, l'UMR Ecobio de l'Université de Rennes 1, qui a déjà mené diverses études sur la problématique cyanobactéries, souhaite expérimenter in situ une nouvelle technique de mesures du niveau de contamination par cyanobactéries en vue d'une possible validation. Ces deux organismes ont proposé leurs études à l'ENSP qui a jugé intéressant de les regrouper en un seul sujet.

Ainsi, dans un souci d'optimisation des modalités de surveillance et de gestion des plans d'eau à usage récréatif dans le département du Morbihan, l'objectif de ce mémoire est de déboucher sur des recommandations d'une démarche proactive de suivi des plans d'eau susceptibles de connaître une prolifération de cyanobactéries. Pour répondre aux attentes de chacun, le mémoire se présente de la manière suivante :

Dans le chapitre 1, nous présentons les cyanobactéries et leurs toxines, les enjeux que représente leur prolifération aux niveaux environnemental, sanitaire, scientifique, technique et socio-économique. Les recommandations sanitaires de surveillance et de gestion sont également exposées à travers la présentation de la réglementation en cours dans ce domaine.

Dans le chapitre 2, nous établissons un état des lieux de la problématique des cyanobactéries vis-à-vis des plans d'eau douce à usage récréatif du Morbihan. Cette étape passe par la connaissance du niveau d'eutrophisation des plans d'eau sur le département et l'historique des proliférations de cyanobactéries. Elle nous permettra de connaître le rôle de chacun des acteurs, leurs priorités et leurs attentes face à ce problème émergent.

Dans le chapitre 3, nous nous intéressons à l'analyse des données expérimentales issues du site du Moulin Neuf, près de Rochefort-en-Terre, afin de caractériser la dynamique du peuplement algal. Dans le cadre de cette étape, une opération pilote permet de tester l'intérêt de l'utilisation d'une sonde à fluorescence pour la gestion des risques liés aux proliférations.

Dans le chapitre 4, nous discutons les résultats de deux étapes précédentes et nous proposons des actions susceptibles d'améliorer le processus d'anticipation des risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans le cas du Morbihan.

CHAPITRE 1 : LES CYANOBACTERIES ET LEURS TOXINES

L'objectif de cette partie est de présenter brièvement les cyanobactéries, leurs toxines et les effets induits sur la santé et l'environnement, les enjeux liés à la prolifération de ces microorganismes et d'exposer la réglementation en vigueur et les recommandations appliquées en France dans le domaine.

1 LES CYANOBACTERIES

1.1 Nature et diversité

Les cyanobactéries, bactéries assimilables à des algues microscopiques, sont installées sur terre depuis au moins trois milliards d'années. Elles ont colonisé tous les milieux terrestres et aquatiques – eaux douces et marines – et peuvent survivre dans des conditions extrêmes grâce à une importante capacité d'adaptation aux variations du milieu. On les retrouve depuis les calottes glacières jusqu'aux forêts tropicales (CHORUS et BARTRAM, 1999). Les premières espèces identifiées étaient de couleur bleu-vert, couleur provenant de pigments photosynthétiques identiques à ceux que l'on trouve dans les plantes supérieures, ce qui explique qu'elles ont été classées parmi les algues et appelées algues bleues ou cyanophycées. Actuellement on compte 150 genres et plus de 2000 espèces dont les couleurs sont diverses (CHORUS et BARTRAM, 1999).

Ces microorganismes possèdent à la fois des caractéristiques propres aux bactéries de par leur structure cellulaire (pas de noyau, ni de mitochondrie, ni de plaste, paroi identique aux bactéries Gram négatif) et propres aux algues de par la nature de leurs pigments (présence de chlorophylle a et d'autres pigments hydrosolubles). Les cyanobactéries se reproduisent par scission binaire ou par formation de spores, qui sont des formes de résistance capables de reprendre leurs activités biologiques quand les conditions de vie redeviennent favorables (LEITÃO et COUTÉ, 2005).

Les cyanobactéries présentent une grande diversité de formes et d'organisations : elles peuvent être unicellulaires ou coloniales, solitaires ou organisées en trichomes (colonies de bactéries), parfois filamenteuses. Un aperçu de cette diversité est fourni en annexe 1. On distingue plusieurs types de cellules comme les hétérocytes, cellules spécialisées dont le rôle principal est d'assurer la fixation de l'azote atmosphérique et les akinètes, cellules de résistance destinées à assurer la survie de l'espèce dans les conditions environnementales défavorables. Ainsi lorsque les conditions extérieures redeviennent favorables, les akinètes, qui se sont détachées de l'organisme en cours de sa dégradation, germent et donnent un nouvel individu (LEITÃO et COUTÉ, 2005).

Dans la colonne d'eau, le mode de vie des cyanobactéries peut être benthique (*i.e.* fixées sur les sédiments) ou planctonique (*i.e.* en suspension dans la colonne d'eau) (LEITÃO et COUTÉ, 2005).

1.2 Conditions favorisant la prolifération des cyanobactéries

Selon plusieurs études (CHORUS et BARTRAM, 1999 ; BERTRU *et al.*, 2001 ; BRIENT *et al.*, 2004), les conditions suivantes sont favorables à la prolifération des cyanobactéries :

- intensité lumineuse modérée

- température de l'eau comprise entre 15 et 30°C, la température optimale de croissance étant 25°C
- pH compris entre 6 et 9
- circulation d'eau faible (eau calme, peu de vent)
- taux moyen à élevé de nutriments inorganiques (phosphore, nitrate et ammoniaque)

Le développement des efflorescences est dû à une combinaison de ces facteurs. En effet, la présence simultanée de fortes températures et de concentrations importantes en nutriments est considérée comme le facteur le plus important pour le contrôle de la dominance des cyanobactéries. Comme les cyanobactéries ont des faibles taux de croissance (temps de doublement de 0,3 à 1,4 par jour à 20 °C), un long temps de rétention de l'eau est également nécessaire (BERTRU *et al.*, 2001)

L'un des symptômes d'un milieu eutrophe est la transition dans la composition spécifique du phytoplancton vers une dominance des cyanobactéries. Ainsi ces organismes se développant en général dans les eaux eutrophes, on a longtemps supposé qu'ils avaient besoin de fortes concentrations en azote et en phosphore. Des expériences ont montré que l'affinité pour ces nutriments est plus importante chez plusieurs espèces de cyanobactéries que chez certains autres organismes photosynthétiques. Cela signifie que les cyanobactéries peuvent devenir dominantes lorsque ces facteurs sont limitants (CHORUS et BARTRAM, 1999). Bien que la biomasse cyanobactérienne n'a besoin que d'un septième de phosphore par rapport à la quantité d'azote nécessaire, le phosphore est souvent le facteur limitant du développement dans les milieux aquatiques (CHORUS et BARTRAM, 1999).

1.3 Prédominance et écostratégie

Les cyanobactéries prédominent dans les milieux eutrophes grâce aux particularités morphologiques et physiologiques suivantes (BRIENT *et al.*, 2004) :

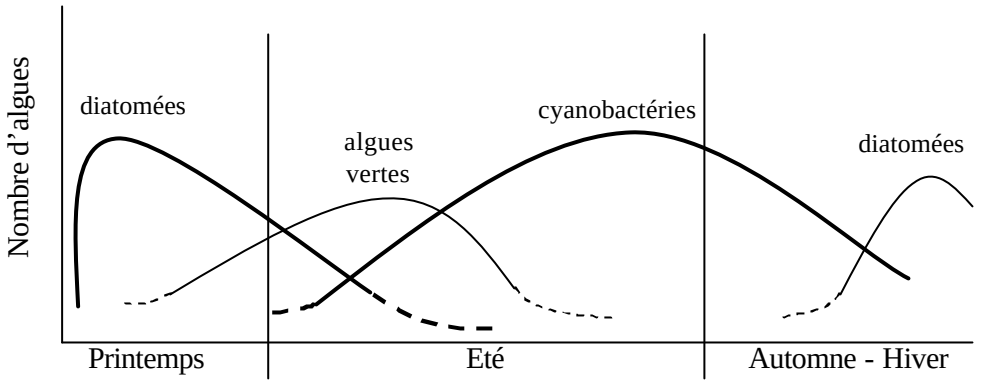
- leur composition pigmentaire leur assure une bonne utilisation du spectre lumineux et donc une efficacité importante pour la photosynthèse ;
- la présence de vacuoles à gaz[1] leur permet de réguler leur flottabilité et leur position dans la colonne d'eau en fonction de leur besoin en lumière et nutriments ;
- elles sont capables de stocker les nutriments et d'utiliser l'azote atmosphérique[2].

Ces caractéristiques leur permettent d'opter pour des modes de vie et de survie variés selon les espèces et ainsi d'être très compétitives dans le milieu.

En Bretagne, les cyanobactéries apparaissent de manière saisonnière, généralement entre mai et septembre, succédant aux diatomées et aux algues vertes (Figure 1).

[1] Vacuole à gaz : membrane protéique hydrophobe, perméable aux gaz mais imperméable à l'eau

[2] La fixation de l'azote est réalisée grâce à la nitrogénase, enzyme contenue dans les hétérocytes. Pour les espèces non hétérocytées, le processus se produit dans les cellules végétatives.

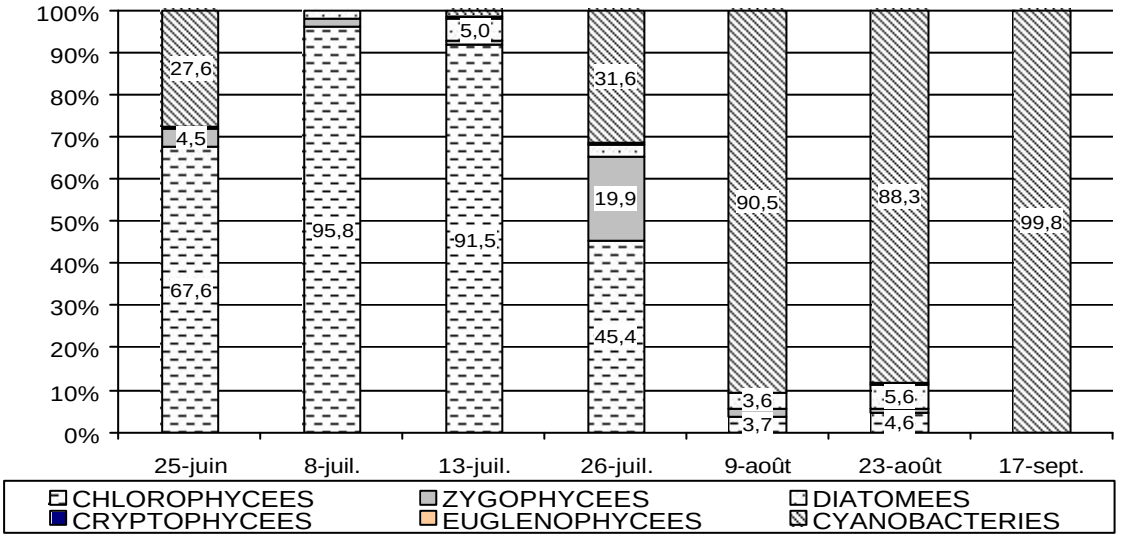


Source : LEITÃO et COUTÉ, 2005

Figure 1 : Schéma de la succession saisonnière des différents types d'algues en Bretagne

Un phénomène récent est cependant à noter : dans certains sites, des cyanobactéries peuvent encore être observées en quantité importante en automne et parfois même pendant la période hivernale (BERTRU *et al.*, 2001).

Cette dominance des cyanobactéries durant la saison estivale reste influencée par les conditions météorologiques et elle est variable selon les sites. La figure 2 donne, à titre d'illustration, l'évolution de la composition du peuplement algal sur le site du Moulin Neuf de juin à septembre 2003. Cet exemple n'est pas représentatif de la situation des plans d'eau du Morbihan, et même l'étang du Moulin Neuf peut présenter une répartition algale différente d'une année à l'autre.



Source : DDASS 56

Figure 2 : Composition du peuplement algal sur l'étang du Moulin Neuf. Campagne 2003.

2 LES CYANOTOXINES

De nombreuses espèces de cyanobactéries sont capables de produire des toxines appelées cyanotoxines. Ce sont des métabolites naturels, non indispensables au métabolisme primaire, ni à la division, ni à la survie. Elles appartiennent à différents groupes aux vues de leurs caractéristiques chimiques et toxicologiques (BRIENT *et al.*, 2002). Elles sont

classées selon leur structure chimique en trois familles (les peptides cycliques, les alcaloïdes et les lipopolysaccharides) ou selon leur mode d'action comme suit.

2.1 Les hépatotoxines

Ce sont les cyanotoxines le plus fréquemment rencontrées. Des bioéssais en laboratoire ont montré que ces toxines provoquent à court et à long termes des altérations de la structure des cellules du foie, des insuffisances hépatiques et peuvent être à l'origine de cancers du foie. On trouve par exemple dans ce groupe la famille des microcystines, des cylindrospermopsines (alcaloïdes) et des nodularines (peptides cycliques) (BRIENT *et al.*, 2002).

A ce jour, il existe plus de 60 structures de microcystines répertoriées dont la plus étudiée car la plus toxique est la microcystine-LR notée MLR (L pour leucine et R pour arginine) (BRIENT *et al.*, 2002). Cette dernière est recherchée en cas de prolifération, et si plusieurs hépatotoxines sont présentes dans le même échantillon, le résultat est exprimé en équivalent MLR.

2.2 Les neurotoxines

Moins fréquentes que les hépatotoxines, les neurotoxines n'ont pas encore fait l'objet de recherche exhaustive en France. Leurs effets, très rapides, sont les perturbations de l'influx nerveux qui induisent des maux de têtes, des vomissements, des diarrhées, des paralysies, puis la mort par arrêt respiratoire en quelques minutes à quelques heures. Elles sont regroupées en deux familles, les anatoxines et les saxitoxines (BRIENT *et al.*, 2002).

2.3 Les dermatotoxines

Ce sont actuellement les toxines les moins étudiées. Par fixation sur les membranes cellulaires, les dermatotoxines sont à l'origine d'irritations et de réponses allergiques. Des cyanobactéries, essentiellement d'origine marine, produisent trois sortes de dermatotoxines, les aplysiatoxines, les debromoaplysiatoxines et les lyngbyatoxines-a (BRIENT *et al.*, 2002).

2.4 Variabilité de la production de toxines

Les toxines étant majoritairement intracellulaires, leur libération dans le milieu intervient durant la sénescence, la mort et la lyse des cyanobactéries. De nombreuses études montrent que les concentrations en toxines sont plus élevées pour des températures comprises entre 18 et 25°C (CHORUS et BARTRAM, 1999).

Solubilisées, les cyanotoxines présentent des stabilités chimiques et des activités biologiques différentes d'un groupe à l'autre (CHORUS et BARTRAM, 1999).
Les mécanismes de production de toxines demeurent encore inconnus. Les facteurs génétiques, biologiques et environnementaux intervenant dans la mise en place du métabolisme ne sont pas identifiés à ce jour. La variabilité des relations entre concentrations et types de toxines selon les espèces est très importante.
Selon VIEYZY *et al.* (1997), on retrouve les quatre situations suivantes :

- une même espèce telle qu'elle est définie actuellement peut produire ou non une toxine. Ainsi sur un site en présence d'une même espèce pendant plusieurs mois, on

peut avoir une succession d'un clone toxique à non toxique ou l'inverse et une persistance de l'un ou de l'autre ;
- une population de cyanobactéries peut être composée d'un mélange de même espèces toxiques et non toxiques ;
- une cyanobactérie considérée comme toxique dans un site peut ne pas l'être dans un autre ;
- une cyanobactérie peut produire plusieurs cyanotoxines (neurotoxine, hépatotoxine et dermatotoxine) en même temps.

Les cyanobactéries les plus présentes en Bretagne et leurs cyanotoxines sont répertoriées en annexe 1.

3 IMPACTS ET ENJEUX DES PROLIFERATIONS DE CYANOBACTERIES

3.1 Impacts environnementaux

Au niveau environnemental, les proliférations de cyanobactéries entraînent une diminution de la clarté de l'eau et une limitation de l'espace disponible dues à une importante biomasse. Ces effets empêchent le développement d'autres organismes aquatiques et peuvent ainsi être à l'origine d'une diminution de la biodiversité (BRIENT *et al.*, 2004).

En outre, les efflorescences créent des écrans qui limitent les transferts gazeux à l'interface atmosphère – eau. Ceci provoque un appauvrissement du milieu en oxygène. Une diminution importante d'oxygène, jusqu'à l'anoxie, peut également avoir lieu après la mort des peuplements cyanobactériens qui sédimentent (CHORUS et BARTRAM, 1999). En effet la dégradation de cette matière organique importante par les bactéries consomme de l'oxygène. Ainsi la mort de poissons peut être attribuée à la présence de toxines ou à l'anoxie du milieu.

Enfin, certaines toxines produites par les cyanobactéries peuvent persister dans le milieu durant plusieurs semaines. De nombreuses études ont également montré que les microcystines sont capables de se bioaccumuler dans les organismes aquatiques vertébrés et invertébrés (CHORUS et BARTRAM, 1999; LANCE, 2005).

Les premières intoxications animales ont été mises en relation scientifiquement avec la présence de cyanobactéries toxiques en 1978 en Australie. Ces intoxications concernent aussi bien les animaux domestiques (bétail bovin et ovin, animaux de compagnie comme les chiens) que les animaux sauvages (poissons, oiseaux, éventuellement des mammifères comme les rats musqués). Elles ont été depuis observées sur tous les continents (AFSSA, 2003). A titre d'exemple, une trentaine de chiens sont morts après s'être désaltérés dans les eaux des gorges du Tarn à Saint-Enimie (Lozère) en 2004 (CHESNAIS, 2005). La même année, des milliers de flamants roses sont morts en Tanzanie après ingestion de macroalgues contaminées[3].

[3] Source : site Internet
http://www.lintelligent.com/gabarits/articleAFP_online.asp?art_cle=AFP45104lamoreuqixo0#

3.2 Effets sur la santé

La toxicité liée à la présence de cyanobactéries a été abordée précédemment (§2). Les principales voies d'exposition sont le contact direct et l'ingestion d'eau contaminée. Les effets sur la santé ont été démontrés lors d'études en laboratoire (bioessais sur souris). Des cas de contamination ont également été rapportés dans différents contextes. Le tableau 1 présente quelques exemples d'incidents observés lors de pratiques d'activités récréatives.

Situation	*Nombre de personnes*	*Pathologies*	*Genres identifiés*
Canada, 1959	12	Maux de tête, douleurs musculaires, diarrhées	Microcystis Anabaena (*A. circinalis*)
Pennsylvanie, 1979 (Billings, 1981)	12 enfants 1 adulte	Troubles gastro-intestinaux	Anabaena
Royaume-Uni, 1989 (Turner, 1990)	20*	Troubles intestinaux, maux de gorge, toux sèche Deux cas de pneumonie	Microcystis (*M. aeruginosa*)
Australie, 1991 (Soong *et al.*, 1992)	5 adultes 3 enfants	Irritations cutanées Problèmes respiratoires	Microcystis

Source : Extrait de VIAL, 2004.

Tableau 1 : Exemples d'incidents attribués aux cyanobactéries lors de la pratique de baignade ou de canoë (*).

Certains de ces symptômes ne sont pas spécifiques aux cyanobactéries productrices ou non de toxines ; ils peuvent avoir des origines diverses (bactéries, parasites). Ainsi avec les seuls signes cliniques, il est difficile de diagnostiquer une intoxication aux cyanobactéries sans faire une recherche sur les espèces présentes.

Les connaissances encore lacunaires sont en constante évolution dans le domaine des effets sanitaires des cyanbactéries. Ainsi, une étude internationale a récemment révélé que la quasi-totalité des cyanobactéries produisent un acide aminé neurotoxique, la BMAA (beta-methyl-amino-alanine), toxine potentiellement associée au développement de maladies neurodégénératives comme Alzheimer (COX *et al.*, 2003 et 2005).

3.3 Enjeux techniques et scientifiques

Les méthodes analytiques utilisées actuellement pour identifier les microalgues, principalement les cyanobactéries (identification et comptage cellulaire, mesure de chlorophylle a) ne sont pas des procédés normalisés pour la détection de cyanobactéries. En outre, les résultats sont généralement connus au mieux deux jours après les prélèvements, impliquant un décalage entre la survenue réelle du danger et la mise en place d'actions correspondantes.

En outre, la détection des cyanotoxines présente des limites quant à la quantification de l'ensemble des toxines présentes. En effet, seules les microcystines sont recherchées dans un échantillon, ce qui aboutit à une non prise en compte du risque sanitaire potentiel des autres toxines comme les dermatotoxines et les neurotoxines.

Enfin les problèmes rencontrés sur le terrain concernent la représentativité de l'échantillonnage. Ils résident en particulier dans la difficulté à appréhender tous les facteurs de prolifération des cyanobactéries et dans la répartition très hétérogène de celles-ci dans le milieu concerné y compris dans la colonne d'eau. En outre, les efflorescences

sont des phénomènes dynamiques qui évoluent parfois très rapidement pouvant aboutir à des accumulations d'algues sur les plages ou les berges en fonction des vents. Il se peut donc, si la fréquence de mesure est trop grande, que les efflorescences d'algues passent inaperçus.

3.4 Enjeux socio-économiques

L'absence de réglementation précise (§4) et les limites techniques citées pour partie ci-dessus rendent difficiles la gestion des zones aquatiques à usage récréatif et la mise en place d'actions en cas de risque d'intoxication par les cyanobactéries.

La présence d'algues au niveau des plans d'eau a des retombées négatives sur le tourisme avec une atteinte à l'image du lieu et sur l'activité économique de la commune et/ou des gestionnaires des plans d'eau et des activités nautiques.

En outre, la limitation ou l'interdiction de la baignade ou de certaines activités nautiques peut être gênante pour les usagers dès lors que ce site constitue leur seul lieu de baignade ou de loisir aquatique accessible, ou bien qu'il constitue une zone de pratique de clubs.

Pour les retenues destinées à l'alimentation en eau potable, les conséquences sont :

- la perte de la potabilité de l'eau ;
- la nécessité de mettre en place des moyens de suivi et de contrôle de la qualité de l'eau ;
- la nécessité de mettre en place des traitements adaptés pour éliminer les toxines et les effets liés à la présence des cyanobactéries tels que le goût, la couleur et l'odeur.

La présence de cyanobactéries dans l'eau à traiter engendre un coût de traitement plus élevé et un nettoyage des filtres plus fréquent.

4 RECOMMANDATIONS SANITAIRES : SURVEILLANCE ET CONTROLE[4]

4.1 Absence de norme de qualité spécifique aux cyanobactéries

Le contrôle des eaux de baignade est régi par la directive 76/160/CE du 8 décembre 1975. Les normes de qualité qu'elle prévoit ont été reprises en France par décret. Les deux catégories d'indicateurs pour mesurer la qualité des eaux sont les suivantes :

- les paramètres microbiologiques, témoins de contamination fécale : coliformes totaux, *Escherichia coli*, entérocoques
- les paramètres physico-chimiques : mousses, phénols, huiles minérales, couleur, résidus goudronneux et matières flottantes, transparence.

A ce jour les cyanobactéries ne sont pas prises en compte dans le dispositif juridique de calculs des seuils de qualité.

Le CSHPF a cependant émis un avis le 6 mai 2003, reprenant l'avis de OMS rendu en 1999, qui prévoit trois niveaux de qualité relatifs aux cyanobactéries avec un panel de

[4] Extraits de la présentation de Jean François Inserguet, membre du Conseil Scientifique de l'ODEM, lors de la réunion SIVOM des cantons de Questembert et de Rochefort-en-Terre – ODEM relative à la prolifération de cyanobactéries dans l'étang du Moulin Neuf du 20 janvier 2005

mesures à prendre pour chaque niveau, pouvant aller jusqu'à des interdictions complètes selon le type d'activités pratiquées (Tableau 2). Des précisions ont été apportées à ces recommandations à l'issu du bilan national de surveillance des proliférations de cyanobactéries lors de la saison balnéaire 2003 (avis du 6 juillet 2004).

Ces avis ont été transmis aux maires et aux gestionnaires des zones aquatiques à usage récréatif par les circulaires DGS du 4 juin 2003 et du 28 juillet 2004 relatives aux "modalités d'évaluation et de gestion des risques sanitaires face à des situations de prolifération de microalques (cyanobactéries) dans les eaux de baignades et de loisirs nautiques".

Niveau	*Nombre de cyanobactéries (noté nb) et teneur en microcystine LR (l'une des toxines émises)*	*Recommandations*
Niveau 1	Présence mais nombre < 20 000 cellules/ml ± 20 %	- Gestion : information du public au niveau des zones de dépôts - Surveillance journalière renforcée, réalisation d'un comptage cellulaire et d'une identification bimensuelle des espèces
	Nombre compris entre 20 000 et 100 000 cellules/ml ± 20 %	- Gestion : information du public au niveau des zones de dépôts et des zones d'usages - Surveillance journalière renforcée, échantillonnage, comptage cellulaire et identification hebdomadaire des espèces
Niveau 2	Nombre > 100 000 cellules/ml ±10 % ET Taux microcystine LR < 25 µg/L	- Gestion : limitation de la baignade ; information du public au niveau des zones de dépôts et des zones d'usages - Surveillance : poursuite du suivi hebdomadaire
	Nombre > 100 000 cellules/ml ET Taux microcystine LR > 25 µg/L	- Gestion : interdiction de la baignade et limitation d'usages de loisirs nautiques, information du public au niveau des zones de dépôts et des zones d'usages - Surveillance : poursuite du suivi hebdomadaire
Niveau 3	Forte coloration de l'eau et/ou formation de mousse ou d'écume	- Gestion : interdiction de la baignade et toutes activités de loisirs nautiques, information du public au niveau des zones de dépôts et des zones d'usages - Surveillance : suivi de l'évolution des mousses ou écumes, poursuite du suivi hebdomadaire, suivi des concentrations en toxines au moins bimensuel

Source : avis du CSHPF du 6 mai 2003

Tableau 2 : Recommandations de gestion et de surveillance en fonction du niveau de contamination par les cyanobactéries

La limitation des activités nautiques dépend des résultats du suivi analytique et des conditions climatiques (présence de vents forts) (Annexe 2). Ainsi en cas de doute, des mesures plus contraignantes que celles présentées en annexe 2 peuvent être prises par les autorités locales ou les responsables sportifs travaillant sur les zones d'activités nautiques.

A noter que sur le plan strictement juridique, les avis du CSHPF ne disposent toutefois pas de force contraignante.

4.2 L'imbrication des compétences

La politique française dans le domaine de l'eau comporte de nombreux textes réglementaires et fait intervenir divers acteurs ce qui peut rendre très peu lisible les obligations et responsabilités de chacun.

Dans ce contexte, l'Etat détient la compétence principale pour remédier aux causes des proliférations de cyanobactéries. Ainsi selon la loi du 19 juillet 1976, le préfet est titulaire de la police spéciale des installations classées pour la protection de l'environnement et à ce titre il représente l'autorité compétente pour faire cesser les causes de prolifération d'algues, puisqu'il peut refuser les autorisations ou les assortir de prescriptions spéciales.

Le traitement des conséquences engendrées par la prolifération des cyanobactéries (destruction des algues, interdiction ou limitation des activités nautiques…) est quant à lui une compétence partagée entre :

- La Commune

Le maire exerce la police des baignades et des activités nautiques. A ce titre, il doit réglementer l'usage de ces activités et informer le public des résultats des contrôles de la qualité de l'eau, accompagnés des précisions nécessaires à leur interprétation. D'un point de vue sanitaire, la surveillance de la salubrité des « ruisseaux, rivières, étangs, mares ou amas d'eau » est confiée au maire. Le pouvoir de police judiciaire confère au maire la possibilité d'intervenir auprès d'un propriétaire pour lui demander de remettre en l'état un site ou saisir la DDAF pour faire respecter ces règles. Il peut également compléter par arrêté les décrets pris en matière sanitaire.

- L'Etat

Les contrôles sanitaires de qualité de l'eau sont exercés par les DDASS aux frais des exploitants sauf pour le suivi actuel des lieux de baignade au regard des cyanobactéries car ces microorganismes ne sont mentionnés dans aucun texte réglementaire. Les méthodes de contrôle et leur périodicité sont fixées dans le code de la santé publique, avec possibilité pour le préfet de les renforcer. Ainsi la responsabilité de l'Etat peut éventuellement être engagée en cas d'insuffisance dans l'exercice de ces contrôles. En outre en tant qu'autorité de police générale du département, le préfet peut également se substituer au maire en cas de carence de ce dernier dans l'exercice de son pouvoir de police. Enfin il peut également compléter par arrêté les décrets pris en matière sanitaire.

4.3 Evolutions prévisibles de la réglementation

Un projet de révision de la directive européenne relative à la qualité des eaux de baignade (Proposition de directive de la commission européenne et du parlement du 24 octobre 2002 relative à la qualité des eaux de baignade) est annoncé pour 2006.
Cette révision permettrait une approche plus globale du contrôle sanitaire des eaux de baignade grâce à :

- Une réduction du nombre de paramètres (pour des raisons scientifiques et économiques) ;
- Une prise en compte du paramètre « prolifération des microalgues » dans les calculs de qualité ;
- Un classement opéré à partir des mesures effectuées sur les trois dernières années, et non plus sur celles de l'année précédente ;
- Une participation accrue du public ;

- Une mise en place de plans d'urgence en cas d'inondations, accidents ou pannes d'infrastructures ;
- Et un calendrier de contrôle.

Enfin l'AFSSA et l'AFSSE doivent donner leur avis cette année sur la problématique cyanobactéries et les risques sanitaires liés à l'alimentation (eaux d'alimentation, poissons,…) et liés à la pratique d'activités nautiques.

CHAPITRE 2 : BILAN DIAGNOSTIC DE LA PROLIFERATION DE CYANOBACTERIES DANS LES PLANS D'EAU A USAGE RECREATIF DU MORBIHAN

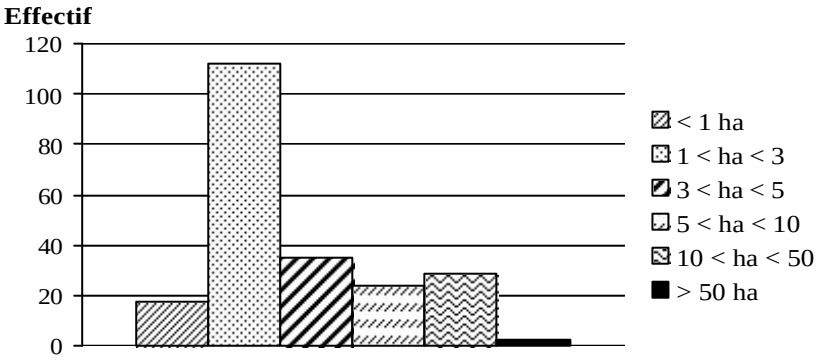
L'objectif de ce chapitre est de dresser un état des connaissances sur la situation vis-à-vis de la problématique cyanobactéries dans le Morbihan, de connaître la perception des acteurs et les réflexions et/ou actions engagées.

1 CADRE DE L'ETUDE

1.1 Le contexte hydrographique et les plans d'eau dans le Morbihan

Le réseau hydrographique breton est dense et compartimenté avec des cours d'eau de faible longueur. Au total les rivières morbihannaises parcourent près de 3 500 km. Les débits d'étiage sont faibles sur les schistes au nord-est du département et plus soutenus sur les sous-sols granitiques.

Le département du Morbihan compte 219 plans d'eau de plus de 0,1 ha pour une surface totale de plus de 17 000 ha (0,02% de la superficie du département). Les étangs de petite surface, inférieure à 3 ha, sont prédominants (59%) (Figure 3).



Source : ©BD Carthage 1996

Figure 3: Nombre d'étangs morbihannais par classe de surface

La répartition de ces plans d'eau est inégale sur le département avec une densité plus élevée sur le littoral, dans le Centre-Bretagne et à l'est du département. D'après la Fédération Départementale de Pêche, les étangs du département, tous issus de dérivation, de source ou de barrage, sont connectés au réseau hydrographique. Il n'existe pas a priori de fond clos ou d'ancienne gravière.

1.2 Le phosphore et la problématique eutrophisation dans le Morbihan

Les rejets domestiques et industriels d'une part, les rejets ponctuels et les lessivages des sols des sièges d'exploitation d'autre part, sont considérés comme les principales sources de pollution au phosphore des cours d'eau et, de fait dans le Morbihan, des plans d'eau. La présence de plancton dans les retenues renforce la sédimentation du phosphore qui est ensuite remis en solution par la désoxygénation lors des périodes d'eutrophisation (LION, 2004). La contribution de chacune des activités humaines vis-à-vis des rejets de phosphore est fournie dans le tableau 3.

	Agriculture	*Rejets industriels*	*Effluents domestiques*
Estimation en France (selon le ministère de l'environnement)	25%	25%	50%
Estimation en Bretagne (selon l'état des lieux de la DCE)	60%	10%	30%

Source : LION, 2004

Tableau 3: Rejets de phosphore dans l'eau. Répartition entre les activités humaines

Un groupe de travail départemental sur le phosphore, réuni à l'initiative du Préfet, a récemment établi un état des lieux de la problématique dans le Morbihan.
Les sols de la région, en situation de carence au regard du phosphore à la fin de la deuxième guerre mondiale, sont très réactifs vis-à-vis de cet élément, ce qui entraîne des transits lents entre la surface et les eaux souterraines. Dans le Morbihan, les sols et les milieux aquatiques sont devenus riches en phosphates en une cinquantaine d'années ce qui a conduit aux déséquilibres de certains écosystèmes avec notamment la prolifération de cyanobactéries (LION, 2004). La teneur moyenne en phosphore dans les sols est actuellement estimée à 400 ppm avec la méthode Dyer (BERTRAND *et al.*, 2005).
Dans les eaux superficielles, la teneur en phosphore total tend à se stabiliser avec l'apparition d'une légère baisse depuis environ vingt-cinq ans (BERTRAND *et al.*, 2005). Cette teneur dans les cours d'eau morbihannais, de l'ordre de 0,05 à 0,2 mgP/l en 2004, peut atteindre des pics de concentration (supérieurs à 1 mg/l en 2004) en période d'étiage dus à une moindre dilution des rejets[5]. Aucune corrélation n'est cependant observée entre les taux de phosphates dans les eaux et l'intensification de l'agriculture, contrairement aux taux de nitrates. En outre les concentrations de phosphore dans les sédiments ne sont pas connues. Ainsi il n'y a pas de lien établi à ce jour entre les teneurs en phosphore dans les sols et dans les eaux (BERTRAND *et al.*, 2005).

Le phosphore n'étant pas un élément toxique, la question du phosphore renvoie au problème de l'eutrophisation. La plupart des retenues du Morbihan présentent des signes d'eutrophisation, plus ou moins importants (LION, 2004). Les préoccupations principales liées à cette problématique sont d'ordre socio-économique avec par exemple des interruptions de production d'eau potable et des interdictions de baignade. Les interdictions se produisent en été principalement, période touristique durant laquelle le personnel de gestion des stations de traitement d'eau est réduit. Dans le temps d'étude qui lui était imparti, le groupe de travail phosphore n'a pas trouvé d'éléments permettant de conclure quant à la tendance de l'eutrophisation dans le département du Morbihan durant les vingt-cinq dernières années. Les conséquences de l'eutrophisation ne sont pas suffisamment renseignées d'un point de vue quantitatif sur les plans sanitaires, économiques et écologiques. Un stage au sein de la DDAF est en cours pour permettre une quantification de l'impact de l'eutrophisation sur l'économie et le tourisme (document à paraître).

[5] Source : site de l'Observatoire Départemental de l'Eau http://www.cybtechnologie.com/OBSEAU56_0001/

2 ETAT DES LIEUX DE LA SITUATION CYANOBACTERIES DANS LE MORBIHAN

2.1 Emergence et évolution de la problématique cyanobactéries

En Bretagne, la première prolifération de cyanobactéries a été mise en évidence en 1978 dans les Côtes d'Armor, après la mise en eau de la retenue qui alimente Saint-Brieuc[6]. Puis, suite à une plainte au lac de Guerlédan en 1990, une trentaine de plans d'eau bretons ont été étudiés vis-à-vis des cyanobactéries de 1994 à 1999 avec un prélèvement en août puis en septembre. Plus des trois quarts contenaient des cyanobactéries dont certaines espèces productrices d'hépatotoxines (Tableau 4).

Années	*1994*	*1995*	*1996*	*1997*	*1998*	*1999*
Nombre de sites analysés	29	29	27 ***8***	29 ***9***	38 ***9***	33 ***6***
Nombre de sites contenant des cyanobactéries	25 86 %	22 76 %	23 85 % ***75%***	27 93 % ***89%***	36 95 % ***100%***	27 82 % ***100%***
Nombre d'échantillons avec détection de microcystines	22	22	20 ***6***	27 ***8***	23 ***8***	26 ***6***
Nombre de sites contenant de la microcystine	16 73 %	12 55 %	11 55 % ***83%***	17 63 % ***38%***	19 83 % ***100%***	23 88 % ***100%***

En gras et en italique : données concernant le département du Morbihan

Source : BRIENT, 2001

Tableau 4 : Evolution des suivis de sites au regard de l'évaluation de la prolifération de cyanobactéries en Bretagne de 1994 à 1999

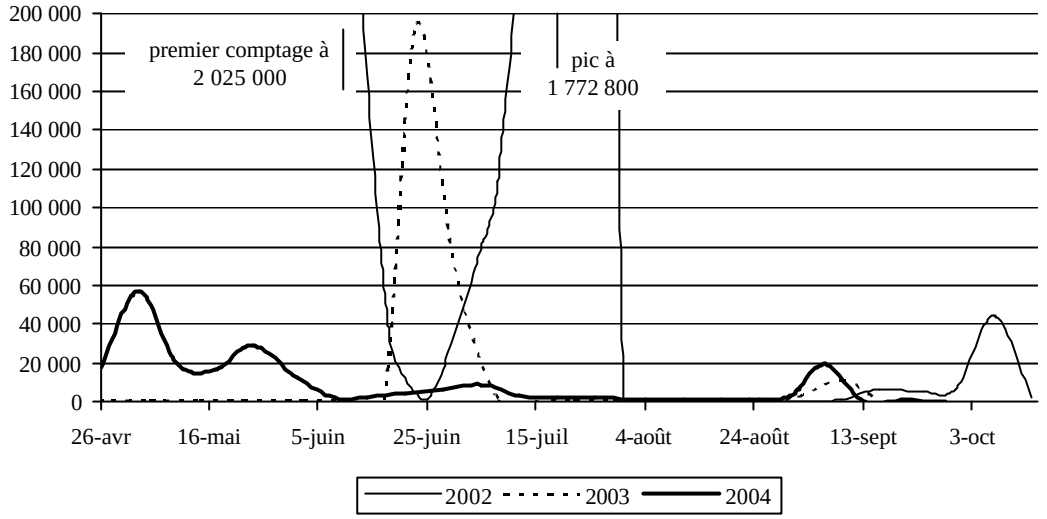
En septembre 2001, 52 sites bretons ont fait l'objet d'un comptage ponctuel de cyanobactéries lors d'une étude d'évaluation des efflorescences (BERTRU *et al.*, 2001). Les résultats pour les 12 sites morbihannais sont présentés dans le tableau 5.

Site	*Date*	*Dénombrement de cyanobactéries (cellules par ml)*	*Mesure de toxicité (µg MLR/l)*
Saint-Malo de Beignon	01/10	305 300	2,30
Etang de Ploërmel (Lac au Duc)	19/09	149 000	3,31
Rivière à Saint-Gravé	19/09	118 400	0,60
Etang de Pluherlin (Moulin Neuf)	19/09	492 000	20,33
Rivière à Rieux	19/09	2 400	2,63
Rivière à la Roche-Bernard	19/09	7 300	0,86
Retenue de la Roche-Bernard	19/09	2 700	1,56
Etang de Muzillac	19/09	89 200	34,50
Etang de Noyalo	19/09	1 900	1,02
Retenue de Plougoumelen	19/09	170	Non détecté
Retenue de Tréauray	19/09	1 400	0,27
Rivière à Hennebont	19/09	24 600	2,29

Tableau 5 : Résultats des comptages de cyanobactéries et de mesures de toxicité sur les sites morbihannais en 2001

[6] Site Internet : http://www.univ-ubs.fr/ecologie/cyanophycees.html

Enfin suite à la mortalité d'une tonne de poissons fin août 2001 sur le lac au Duc à Taupont/Ploërmel, un comité local de vigilance s'est mis en place en mars 2002. Le protocole de suivi est expliqué au paragraphe 2.3.2 et la figure 4 donne une synthèse de l'évolution du nombre de cellules de cyanobactéries en 2002, 2003, 2004.



Source : Communauté de communes de Ploërmel, DDASS et SAUR

Figure 4 : Evolution du nombre de cyanobactéries au Lac au Duc en 2002, 2003, 2004

En résumé, le problème des cyanobactéries a été repéré en Bretagne dès 1978, mais il a commencé à faire l'objet d'études en 1994 (1996 pour le Morbihan). Dès ces premières mesures, une grande majorité des plans d'eau considérés présentent des développements de cyanobactéries. La disparité des données disponibles sur les proliférations de cyanobactéries ne permet pas de conclure sur l'évolution de la situation dans le Morbihan sur cette période.

2.2 Un suivi de la DDASS depuis 2003

Suite aux recommandations de surveillance et de gestion élaborées par l'OMS en 1999, reprises et précisées par le CSHPF dans son avis du 6 mai 2003, les services santé environnement des DDASS sont tenus de contrôler le niveau de contamination par les cyanobactéries des plans d'eau à usage récréatif.

2.2.1 Les sites de baignade suivis

La DDASS a contrôlé la qualité de l'eau vis-à-vis de la prolifération cyanobactéries de 9 sites en 2003, campagnes du 24 juin au 17 septembre, et en 2004, campagnes du 26 mai au 27 septembre. Les différents sites sont listés dans le tableau 6, et localisés dans le département en annexe 3.

Commune	*Nom du site*	*Nombre d'analyses*	
		2003	*2004*
Carentoir	Etang du Beauché	8	12
Langonnet	Etang de Pontigou	7	11
Melrand	Etang de Kerstraguel	8	12
Noyal Pontivy	Etang du Val Vert	7	9
Plouray	Etang d'Ar Lann Vras	11	13
Pluherlin	Etang du Moulin Neuf	8	14
Rohan	Etang de Villemoisan	7	17
Saint Aignan	Anse du Sordan	Pas de suivi	9
Saint Dolay	Etang de Kernevy	7	Pas de suivi
Taupont	Lac au Duc	25	17

Tableau 6: Liste des sites de baignade en eau douce suivis en 2003 et 2004 dans le Morbihan et nombre d'analyses cyanobactéries effectuées sur chacun.

Le nombre de prélèvements et d'analyses diffère d'un site à l'autre car le protocole, excepté pour le Lac au Duc, suit les recommandations de la DRASS, qui imposent une surveillance bimensuelle ou hebdomadaire selon le niveau du comptage cellulaire.

2.2.2 Distributions des valeurs de cyanobactéries

La représentation graphique sous forme de "box plot" des distributions des valeurs de cyanobactéries sur chaque site (Figures 5 et 6) permet de mettre en évidence les sites qui semblent les plus exposés au phénomène de prolifération en tenant compte des seuils de vigilance préconisés par le CSHPF. Le Lac au Duc à Taupont, plan d'eau pilote pour le traitement algicide, n'est pas représenté.

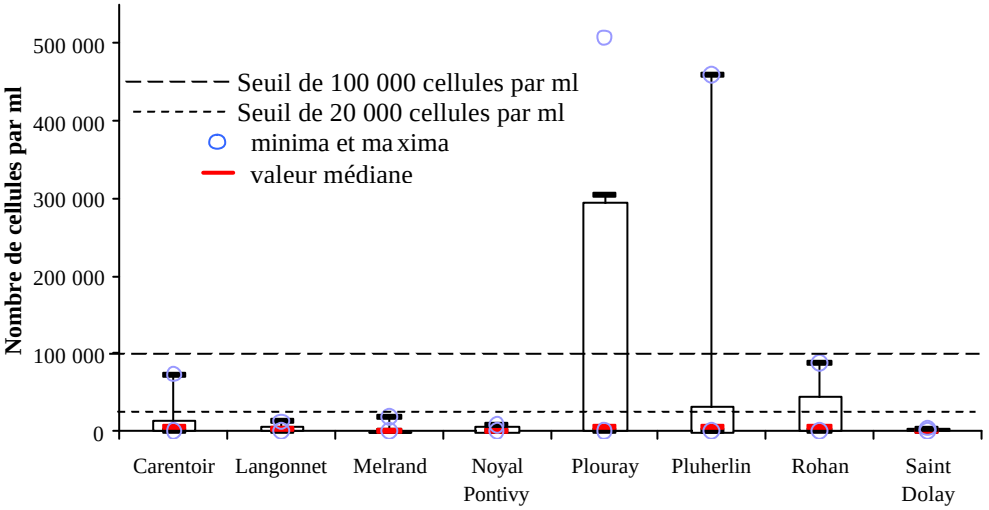


Figure 5 : Distributions en quantiles[7] de la variation du nombre de cyanobactéries par site en 2003

En 2003, le comportement algal est très différent d'un site à l'autre (Figure 5).

[7] Les limites inférieures et supérieures des boîtes, appelées "boîtes à moustaches", correspondent respectivement aux 25e et 75e percentiles de la distribution des valeurs. Les lignes inférieures et supérieures, liées à la boîte par un trait correspondent respectivement aux 10e et 90e percentiles de la distribution des valeurs.

Quatre sites sur huit ont dépassé au moins une fois le seuil de vigilance des 20 000 cellules par ml. Deux sites sur huit (Plouray et Pluherlin) ont dépassé au moins une fois le seuil d'alerte des 100 000 cellules par ml.

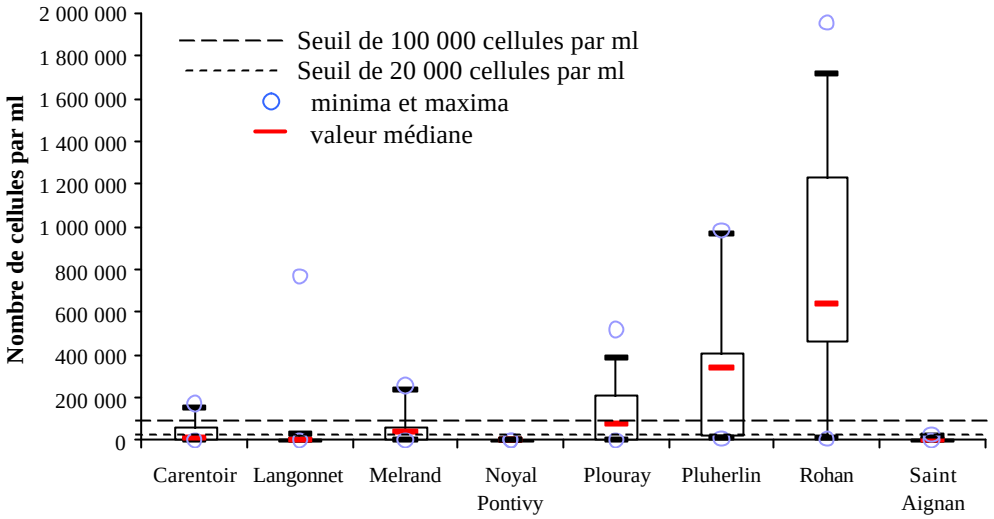


Figure 6 : Distributions en quantiles de la variation du nombre de cyanobactéries par site en 2004

En 2004, les valeurs maximums des comptages lors de prolifération sont globalement plus élevées (Figure 6).
Sept sites sur huit dépassent au moins une fois le seuil de vigilance des 20 000 cellules par ml et six d'entre eux dépassent au moins une fois le seuil d'alerte des 100 000 cellules par ml. Deux sites sur huit (Pluherlin et Rohan) ont une médiane supérieure à 100 000 cellules par ml.

En résumé, pour 2003 et 2004, sept des huit sites suivis ont dépassé au moins une fois le seuil de vigilance des 20 000 cellules. Les plans d'eau qui semblent les plus touchés par le phénomène de prolifération et donc les plus à risque sont : Plouray, Pluherlin et Rohan. Les sites de Noyal Pontivy et de Saint Aignan semblent être les moins risqués pour les activités récréatives.

Des relations entre les caractères morphologiques (âge, volume, mode d'alimentation) et le niveau de contamination n'ont pu être mis en évidence ; le manque de données sur ces caractéristiques, fournies en annexe 4, ne permet pas d'effectuer un traitement statistique et il ne semble pas exister de corrélation évidente à l'examen des données disponibles.

Après seulement deux années de mesures, il n'est pas possible de conclure sur l'évolution de la situation vis-à-vis de la problématique cyanobactéries. On peut seulement constater qu'en 2004 les proliférations étaient plus importantes qu'en 2003 avec la réserve suivante : la recherche systématique des cyanobactéries a débuté de manière tardive en 2003. En effet on considère que les proliférations de cyanobactéries ont lieu de début mai à octobre sous nos latitudes, hors en 2003 les campagnes dans le Morbihan ont débuté en juin. On peut ainsi penser que les contrôles ont été effectués après les efflorescences de cyanobactéries, d'autant plus que durant l'été 2003 les températures et la météorologie ont été exceptionnelles pour le département. Pour cette raison la comparaison entre les deux années semble difficile.

En outre, ces résultats sont toutefois à interpréter avec prudence. En effet les prélèvements effectués sont ponctuels et le choix du lieu de prélèvement est lié à l'activité de baignade ;

les paramètres météorologiques qui influencent également la prolifération et la position des cyanobactéries sur le plan d'eau ne sont pas pris en compte.

2.2.3 Les espèces présentes et les toxines

Les espèces dominantes rencontrées sur chaque plan d'eau sont listées dans le tableau 7 selon l'année. Les toxines susceptibles d'être produites par ces espèces sont inventoriées en annexe 1.

Commune	*2003*	*2004*
Carentoir	*Plankthotrix agardhii*	*Plankthotrix agardhii* *Coelomoron*
Langonnet	*Aphanizomenon sp*	*Aphanothece*
Melrand	*Woronichinia sp*	*Aphanothece* *Aphanizomenon flos aquae*
Noyal Pontivy	*Limnothrix redekei*	*Coelomoron* *Plankthotrix agardhii*
Plouray	*Plankthotrix agardhii*	*Plankthotrix agardhii*
Pluherlin	*Aphanizomenon sp* *Microcystis aeruginosa*	*Anabaena heterospora* *Oscillatoria sp* *Plankthotrix agardhii*
Rohan	*Merismopedia sp* *Limnothrix redekei*	*Coelomoron*
Saint Aignan	Non analysé	*Aphanizomenon flos aquae*
Saint Dolay	Peu présent	Non analysé

Source: DDASS 56

Tableau 7 : Espèces dominantes dans les plans d'eau morbihannais suivis par la DDASS en 2003 et 2004.

D'une année sur l'autre les espèces dominantes varient sur un même plan d'eau. La présence d'espèces à risque car productrices de neurotoxines ou d'hépatotoxines incite à poursuivre le suivi de ces plans d'eau.
Les toxines de type microcystine (hépatotoxine), seules à être dosées, ont été détectées :

- en 2003 sur les sites suivants : Melrand et Pluherlin (qui ont connu une accumulation algal (écume) avec une concentration en MLR > 200 µg/l), Plouray (~ 14 µg/l) ;
- en 2004 sur les étangs de Carentoir et Melrand (< 0.2 µg/l), de Plouray (<5 µg/l) et de Pluherlin (~11 µg/l) ;
- pas de microcystine détectée sur le site de Rohan (dominance d'une espèce non productrice).

Les teneurs en toxine n'ont pas dépassé le seuil de 25 µg MLR/l en 2004. Cependant, le type de prélèvements minimise la quantité de toxine analysée. En effet, cette teneur, plus élevée dans l'écume lors des efflorescences, est diluée dans le mètre de colonne d'eau prélevé.

2.3 Les actions et éléments de décision face aux proliférations

2.3.1 Les mesures officielles de surveillance et de limitation ou interdiction d'activités

En parallèle aux contrôles réalisés par les DDASS, des mesures de surveillance et de limitation ou d'interdiction d'activités ont été mises en place à partir de 2003.

Les pratiques de la DDASS vis-à-vis de la surveillance et la gestion des plans d'eau contaminés par les cyanobactéries sont légèrement différentes des recommandations du CSHPF (Tableau 8).

Niveau de contamination	*Recommandations du CSHPF*	*Pratiques de la DDASS 56*
Présence avec comptage < 20 000 cell/ml	Surveillance bimensuelle **Information du public**	Surveillance bimensuelle **Pas d'information**
Comptage entre 20 000 et 100 000 cell/ml	**Surveillance hebdomadaire** Information du public	**Surveillance bimensuelle** Information du public
Comptage > 100 000 cell/ml et MLR < 25 µg/l	Surveillance hebdomadaire **Limitation des activités**	Surveillance hebdomadaire **Interdiction des activités**
Comptage > 100 000 cell/ml et MLR > 25 µg/l	Surveillance hebdomadaire Interdiction des activités	Surveillance hebdomadaire Interdiction des activités

Tableau 8 : Différences entre les pratiques de la DDASS du Morbihan et les recommandations de surveillance et de gestion des plans d'eau contaminés par les cyanobactéries émis par le CSHPF

A chaque dépassement des 20 000 cellules par ml, les maires des sites concernés sont tenus d'informer le public par affichage en mairie et sur les abords du plan d'eau, en précisant des recommandations d'usage comme la douche après une baignade. Une affiche type concernant cette information est fournie par la DDASS avec les résultats d'analyses. Si le comptage dépasse 100 000 cellules par ml, les gestionnaires des plans d'eau sont obligés de fermer la baignade et d'en informer le public même si la teneur mesurée en MLR est inférieure à 25 µg/l. Enfin, la réouverture du site est possible dès que le comptage se situe sous le seuil des 100 000 cellules par ml, et ce, sans que des analyses de toxines ne soient réalisées.

Le tableau 9 présente les actions proposées par le service Santé Environnement de la DDASS et celles qui ont été réellement effectuées en 2003.

Site	*Nb de comptage entre 20 000 et 100 000 cell/ml*	*Nb de comptage supérieur à 100 000 cell/ml*	*Nb de dépassement de 25 µg MLR/l*	*Traitement au CuSO4*	*Information au public*		*Fermeture de la baignade*	
					Proposée	*Effectuée*	*Proposée*	*Effectuée*
Carentoir	2	0	0	non*	oui	oui	sans objet	sans objet
Langonnet	0	0	0	non	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
Melrand	0	1	1	non	oui	non	oui	non
Noyal Pontivy	0	0	0	non	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
Plouray	0	3	0	non	oui	non	sans objet	sans objet
Pluherlin	1	2	1	non	oui	oui	oui	oui
Rohan	2	0	0	non	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
Saint Dolay	0	0	0	non	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
Taupont	1	2	0	oui	non	non	sans objet	sans objet

** Traitement à la chaux* *Source : DDASS 56*

Tableau 9 : Dénombrement des dépassements des seuils de vigilance et présentation des actions proposées et effectuées sur chaque site morbihannais en 2003.

On remarque qu'en 2003, les informations au public et les interdictions de baignade n'ont pas été systématiquement proposées voire elles ont été proposées et non effectuées. A partir de 2004, les pratiques de la DDASS, présentées dans le tableau 8, ont été appliquées strictement. Le tableau récapitulant le nombre de dépassements des différents seuils de vigilance en 2004 est présenté en annexe 5.

2.3.2 Le cas du Lac au Duc

Un comité local de vigilance s'est mis en place en mars 2002 afin d'essayer de connaître les origines des proliférations et surtout d'engager des actions pour les limiter. Ainsi depuis 2002, un protocole de suivi a été mis en œuvre sur ce site. Des prélèvements et des mesures sont effectués toutes les semaines d'avril à octobre en trois points du lac. Les éléments mesurés in situ sont la température, l'oxygène dissous, le pH et les hauteurs d'eau. Les éléments analysés en laboratoire sont la teneur en chlorophylle a, l'identification et le comptage de microalgues, les nitrates, l'ammonium, le fer et le manganèse. Les résultats de ces campagnes de mesures ne sont pas exposés dans le présent document mais sont disponibles au service environnement de la communauté de communes de Ploërmel (ANONYME, 2004).
En outre le Lac au Duc a fait l'objet d'une étude complémentaire en 2004 sur les conséquences des traitements au sulfate de cuivre au niveau des peuplements algaux et des sédiments, avec un dosage dans les sédiments et l'eau en début de saisons, puis après chaque épandage d'algicide. Des dosages sur chair à poissons ont également été réalisés de manière ponctuelle en juillet et en novembre (synthèse de l'étude à paraître).

3 NIVEAU DE CONNAISSANCE ET DE SENSIBILITE DES ACTEURS LOCAUX VIS-A-VIS DE LA PROBLEMATIQUE CYANOBACTERIES

3.1 Méthode de collecte d'information

3.1.1 Principes de l'enquête

Pour connaître le degré de sensibilité et d'information des acteurs locaux concernant la problématique de prolifération des cyanobactéries, il est apparu intéressant de les questionner. Deux niveaux de contact ont été retenus :

- des acteurs intervenant dans le domaine de l'eau dans le Morbihan : Conseil Général, DDASS, MISE, Fédération Départementale de Pêche, responsables de syndicat de bassin versant ou structures intercommunales impliquées dans des programmes de gestion de l'eau

  Les syndicats de bassin versant ou structures intercommunales contactés sont ceux qui possèdent au moins un plan d'eau à usage récréatif sur leur territoire. La liste est la suivante :
  - Le Grand Bassin de l'Oust : fédération de plusieurs bassins versants
  - L'Institution Interdépartementale du SAGE Blavet
  - Le Syndicat intercommunal d'aménagement du Golfe du Morbihan
  - La Communauté de Communes d'Etel
  - La Communauté de Communes du Pays du Roi Morvan
  - La Communauté de Communes du Loc'h
  - L'Institution d'aménagement de la Vilaine

- Le Syndicat du Bassin du Scorff

Lors d'entretiens semi-directifs, des questions ont été posées sur les problèmes environnementaux et les actions menées sur le territoire concerné par chaque acteur. La grille d'entretien est présentée en annexe 6.

- des acteurs gestionnaires locaux : les gestionnaires et propriétaires des plans d'eau, voire les gestionnaires de la pêche

  Lors d'entretiens téléphoniques, des questions relatives aux caractéristiques morphologiques et environnementaux des plans d'eau ont été posées aux gestionnaires (certaines informations étaient déjà disponibles au sein du Système d'Information sur l'Environnement de l'ODEM). Pour répondre aux questionnaires, les maires ou les adjoints responsables de l'environnement sur la commune et les propriétaires dans le cas des étangs privés ont été considérés comme les interlocuteurs appropriés. La grille d'entretien est présentée en annexe 6.

La liste des personnes et des organismes contactés est présentée en annexe 7.

3.1.2 Choix des plans d'eau

Parmi les 219 plans d'eau du Morbihan de plus de 0,1 ha, 17 ont été retenus selon le critère suivant : existence d'une activité récréative considérée à risque. Une activité est considérée à risque suivant la nature et l'intensité des expositions du pratiquant.

Dans le glossaire de l'eau[8], deux types d'activités récréatives sont différenciés :

- les activités de contact primaire (exposition directe) au cours desquelles une grande partie du corps est en contact régulier avec l'eau : la baignade, la nage avec palmes, la plongée, la nage en eau vive ou hydrospeed, la planche à voile, le canoë-kayak en eau vive, le ski nautique…
- les activités de contact secondaire qui induisent un contact moins fréquent avec l'eau : la navigation de plaisance, le canotage, la voile, le pédalo, l'aviron, le canoë-kayak en eau calme, la pêche…

Selon l'étude menée par VIAL (2004) sur la caractérisation des expositions aux cyanobactéries sur des plans d'eau douce à usage récréatif, la voie d'exposition principale est le contact cutané; cependant, il ne faut pas négliger l'ingestion selon l'activité considérée. La fréquence et la durée d'exposition varient en fonction de l'individu (son âge, son niveau, son comportement...), de l'activité pratiquée et des conditions climatiques. Selon VIAL (2004), les pratiques les plus exposantes, quel que soit le niveau des pratiquants, sont :

- la planche à voile ;
- la baignade ;
- le kayak lors d'esquimautage.

A partir du répertoire des plans d'eau fourni par le Comité Départemental du Tourisme et en considérant les activités à risque énumérées précédemment, une liste de 17 plans d'eau a été retenue (Tableau 10 et annexe 8).

[8] Site Internet : www.menv.gouv.qc.ca/eau/sys-image/contenu1.htm

Nom du site	*Commune*	*Bassin versant*
Etang du Moulin de Quip	Allaire	Arz (Oust)
Etang du Pont Augan	Baud	Blavet
Etang de la Forêt	Brandivy	Loc'h
Etang du Beauché*	Carentoir	Oust
Etang de Pontigou*	Langonnet	Ellé
Etang de Kerstraquel*	Melrand	Blavet
Etang du Val Vert*	Noyal Pontivy	Blavet
Etang d'Ar Lann Vras*	Plouray	Ellé
Etang du Grand Gournava	Pleucadeuc	Claie (Oust)
Etang du Moulin Neuf*	Pluherlin	Arz (Oust)
Lac du Bel Air*	Priziac	Ellé
Etang de Villemeoisan*	Rohan	Oust
Anse du Sordan*	Saint Aignan	Blavet
Etang de Kernevy*	Saint Dolay	Vilaine
Etang d'Aleth	Saint Malo de Beignon	Aff (Oust)
Etang du Pont Samouel	Silfiac	Blavet
Lac au Duc**	Taupont	Oust

*plans d'eau suivis par la DDASS en 2005
**suivi par un comité de pilotage

Tableau 10 : Liste des plans d'eau morbihannais à usage récréatif retenus pour l'enquête auprès des acteurs gestionnaires

3.2 Restitution et analyse des informations recueillies

3.2.1 Les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau dans le Morbihan

A) L'Etat

La DDASS, en charge de la surveillance des plans d'eau douce où la baignade est autorisée, est la seule administration à mener des actions sur la problématique cyanobactéries. La MISE, coordinatrice des actions des nombreux intervenants (DDAF, DDAM, DDASS, DDE, DSV, Préfecture, DIREN, DRIRE) dans le domaine de la politique de l'eau, ne fait l'objet d'aucun retour sur cette problématique. Ainsi elle ne détient aucune information concernant les cyanobactéries, ni l'eutrophisation par ailleurs.
Depuis la loi sur l'eau de 1992, la définition des préconisations pour la gestion des plans d'eau, sous la tutelle des SDAGE et SAGE, réalisés sous l'autorité du préfet, concerne essentiellement des limitations de création de plans d'eau, des remises en l'état ou des déconnections au réseau hydrographique.

B) Le Conseil Général

Le Conseil Général n'a pas de compétence directe vis-à-vis des plans d'eau et notamment vis-à-vis de ceux à usage récréatif : ses préoccupations se portent sur l'alimentation en eau potable. Sa participation au groupe de travail phosphore lui a notamment permis de mieux connaître la problématique cyanobactéries et les recommandations en vigueur. Au regard des réflexions menées au sein du groupe de travail phosphore, les efflorescences de cyanobactéries sont perçues comme un élément de connaissance, un indicateur d'eutrophisation et non comme un problème ou un risque à part entière.

Actuellement, le Conseil Général attend la modification du SDAGE et le programme de mesures à définir d'ici 2009 en accord avec la DCE (Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique

communautaire dans le domaine de l'eau), avant de se positionner sur cette problématique et de redéfinir des compétences ou de lancer des actions et/ou réflexions dans le domaine.

Attentif au problème de l'évaluation des efflorescences, le Conseil Général est impliqué dans le lancement de la présente étude et dans son financement. Les préoccupations actuelles du Conseil Général sur ce sujet concernent notamment une éventuelle saisine par des particuliers confrontés à une eau contaminée. Le Morbihan étant un département producteur de légumes de conserve, avec environ 12 000 ha de parcelles irriguées, en particulier depuis des retenues collinaires (SARRAZA, 1997), l'une des questions posées est le devenir des cyanotoxines lors d'irrigation.

C) La Fédération du Morbihan pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

L'eutrophisation des plans d'eau et a fortiori la prolifération des cyanobactéries n'est pas au centre des réflexions et des actions menées par de la Fédération. Les étangs sont cependant perçus comme des nuisances pour les raisons suivantes :

- ils constituent des obstacles pour les poissons migrateurs ;
- ils sont source de dégradation de la qualité de l'eau de la rivière (l'augmentation de température dans les plans d'eau est notamment favorable au développement de germes et de maladies) et d'aggravation des étiages ;
- ils entraînent le colmatage des lits des cours d'eau en amont et surtout en aval des étangs (abondance des matières en suspension dans les eaux des étangs).

En outre, de nombreuses inquiétudes concernent les pratiques de la pêche en étang du fait d'évènements rapportés pour lesquels les cyanobactéries sont mises en cause. Ainsi en 2004, des pêcheurs du lac de Guerlédan ont capturé des perches à la chair bleutée, aux yeux irrités et avec un état de santé général fortement dégradé. En août 2003, certains participants au championnat de France de pêche au moulinet sur le Lac au Duc se sont plaints d'irritations et de démangeaisons cutanées. Après quelques mois, les suspicions se sont portées vers les cyanobactéries.

Concernant la gestion piscicole des plans d'eau, la Fédération ne donne pas de recommandation particulière et aucun programme de gestion n'est en cours d'élaboration, à la différence des rivières. Seuls des fournisseurs piscicoles qui respectent les aspects sanitaires et les normes européennes ont été recherchés par la Fédération et la liste a été proposée aux associations locales de pêche.

D) Les syndicats de bassin versant ou structures intercommunales

Globalement la connaissance du phénomène de prolifération de cyanobactéries est peu développée. Chaque acteur connaît le problème avec plus ou moins de précision quant à la nature des cyanobactéries, leurs conditions de développement, leur toxicité et les recommandations émises par le CSHPF. Ceci est lié en particulier à la prise de connaissance ou non des études menées au Lac au Duc, dont les objectifs et certains résultats ont été diffusés, et à la participation ou non de chacun au groupe de travail départemental phosphore. Le degré d'information et de sensibilité des responsables de bassin versant dépend également de la présence de plans d'eau, à usage récréatif ou utilisés pour l'alimentation en eau potable, contaminés par les cyanobactéries, et de la volonté des propriétaires et/ou gestionnaires à comprendre le phénomène de prolifération et à trouver des solutions de gestion. Ainsi sur le département de Morbihan, deux cas de figure se présentent :

- Premier cas : les syndicats de bassin versant font l'objet d'une saisine par les communes qui possèdent sur leur territoire un étang contaminé, ce dernier représentant un attrait touristique ou un intérêt pour l'alimentation en eau potable important.

- Deuxième cas : les syndicats, qui ne sont pas informés de l'existence du problème de prolifération sur leur territoire, n'en font pas une priorité.

D'une manière générale, il y a peu d'échanges d'information entre les responsables des bassins versants et les différents acteurs intervenant dans le domaine de l'eau. En outre, il n'y a pas de mise en relation des actions de lutte contre les pollutions au phosphore et à l'azote avec les impacts sur l'eutrophisation des milieux aquatiques. Ce manque de transmission d'information entre les acteurs engendre une perception réduite du problème. Ainsi certains syndicats de bassin versant pensent à tort qu'il n'y a aucun plan d'eau concerné par les proliférations de cyanobactéries sur leur territoire.

3.2.2 Les acteurs gestionnaires locaux

A) Présentation des plans d'eau

La majorité des plans d'eau étudiés appartiennent aux collectivités et sont gérés par la commune sur le territoire de laquelle le plan d'eau est localisé. La répartition des étangs selon le type de propriétaire et/ou gestionnaire est représentée sur la figure 7. Seul l'Anse de Sordan a un caractère mixte : le Conseil Général est propriétaire des rives, mais le gestionnaire est privé.

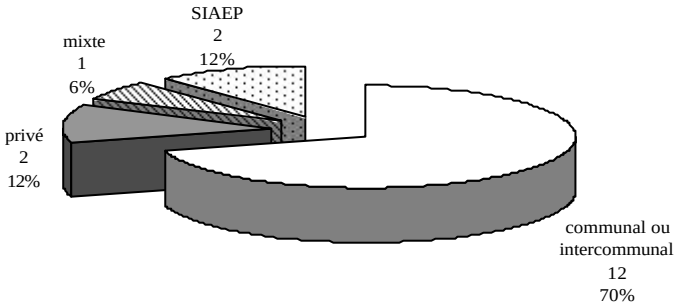


Figure 7 : Caractères des propriétaires et gestionnaires des plans d'eau morbihannais étudiés

La superficie de ces plans d'eau est très variable (Tableau 11). La profondeur moyenne pour chacun d'eux est faible et n'excède pas 3 m. L'ensemble des données géomorphologiques disponibles de chaque plan d'eau est présenté en annexe 4.

Classes de superficie S en ha	*1 < S < 2*	*2 < S < 10*	*10 < S < 50*	*S > 150*
Nombre de plans d'eau	3	8	4	2

Tableau 11 : Nombre de plans d'eau par classe de superficie.

B) Problèmes potentiellement liés à la présence de cyanobactéries connus des acteurs consultés

Peu de problèmes potentiellement liés à la présence de cyanobactéries sur les plans d'eau sont connus des acteurs consultés. Concernant la qualité de l'eau des étangs, seul un cas d'irritation après baignade a été dénombré en 2003 à l'étang de Kerstraquel (Melrand).

Des mortalités anormales de poissons ont également été constatées dans ce plan d'eau, au Lac au Duc (Taupont) et à l'étang d'Aleth (St Malo de Beignon) la même année, ainsi qu'à l'étang d'Ar Lann Vras (Plouray) en 2004.
Enfin si l'envasement des étangs est largement identifié par les gestionnaires depuis les remembrements, le phénomène d'eutrophisation reste quant à lui peu connu et donc faiblement recensé. Par conséquent, il s'avère qu'il n'y a pas de mémoire de l'apparition et du développement du phénomène d'eutrophisation et de prolifération des cyanobactéries en particulier.

C) Degré de sensibilité des acteurs et actions engagées ou envisagées

La connaissance de la problématique cyanobactérie est très variable d'un gestionnaire de plan d'eau à un autre.

Les gestionnaires des plans d'eau pour lesquels un suivi cyanobactéries est effectué par la DDASS ne connaissent pas de manière systématique la problématique. Cette connaissance est fréquemment imprécise et certains acteurs se plaignent du manque d'information et de lisibilité sur le sujet. Il existe même un cas de plan d'eau contrôlé par la DDASS et pour lequel le gestionnaire ne connaît pas le terme cyanobactérie. Il semble en effet que les gestionnaires ne sont pas prévenus lorsque des contrôles supplémentaires sont effectués sur l'eau de leur étang. Ainsi, un maire a assuré que le nombre de cyanobactéries présentes dans l'eau de l'étang de sa commune est compté depuis longtemps et un autre s'est plaint que les services de la DDASS ne l'aient pas informé du sujet avant que le problème ne survienne et ne lui soit communiqué un vendredi soir.
Pour les plans d'eau dont la qualité n'est pas contrôlée pas les services de la DDASS, deux cas de figure se présentent :

- soit le gestionnaire connaît approximativement le problème car il existe sur un plan d'eau voisin ;
- soit le gestionnaire n'a jamais entendu le mot cyanobactérie.

Enfin les seules actions menées dans le domaine concernent les plans d'eau suivis et sont celles imposées par les recommandations de la DDASS, c'est-à-dire l'information du public et la fermeture ou la limitation d'activités suivant le niveau de contamination. A noter qu'aucun suivi journalier n'est réalisé par les acteurs locaux alors que le CSHPF recommande un suivi de la mesure de transparence au disque de Secchi.

Quelques plans d'eau font cependant exception dans le département :

- l'étang du Moulin Neuf qui fait l'objet d'une partie du présent mémoire (Chapitre 3) ;
- l'étang d'Ar Lann Vras à Plouray pour lequel le maire de la commune a saisi la Communauté de Commune du Pays du Roi Morvan afin d'obtenir plus d'informations sur le sujet et d'analyser la quantité de nutriments qui arrivent sur le plan d'eau ;
- l'étang de la Forêt à Brandivy, non suivi par le service santé environnement de la DDASS, pour lequel la Communauté de Commune du Loc'h a démontré aux élus la présence de cyanobactéries grâce à une analyse ponctuelle (comptage et dénombrement des espèces présentes) et qui fait depuis l'objet d'un suivi dont le protocole reprend les recommandations du CSHPF ;
- l'étang du Dordu à Langoëlan, situé en amont d'une prise d'eau potable sur la rivière du Scorff, pour lequel une étude, destinée à cerner les causes du développement des efflorescences à cyanobactéries et à proposer des solutions, est en cours ;
- le lac au Duc à Ploërmel qui, comme mentionné précédemment, fait l'objet d'un suivi et de traitements algicides à partir d'un protocole depuis 2002 (Chapitre 2 §2.3.2).

Dans le cas de l'Anse de Sordan (Lac de Guerlédan), la présence de multiples interlocuteurs semble être un frein pour l'acquisition de connaissances et la mise en place d'actions de surveillance et de gestion.

Finalement, la majorité des acteurs locaux est peu au fait de la problématique des cyanobactéries, parfois même en étant pourtant directement concernés. La plupart des acteurs consultés souhaiteraient davantage d'information sur ce sujet.

4 CONCLUSION

Les proliférations de cyanobactéries concernent actuellement de nombreux plans d'eau morbihannais. Les suivis réguliers par les services de l'Etat n'ont débuté qu'en 2003 et il n'est donc pas possible de savoir quand est apparu le problème et si la situation s'aggrave. Des données ponctuelles antérieures montrent cependant que des efflorescences avaient déjà lieu sur certains plans d'eau morbihannais dans les années 90. La surveillance menée en 2003 et 2004 met également en évidence la diversité des situations d'un plan d'eau à un autre et la variabilité temporelle des proliférations.

A ce jour, les degrés d'information et de sensibilité vis-à-vis de la problématique cyanobactéries sont extrêmement variables selon les acteurs.
Les enjeux liés à la présence de plans d'eau sur le territoire sont moyennement bien connus des acteurs départementaux et de bassins versants, mais ne sont pas intégrés dans les réflexions et les actions menées pour la surveillance et la gestion de l'eau du département.
Les actions passées ou actuellement en cours ont d'abord été centrées sur la problématique de l'azote puis sur celle des pesticides. L'intérêt pour le problème du phosphore est très récent, ce qui explique le peu d'attention portée sur l'eutrophisation. Les problèmes majeurs pour une meilleure prise en compte de cette problématique semblent être un manque d'échanges entre les acteurs et des informations dispersées entre les divers organismes.
Les acteurs gestionnaires locaux connaissent le plus souvent peu ou pas le problème des cyanobactéries mais sont très demandeurs d'une meilleure information sur le sujet.

CHAPITRE 3 : CARACTERISATION DES EFFLORESCENCES A CYANOBACTERIES DANS L'ETANG DU MOULIN NEUF

L'objectif de cette partie est double :

- Caractériser les peuplements algaux et la dynamique de développement des cyanobactéries sur l'étang du Moulin Neuf
- Tester l'opérationnalité de la sonde à fluorescence et évaluer son intérêt pour la surveillance et la gestion des plans d'eau contaminés par les cyanobactéries.

1 LE SITE DU MOULIN NEUF

1.1 Attente des acteurs locaux

La réalisation de ce mémoire fait suite à la saisie du Conseil Scientifique de l'ODEM concernant le problème de prolifération de cyanobactéries dans l'étang du Moulin Neuf par les élus de ce secteur. Cette saisine est intervenue suite à la fermeture de la baignade durant le mois d'août 2004, décision prise au regard des résultats des contrôles effectués par la DDASS et de ses recommandations.
Avant de décider des actions de surveillance et de gestion du risque à entreprendre, il a été convenu avec les acteurs locaux de réaliser un diagnostic initial de la situation de l'étang concernant le peuplement algal et la dynamique des cyanobactéries. Cette première caractérisation permettra de formuler des propositions d'actions qui pourront être appliquées à court et long termes pour gérer les risques liés aux proliférations de cyanobactéries. Ces propositions représentent une aide à la décision et doivent être adaptées aux enjeux économiques et touristiques du lieu.

Cependant, pour répondre à l'objectif du présent document qui est l'amélioration des modalités de surveillance et l'anticipation de la gestion des développements de cyanobactéries en général, la caractérisation globale de la situation de cet étang test n'est pas nécessaire et fera l'objet d'un document plus spécifique à destination des acteurs (à paraître). Les données présentées par la suite sont donc les informations utiles à l'analyse des intérêts et des limites de l'utilisation de la sonde à fluorescence. Ainsi la comparaison de l'année 2005 avec les années 2003 et 2004 et l'analyse des apports de nutriments par le bassin versant, effectuées dans le cadre de notre étude, ne sont pas présentées ici.

1.2 Présentation succincte du site

1.2.1 Localisation et origine du site

Le site du Moulin Neuf, situé à 1,5 km au sud-ouest de Rochefort-en-Terre (Annexe 8), est souvent associé à cette ville alors qu'il est localisé sur le territoire de trois communes : Malansac, Pluherlin et Rochefort-en-Terre. L'étang a été aménagé en 1977 à la place de prairies humides. Le SIVOM des cantons de Questembert et de Rochefort-en-Terre est propriétaire d'un domaine de 97 ha (fond et rives de l'étang).

1.2.2 Caractérisation du site

L'étang, représenté sur la figure 9, s'étend sur 1 140 m d'ouest en est et sur 350 m du nord au sud. Sa surface actuelle est estimée à 16,5 ha. La profondeur moyenne de l'étang est faible, voisine de 2 m et la profondeur maximale est d'environ 3,5 m. La hauteur de sédiments varie de 20 à 50 cm. Le volume d'eau contenue dans l'étang peut donc être estimé à 280 000 m^3 et le volume de sédiments à 50 000 m^3.
La principale source d'alimentation en eau de l'étang est le ruisseau de Saint Gentien à l'ouest. Cependant d'autres rus peuvent apporter de l'eau à la retenue, à l'est et à l'extrême sud du plan d'eau, et plusieurs fossés drainant se jettent également dans le plan d'eau.
Compte tenu du volume du plan d'eau et des débits mesurés, le taux de renouvellement de l'eau de la retenue avoisine les trois mois.
La superficie du bassin versant, représenté en annexe 8, est estimée à 1 560 ha. Les activités sont essentiellement agricoles avec notamment de nombreuses exploitations d'élevage. Des hameaux, non raccordés à un réseau d'assainissement collectif, sont présents sur le bassin versant. Enfin une superficie relativement importante est boisée (environ un quart du bassin versant).

1.2.3 Gestion hydraulique, piscicole et touristique du site

Le niveau de l'eau dans l'étang est géré par un système de vanne en fonction des précipitations. En novembre le SIVOM procède à une légère vidange pour pallier les risques d'inondation de la ville de Rochefort-en-Terre en cas de forte précipitation. Ainsi le marnage entre la période hivernale et la période estivale est d'environ 40 cm.
La gestion piscicole est assurée par l'AAPPMA «La Gaule de Lanvaux – Rochefort-en-Terre » depuis de nombreuses années.
Quant à la gestion touristique du site qui appartient au SIVOM, celle-ci a été déléguée à l'association VAL (location de gîtes, de pédalos et activités diverses).

2 PROTOCOLE D'ETUDE

2.1 Démarche méthodologique générale

Il est difficile d'évaluer les risques liés aux cyanobactéries sur un étang à usage récréatif du fait de la variété des facteurs intervenant et des incertitudes sur leur rôle respectif, des multiples lieux de contact possibles entre les individus et l'eau contaminée et des changements rapides de distributions des cyanobactéries sur le plan d'eau et dans la colonne d'eau (Cf. Chapitre 1).
La démarche méthodologique adoptée vise à caractériser le peuplement algal et sa dynamique de prolifération spatiale et temporelle au regard des différents paramètres à prendre en compte (Figure 8).

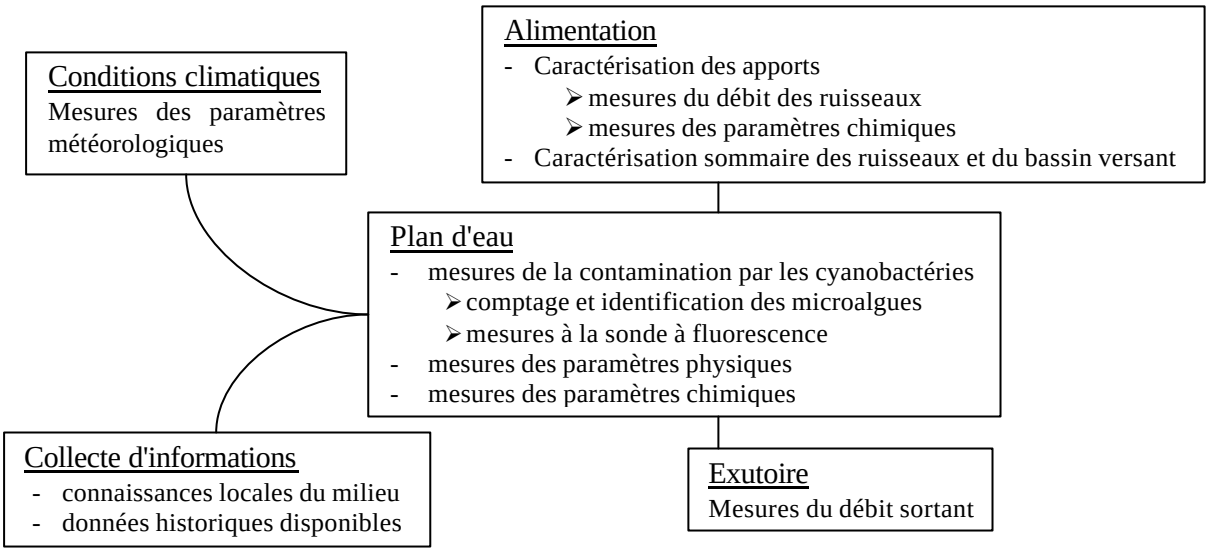


Figure 8 : Représentation schématique de la démarche méthodologique générale

La mise en relation de ces données doit permettre de comprendre le comportement des cyanobactéries sur le plan d'eau et notamment de savoir si il existe un lieu privilégié de développement. L'analyse des données vise aussi à identifier, si possible, les facteurs déclenchant la prolifération et les facteurs déclenchant la production de toxines.

Cependant, comme cela a déjà été expliqué (Chapitre 3, §1.1), seules les données concernant les conditions climatiques et le plan d'eau sont analysées dans ce mémoire.

2.2 Lieux de prélèvements et fréquences

Cinq lieux de prélèvements ont été choisis sur l'étang pour les analyses de cyanobactéries et trois points de prélèvements sur les rus ont été retenus en sus des points du plan d'eau pour les analyses de nutriments. Le point de prélèvement à quelques mètres de la rive au niveau de la zone de baignade, habituellement effectué pour la DDASS, a été conservé - point 5 - (Figure 9).

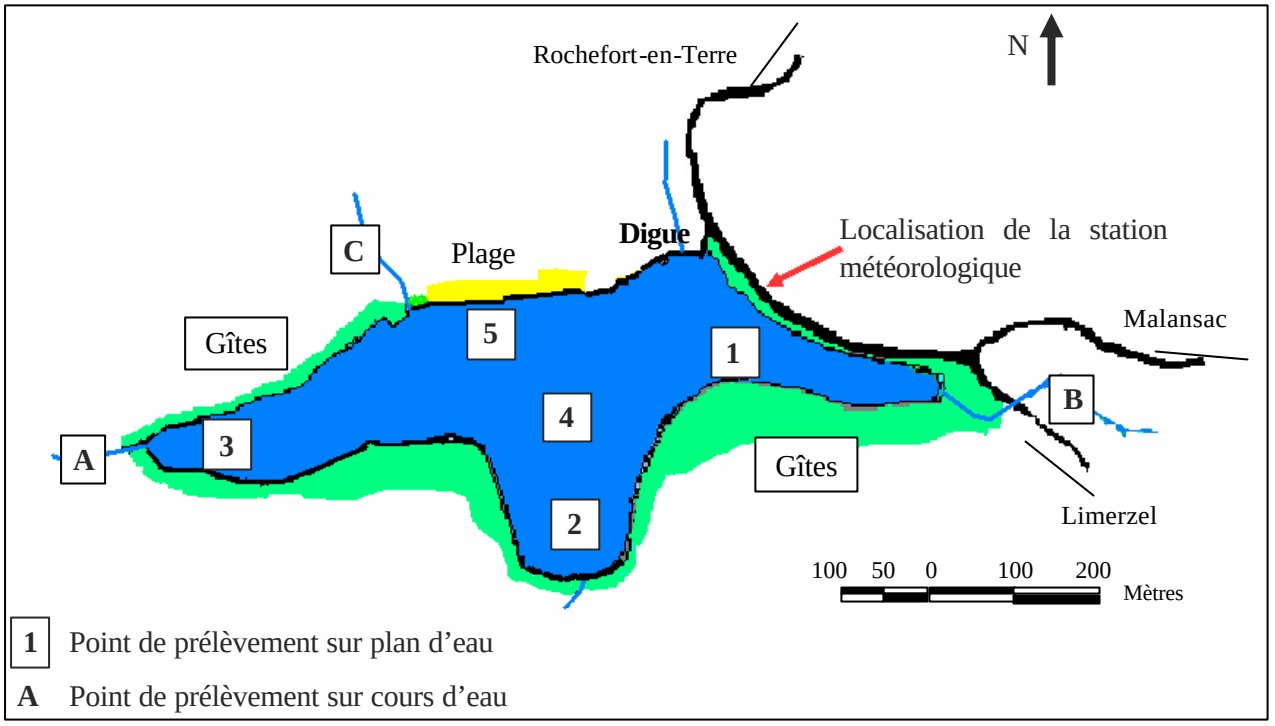


Figure 9 : Localisation des points de prélèvements et de la station météorologique

Il n'existe pas de protocole d'échantillonnage normalisé pour le prélèvement des cyanobactéries (Chapitre 1 §3.3). Ainsi, la technique utilisée est celle mise en place dans le cadre du suivi régulier des sites du Morbihan : prélèvement d'un mètre de colonne d'eau en utilisant un tube préleveur de 1 mètre de long et de 5 cm de diamètre. La fréquence des prélèvements est basée sur les recommandations du CSHPF :

- bimensuelle si le nombre de cellules par ml est inférieur à 20 000
- hebdomadaire dès que le comptage dépasse 20 000 cellules par ml

La campagne d'analyses a débuté le 10 mai 2005 et se terminera normalement fin octobre. Associées à ces prélèvements, des mesures à la sonde à fluorescence sont réalisées avec une fréquence hebdomadaire.
La fréquence des mesures de nutriments était fixée à une analyse par mois pour les points de l'étang comme pour ceux des cours d'eau. Au cours de l'étude, l'homogénéité des valeurs nous a amené à ajuster le protocole de suivis sur ce point. Ainsi à partir de la mi-juillet, les prélèvements sur les cours d'eau sont restés mensuels alors que sur le plan d'eau, un seul prélèvement a été conservé (point 4) avec une fréquence hebdomadaire.

Le calendrier des prélèvements selon les analyses à effectuer est présenté en annexe 9.

2.3 Paramètres suivis

Ce paragraphe ne présente que les paramètres suivis sur le plan d'eau et les paramètres météoroloques.

2.3.1 Paramètres météorologiques

Une station météorologique a été installée à proximité de l'auberge du Moulin Neuf (Figure 9). Les paramètres, enregistrés avec un pas de temps de 2h, sont les suivants :

- la direction et l'intensité du vent
- la température extérieure
- les précipitations

Ces paramètres sont des facteurs physiques importants pour le développement, la survie et la dynamique des cyanobactéries dans le plan d'eau.

2.3.2 Niveau de contamination du milieu par les cyanobactéries

A) Mesures classiques

Les échantillons prélevés sont transportés dans la journée au laboratoire Ecobio de l'Université de Rennes 1. Les analyses suivantes sont réalisées :

- identification et dénombrement des différentes espèces algales présentes dans l'échantillon par microscopie optique au moyen d'une cellule de Nageotte ;
- recherche de la microcystine LR par chromatographie (HPLC) : cette analyse est effectuée si le comptage est supérieur à 100 000 cellules par ml ;
- mesure de la chlorophylle a, paramètre indicateur de biomasse algale globale, *i.e.* non spécifique aux cyanobactéries, qui est un indicateur de la qualité des plans d'eau.

B) Mesures complémentaires

a) Mesure de la transparence

Conformément à la directive 76/160/CEE relative à la qualité des eaux de baignade, les valeurs guide et impérative, pour ce critère visuel, sont respectivement de 2 m et 1 m. La transparence fait également partie des paramètres proposés dans l'avis du CSHPF du 6 mai 2003 pour la surveillance renforcée des plans d'eau. Il est en effet probable que la modification de la transparence constitue un signal de début de prolifération d'algues. Sa mesure est également un moyen pour inciter les acteurs de terrain à réaliser un suivi visuel régulier du plan d'eau. La transparence a été observée par l'intermédiaire d'un disque de Secchi.

b) Mesure avec la sonde à fluorescence

Parallèlement aux analyses classiques, des mesures du niveau de contamination ont été réalisées à l'aide d'une sonde à fluorescence immergeable (Annexe 13) qui est spécifique à la phycocyanine, pigment présent essentiellement chez les cyanobactéries. Cependant, on trouve également ce pigment chez les cryptophytes, algues peu présentes en Bretagne. La sonde, qui a été testée au laboratoire Ecobio de l'Université de Rennes 1, fournit une mesure instantanée de la teneur en phycocyanine et indirectement une estimation de la concentration en cyanobactéries. La présente étude permet de tester cet outil en conditions de terrain. Des mesures effectuées sur l'échantillon, qui sert aux comptages des microalgues, et des profils sur la colonne d'eau ont été réalisés.

2.3.3 Analyses physico-chimiques

Sur le plan d'eau des relevés de la température de l'eau, de l'oxygène dissous et du pH sont réalisés simultanément aux mesures à la sonde à phycocyanine.

Les échantillons pour l'analyse de la chimie de l'eau sont transportés dans la journée au Laboratoire Départementale d'Analyses du Morbihan à Saint-Avé. Les éléments chimiques analysés sont les suivants :

- azote Kjedhal, nitrites, nitrates, ammonium : la mesure de ces éléments permet de quantifier l'azote organique et minérale présent dans le plan d'eau ;
- phosphore total et dissous : le phosphore est le nutriment le plus limitant pour la prolifération des cyanobactéries (Cf. Chapitre 1). Cependant il est intéressant d'évaluer l'azote disponible car il influence la dominance relative des espèces

capables ou non de fixer l'azote atmosphérique. Ces données permettent de connaître le niveau d'eutrophisation du plan d'eau ;

- silice : paramètre indicateur de dispersion des eaux courantes et de la potentialité de prolifération de diatomées (facteur limitant pour le développement des diatomées) (WHO, 2002).

3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1 Les conditions météorologiques

Le Morbihan fait partie des départements fortement touchés par la sécheresse en 2005. En effet, cinq mois consécutifs présentent des précipitations décadaires et en février le cumul mensuel, bien en dessous des normales, accuse un manque compris entre 60 et 70%. Ainsi l'hiver peu pluvieux n'a pas permis la réalimentation des nappes phréatiques et le renouvellement des retenues d'eau.

Le niveau d'insolation est voisin de la normale de janvier à mai, sauf en avril où il présente un léger déficit. Le mois de juin a été marqué par de fortes chaleurs sans pluie avec un cumul d'insolation supérieure à la normale de 50 à 70h, suivi par des périodes orageuses à la fin du mois de juillet qui ont apportées plus de 100 mm de précipitations sur le site du Moulin Neuf (Figure 13).

Sur le site, les directions des vents sont principalement ouest et sud-ouest.

3.2 Les conditions physiques

L'étang du Moulin Neuf est un milieu plutôt homogène tant au niveau de la qualité physique que chimique de l'eau (annexe 10). Ainsi, pour une meilleure lisibilité du présent document, seuls les résultats du point de prélèvement au centre du plan d'eau (point 4, Figure 9) sont indiqués ici.

3.2.1 Structure de la colonne d'eau

Le plan d'eau étant de faible profondeur, même si les rayonnements solaires chauffent la surface de l'eau de manière importante en journée, le milieu redevient homogène en température avec le refroidissement nocturne. Ainsi aucune stratification thermique ne s'établit.

3.2.2 Profondeurs euphotiques

La profondeur euphotique, calculée de façon empirique en multipliant par 2,5 la profondeur de disparition du disque de Secchi, diminue dès le mois de mai (Figure 10). On observe également au point central de l'étang une diminution de la hauteur d'eau dans le plan d'eau de 280 à 240 cm, due à un probable déficit des apports et à une légère augmentation de la hauteur des sédiments (environ 10 cm de plus entre début mai et mi-août).

3.3 Les conditions chimiques

3.3.1 Profil en oxygène

La distribution de la teneur en oxygène dissous sur la colonne d'eau est constante au cours des campagnes de mesures. Sur certaines, le pourcentage d'oxygène dissous augmente en moyenne de 105 à 125% de manière linéaire lorsque l'on se déplace de la surface jusqu'au fond du plan d'eau. Aucune anoxie ne se produit au niveau des sédiments.

3.3.2 Variation temporelle des nutriments dans le plan d'eau

Les teneurs en orthophosphate et en azote, minéral comme organique, présentent des variations assez limitées et restent à de faibles niveaux pendant la campagne de mesures :

- la teneur en orthophosphate, élément directement disponible pour les microalgues, reste en dessous des limites de détection (<16µgP-PO_4/l) sauf à la mi-juillet où elle avoisine les 30 µgP-PO_4/l ;
- la teneur en azote minéral, égale à 1,8 mg/l au début de la compagne, reste constante à partir de la fin juin avec une valeur de 0,4 mg/l. Cette tendance peut s'expliquer par une consommation directe de l'azote minéral par les microalgues, d'autant plus que les cyanobactéries présentes durant cette période ne possèdent pas d'hétérocytes, elles ne peuvent donc pas fixer l'azote atmosphérique ;
- inversement, la teneur en azote organique, égale à 0,5 mg/l au mois de mai, avoisine 1,7 mg/l à partir de juin et jusqu'à la fin de la campagne de mesure.

Les résultats des analyses chimiques dans le plan d'eau sont présentés en annexe 10.

Par contre, la teneur en phosphore total, faible au début de la campagne, a quant à elle quadruplé dans l'étang (Figure 10).

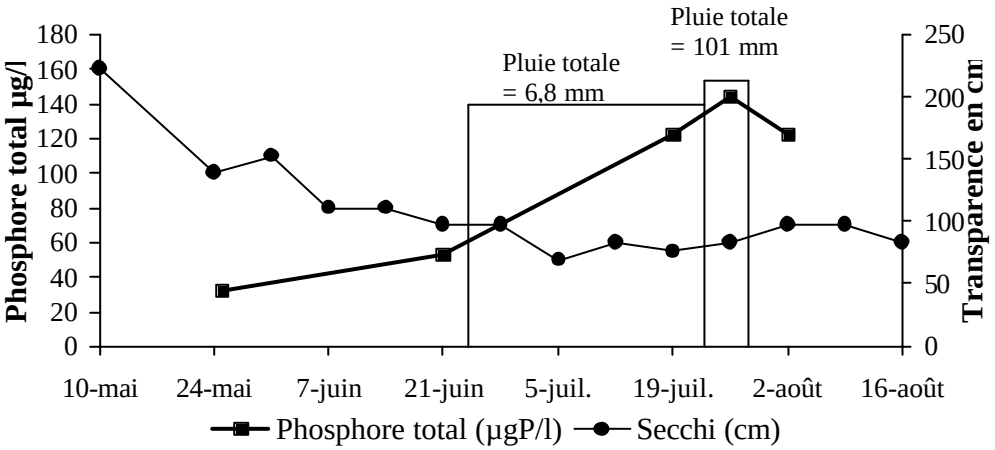


Figure 10 : Evolution de la mesure de la transparence au disque de Secchi et de la teneur en phosphore total au centre de l'étang du Moulin Neuf (point 4)

Les précipitations totales s'élèvent à 6,8 mm entre le 22 juin et le 22 juillet et à 101 mm entre le 23 juillet et le 27 juillet. Compte tenu de ces valeurs et de l'évolution de la teneur en phosphore total, il semble que la pollution au phosphore issue de rejets ponctuels (ANC ou siège d'exploitation) via les cours d'eau ou le relargage de cet élément au niveau des sédiments, suite à une période de vents importants, est non négligeable vis-à-vis des probables lessivages des sols d'exploitation.

3.3.3 Etat d'eutrophisation du plan d'eau

Les données mesurées sur le terrain confirment que l'étang du Moulin Neuf est un milieu eutrophe si on se base sur les valeurs limites des catégories trophiques établies par l'OCDE (Tableau 12).

	Moyennes annuelles (OCDE)				*Moulin Neuf (moyenne mai-août)*
	Oligotrophe	*Mésotrophe*	*Eutrophe*	*Hypertrophe*	
Secchi en m	> 6,0	6 à 3	3 à 1,5	< 1,5	0,75
P total (µgP/l)	< 10	10 à 35	35 à 100	> 100	82
Chl_a mg/m3	< 2,5	2,5 à 8	8 à 25	> 25	33

Tableau 12 : Comparaison des valeurs limites des catégories trophiques pour trois paramètres établies par l'OCDE (1982) et des valeurs sur l'étang du Moulin Neuf obtenues en moyennant l'ensemble des données des cinq points de prélèvements sur toute la campagne de mesures.

3.4 Description écologique : caractérisation du peuplement algal

3.4.1 Succession des microalgues

La figure 11 représente la succession algale sur le site du Moulin Neuf au point central (point 4). Les graphiques pour les autres points de prélèvement sont disponibles en annexe 11.

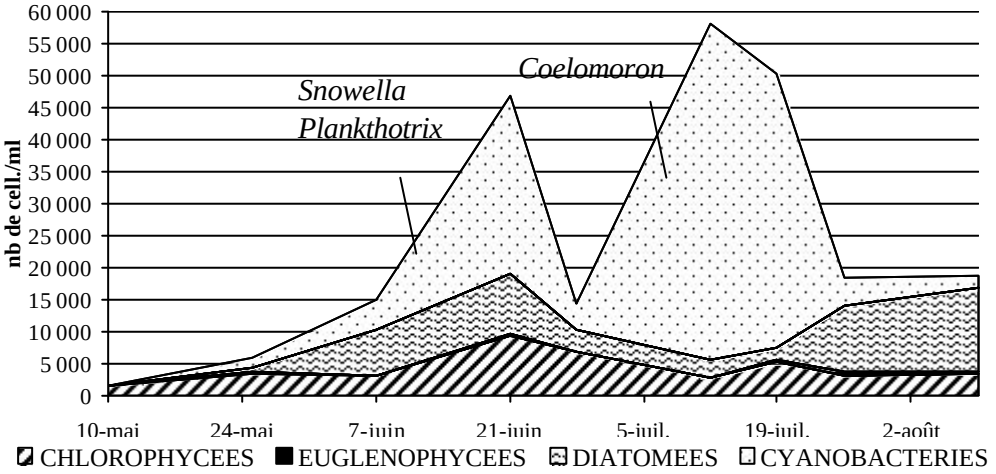


Figure 11 : Succession des peuplements algaux sur l'étang du Moulin Neuf durant la campagne de mesures 2005 (point 4)

Au printemps et en été, le site du Moulin Neuf semble favorable à trois classes d'algues : les chlorophycées, les diatomées et les cyanobactéries (les résultats des suivis DDASS 2003 et 2004 confirment cette caractérisation).

Jusqu'au 9 août 2005, trois périodes distinctes se dégagent de la figure 11 :

- jusque début juin, la production d'algues est homogène entre les trois classes ;
- de mi-juin à fin juillet, deux proliférations distinctes de cyanobactéries se succèdent à des niveaux modérés avec un développement de *Snowella sp* et *Plankthotrix agardhii* puis de *Coelomoron sp* ;

- la disparition des cyanobactéries et le développement de diatomées qui semblent plus compétitives à la fin du mois de juillet.

Dans l'ensemble, la production d'algues est faible avec une moyenne de 27 000 cellules par ml et un maximum avoisinant les 85 000 cellules par ml (ces valeurs prennent en compte l'ensemble des points de prélèvements).

3.4.2 Les espèces de cyanobactéries présentes

Parmi les cyanobactéries identifiées lors des comptages, les espèces dominantes sont des petites cellules de diamètre 1 à 2 µm organisées en colonie : *Aphanothece*, *Aphanocapsa*, *Coelomoron* et *Snowella*. Si ces dernières sont planctoniques, un prélèvement de sédiment au niveau de la plage a permis d'identifier la présence de cyanobactéries benthiques. Ces espèces peuvent vivre à la surface des sédiments lorsque les eaux sont suffisamment claires pour permettre le passage de la lumière jusqu'à cet endroit.

3.5 Dynamique de prolifération

3.5.1 Dynamique temporelle

Si on compare les figures 12 et 13, on peut mettre en parallèle les phases de prolifération de cyanobactéries et des périodes distinctes dans les conditions météorologiques de la manière suivante :

- Le début de la première prolifération correspond à une période durant laquelle les températures minimum et maximum dans la journée dépassent respectivement 10°C et 25°C. Durant cette période, il n'y a pas de précipitation ;
- Leur disparition est certainement liée à une chute des températures, inférieures en moyenne à 20°C. En outre, comme cela a été mentionné dans le §3.3.2, cette disparition peut également s'expliquer par l'hypothèse suivante : les espèces présentes, qui ne peuvent pas fixer l'azote atmosphérique, consomment l'azote minérale qui devient alors un facteur limitant pour leur développement ;
- La reprise de la prolifération correspond à une augmentation des températures (minimum, maximum et moyenne) ;
- Enfin la fin de cette deuxième vague de développement de cyanobactéries est concomitante à la diminution des températures, liée à de fortes pluies.

Ces proliférations correspondent également à une période où la teneur en phosphore total est plus importante.

Les conditions du mois d'août (faibles précipitations, bon ensoleillement mais températures maximales modérées et températures minimales assez basses) semblent propices aux développements de diatomées qui profitent à nouveau de la présence de silice, arrivé sur le plan d'eau grâce aux fortes pluies de la fin du mois de juillet.

Enfin la succession algale semble rythmée par des cycles de trois à quatre semaines (phénomène plus visible sur la figure 14).

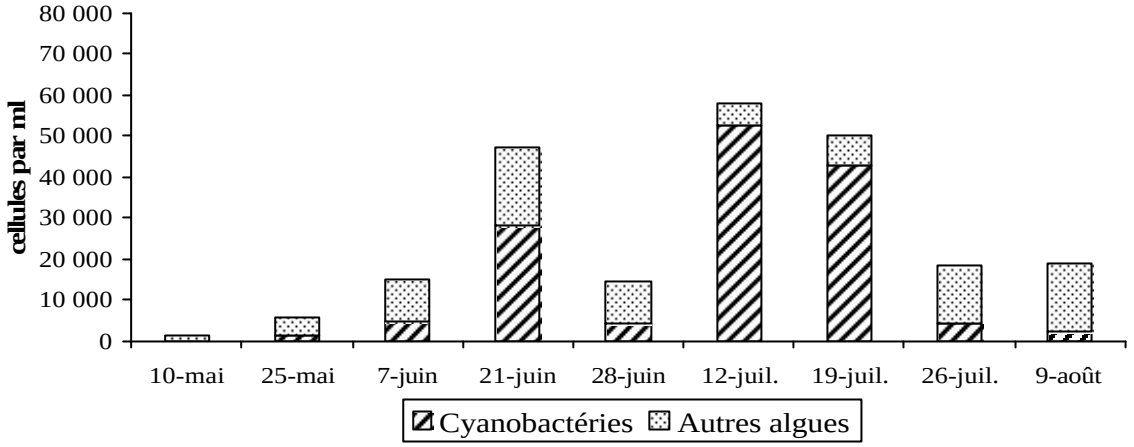


Figure 12 : Evolution comparée du nombre de cyanobactéries et des autres algues

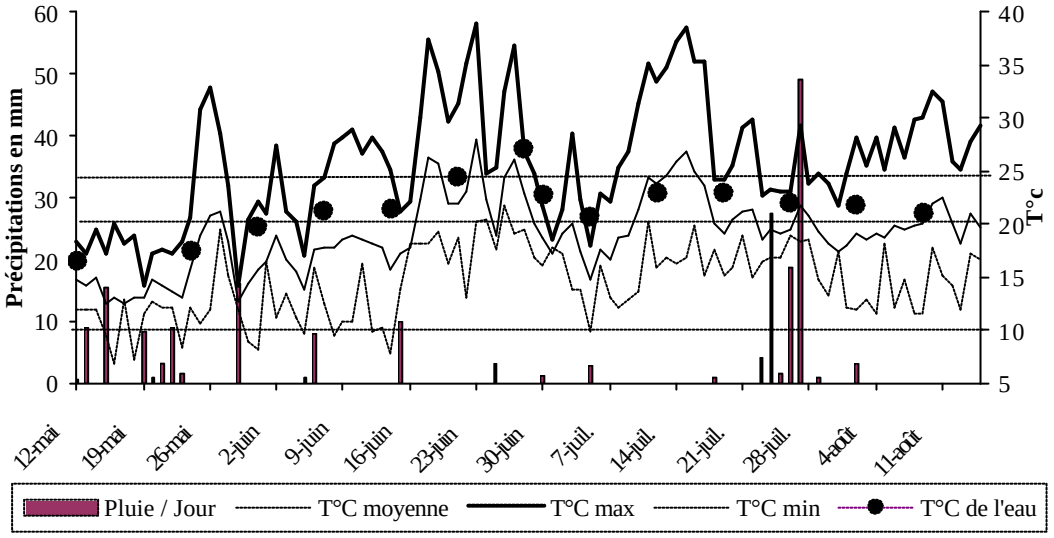


Figure 13 : Données journalières de précipitations et de températures issues de la station météorologique sur le site du Moulin Neuf pendant la campagne de mesures

3.5.2 Dynamique spatiale

Le développement initial des cyanobactéries se fait de manière homogène sur tout le plan d'eau (Figure 14). Ainsi il n'existe pas de zone privilégiée d'apparition de ces microorganismes.

Les variations de concentration en cyanobactéries suivent globalement un même profil sur l'ensemble du plan d'eau. Les différences de valeurs mesurées à une même date peuvent cependant être assez importantes d'un point à l'autre (jusqu'à un facteur 10 le 7 juin).

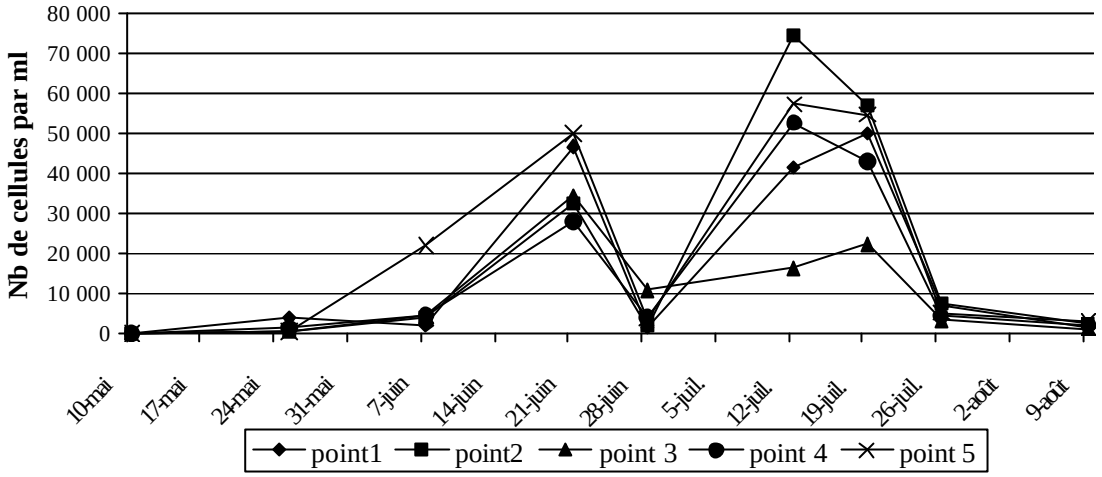


Figure 14 : Evolution du nombre de cellules de cyanobactéries par ml à chaque point de prélèvement du site du Moulin Neuf

Les différences spatiales de distributions s'expliquent alors par le développement d'une espèce particulière et/ou par l'intensité et la direction du vent.

Ainsi, on constate un développement local d'*Aphanothece* près de la plage (point 5) le 7 juin qui semble se déplacer avec un vent d'Ouest au point 1, comme l'indique le dénombrement et l'identification des espèces datés du 21 juin (Annexe 12). Le comptage au point 5 reste également élevé le 21 juin car *Plankthotrix agardhii* semble se développer plus dans cette zone.
Durant la période du 21 au 28 juin, les vents sont principalement orientés à l'Est, ce qui peut expliquer une valeur de comptage plus importante au point 3 situé à l'Ouest de l'étang.
La tendance s'inverse ensuite au début de la deuxième prolifération : un vent de sud ouest et/ou l'écoulement d'eau provenant du tributaire pourraient entraîner les cyanobactéries du point 3 au point 5 et la distribution nord sud, avec un développement plus important au point 2, peut s'expliquer par un vent dominant de direction nord/nord-est du 8 au 16 juillet.
La situation tend ensuite à s'homogénéiser, sauf pour le point 3, phénomène certainement lié aux vents dominants d'ouest/sud-ouest.

Enfin la dynamique spatiale reste, à ce stade de l'étude, peu renseignée car les développements de cyanobactéries décrits lors de cette campagne 2005 sont peu importants en nombre et disparaissent rapidement. Les données concernant le vent seront plus intéressantes à exploiter lorsqu'il y aura présence d'écume. En outre, il ne faut pas oublier que les résultats des comptages sont déterminés avec une marge d'erreur de plus ou moins 20% et, à lui seul, ce degré d'incertitude peut expliquer dans notre cas certaines différences entre les points de prélèvements.

3.6 Evaluation de l'éventuelle plus-value de la mesure à la sonde

3.6.1 Comparaison des comptages cellulaires et des teneurs en phycocyanine

Les tendances générales de l'évolution du niveau de contamination du plan d'eau par les cyanobactéries, dégagées par les résultats obtenus par la méthode des comptages cellulaires et par la méthode de mesure à la sonde, présentent des profils assez semblables (Figure 16).

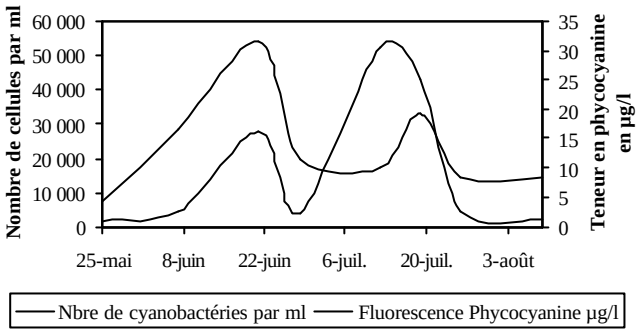


Figure 15 : Comparaison des tendances d'évolution entre le nombre le comptage de cyanobactéries et la teneur en phycocyanine

La figure 17 présente le détail des mesures par ces deux méthodes au point central de l'étang (point 4).

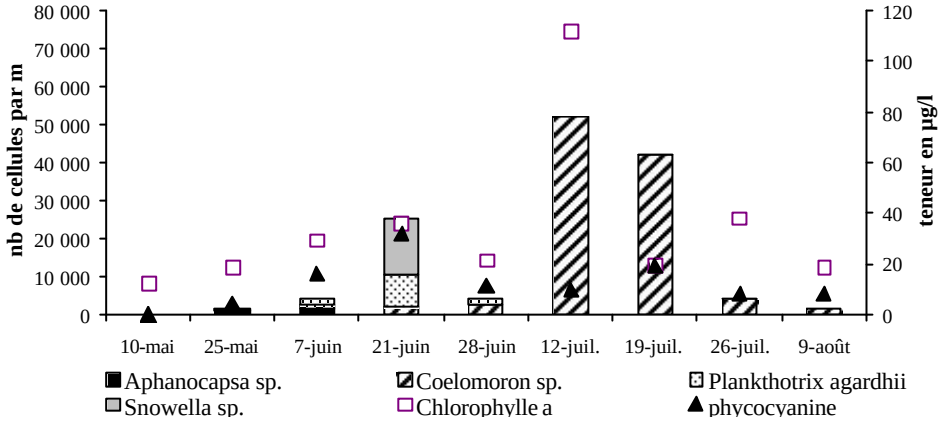


Figure 16 : Evolution comparée des différentes espèces de cyanobactéries et des teneurs en chlorophylle a et en phycocyanine, au point central de l'étang du Moulin Neuf (point 4) en 2005

Le profil des teneurs en phycocyanine suit en effet globalement assez bien celui du nombre des cellules de cyanobactéries sauf pour deux dates auxquelles les valeurs divergent très sensiblement (le 12 et 19 juillet). A ces dates, les cyanobactéries présentes (*Coelomoron sp*) sont de petite taille, et donc de faible biomasse, ce qui expliquent les différences entre le nombre de cyanobactéries et la teneur en phycocyanine. En outre, pour rappel, les incertitudes liées aux résultats des comptages de cellules fournis à 20% près peuvent accentuer ces disparités.

Pour une meilleure comparaison des deux données, le comptage cellulaire a été exprimé en biovolume (somme des produits de volume cellulaire par le comptage cellulaire pour chaque espèce).
Plusieurs relations statistiques ont été testées et le tableau 13 présente les facteurs de corrélation entre les différentes données.

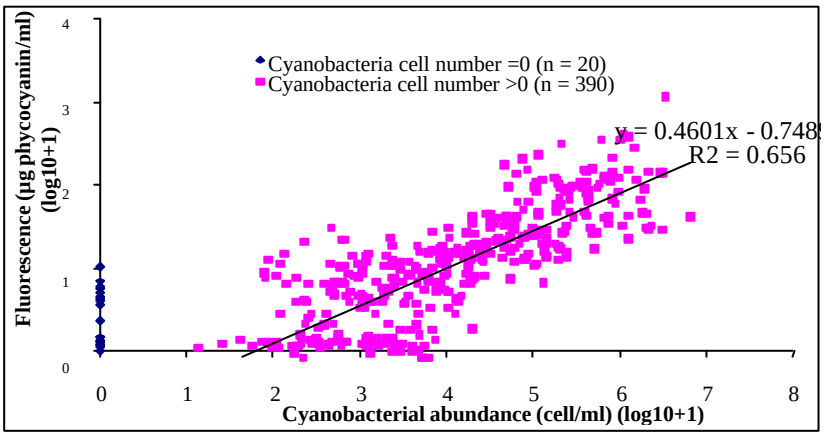
CORRELATION LINEAIRE ENTRE*			*R²*
Teneur minimale de phycocyanine	ET	Nombre de cellules de cyanobactéries	0,20
Teneur moyenne de phycocyanine			0,22
Teneur maximale de phycocyanine			0,20
Teneur minimale de phycocyanine		Biovolume de cyanobactéries	0,72
Teneur moyenne de phycocyanine			0,69
Teneur maximale de phycocyanine			0,70
Teneur en chlorophylle a		Nombre de cellules de cyanobactéries	0,33

*N = 40

Tableau 13 : Présentation des facteurs de corrélation R² de différentes relations statistiques entre les résultats obtenus par mesures de phycocianine ou de chlorophylle a et les résultats issus des comptages cellulaires

On remarque que la teneur en chlorophylle a est relativement bien corrélée au nombre de cyanobactéries présentes. Ceci s'explique par un nombre de données insuffisantes. En effet la période étudiée concerne la période de prédominance des cyanobactéries. Ainsi si des valeurs en période hivernale étaient intégrées dans ce traitement statistique, le facteur de corrélation deviendrait très faible.

D'autre part, ces résultats montrent que la teneur en phycocyanine est fortement corrélée à la présence de cyanobactéries lorsque l'on considère leur biovolume. Cependant, étant donné le manque de poids statistiques, *i.e.* le manque de données, il est difficile de faire correspondre des teneurs en phycocyanine à chaque niveau de surveillance (inférieur à 20 000 cellules par ml, entre 20 000 et 100 000 cellules par ml, supérieur à 100 000 cellules par ml).
Ce résultat complète les informations obtenues lors d'études précédentes effectuées en laboratoire (BRIENT *et al.*, 2005) et présentées sur la figure 18.



Source: BRIENT et al., 2005

Figure 17 : Corrélation linéaire entre le nombre de cellules de cyanobactéries et la teneur en phycocyanine mesurée sur des échantillons collectés du printemps à l'automne 2004 dans le Grand Ouest.

Dans cette étude (BRIENT *et al.*, 2005), des niveaux critiques de valeurs à la sonde ont été établis avec un intervalle de confiance à 90% et sont présentées dans le tableau 14 à titre indicatif.

Teneur en phycocyanine (µg/l)	*Nombre de cellules de cyanobactéries par ml*
< 1,7	< 10 000
< 2,7	< 20 000
< 6,8	< 100 000
< 21,5	< 1 000 000
> 55,0	> 10 000
> 75,9	> 20 000

Source : BRIENT et al., 2005

Tableau 14 : Niveaux critiques en phycocyanine en fonction du comptage cellulaire (IC = 90%)

3.6.2 Intérêts potentiels de la sonde

A) Distribution sur la colonne d'eau

La sonde, utilisée pour des mesures directes dans le plan d'eau, permet de situer les cyanobactéries sur la colonne d'eau (Figure 15).

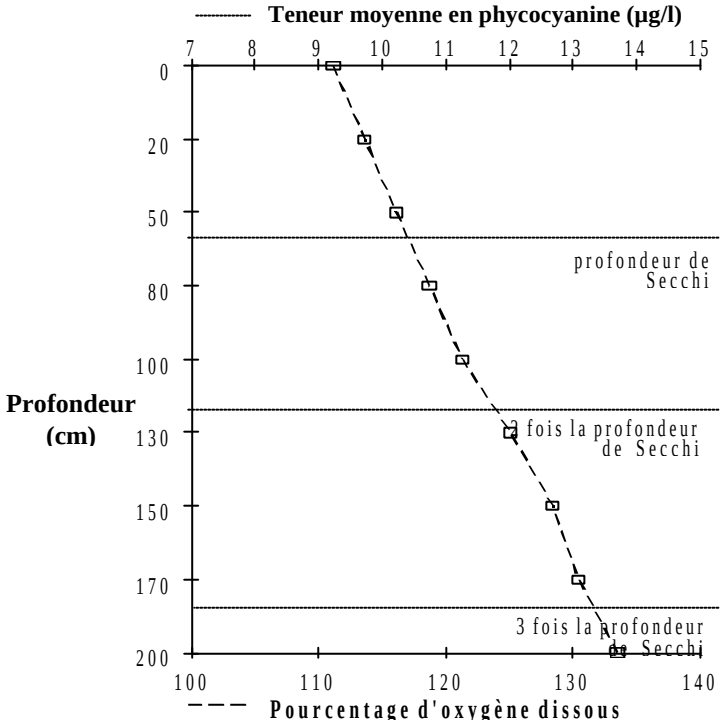


Figure 18 : Profil de la teneur en phycocyanine et en oxygène dissous au point central de l'étang du Moulin Neuf (point 4) le 12 juillet 2005

On constate dans le cas de la figure 15 que le prélèvement habituel sur un mètre de colonne d'eau ne permet pas d'estimer le nombre total de cyanobactéries réellement présentes.
En d'autres points et notamment celui situé au niveau de la plage, les profils présentent la particularité suivante : la sonde atteint sa valeur de saturation de 100 µg/l au niveau des sédiments. Ainsi la sonde permet la détection des cyanobactéries benthiques qui ont effectivement été identifiées.

B) Augmentation de la fréquence de mesures

Cet outil permet d'effectuer des mesures rapidement et permet un suivi régulier des développements de cyanobactéries. Ainsi sur la figure 14, entre le 7 et le 21 juin, on ne sait pas si le développement de cyanobactéries est passé par un pic avant de diminuer à sa

valeur du 21 juin, ce qui n'est pas le cas avec un suivi avec la sonde (Figure 19), plus représentatif de la réalité du terrain.

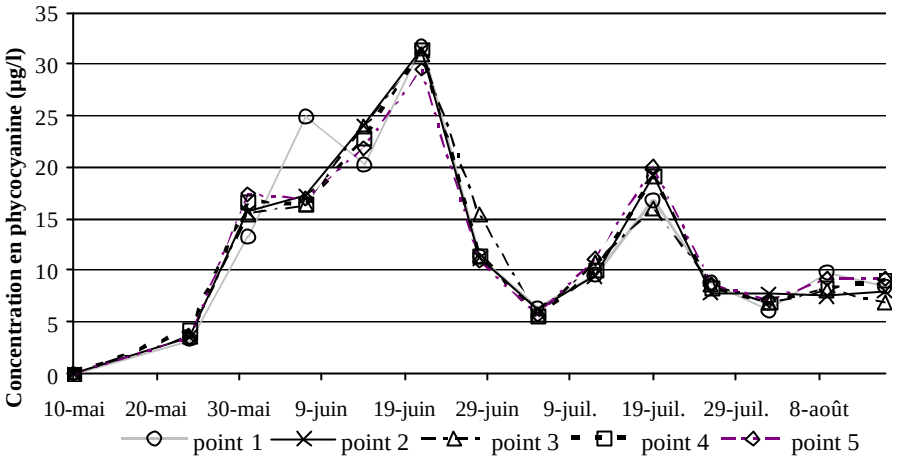


Figure 19 : Evolution de la teneur en phycocyanine aux différents points de prélèvement (mesure dans le bidon échantillon)

4 CONCLUSION

L'étang du Moulin Neuf a connu deux épisodes de développement de cyanobactéries de faibles amplitudes en 2005 (au 16 août 2005). Les comptages cellulaires sont restés sous le seuil d'alerte (100 000 cellules par ml), même si ils ont dépassé ponctuellement les 20 000 cellules par ml. Ainsi, aucune fermeture de la baignade n'a été ordonnée jusqu'à ce jour du 25 août.

Aucune zone privilégiée de développement initial n'a été mise en évidence, mais le vent semble jouer un rôle très important vis-à-vis de la propagation et de l'accumulation des cyanobactéries.

La présence de cyanobactéries semble corrélée à un niveau fort de phosphore total. Par contre, la part du sédiment dans la dynamique de développement n'a pu être mise en évidence. En effet, aucune période d'anoxie n'a été constatée mais la faible profondeur du plan d'eau et l'existence de période de vents avec des intensités élevées pourraient être à l'origine de relargages de phosphore par les sédiments. Enfin les paramètres météorologiques apparaissent comme les plus influents pour le démarrage des proliférations. La période d'ensoleillement et la température de l'air semblent être des premiers indicateurs de développement comme l'a montré l'étude interrégionale Grand Ouest (BRIENT L. *et al.*, 2004). Ceci reste à valider avec les futures données de fin août et septembre.

Enfin les faibles proliférations des cyanobactéries ne permettent d'analyser au mieux les intérêts et les limites de la sonde à phycocyanine. Selon les résultats de cette étude, la teneur en phycocyanine ne semble pas corréler au nombre de cyanobactéries lorsqu'il s'agit d'espèces de petites tailles. Cependant, si l'on considère le biovolume de cyanobactéries plutôt que leur nombre, la corrélation linéaire est fortement significative. Ainsi, il semble intéressant d'utiliser cet outil en parallèle à des seuils d'alerte et de vigilance exprimés en biovolume. En outre, cette méthode apparaît approprier pour détecter les cyanobactéries benthiques et localiser les cyanobactéries planctoniques dans la colonne d'eau.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

Avant de rappeler les principaux résultats issus de cette étude et d'en dégager des perspectives et des recommandations, il est nécessaire de rappeler la démarche adoptée pour cette étude et les limites de la méthodologie.

1 DISCUSSION SUR LA METHODOLOGIE

1.1 Rappel de la démarche

L'objectif de la présente étude était de déboucher sur des recommandations de démarche proactive de surveillance et de gestion des plans d'eau susceptibles de connaître une prolifération de cyanobactéries. La démarche comprend trois étapes :

- Bilan diagnostic de la situation dans le département du Morbihan ;
- Caractérisation de la dynamique de prolifération des cyanobactéries, incluant l'utilisation d'un nouvel outil (sonde), sur un plan d'eau test, le Moulin Neuf ;
- Formulation de propositions d'actions pour améliorer la surveillance et la gestion des risques liés aux proliférations de cyanobactéries.

La connaissance du degré d'information et de perception de chaque acteur au regard du problème cyanobactéries et le recensement des réflexions et des actions engagées dans le domaine sur le département permet de déterminer les points à améliorer pour un meilleur suivi de la situation et une meilleure coordination des actions d'information et de gestion dans le Morbihan. De façon complémentaire, la deuxième étape a consisté, sur un plan d'eau touché par le phénomène, en une opération pilote d'utilisation d'une sonde à fluorescence dont les intérêts et les limites sont analysés au regard des processus décisionnels de suivi et de gestion.

1.2 Limites de la méthodologie retenue

Dans la première phase, chaque site retenu devait faire l'objet d'une caractérisation renseignée à travers le questionnaire adressé aux acteurs gestionnaires des plans d'eau (Annexe 6). Dans certains cas, la période de congés et/ou le manque d'intérêt porté sur la problématique cyanobactéries n'ont pas facilité la collecte des données. En outre, les informations sollicitées n'étaient pas forcément connues des interlocuteurs. Ainsi le manque de données ne permet pas d'effectuer une analyse statistique adaptée des corrélations éventuelles entre les caractéristiques des plans d'eau et leur contamination par les cyanobactéries.

Pour la deuxième phase, les aléas météorologiques de l'année 2005 ont entraîné des proliférations de cyanobactéries peu importantes. Ainsi la caractérisation de l'écologie de l'étang du Moulin Neuf reste assez partielle. Notamment aucune toxine n'a été produite en 2005 par les cyanobactéries présentes dans le plan d'eau. En outre, les faibles niveaux de concentration algale ont rendu difficile le traitement des données fournies par la sonde à fluorescence. En effet, le seuil d'alerte de 100 000 cellules par ml n'ayant jamais été atteint, nous n'avons pas pu tester la sensibilité et le comportement de cet outil dans un tel contexte. Cependant cette étape a mis en avant l'intérêt d'une bonne gestion de l'information auprès des divers acteurs et du public. Elle permet ainsi de compléter, avec un cas concret, les éléments de la première étape.

2 RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS

2.1 Attentes des acteurs locaux

Les attentes des acteurs locaux sont très variables selon leurs degrés de sensibilité et de connaissance du problème des cyanobactéries en général et de la situation sur leur territoire en particulier. Même si certains considèrent la situation irrémédiable, la plupart des interlocuteurs de cette étude sont très demandeurs d'une meilleure information sur le sujet pour pouvoir faire face aux éventuelles questions des habitants et des usagers et envisager des actions à mettre en oeuvre. Cependant, une certaine discrétion est en général appliquée pour ne pas effrayer les usagers des plans d'eau concernée par les contaminations aux cyanobactéries pour des raisons économiques, touristiques ou politiques. En outre, la complexité des phénomènes de prolifération incite chacun à rester prudent sur le sujet.

Enfin la priorité des gestionnaires de plan d'eau présentant un attrait touristique est de trouver des solutions pour éviter ou réduire les proliférations. A un niveau territorial plus large, les acteurs de bassin versant ou départementaux sont prioritairement tournés vers les problématiques de qualité de l'eau servant à l'alimentation en eau potable et dans une moindre mesure aux usages récréatifs. En outre, peu de liens sont établis entre les actions menées pour la réduction des pollutions et les manifestations de l'eutrophisation dont les proliférations de cyanobactéries font partie.

2.2 Paramètres intéressants pour la surveillance des plans d'eau

L'étude de la dynamique de prolifération des cyanobactéries sur l'étang du Moulin Neuf a mis en évidence les difficultés rencontrées pour caractériser le phénomène et pour déterminer les paramètres influençant le démarrage des développements.

Parmi les paramètres analysés sur l'étang du Moulin Neuf, les conditions météorologiques semblent être le meilleur indicateur prédictif vis-à-vis du démarrage des proliférations de cyanobactéries. Les températures quotidiennes de l'air et le rayonnement sont intéressants à mesurer. La connaissance de la direction et de l'intensité du vent permet de connaître le lieu où les cyanobactéries vont avoir tendance à s'accumuler lors d'efflorescences. Dans le cas du Moulin Neuf, le développement des cyanobactéries est homogène, ainsi la connaissance des données concernant le vent permet de savoir si la zone qu'occupe la plage est susceptible de connaître une accumulation durant la période de baignade surveillée. Enfin, il est intéressant de connaître la pluviométrie, indicateur de la réalimentation du plan d'eau en nutriments.

La sonde à phycocyanine apparaît comme un outil intéressant de détection de la présence de cyanobactéries, d'autant plus que ce pigment a été reconnu responsable d'allergie chez une fillette (BRIENT *et al.*, 2001). Cependant cet outil reste perfectible et des expériences supplémentaires sont nécessaires pour valider cette technique, et notamment pour établir, si cela est possible, des abaques permettant de corréler la concentration en phycocyanine mesurée in situ avec le nombre de cellules de cyanobactéries par ml avec plus de précision. A ce titre, les valeurs de la sonde inférieures à 10µg/l ne semblent pas fournir d'indication fiable sur la quantité de cyanobactéries. A ce jour, cet outil apparaît être un moyen de connaître la répartition verticale des cyanobactéries sur la colonne d'eau et spatiale sur l'ensemble de l'étang. On peut alors estimer de manière qualitative si la mesure habituelle sur le premier mètre de colonne d'eau est une donnée sous-estimée ou surestimée de la quantité totale de cyanobactéries contenues dans la colonne d'eau. Cette évaluation de la

localisation des cyanobactéries dans le plan d'eau permet une meilleure information sur l'exposition et donc une meilleure caractérisation du risque.
En conclusion, au regard de l'état actuel des connaissances, cet outil ne peut pas se substituer aux comptages mais représente un complément pertinent pour mieux caractériser les risques.

3 RECOMMANDATIONS

3.1 Recommandations pour la surveillance

Cette étude a soulevé le problème du choix des activités considérées à risque pour la surveillance et la gestion des plans d'eau susceptibles de connaître un développement de cyanobactéries. En effet, seuls les plans d'eau autorisés à la baignade sont suivis par la DDASS du Morbihan. D'après (VIAL, 2004), d'autres activités peuvent présenter les mêmes risques comme le kayak et la planche à voile. Un témoignage recueilli lors de cette étude indique qu'il peut en être de même avec la pêche de compétition. Ces cas d'allergies prouvent également que les efforts fait depuis 2002 sur le suivi des cyanobactéries sont à poursuivre et qu'une des priorités est la gestion de l'information (§3.2). Ce choix, visant uniquement les activités de baignade, peut également entraîner une certaine incompréhension chez les acteurs locaux.

Les actions individuelles de suivi semblent difficiles à mettre en œuvre. En effet, les recommandations de suivi journalier de la transparence de l'eau émises par le CSHPF, lorsque le plan d'eau a été identifié à risque, sont très peu appliquées sur le terrain. A ce jour, peu d'actions pour la surveillance sont menées sur les plans d'eau même si le risque est avéré. De nombreux acteurs gestionnaires voient le phénomène de développement de cyanobactéries comme une fatalité et considèrent le suivi effectué par le service de la DDASS comme suffisant. Dans le cas du Moulin Neuf, il serait intéressant de poursuivre le protocole d'étude mis en place cette année pour confirmer les tendances décrites dans le chapitre 2.

La sonde à phycocyanine apparaît comme un outil approprié pour une surveillance plus rapide des risques liés à la prolifération des cyanobactéries. Cependant, des études complémentaires doivent être menées pour mettre en place un protocole type de suivi utilisant cette méthode. Il pourrait être notamment intéressant de modifier la définition actuelle des niveaux de seuil d'alerte et de vigilance pour prendre en compte le biovolume des espèces de cyanobactéries, critère, qui semble plus pertinent pour évaluer les risques et dont l'utilisation se développe au Canada par exemple[9]. En effet, plus une espèce est grande, plus les quantités de toxines qu'elle sera susceptible de produire sont importantes.
En outre, cette étude a montré qu'il était possible de détecter les cyanobactéries benthiques qui actuellement ne sont pas comptabilisées dans les échantillons prélevés sur un mètre d'eau. Ainsi cet outil permettrait de détecter toutes les espèces et d'effectuer les prélèvements à l'endroit le plus approprié pour une meilleure évaluation de l'exposition (suivant les activités, le lieu d'exposition mais également la couche d'eau à laquelle le public est exposé diffèrent).

[9] http://www.usherbrooke.ca/environnement/essais/KNess.htm

3.2 Information des acteurs et du public

Les cas de contamination de l'eau par les cyanobactéries sont de plus en plus médiatisés à la radio ou dans les journaux, notamment si des mortalités d'animaux domestiques ont été constatées comme dans les gorges du Tarn (CHESNAIS, 2005). Malgré cela, des cas de malades peuvent encore survenir sans que les services de santé ne diagnostiquent la cause (cas du Lac de Guerlédan). Ainsi la sensibilité du sujet et sa perception par le grand public et les acteurs locaux dépendent de l'information délivrée par les médias d'une part et par l'administration en charge de la problématique d'autre part.

Au cours de cette étude, nous avons effectivement constaté que la gestion de l'information est un point important à maîtriser. En effet, le problème étant mal connu et très sensible de par les intérêts socio-économiques et la multiplication des cas de contamination, les informations à délivrer doivent être claires, concises et interprétées, et les interlocuteurs uniques et appropriés. Pour cela, le rôle de chaque acteur doit être défini clairement. Dans le cas du Moulin Neuf, le SIVOM a la charge de diffuser l'information auprès du public et des acteurs locaux, suite à l'envoi des résultats par la DDASS ; alors que, selon la réglementation, le maire de la commune où se situe la plage devrait être le seul responsable de cette transmission, le SIVOM n'ayant pas d'autres compétences que la conservation et l'entretien du domaine. Il est alors important de rappeler qu'en cas de problème, c'est le maire de la commune où est située la plage qui est responsable, et notamment en cas de négligence vis-à-vis de l'information au public. Globalement, les acteurs locaux ont besoin d'une information claire sur le problème et la manière dont il est géré dans leur département car les différences au niveau national sont sources d'une plus grande incompréhension.

Concernant le grand public, une attention particulière doit être portée sur le contenu et le contenant des renseignements fournis à ce sujet. Un document lisible doit être disponible aux abords et aux accès principaux du plan d'eau. Il serait intéressant d'inclure une brève description des efflorescences afin de pouvoir les reconnaître facilement (détails sur la coloration, la présence d'écume, sa rapidité d'apparition et de disparition selon les heures de la journée). Cette description pourrait être assortie d'une photographie. Le document doit également intégrer des informations concernant les possibles effets sur l'homme et sur les animaux, les éventuelles limitations ou interdictions d'activités. Une brochure pourrait être mise à disposition pour les personnes qui souhaiteraient en savoir plus sur le problème des cyanobactéries. Elle pourrait contenir, sans jargon scientifique, des détails sur la nature et l'occurrence des cyanobactéries, sur les risques sanitaires liés à leur présence et à celle de leurs toxines, la description des efflorescences, des informations sur la prédisposition des cyanobactéries à produire des toxines, sur les précautions à prendre et la liste des personnes à contacter en cas de suspicion sur une eau.

Se pose également la question des informations à délivrer dans les brochures touristiques des sites qui ont déjà été confrontés à des proliférations de cyanobactéries. En effet, l'association VAL a été sollicitée à de nombreuses reprises par des clients sur le sujet au préalable d'une éventuelle réservation de gîtes. La question récurrente était de savoir si la baignade serait encore interdite cette année comme en août 2004. Sur ce sujet, il paraît intéressant d'annoncer aux usagers que la baignade est sécurisée d'un point de vue sanitaire. Dans le cas du Moulin Neuf, il semble également intéressant d'expliquer au personnel du SIVOM et de VAL la conduite à tenir en cas de questions du public avec lequel ces acteurs sont amenés à être en contact durant la période estivale.

Enfin, dans le cadre de la nouvelle directive baignade, on est en droit de se demander comment vont être répartis les rôles. En effet, si la mention du suivi du phytoplancton toxique (et donc des cyanobactéries) apparaît dans la nouvelle réglementation, le contrôle de la qualité de l'eau vis-à-vis du phytoplancton et sa prise en charge financière passeront normalement des mains de la DDASS vers la commune où la plage est située. Dans le cas de l'étang du Moulin Neuf, on peut alors se demander qui sera en charge de faire les prélèvements et qui financera les analyses.

3.3 Perspectives pour la gestion : vers une base de données pour la connaissance et l'évaluation

A travers cette étude, nous avons pu constater que l'information concernant les plans d'eau douce était souvent dispersée entre les organismes et les divers acteurs locaux. Il est alors difficile d'appréhender au mieux la situation du département vis-à-vis de la problématique des cyanobactéries. Ainsi il semble intéressant de constituer une base de données sur les étangs, comme cela commence à être fait pour les cours d'eau et les bassins versants. Cette base contiendrait des informations sur les caractéristiques morphologiques, écologiques et environnementales des retenues, sur les pratiques et usages et sur les acteurs clés du site. Cette base serait alimentée par les diverses mesures effectuées sur les plans d'eau. Elle permettrait ainsi de centraliser les informations, de capitaliser et mutualiser les données produites et d'avoir un meilleur aperçu de la situation sur le département.

Cette base de données pourrait également avoir un double rôle de surveillance et de vérification des impacts des actions menées dans le département. En Bretagne, il existe en effet plusieurs programmes d'action comme les SAGE et le programme Bretagne Eau Pure qui vise à reconquérir la qualité de l'eau et qui s'appuie sur la mobilisation et la responsabilité de chaque acteur. Fondés autour des structures de bassin versant, la mise en œuvre et le suivi des actions sur le terrain associent les associations et structures agricoles, de consommateurs et des collectivités. L'objectif prioritaire de ce programme est la réduction des teneurs en nitrates et en pesticides via le dialogue et la concertation. Ainsi une base de données sur les plans d'eau serait intéressante pour contribuer à l'analyse de la cohérence de ces actions de lutte contre les pollutions à l'azote auxquelles pourraient être associées des évaluations des pollutions au phosphore. Un état des lieux de l'eutrophisation des plans d'eau devrait être également être disponible. La base contiendrait donc des indicateurs de surveillance des proliférations, et de vérification et de quantification des impacts des actions menées sur les bassins versants. A la différence du réseau BEP, qui concerne les bassins versants avec prise d'eau superficielle, cette base permettra l'intégration de tous les plans d'eau et leurs acteurs. Il pourrait ainsi être intéressant d'utiliser la sonde à phycocyanine pour analyser la variation spatiale des cyanobactéries dans le sens amont – aval entre deux plans d'eau contaminés et reliés par un cours d'eau. Cette démarche entraînerait certainement la définition de critères sanitaires et environnementaux pour la qualité des plans d'eau qui s'ajouteraient aux indicateurs de contamination fécale. Le classement par catégories pourrait alors être sujet à modification.

Finalement, cette base de données sur les plans d'eau, en lien avec les autres systèmes d'information sur l'environnement, constituerait à terme un outil d'information et d'aide à la décision pour identifier les enjeux, fixer des objectifs, puis définir, piloter et évaluer des actions. A ce titre, dans le cadre de la DCE, l'éventuelle prise en compte de la problématique cyanobactéries est actuellement examinée par des comités techniques territoriaux. Cette probable intégration dans les objectifs du SDAGE concernerait exclusivement les retenues d'eau potable du fait de la toxicité de ce phytoplancton et de la dégradation qualitative de l'eau par leur présence.

CONCLUSION GENERALE

Les proliférations de cyanobactéries concernent actuellement de nombreux plans d'eau morbihannais. Au regard du manque de données historiques de suivi et de la complexité du phénomène, il est difficile de dégager des tendances d'évolution. La surveillance menée depuis trois ans met en évidence la diversité des situations d'un plan d'eau à un autre et la variabilité temporelle des proliférations. En outre, les conditions climatiques jouent un rôle prépondérant dans le développement et la prolifération de ces microorganismes.

La prise de conscience du risque lié aux cyanobactéries a débuté dans les années 90 dans le Morbihan alors que les suivis réguliers des plans d'eau susceptibles d'être contaminés par ces microorganismes n'ont débuté qu'en 2003 suite aux recommandations de surveillance et de gestion émis par le CSHPF. Cette sensibilité grandissante vis-à-vis du problème concerne essentiellement l'administration en charge de la problématique et les spécialistes du domaine.
Ainsi les acteurs locaux morbihannais sont peu informés et des cas d'intoxications plus ou moins importants peuvent encore se produire sans que leurs causes ne soient clairement déterminées. Le protocole de suivi et les moyens mis en œuvre ne sont donc pas adaptés, ce qui est confirmé par des attentes croissantes des acteurs locaux et du grand public vis-à-vis d'une meilleure information et transparence sur le sujet.

La nouvelle technique de mesure des cyanobactéries utilisée dans cette étude, la sonde à phycocyanine, apparaît comme un outil intéressant à développer pour améliorer le protocole de suivi du niveau de contamination des plans d'eau par ces microorganismes.
La sonde fournit une mesure instantanée de la concentration de phycocyanine contenue dans l'eau, qui autorise alors une meilleure réactivité pour la gestion du phénomène.
Cet outil peut être utilisé en laboratoire, et surtout in situ. L'utilisation directe de cette sonde sur le terrain est pertinente pour une meilleure évaluation de l'exposition des usagers : la localisation des cyanobactéries verticalement sur la colonne d'eau et horizontalement sur le plan d'eau est une information utile pour la gestion des activités.
En outre, les espèces benthiques, comme les espèces planctoniques, peuvent être détectées. Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, la sonde à phycocyanine peut utilement compléter les comptages, mais les modalités de son utilisation opérationnelle sont à préciser, notamment les interprétations des résultats selon le contexte.

Au regard de ces informations, il serait intéressant d'utiliser cette sonde dans un nouveau protocole de surveillance. Pour établir ce nouveau type de suivi, il paraît intéressant de modifier les critères de définition des seuils de vigilance et de surveillance, qui apparaissent dans les recommandations du CSHPF. En effet, les biovolumes occupés par les cyanobactéries sont mieux corrélés aux teneurs en phycocyanine. Des études complémentaires sont donc nécessaires pour établir de tels abaques au regard des différentes espèces de cyanobactéries. Enfin, il semble pertinent d'intégrer dans le protocole de suivi et de gestion le genre des espèces dominantes présentes dans le plan d'eau pour savoir si elles sont productrices ou non de toxines et envisager des actions à leurs justes mesures.

Bibliographie

AFSSA. 2003. Journée scientifique d'échanges sur les biotoxines –toxines de micro-algues et cyanobactéries. AFSSA. 88 p.

ANNONYME, 2004. Rapport 2004 sur la prolifération d'algues dans le lac au Duc. Comité local de suivi du Lac au Duc. Communauté de Communes de Ploërmel. SIAEP de Ploërmel. 19p.

Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France du 6 mai 2003. Recommandations pour la gestion des situations de contamination d'eaux de baignade et de zones de loisirs nautiques par prolifération de cyanobactéries. 7 p.

BERTRAND P., LALY C., SOULARD B. 2005. Synthèse des réflexions. Document de travail présenté en groupe plénier. 17 février 2005. Groupe de travail phosphore. Préfecture du Morbihan. 18p.

BERTRU G., BRIENT L. & VEYZIE C. 2001. Evaluation des efflorescences à cyanobactéries dans les cours d'eau et plans d'eau bretons. DIREN Bretagne. 80p.

BRIENT L., LENGRONNE M., CLERCIN N., CYPEL A. & LE ROUZIC B., 2005. Detection and quantification of cyanobacteria in freshwater by a phycocyanin probe. ALSO Summer Meeting, June 19-24, 2005. Santiago de Compostela. Spain.

BRIENT L., LEGEAS M., LEITAO P. & PEIGNER P. 2004. Etude interrégionale grand ouest sur les cyanobactéries en eau douce ; Caractérisation de sites à usage d'eau potable et de loisirs vis-à-vis de la prolifération de cyanobactéries ; Examen des causes de développement des algues et proposition d'un suivi sanitaire. DRASS Bretagne, Pays de la Loire et Basse Normandie. 82p.

BRIENT L., VEZIE C. & BERTRU G. 2002. Synthèse des connaissances et mise en place d'un protocole de surveillance des réservoirs pour le traitement de l'eau potable et des plans d'eau servant aux activités récréatives. UMR Ecobio. Université de Rennes 1. 28p.

BRIENT L. 2001. Preventive management plans of cyanobacteria blooms in Brittany. V. International Toxic Cyanobacteria Congress 15/19-07-2001.

BRIENT L., RAOULT C., LE ROUZIC B., VEYZIE C. & BERTRU G. 2001. Conditions d'utilisation de CuSO4 pour limiter les proliférations de cyanobactéries et réduire ses effets sur l'environnement. TSM n°9. pp 66-74.

CHESNAIS E., 2005. Alerte aux algues. Que Choisir n°428. Juillet-Août 2005. pp 16-23.

CHORUS I. & BARTRAM J. 1999. Toxic cyanobacteria in water. Guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO. E & FN Spon, London. 416p.

Circulaire DGS 7a n°2033-270 du 4 juin 2003, relative aux modalités d'évaluation et de gestion des risques sanitaires face à des proliférations de microalgues (cyanobactéries) dans les eaux de zones de baignades et de loisirs nautiques.

COX P.A., BANACK S.A. & MURCH S.JA. 2003. Biomagnification of cyanobacterial neurotoxins and neurodegenerative disease among the Chamorro people of Guam PNAS. Vol. 100. pp 13380-13383.

COX P.A., BANACK S.A., MURCH S.JA & al. 2005. Diverse taxa of cyanobacteria produce -N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid. PNAS. Vol. 102. pp 5074-5078.

Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, dite Directive Cadre sur l'Eau.

Directive 76/160/CE du Conseil du 8 décembre 1975 concernant la qualité des eaux de baignade

LANCE E. 2005. Etude de la consommation d'une cyanobactérie toxique, *Planthothrix agardii*, par le gastéropode pulmone *Lymnaea stagnalis* : accumulation de toxines, impact sur les traits de vie et la locomotion. UMR Ecobio de l'Université de Rennes 1. Rapport de Master 2. 24p.

LEITAO M. et COUTE A. 2005. Guide pratique des cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France. Agence de l'eau Seine Normandie. 64p.

LION B. 2004. Contribution aux réflexions du groupe de travail « phosphore » pour le Morbihan. DDAF 56. 12 p.

Loi 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Texte totalement abrogé et incorporé dans le code de l'environnement.

OCDE. 1982. Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Ed. OCDE, Paris, 164 p.

Observatoire de l'eau du Morbihan. Rapport de synthèse 2004. 12p.

Proposition de directive 2002/0254 (COD) du Parlement Européen et du Conseil du 24 novembre 2002 concernant la qualité des eaux de baignade. 42p.

SARRAZA M., 1997. Impact de la multiplication des retenues collinaires sur la ressource en eau. Cas du bassin versant de l'Yvel. Ecole Nationale Supérieur Agronomique de Rennes. 91p.

VIAL, V. 2004. Approche pour caractériser l'exposition aux cyanobactéries sur des plans d'eau à usage récréatif. Mémoire d'ingénieur du génie sanitaire. Ecole Nationale de la Santé Publique, Rennes. 72p.

VIEYZY C., BERTRU G., BRIENT L. & LEFEUVRE J.C. 1997. Blooms de cyanobactéries hépatotoxiques dans l'ouest de la France. TSM n°10. pp 39-46.

WHO, 2002. Eutrophication and Health. European Commission. 32p.

WHO, 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: coastal and fresh waters. Chapter 8: algae and cyanobacteria in fresh water. pp136-158.

Liste des figures

Figure 1 : Schéma de la succession saisonnière des différents types d'algues en Bretagne . 5
Figure 2 : Composition du peuplement algal sur l'étang du Moulin Neuf. Campagne 2003. 5
Figure 3: Nombre d'étangs morbihannais par classe de surface 13
Figure 4 : Evolution du nombre de cyanobactéries au Lac au Duc en 2002, 2003, 2004 ... 16
Figure 5 : Distributions en quantiles de la variation du nombre de cyanobactéries par site en 2003 17
Figure 6 : Distributions en quantiles de la variation du nombre de cyanobactéries par site en 2004 18
Figure 7 : Caractères des propriétaires et gestionnaires des plans d'eau morbihannais étudiés 25
Figure 8 : Représentation schématique de la démarche méthodologique générale 31
Figure 9 : Localisation des points de prélèvements et de la station météorologique 32
Figure 10 : Evolution de la mesure de la transparence au disque de Secchi et de la teneur en phosphore total au centre de l'étang du Moulin Neuf (point 4) 35
Figure 11 : Succession des peuplements algaux sur l'étang du Moulin Neuf durant la campagne de mesures 2005 (point 4) 36
Figure 12 : Evolution comparée du nombre de cyanobactéries et des autres algues 38
Figure 13 : Données journalières de précipitations et de températures issues de la station météorologique sur le site du Moulin Neuf pendant la campagne de mesures 38
Figure 14 : Evolution du nombre de cellules de cyanobactéries par ml à chaque point de prélèvement du site du Moulin Neuf 39
Figure 15 : Comparaison des tendances d'évolution entre le nombre le comptage de cyanobactéries et la teneur en phycocyanine 40
Figure 16 : Evolution comparée des différentes espèces de cyanobactéries et des teneurs en chlorophylle a et en phycocyanine, au point central de l'étang du Moulin Neuf (point 4) en 2005 40
Figure 17 : Corrélation linéaire entre le nombre de cellules de cyanobactéries et la teneur en phycocyanine mesurée sur des échantillons collectés du printemps à l'automne 2004 dans le Grand Ouest. 41
Figure 18 : Profil de la teneur en phycocyanine et en oxygène dissous au point central de l'étang du Moulin Neuf (point 4) le 12 juillet 2005 42
Figure 19 : Evolution de la teneur en phycocyanine aux différents points de prélèvement (mesure dans le bidon échantillon) 43

Liste des tableaux

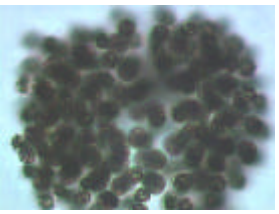
Tableau 1 : Exemples d'incidents attribués aux cyanobactéries lors de la pratique de baignade ou de canoë (*). 8
Tableau 2 : Recommandations de gestion et de surveillance en fonction du niveau de contamination par les cyanobactéries 10
Tableau 3: Rejets de phosphore dans l'eau. Répartition entre les activités humaines.....14
Tableau 4 : Evolution des suivis de sites au regard de l'évaluation de la prolifération de cyanobactéries en Bretagne de 1994 à 1999 15
Tableau 5 : Résultats des comptages de cyanobactéries et de mesures de toxicité sur les sites morbihannais en 2001 15
Tableau 6: Liste des sites de baignade en eau douce suivis en 2003 et 2004 dans le Morbihan et nombre d'analyses cyanobactéries effectuées sur chacun. 17
Tableau 7 : Espèces dominantes dans les plans d'eau morbihannais suivis par la DDASS en 2003 et 2004. 19
Tableau 8 : Différences entre les pratiques de la DDASS du Morbihan et les recommandations de surveillance et de gestion des plans d'eau contaminés par les cyanobactéries émis par le CSHPF 20
Tableau 9 : Dénombrement des dépassements des seuils de vigilance et présentation des actions proposées et effectuées sur chaque site morbihannais en 2003. 20
Tableau 10 : Liste des plans d'eau morbihannais à usage récréatif retenus pour l'enquête auprès des acteurs gestionnaires 23
Tableau 11 : Nombre de plans d'eau par classe de superficie. 25
Tableau 12 : Comparaison des valeurs limites des catégories trophiques pour trois paramètres établies par l'OCDE (1982) et des valeurs sur l'étang du Moulin Neuf obtenues en moyennant l'ensemble des données des cinq points de prélèvements sur toute la campagne de mesures. 36
Tableau 13 : Présentation des facteurs de corrélation R^2 de différentes relations statistiques entre les résultats obtenus par mesures de phycocianine ou de chlorophylle a et les résultats issus des comptages cellulaires 41
Tableau 14 : Niveaux critiques en phycocyanine en fonction du comptage cellulaire (IC = 90%) 42

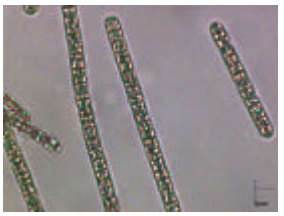
Liste des annexes

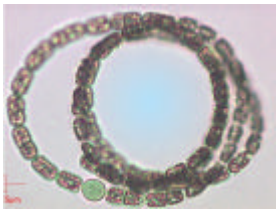
Annexe 1: Présentation des cyanobactéries les plus présentes en Bretagne III
Annexe 2: Exemple de limitation des usages (1) exercée au sein des structures d'activités de loisirs nautiques (Circulaire DGS/SD 7 A n° 2003-270 du 4 juin 2003) V
Annexe 3 : plans d'eau à usage récréatif dans le Morbihan retenus pour cette étude VII
Annexe 4: Tableau récapitulatif des informations recueillies sur les plans d'eau morbihannais étudiés IX
Annexe 5 : Dénombrement des dépassements des seuils de vigilance et présentation des actions proposées et effectuées sur chaque site morbihannais en 2004 XI
Annexe 6 : Grilles d'entretien..... XIII
Annexe 7 : Liste des personnes contactées pendant cette étude XV
Annexe 8 : Présentation de du bassin versant de l'étang du Moulin Neuf.....XVII
Annexe 9 : Calendrier des prélèvements et des mesures sur l'étang du Moulin Neuf XIX
Annexe 10 : Qualité physico-chimique de l'eau. XXI
Annexe 11 : Succession algale sur l'étang du Moulin Neuf au cinq points de prélèvements XXIII
Annexe 12 : Ensemble des données du laboratoire Ecobio XXV
Annexe 13 : Informations complémentaires sur la sonde à phycocyanine..... XXIX

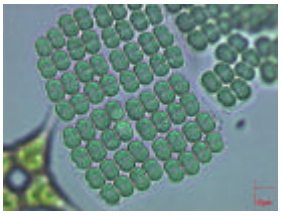
Annexe 1: Présentation des cyanobactéries les plus présentes en Bretagne

1. Photographies de certaines espèces présentes en Bretagne


Mycrocystis


Plankthotrix agardhii


Anabaena sp.


Merismopedia

Cet échantillon de photographies permet d'avoir un aperçu de la diversité des formes de ces microorganismes. D'autres clichés sont disponibles sur les sites Internet suivant :
http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/index.html
http://atv2.ac-rennes.fr/pedagogie/svt/photo/microalg/microalg.htm
http://biodidac.bio.uottawa.ca/thumbnails/catquery.htm?kingdom=Eubacteria

2. Cyanobactéries et cyanotoxines associées pour les espèces les plus présentes en Bretagne

GENRES	*ESPECES*	*TOXINES*	*TYPES DE TOXINES*
Anabaena		Microcystines Anatoxines	Hépatotoxine Neurotoxine
Microcystis	*M. aeruginosa*	Microcystines	Hépatotoxine
Planktothrix	*P. agardhii*	Microcystines Anatoxine-a	Hépatotoxine Neurotoxine
Oscillatoria		Microcystines Anatoxine-a	Hépatotoxine Neurotoxine
Aphanizomenon	*A. flos-aquae*	Anatoxine-a Saxitoxines	Neurotoxine
Merismopedia		-	
Aphanothece		-	
Coelomoron		-	
Limnothrix	*L. redekei*	-	
Snowella		Microcystines	Hépatotoxine
Woronichinia		Microcystines	Hépatotoxine

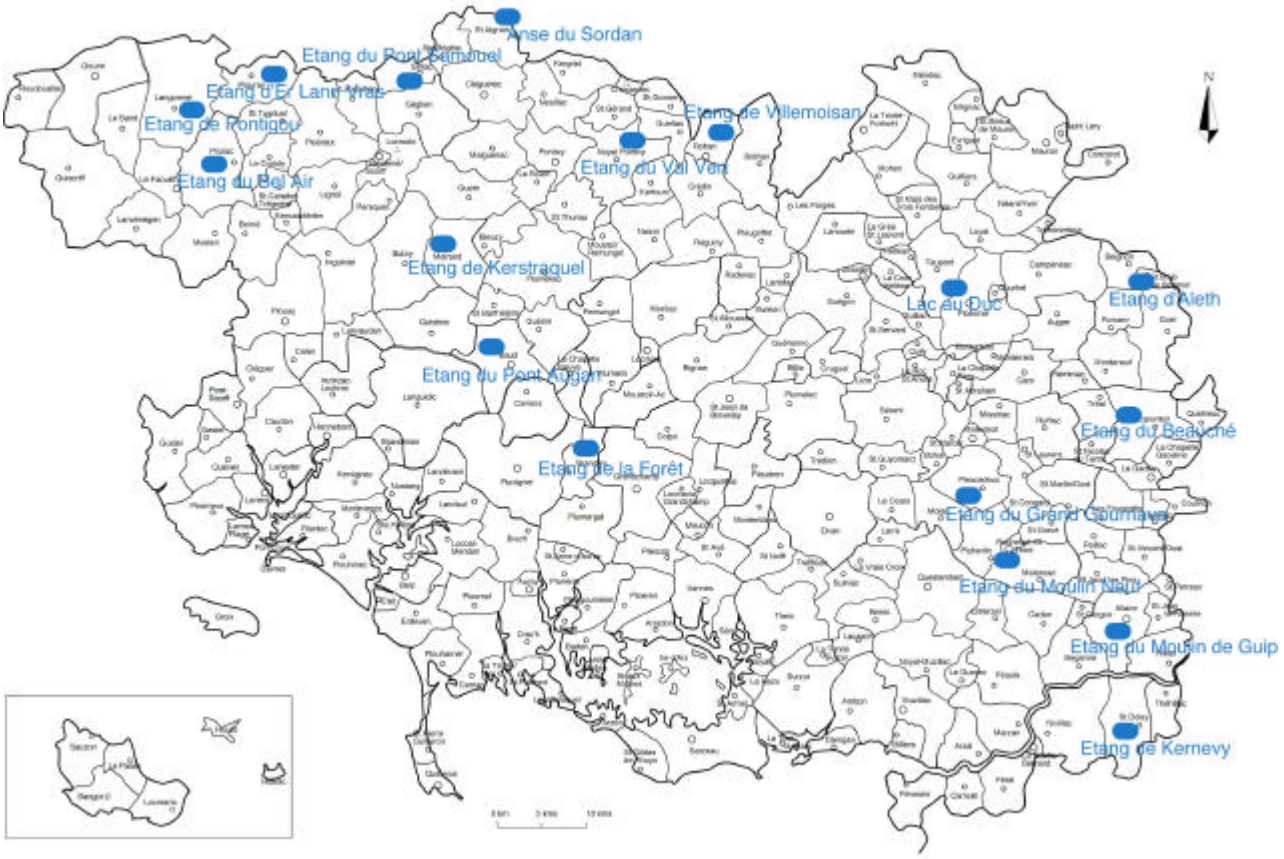
Annexe 2: Exemple de limitation des usages (1) exercée au sein des structures d'activités de loisirs nautiques (Circulaire DGS/SD 7 A n° 2003-270 du 4 juin 2003)

Aviron	La pratique de l'aviron est possible mais la découverte et l'initiation en skiff sont interdites
Voile	La pratique de la voile est possible mais sont interdites : - la découverte et l' initiation à la voile sur dériveur instable (Laser, Moth, Topper) - toute activité sur dériveur (sauf bateaux collectifs stables de type Seil) à partir d'un vent de force 4 (*)
Planche	La pratique de la planche (à l'exception de l'entraînement des athlètes figurant sur les listes de haut niveau, les espoirs et les équipes de ligues, par vent inférieur à force 4 (*)
Canoë	La pratique du canoë-kayak est possible mais sont interdites : - toute activité de canoë-kayak à partir d'un vent de force 4 (*) - toute pratique de découverte et d'initiation au canoë-kayak sur embarcation instable - la pratique du freestyle - la pratique du kayak-polo et du slalom sauf prise en compte par les clubs du niveau de pratique et d'aménagement de l'activité - l'utilisation d'embarcations de course en ligne à l'exception de l'entraînement en bateau monoplace des athlètes figurant sur les listes de haut niveau, les espoirs et équipes de ligues
Autres embarcations	L'utilisation d'embarcations instables (barques, pédalo) ou entraînant un contact avec l'eau est interdite
Autres dispositions	- la baignade est interdite. Les pratiquants ne doivent pas se mettre dans l'eau pour embarquer ou débarquer, ni s'asperger ou se rafraîchir avec l'eau de la zone d'activité - le matériel et les équipements doivent être rincés après usage - en cas de contact avec l'eau au cours d'une activité nautique tolérée, une douche soignée doit être prise. Une consultation médicale sera nécessaire en cas d'ingestion d'eau et de survenue de troubles de santé de type : gastro-entérites, démangeaisons, conjonctivite...

(*) Vent mesuré sur le plan d'eau

(1) Source : direction départementale de la jeunesse et des sports avec la collaboration de la direction départementale des affaires sanitaires et sociales de la Loire-Atlantique.

ANNEXE 3 : PLANS D'EAU A USAGE RECREATIF DANS LE MORBIHAN RETENUS POUR CETTE ETUDE



Annexe 4: Tableau récapitulatif des informations recueillies sur les plans d'eau morbihannais étudiés

Commune	Etang	Propriétaire	Gestionnaire	BV	Aire (ha)	$P_{maximale}$ (m)	$P_{moyenne}$ (m)	Origine	Date de création	Alimentation	Débit de sortie	Activités
Allaire	Moulin de Quip	Association CAF d'Ille-et-Vilaine	Fédération de pêche	Oust	3,5	2,5	NR	Aménagement cours d'eau	1965 /1970	Cours d'eau	permanent	Pêche, canoë, point d'eau des pompiers
Baud	Pont Augan	Pays d'accueil de la Vallée du Blavet		Blavet	1,5	2,5	2	Ancienne sablière	1975 /1980	Cours d'eau	permanent	Pêche (2e catégorie), canoë-kayak, navigation
Brandivy	Forêt	Communauté de commune du Loc'h		Loc'h	11	2,5	NR	Aménagement cours d'eau	1970	Cours d'eau	permanent	Pêche, navigation, canoë-kayak
Carentoir	Beauché	Commune		Oust	10	3,2	1,8	Ancien moulin	1964 /1980	Cours d'eau	NR	Pêche, baignade, navigation
Langonnet	Pontigou	Commune		Ellé	7,2	3,9	NR	Ancienne carrière d'extraction d'étain	1983	Cours d'eau	permanent	Pêche, diablotin, planche à voile, baignade
Melrand	Kerstraquel	Commune		Blavet	1,9	NR	1,5	Aménagement cours d'eau	1987	Cours d'eau	permanent	Pêche, sports de loisir, baignade
Noyal Pontivy	Val Vert	Syndicat d'eau		Blavet	1	4	1,5	Aménagement cours d'eau	1975	Cours d'eau	temporaire	Pêche, baignade, modélisme, canoë-kayak
Plouray	Ar Lann Vras	Commune		Ellé	5	NR	1,8	Aménagement	1998	Cours d'eau Nappe	permanent	Pêche, voile, baignade
Pleucadeuc	Grand Gournava	Société civile de Gournava		Oust (La Claye)	18	4,5	1,5	Ancien moulin	1854	Cours d'eau Ruissellement	temporaire	Pêche, baignade, planche à voile
Pluherlin	Moulin Neuf	SIVOM de Questembert et Rochefort-en-Terre		Oust	16,5	3,5	2	Aménagement cours d'eau	1977	Cours d'eau	permanent	Pêche, pédalo, baignade
Priziac	Bel Air	Commune		Ellé	54	3	1,5	Naturelle		Cours d'eau Sources	temporaire	Pêche, pédalo, voile, canoë-kayak, baignade, pompage d'eau si déficit en rivières
Rohan	Villemoisan	Commune		Oust	2,5	NR	NR	Aménagement cours d'eau	1977	Cours d'eau	permanent	Pêche, canoë-kayak, baignade
Saint Aignan	Anse de Sordan	Conseil Général	EDF	Blavet	400	NR	NR	Aménagement cours d'eau	1925 /1930	Cours d'eau	permanent	Production d'hydroélectricité, pêche, navigation,

Commune	Etang	Propriétaire	Gestionnaire	BV	Aire (ha)	$P_{maximale}$ (m)	$P_{moyenne}$ (m)	Origine	Date de création	Alimentation	Débit de sortie	Activités
												ski nautique, canoë-kayak, baignade
Saint Dolay	Kernevy	Commune		Brière	6	2,5	NR	Ancien moulin	NR	Cours d'eau Source	temporaire	Pêche, voile, baignade surveillée
Saint Malo de Beignon	Aleth	Communauté de communes du Pays de Guer		Oust	6	2	1,5	Aménagement ruisseau	1980	Cours d'eau	permanent	Pêche, pédalo, kayak
Silfiac	Pont Samouel	Commune		Blavet (La Sarre)	4	4,5	NR	Ancien moulin	1970	Cours d'eau	permanent	Pêche, baignade occasionnelle sans aménagement
Taupont / Ploërmel	Lac au Duc	Syndicat d'eau de Ploërmel		Oust	185	5,3	2	Ancien moulin		Cours d'eau	permanent	AEP, pêche, navigation, baignade, sport nautiques et de loisir

Annexe 5 : Dénombrement des dépassements des seuils de vigilance et présentation des actions proposées et effectuées sur chaque site morbihannais en 2004

Site	*Nb de comptage entre 20 000 et 100 000 cell/ml*	*Nb de comptage supérieur à 100 000 cell/ml*	*Nb de dépassement de 25 µg MLR/l*	*Information au public*		*Fermeture de la baignade*	
				Proposée	Effectuée	Proposée	Effectuée
Carentoir	4	2	0	oui	oui	oui	oui
Langonnet	1	1	0	oui	oui	oui	oui
Melrand	6	2	0	oui	oui	oui	oui
Noyal Pontivy	0	0	0	non	non	non	non
Plouray	2	5	0	oui	oui	oui	oui
Pluherlin	2	9	0	oui	oui	oui	oui
Rohan	0	15	0	oui	oui	oui	oui
Saint Aignan	2	0	0	oui	oui	non	non
Taupont1	1	0	0	?	?	?	?

1 traitement au sulfate de cuivre

Annexe 6 : Grilles d'entretien

1. Pour les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau dans le Morbihan

- Quels sont les problèmes sur votre territoire (département ou bassin versant) ?
  - eutrophisation des rivières ?
  - eutrophisation des étangs ?
  - prolifération de cyanobactéries ?
  - salinité ?
  - ...
- Quelles connaissances avez-vous sur la problématique cyanobactéries ?
  - au sens large ?
  - sur votre territoire (département ou bassin versant) ?
- Y a-t-il des réflexions ou des actions menées dans ces domaines ?
- Quelles sont-elles ?
- Qui les mène et comment ?
- Etes-vous en relation avec d'autres acteurs et notamment locaux ?
- Participez-vous à un ou des groupes de travail (notamment sur le phosphore) ?

2. Pour les acteurs gestionnaires

NOM DE L'ETANG :

- Nom de l'étang :

	Fond	Rives	Pêche
Propriétaire			
Gestionnaire			

- Y a-t-il une base nautique ?

- Superficie :
  Profondeur maximale :
  Profondeur moyenne :
- A quel bassin versant appartient-il ?
- Quelle est son origine ?
- Date de création :
- Comment est-il alimenté ?
  - ð Cours d'eau (nom des cours d'eau aval et amont)
  - ð Nappe phréatique
  - ð Ruissellement
  - ð Alimentation artificielle
- Quel est le mode de sortie de l'eau ?
  - ð Permanent
  - ð Temporaire

Débit d'entrée :
Débit de sortie :

- A-t-il un statut particulier ?
  - ð périmètre de protection
  - ð réserve
  - ð site inscrit
  - ð site classé

- pêche interdite
- pêche privée
- Natura 2000
- Autre :

- Quelles sont les activités pratiquées sur votre plan d'eau ? Sont-elles des activités principales et secondaires ?
  - production d'hydroélectricité
  - production d'eau potable
  - pompage d'eau
  - pisciculture extensive
  - pêche (catégorie piscicole)
  - chasse
  - navigation
  - sports nautiques motorisés
  - sports de loisir
  - baignade
  - promenade
  - camping
  - animation nature
  - conservation de la nature
- Quel type de population fréquente le site ? (famille avec enfants, personnes âgées…)

- La qualité de l'eau de votre plan d'eau est-elle suivie ?
- Si oui, par quelle organisme ?
- Le suivi est-il imposé ou de votre propre initiative ?

Si de votre propre initiative pourquoi ?

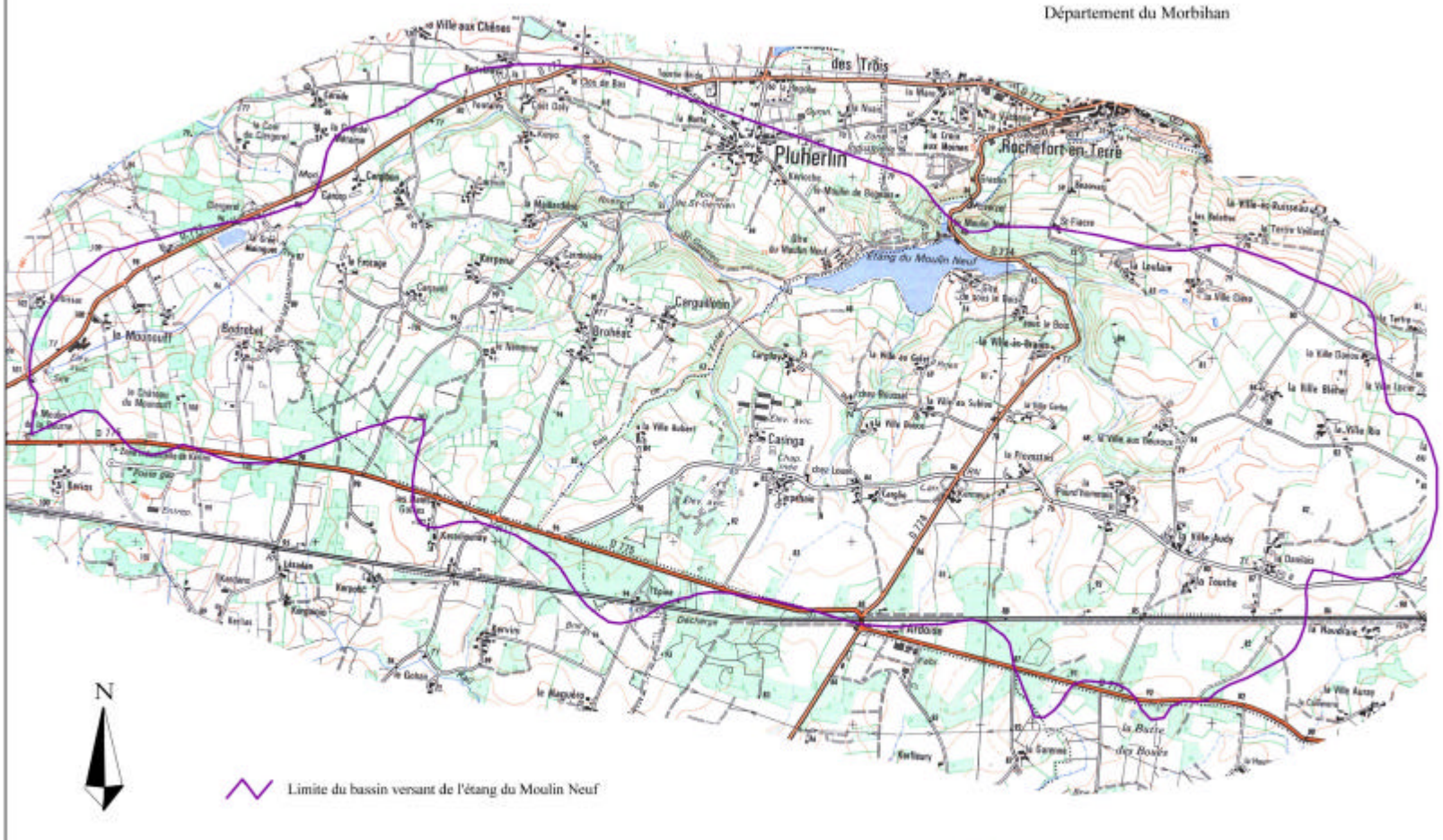
- Y a-t-il (eu) des problèmes sur votre plan d'eau ?
  - Eutrophisation
  - Envasement
  - Prolifération animale
  - Prolifération végétale
  - Surfréquentation
  - Mort de poissons ou d'oiseaux
  - Cas d'irritations
  - Autres
- Si oui, y a-t-il eu des mesures d'interdiction ou de limitation des activités ?
- Pourquoi ? selon quels critères ?
- Comment et par qui ?
- Quelles ont été les actions envisagées ou mises en œuvre pour faire face au problème (poursuite ou début de suivis, actions préventives, actions curatives) ?
- Comment et par qui ?
- Connaissez-vous la problématique cyanobactéries ? oui non
- Si oui que pouvez-vous en dire ?

Annexe 7 : Liste des personnes contactées pendant cette étude

Nom de la structure	*Nom des contacts*
DDASS	Mr Cabillic Mr Corvenne Mr Maurin
MISE	Mr Bertrand
Conseil Général du Morbihan	Mr Labat Mme Jehanno
Fédération du Morbihan pour la Pêche et la Portection du Milieu Aquatique	Mr Le Clève
Grand Bassin de l'Oust	Mme Guichard
Institut d'aménagement de la Vilaine	Mr Arrondeau
Institution Interdépartementale du SAGE Blavet	Mme Le Luron
Syndicat du Scorff	Mr Harault Mr Housset
Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Golfe du Morbihan	Mme Giraud
Communauté de Commune de ria d'Etel	Mr Loire
Communauté de Communes de Guer	Mr Mr Joly
Communauté de Communes du Loc'h	Mme Quintin Mme Barrandeau
Communauté de Communes du Pays du Roi Morvan	Mme Chanony
Communauté de Communes de Ploërmel	Mr Rolland
Communauté de Communes de Pontivy	Mme Rochetta
Mairie de Baud	Mr Le Clinche
Mairie de Carentoir	Mr Rocher
Mairie de Langonnet	Mr Bernard
Mairie de Melrand	Mr Ezannic
Mairie de Noyal Pontivy	Mr Martin
Mairie de Plouray	Mr Le Lain
Mairie de Priziac	Mr Le Pimpec
Mairie de Rohan	Mr Nizan
Mairie de Saint Dolay	Mr Bourrigaud
Mairie de Silfiac	Mr Moléo
Société civile de Gournava	Mr Haentjens
Village Vacances du Moulin de Quip	Mr Revot

Annexe 8 : Présentation du bassin versant de l'étang du Moulin Neuf

Département du Morbihan



Sources : Scan25© IGN
Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan (2005)

Annexe 9 : Calendrier des prélèvements et des mesures sur l'étang du Moulin Neuf

DATE	Prélèvements pour le comptage cellulaire	Mesures à la sonde à phycocyanine	Mesures de T°C, pH, oxygène dissous et transparence	Prélèvements pour analyses chimiques (P_{total}, PO_4, NK, NO_3, NO_2, NH_4, Si)
10 mai	v	v	v	
24 mai	v	v	v	v
31 mai		v	v	
7 juin	v	v	v	
14 juin		v	v	
21 juin	v	v	v	v
28 juin	v	v	v	
5 juillet		v	v	
12 juillet	v	v	v	
19 juillet	v	v	v	v
26 juillet	v	v	v	v
2 août		v	v	v
9 août	v	v	v	v
16 août		v	v	v

Annexe 10 : Qualité physico-chimique de l'eau.

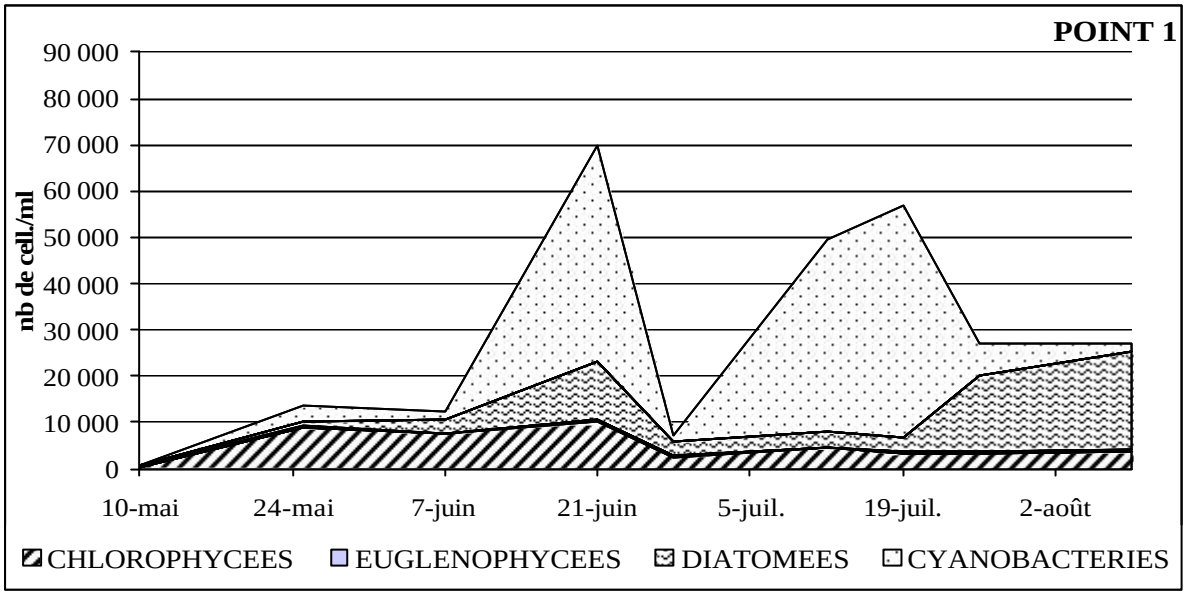
1. Homogénéité sur l'ensemble du plan d'eau

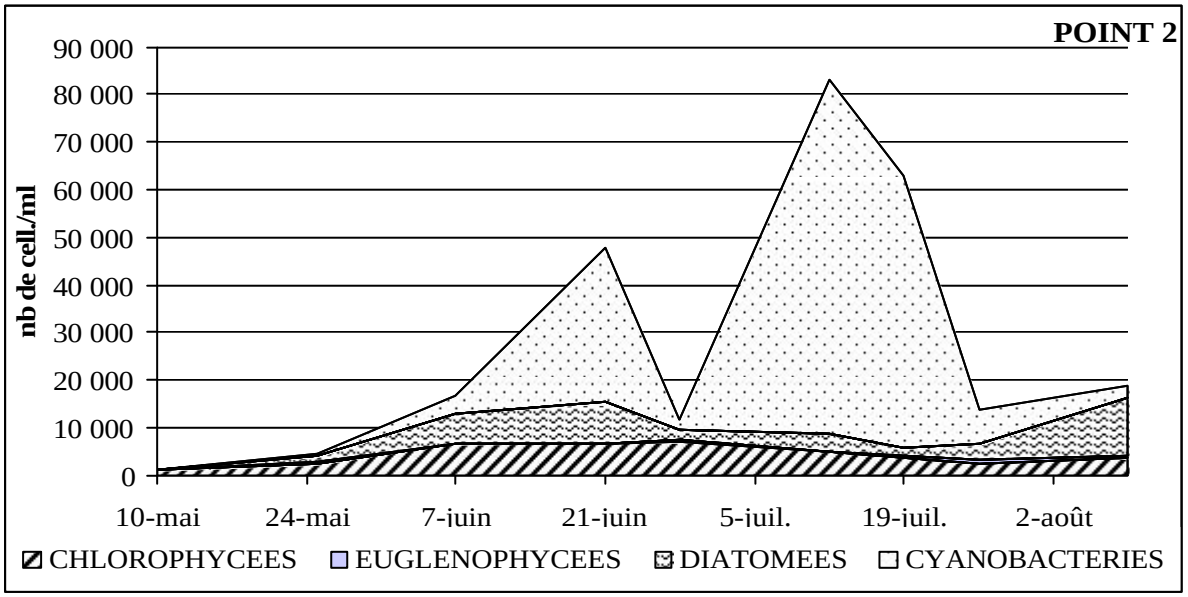
Date de prélèvement	*25 mai 2005*					*21 juin 2005*				
	point 1	*point 2*	*point 3*	*point 4*	*point 5*	*point 1*	*point 2*	*point 3*	*point 4*	*point 5*
Température	17,5	17,3	17,0	17,5	17,0	24,2	23,9	24,4	24,4	25,1
pH	6,7	6,98	6,91	7,2	7,27	9,48	9,38	9,46	9,57	9,53
O2 dissous (mg/l)	10,4	10,4	10,4	10,1	10,2	9	9	9,1	9,1	9,9
Phosphore total (mgP/l)	0,049	0,051	0,051	0,045	0,044	0,072	0,078	0,079	0,073	0,068
Phosphates (mgP/l)	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	0,031	0,015	0,012	<0,011	<0,011
Azote Kjeldahl (mgN/l)	1	<0,5	1,1	<0,5	<0,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5
Nitrates (mgN/l)	1,795	1,795	1,795	1,795	1,795	<0,359	0,359	<0,359	<0,359	<0,359
Nitrites (mgN/l)	0,009	0,012	0,012	0,012	0,012	0,021	0,015	0,015	0,015	0,015
Ammonium (mgN/l)	0,023	0,016	0,031	0,016	0,023	0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016
Silice (mgSi/l)	4	3,9	4	3,9	4	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7
N minéral (mgN/l)	1,828	1,823	1,839	1,823	1,831	<0,396	<0,39	<0,39	<0,39	<0,39
N organique (mgN/l)	0,977	<0,484	1,069	<0,484	<0,477	1,484	<1,484	<1,484	<1,584	<1,484

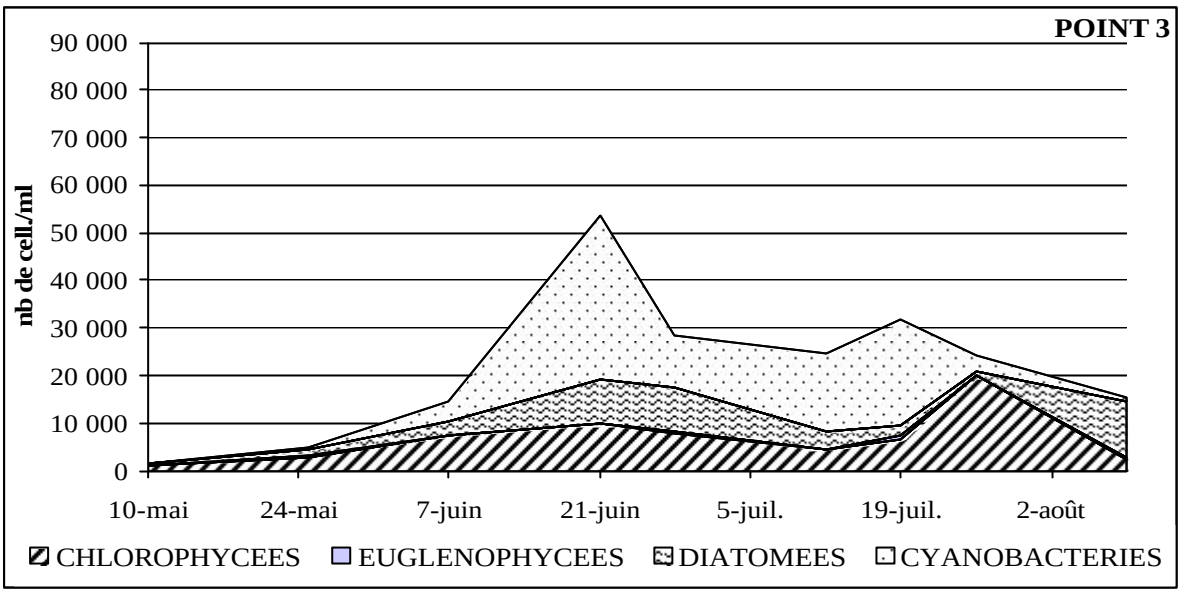
2. Evolution des paramètres d'analyses chimiques de l'eau du plan d'eau

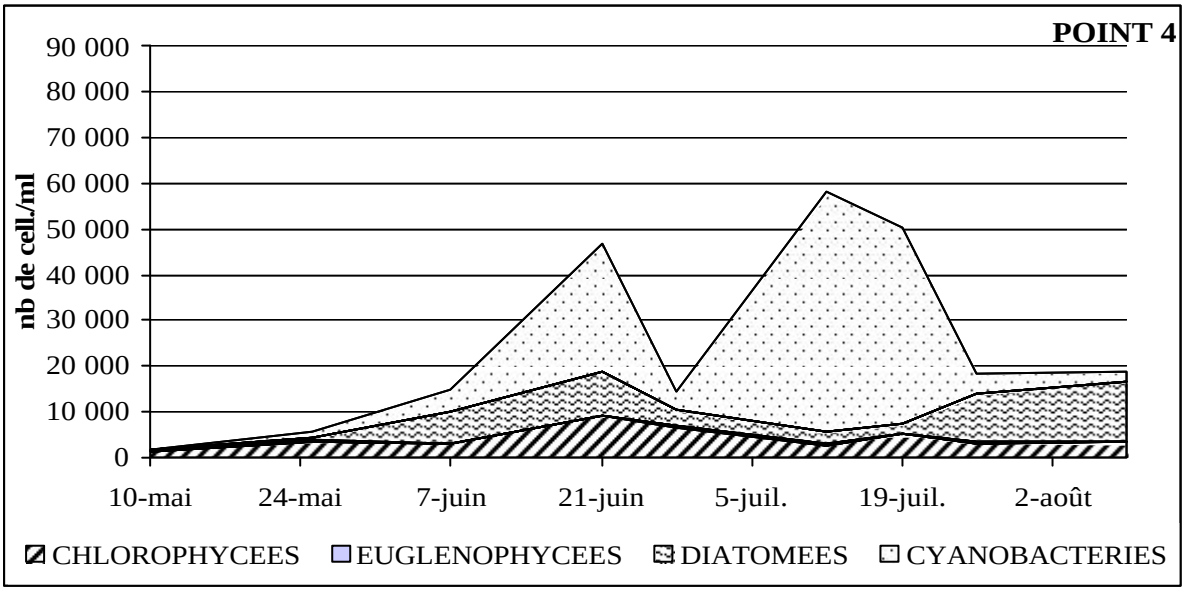
Date de prélèvement	25/05/2005	21/06/2005	19/07/2005	26/07/2005	02/08/2005
POINT4	point 4	point 4	point 4	point 4	point 4
Phosphore total (µgP/l)	45	73	170	200	170
Phosphates (mgP/l)	<0,013	< 0,011	0,026	< 0,016	< 0,016
Azote Kjeldahl (mgN/l)	<0,5	1,6	1,6	1,7	1,7
Nitrates (mgN/l)	1,795	< 0,359	< 0,359	< 0,359	< 0,359
Nitrites (mgN/l)	0,012	0,015	< 0,003	0,009	0,006
Ammonium (mgN/l)	0,016	< 0,016	0,023	0,039	0,016
Silice (mgSi/l)	3,9	2,6	0,3	0,6	0,3

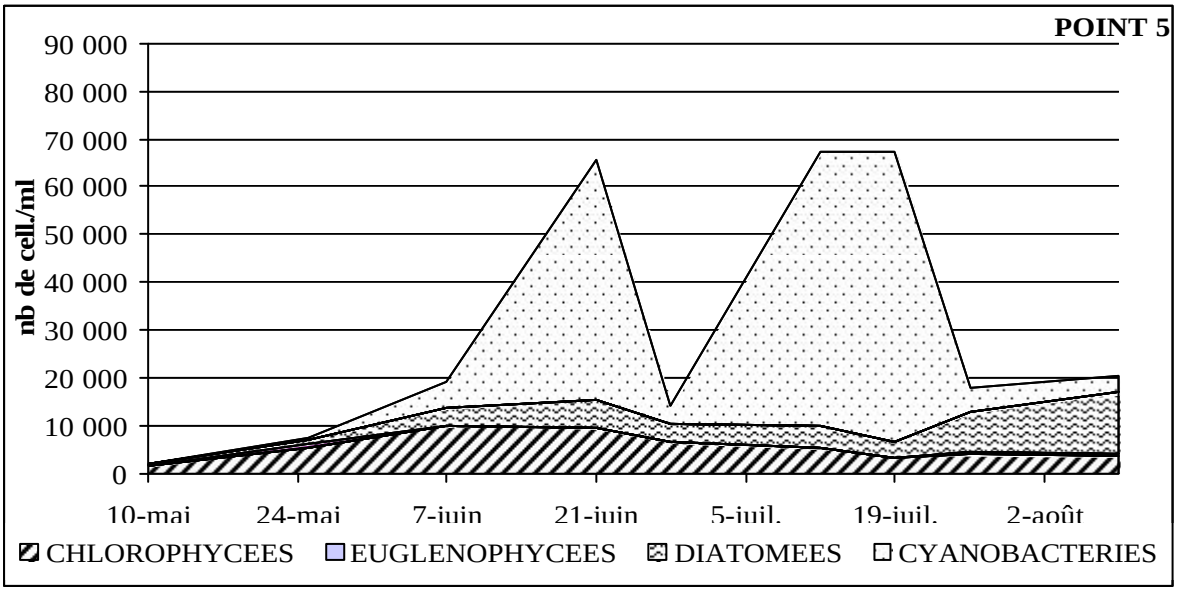
Annexe 11 : Succession algale sur l'étang du Moulin Neuf au cinq points de prélèvements






POINT 3
90 000
80 000
70 000
60 000
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
nb de cell./ml
10-mai
24-mai
7-juin
21-juin
5-juil.
19-juil.
2-août
CHLOROPHYCEES
EUGLENOPHYCEES
DIATOMEES
CYANOBACTERIES


POINT 4
90 000
80 000
70 000
60 000
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
nb de cell./ml
10-mai
24-mai
7-juin
21-juin
5-juil.
19-juil.
2-août
CHLOROPHYCEES
EUGLENOPHYCEES
DIATOMEES
CYANOBACTERIES


POINT 5
90 000
80 000
70 000
60 000
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
nb de cell./ml
10-mai
24-mai
7-juin
21-juin
5-juil.
19-juil.
2-août
CHLOROPHYCEES
EUGLENOPHYCEES
DIATOMEES
CYANOBACTERIES

Annexe 12 : Ensemble des données du laboratoire Ecobio

Date de prélèvement	10/05/2005					25/05/2005					07/06/2005				
Moulin neuf	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
Chlorophylle a µg/l	**21,16**	**13,45**	**7,79**	**12,65**	**17,97**	**17,42**	**18,3**	**17,72**	**18,52**	**20,36**	**29,09**	**23,58**	**29,49**	**29,25**	**28,41**
Phycocyanine µg/l															
Microcystines µg/l LR															
TOTAL MLR µg/l equivalent															
Nbre de cyanobactéries par ml	0	24	0	0	0	3 826	614	716	1 414	466	1 883	3 862	4 339	4 535	21 918
Nbre total de cellules par ml	0	24	0	0	0	3 826	614	716	1 414	466	1 883	3 862	4 339	4 535	21 918
Répartition en %															
CHLOROPHYCEES	79,5	86,9	94,1	91,7	83,1	63,8	47,8	57,9	60,7	70,7	62,1	39,4	49,0	20,9	28,4
ZYGOPHYCEES	0,3	0,2	0,0	1,8	2,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
DIATOMEES	9,2	9,7	5,3	3,0	11,5	5,1	27,5	24,0	10,1	13,8	22,8	37,3	21,6	48,3	10,0
CHRYSOPHYCEES	10,2	0,9	0,4	3,4	2,6	3,5	11,1	3,6	4,2	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DINOPHYCEES	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
CRYPTOPHYCEES	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
EUGLENOPHYCEES	0,3	0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CYANOBACTERIES	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	27,6	13,3	14,4	24,8	6,1	15,0	23,1	29,4	30,7	61,6
Nbre de cellulesde cyanobactéries/ml															
Anabaena sp						122									
Aphanizomenon gracile												50	270	225	288
Aphanizomenon issatschenkoi															
Aphanizomenon sp						192	120	40	10		267				
Aphanocapsa sp.						683			1 080			1 092		1 775	
Aphanothece sp.							270								16 500
Coelomoron sp.						320	100	100	180	320	1 200	917	1 000	600	1 520
Chroococcus sp.												2			
Cyanodictyon sp.															
Lemmermaniella sp.							20		16	54			143		
Limnothrix redekeii															
Merismopedia sp.						717									
Microcystis aeruginosa													1 216		
Microcystis flos aquae												11			
Microcystis wesenbergii															
Oscillatoria sp														45	
Pseudanabaena limnetica															53
Plankthotrix agardhii		24				1 792	104	576	128	92	416	1 690	1 567	1 870	3 477
Snowella sp.												100	143	20	80
Woronichinia sp															

21/06/2005					28/06/2005					12/07/2005				
point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
45,85	**33,85**	**36,04**	**36,04**	**40,17**	**16,37**	**20,66**	**34,97**	**21,51**	**21,94**	**74,8**	**94,1**	**94,4**	**111,7**	**98,85**
42,46	**43,54**	**43,45**	**43,19**	**43,445**	**3,76**	**4,655**	**11,16**	**4,7**	**4,48**					
< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1										
46 692	32 459	34 321	27 925	50 075	1 392	1 780	10 845	4 009	3 736	41 546	74 418	16 298	52 547	57 242
46 692	32 459	34 321	27 925	50 075	1 392	1 780	10 845	4 009	3 736	41 546	74 418	16 298	52 547	57 242
14,5	13,4	18,4	19,8	14,3	34,4	60,9	28,1	47,1	46,7	9,4	6,1	17,7	4,7	7,7
0,4	0,4	0,5	0,2	0,2	3,2	3,6	0,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18,2	18,3	16,9	20,5	9,0	42,3	19,6	32,6	23,8	26,7	6,7	4,4	15,1	4,5	7,2
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1
66,9	67,9	64,2	59,5	76,4	19,6	15,5	38,5	28,0	26,6	83,7	89,5	66,7	90,6	84,9
1 400	822	3 050	160	1 250										
												238	113	688
		17 478		8739										
14 505	728													
5 000	8 000	233	2 000	9 600	44	182	3 200	2 800	1 800	41 333	74 000	16 000	52 000	56 000
					36	24								
		3 200												
80			160											
	128		1 216											
	32						370				240			
329	319		289	356	356	119					178		434	434
		400	700	850										
11 378	10 311	8 160	8 400	7 280	178		7 275	1 209	1 536	213		60		120
14 000	12 000	1 800	15 000	22 000	778	1 455			400					
	119													

19/07/2005					26/07/2005					09/08/2005				
point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
25,41	**26,27**	**33,79**	**19,88**	**26,76**	**38,64**	**41,94**	**40,23**	**38,05**	**39,41**	**20,46**	**18,02**	**18,26**	**18,68**	**19,99**
50 111	57 120	22 200	42 863	60 630	6 794	7 317	3 344	4 440	5 250	1 553	2 605	1 133	2 080	3 289
50 111	57 120	22 200	42 863	60 630	6 794	7 317	3 344	4 440	5 250	1 553	2 605	1 133	2 080	3 289
5,6	5,8	20,5	10,4	5,0	12,0	17,9	82,1	16,3	22,0	14,1	20,1	16,1	17,9	17,4
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,7	2,4	6,4	3,9	5,1	61,2	22,9	4,1	55,9	45,0	79,5	65,2	75,6	69,9	64,2
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,6	0,8	2,8	0,5	0,0	1,7	6,0	0,0	3,4	3,7	0,7	1,0	1,0	1,2	2,2
88,1	91,0	70,3	85,2	89,9	25,0	53,2	13,9	24,3	29,1	5,7	13,8	7,3	11,0	16,2
										100				
		60	120	90	360		144	120			195	300	360	960
										120	160			
42 000	50 000	22 000	42 000	54 000	6 000	6 000	3 200	4 160	5 250	1 333	2 250	833	1 667	2 000
1 111					434									
			623	240		1 317							53	329
	120	140	120	300				160						
7 000	7 000			6 000										

Annexe 13 : Informations complémentaires sur la sonde à phycocyanine

Mise en évidence des cyanobactéries à l'aide d'une sonde à fluorescence.

Dimension réelle 100×195×45 mm

La présence de cyanobactéries, dans les plans d'eau douce récréatifs ou de production d'eau potable, contraint à une surveillance plus accrue provoquée par leur potentialité à produire des toxines diverses. Leur hétérogénéité spatio-temporelle, les temps et les coûts d'analyses demandent la mise en place d'outils complémentaires apportant une réponse immédiate. Pour répondre à la gestion sanitaire et dans l'esprit du décret sur l'eau en date du 20 décembre 2001, stipulant la recherche des microcystines en présence d'algues dans les réservoirs, une sonde a été validée par le laboratoire Ecobio de l'Université de Rennes I.

Dimension réelle Ø50, h 275 mm

La sonde MicroFlu-Blue (ci-contre, en bas) fabriquée par la société Trios et commercialisée par AQUAMS est un fluorimètre submersible et miniaturisé adapté pour des longueurs d'onde d'émission et d'excitation de la phycocyanine, molécule présente dans toutes les cellules cyanobactériennes. Ce pigment de couleur bleue a donné à ces algues leur nom ancien d'algues bleues.

Le signal correspondant à la mesure de la phycocyanine est lu soit directement sur un boîtier d'acquisition (ci-contre, en haut) soit à l'aide d'une sortie RS 232 pour un fonctionnement automatisé. Son étalonnage est facile et doit être annuel. La durée de vie en continu de la diode est estimée à trois ans. En application sur le terrain une batterie donne à cette sonde une autonomie de 8h.

La plage de mesure est située entre 0 et 100 µg/l de phycocyanine dans les conditions d'un étalonnage le plus sensible. Dans cette gamme, le signal lumineux est linéaire. Au-delà de la valeur limite de 100 µg/l, deux types d'étalonnages sont réalisables soit en posant un filtre brun sur la fenêtre de mesure soit par un étalonnage moins sensible. Les courbes d'étalonnage peuvent être enregistrées sur un ordinateur et ensuite retransmises à l'appareil, permettant ainsi le passage d'une sensibilité à une autre en fonction du milieu.

La fiabilité de la mesure est confortée en prenant la variation du signal induit par la présence des formes coloniales dans l'échantillon. D'autres conditions sont à respecter notamment la lumière. En effet l'interférence par une lumière artificielle altère la mesure jusqu'à 55% lors de mesures à l'intérieur.

Le rayon d'action du signal dans la colonne d'eau, émis et renvoyé, est fonction de la quantité de pigment sur les premiers centimètres et la pénétration du signal est stoppée quand il y a présence d'une couche épaisse d'algues saturant le fluorimètre. Dans des conditions de faible répartition des cellules, le rayon d'action absorbe jusqu'à 15 cm de pénétration dans la colonne d'eau. Cette particularité favorise la détection des algues benthiques c'est à dire celles qui se développent sur le sédiment.

La distance entre la sonde et le fond du flacon doit être au minimum de 5 cm. En dessous de 5 cm, le signal comporte une erreur qui peut atteindre 38%.

La phycocyanine est un pigment accessoire qui est fonction de la réponse de la cellule à son environnement notamment le rayonnement solaire et l'azote. Sa proportion dans la cellule, comme pour les pigments chlorophylliens, en fait un paramètre d'estimation de la biomasse cyanobactérienne qui peut être ramenée soit à un nombre de cellules soit à un biovolume de cyanobactéries. Le chevauchement du spectre fluorescent des pigments chlorophylliens présents chez tous les végétaux induit une surestimation de la biomasse des cyanobactéries en dessous de 10 µg/l. Au-dessus de cette valeur, la présence des cyanobactéries dans le milieu est déterminée avec un facteur de 95%. En culture pure en laboratoire, 10 000 cellules de *Planktothrix agardhii* par millilitre donnent une concentration de 26,4 µg/l de phycocyanine. Ces 10 000 cellules correspondent au premier seuil d'alerte pour la production d'eau potable et représentent pour cette algue filamenteuse 125 filaments par ml. Cette sensibilité s'applique également à la réalité (observation dans l'étang du Moulin Neuf).

Cette sonde est un outil d'aide à la décision aussi bien pour les gestionnaires de plan d'eau récréatifs que les producteurs d'eau potables en agissant sur la quantité des réactifs et la qualité du traitement.

Cette sonde est commercialisée depuis 2004 en Europe seulement et a fait l'objet d'un droit d'invention entre Luc Brient et la société AQUAMS. Son prix de vente est d'environ 8 000 euros. A titre indicatif, en comparant la méthode habituelle d'analyse du niveau de contamination et la méthode à la sonde, cet outil apparaît comme rentable pour un seul plan d'eau en dix ans. Cette estimation est basée sur les éléments suivants :

- pour la méthode habituelle[10] : identification et comptage des espèces, et mesure de la chlorophylle a sur 12 échantillons et mesure de toxines sur 3 échantillons chaque année ;
- pour la méthode à la sonde : achat d'une sonde la première année, identification et dénombrement des espèces, mesures de chlorophylle a et de toxines sur 3 échantillons chaque année.

[10] Prix des analyses pratiqués par le laboratoire Ecobio
Identification et comptage des espèces = 66€
Mesure de la chlorophylle a = 24€
Mesure des toxines = 96€