



ENSP
ÉCOLE NATIONALE DE
LA SANTÉ PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire
Promotion 2004

**Approche pour caractériser
l'exposition aux cyanobactéries
sur des plans d'eau à usage récréatif**

Présenté par : Valérie VIAL

(Ingénieur chimiste ENSCR)

Lieu de stage : UMR Eco-Bio

(Université de Rennes I)

Référent professionnel : Mr BRIENT

Référent pédagogique : Mme LEGEAS

Remerciements

Mes remerciements vont à :

Monsieur BRIENT et Madame LEGEAS, respectivement mes référents professionnels et pédagogiques, pour leur encadrement, leurs conseils et leur aide dans la réalisation de ce mémoire ;

Madame ESPECEL de la mairie de rennes, Messieurs HELLEUX et DAGUZAN (adjoint au maire) de la mairie de Cesson et Monsieur PASSELERGE de la DDASS 35 (service santé environnement), pour m'avoir accordée leur temps lors d'entretiens, ainsi que Monsieur BAERT du Centre anti-poison de Rennes ;

Madame GALLACIER (ENSP) et Madame BRIANT (Eco-Bio) pour leur aide dans ma recherche documentaire ;

Les encadrants et moniteurs des activités nautiques pour leur accueil, leur gentillesse, leur disponibilité et leur aide ;

Toutes les personnes que j'ai côtoyées durant mon mémoire.

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
1 LES CYANOBACTERIES ET LEURS TOXINES	3
1.1 Les cyanobactéries.....	3
1.1.1 Morphologie	3
1.1.2 Conditions de prolifération des cyanobactéries	3
1.1.3 Prédominance des cyanobactéries.....	4
1.1.4 Les cyanobactéries toxiques.....	4
1.2 Les cyanotoxines	5
1.2.1 Les hépatotoxines	6
1.2.2 Les neurotoxines	7
1.2.3 Les dermatotoxines	8
1.2.4 Production et persistance des cyanotoxines	9
1.3 Toxicité des cyanobactéries.....	9
1.3.1 Mise en évidence des effets toxiques des cyanobactéries	9
1.3.2 Effets observés sur la santé relatifs à l'utilisation d'eau à des fins récréatives	11
1.3.3 Étude épidémiologique sur les effets sur la santé lors de contacts récréatifs	14
1.3.4 Etude sur les effets allergisants et irritants des cyanobactéries	14
1.4 Recommandations sanitaires concernant la présence de cyanobactéries dans les eaux de loisirs.....	15
2 METHODOLOGIE.....	18
2.1 Présentation des sites choisis pour l'étude.....	18
2.2 Approche pour caractériser les pratiques exposantes.....	19
2.2.1 Définitions des paramètres à suivre.....	19
2.2.2 Recueil des informations	20
2.3 Mesures du niveau de contamination du milieu par le cyanobactéries.....	21
2.3.1 Mesures classiques.....	21
2.3.2 Analyses complémentaires	22
3 RESULTATS	23
3.1 Résultats relatifs aux pratiques exposantes	23

3.1.1	Présentation et description des activités récréatives observées	23
3.1.2	Présentation des populations suivies	26
3.1.3	Estimation des voies d'exposition.....	29
3.1.4	Facteurs externes aux activités	35
3.2	Résultats relatifs aux niveaux d'exposition	36
3.2.1	Identification des espèces, dénombrement et dosage des microcystines	36
3.2.2	Résultats des mesures de chlorophylle.....	38
3.2.3	Résultats des mesures de la transparence.....	39
3.2.4	Résultats des mesures à la sonde à fluorescence	39
3.3	Résultats des fiches d'enregistrement	40
4	DISCUSSION	41
4.1	Discussion sur la méthodologie.....	41
4.2	Discussion des résultats	42
4.2.1	Discussion sur les pratiques exposantes	42
4.2.2	Discussion sur le niveau d'exposition.....	47
4.2.3	Discussion sur les résultats concernant les fiches d'enregistrement des éventuelles pathologies	49
	CONCLUSION	51
	BIBLIOGRAPHIE	53
	LISTE DES ANNEXES	I

Liste des tableaux

Tableau 1: Principales cyanobactéries toxiques rencontrées en France.....	8
Tableau 2 : Propriétés pharmacologiques et toxicologiques des cyanotoxines.....	11
Tableau 3: Exemples d'incidents attribués aux cyanobactéries lors de la pratique de baignade ou d'autres activités nautiques (ski nautique*, canoë**)	12
Tableau 4 : Tenue vestimentaire requise selon les activités et leur cadre.....	26
Tableau 5 : Populations suivies.....	27
Tableau 6 : Les différentes formes de baignade observées et contact cutané.....	30
Tableau 7: Matrice pratique / exposition pour les activités de plaisance, en dehors du dessalage.....	44
Tableau 8 : Tableau pratique / exposition pour la baignade.....	45
Tableau 9 : Propositions de limitation des activités aquatiques en présence des cyanobactéries.....	51

Liste des figures

Figure 1 : Evolution du nombre de cellules de cyanobactérie/ ml, sur Apigné	37
Figure 2 : Evolution du nombre de cellules de cyanobactérie/ ml, sur la rivière sportive ..	38

Liste des sigles utilisés

Antx-a : anatoxine-a (neurotoxine)

Antx-a(s) : anatoxine-a(s) (neurotoxine)

CK : Canoë-kayak

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

DDASS : Direction Départementale des Affaires sanitaires et Sociales

DDJS : Direction Départementale de Jeunesse et Sport

DECLIC : Déterminisme Et Conséquences de L'Invasion de *Cylindrospermopsis raciborskii*

DermatoT : dermatotoxine

DGS : Direction Générale de la Santé

DL : Dose létale

HPLC : *High Performance Liquid Chromatography*

Hépatot : Hépatotoxine

i.e. : *Id est* (c'est-à-dire)

i.p. Injection intra péritonéale

jr. : jour

LPS : Lipopolysaccharide

M. : Microcystine (hépatotoxine)

ml : millilitre.

Nbr : Nombre

NeuroT : neurotoxine

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PSP : *Paralytic Shellfish Poisoning* (Empoisonnement Paralytique par les Coquillages)

Sem. : semaine

INTRODUCTION

Les **cyanobactéries** ou algues bleues sont des microalgues qui se développent sur une grande variété d'écosystèmes. En milieu aquatique, on les retrouve dans les eaux superficielles douces et marines, stagnantes comme courantes.

L'augmentation considérable de leur fréquence d'apparition et de leur biomasse, au cours de ces dernières années, a des conséquences écologiques, environnementales et économiques. Ces micro-organismes constituent également un **problème sanitaire émergent** dans les eaux utilisées à des fins de consommation ou à des fins récréatives en raison de la production de toxines par certaines espèces. Dans plusieurs pays, ces algues sont impliquées dans des cas d'intoxications animales et humaines.

Les cyanobactéries font, de ce fait, l'objet d'une préoccupation croissante de la part de la communauté scientifique et des organismes de santé internationaux. En France, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) a émis, en 2003, un avis relatif à l'évaluation et à la gestion des situations de contamination par les cyanobactéries des eaux de baignade et des zones de loisirs nautiques (avis du 6 mai 2003). Cet avis a été transmis aux maires et gestionnaires de plan d'eau à usage récréatif afin que soient mises en œuvre des mesures de gestion (circulaire DGS/SD7 A n° 2003-270 du 4 juin 2003).

Dans un souci d'optimisation de ce dispositif ainsi créé, l'objectif de ce mémoire est d'apprécier **l'exposition aiguë des baigneurs et des pratiquants d'activités de plaisance (voile et planche à voile, canoë-kayak,...) aux cyanobactéries.**

La difficulté de l'estimation de cette exposition est générée par des développements de ces algues de façon aléatoire dans les plans d'eau, essentiellement entre mai et octobre, par le manque de connaissance des effets sur la santé des substances produites par ces algues et par l'absence de méthodes analytiques de détection de l'ensemble des toxines.

Dans une première partie, les cyanobactéries et leurs toxines sont présentées d'un point de vue morphologique et toxicologique ; un état des lieux des cas d'intoxications et/ou de symptômes attribués aux cyanobactéries après un contact récréatif y est également dressé. Dans une seconde partie, la méthodologie suivie pour approcher l'exposition humaine, relativement aux pratiques exposantes et au niveau d'exposition, est décrite. Les résultats obtenus sont ensuite présentés et discutés.

1 LES CYANOBACTERIES ET LEURS TOXINES

1.1 Les cyanobactéries

Les cyanobactéries, encore appelées cyanophycées ou algues bleues, sont parmi les micro-organismes procaryotes photosynthétiques les plus variés et les plus répandus dans le monde. On compte actuellement 150 genres dans lesquels plus de 2000 espèces sont réparties. Leur présence est observée et rapportée, depuis plusieurs années, sur tous les continents (HAIDER et *al.*, 2003).

1.1.1 Morphologie

Les cyanobactéries possèdent à la fois des caractéristiques propres aux bactéries et aux microalgues. Ces organismes se rapprochent des bactéries par leur structure cellulaire : ils sont en effet dépourvus de noyaux, de mitochondries et de plastes. De plus, ils possèdent une paroi cellulaire comparable à celle des bactéries Gram négatif. Cependant, les cyanobactéries se distinguent des autres bactéries photosynthétiques par la nature de leurs pigments qui s'apparente à celle des algues vertes (présence de chlorophylle *a* et d'autres pigments hydrosolubles), ainsi que par leur appareil photosynthétique, qui, du point de vue de sa nature et de son fonctionnement, est proche de celui des eucaryotes.

Les cyanobactéries présentent une grande variété de formes et d'organisations : elles peuvent être unicellulaires ou coloniales, solitaires ou organisées en trichomes (colonie de bactéries), parfois filamenteuses.

Plusieurs types de cellules peuvent être distingués. Certaines sont spécialisées comme les hétérocytes dont le rôle principal est d'assurer la fixation de l'azote atmosphérique et les akinètes. Ces dernières sont des spores, c'est-à-dire des cellules de résistance destinées à assurer la survie de l'espèce dans des conditions environnementales défavorables.

Dans la colonne d'eau, les cyanobactéries peuvent être benthiques (i.e. fixées sur les sédiments) ou planctoniques (i.e. en suspension dans la colonne d'eau).

1.1.2 Conditions de prolifération des cyanobactéries

Les cyanobactéries apparaissent de manière saisonnière. En France, la période propice se situe essentiellement entre mai et octobre. Cependant, les conditions de développement et de prolifération ne sont que partiellement expliquées. Divers facteurs physiques, chimiques et biologiques semblent entrer en jeu. Plusieurs études (CARMICHAEL, 1988 ; CHORUS et *al.*, 1999 ; Ressor et *al.*, 1994 ; étude interrégional

« Grand Ouest », 2004) s'accordent à considérer comme favorables à la prolifération des cyanobactéries, les conditions suivantes :

- Intensité lumineuse modérée ;
- Température de l'eau comprise entre 15 et 35°C selon les espèces ;
- pH de l'eau compris entre 6 et 9 ;
- Circulation d'eau faible ;
- Source inorganique de nutriments.

Lorsque les conditions sont favorables, les cyanobactéries prolifèrent et donnent à l'eau une teinte bleue-verte ou rouge, selon le pigment mis en jeu (respectivement la phycocyanine et la phycoérythrine). Parfois, la densité est telle qu'il se forme en surface du plan d'eau une sorte d'écume visible à l'œil nu. On parle alors d'**efflorescence** ou de fleur d'eau. Celle-ci, plus ou moins localisée, se déplace au gré des vents et des courants et s'accompagne parfois d'odeurs peu agréables (odeur phénolique).

1.1.3 Prédominance des cyanobactéries

Les cyanobactéries possèdent une importante capacité d'adaptation aux variations du milieu. Elles tendent de ce fait à coloniser la plupart des écosystèmes et prédominent dans les milieux eutrophes. Cela est rendu possible grâce aux particularités morphologiques et physiologiques suivantes :

- Les cyanobactéries sont pourvues d'une composition pigmentaire leur assurant une bonne utilisation du spectre lumineux et donc une efficacité importante pour la photosynthèse.

- La présence de vacuoles à gaz (membrane protéique hydrophobe, perméable aux gaz mais imperméable à l'eau) les rend capable de réguler leur flottabilité et leur position dans la colonne d'eau en fonction de leur besoin en lumière et en nutriments.

- Les cyanobactéries sont capables de stocker les nutriments lorsqu'ils sont en excès par rapport à leurs besoins immédiats et d'utiliser l'azote atmosphérique. La fixation de l'azote est réalisée grâce à la nitrogénase (enzyme contenue dans les hétérocytes). Ce processus a également lieu pour certaines espèces non hétérocytées, il se produit alors dans les cellules végétatives.

1.1.4 Les cyanobactéries toxiques

Certaines espèces de cyanobactéries sont capables de synthétiser des substances toxiques, appelées **cyanotoxines** (CARMICHAEL, 1992 ; CHORUS et BARTRAM, 1999). Parmi les 2000 espèces de cyanobactéries identifiées, 200 sont, à l'heure actuelle, considérées comme toxiques. Les espèces de cyanobactéries les plus souvent citées dans les cas d'intoxication animale et humaine sont : *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena*

circinalis, *Aphanizomenon flos-aquae*, *sp.*, *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria/Planktothrix agardhii*, *Nodularia spumigena* et *Cylindrospermopsis raciborskii*. Le caractère toxique des cyanobactéries est également lié à leur structure membranaire qui présente une nature proche de celles des bactéries gram négatif. Les cyanobactéries sont de ce fait pourvues de **lipopolysaccharides** (LPS).

De nombreux cas d'intoxication aiguë d'animaux domestiques (bétails, chiens, chats,...) ou sauvages (oiseaux, poissons, rats musqués,...), par les cyanotoxines, ont été documentés dans le monde, depuis le XIX^{ème} siècle (DUY et *al.*, 2000 ; CHORUS et BARTRAM, 1999, Francis, 1978). **Ces observations et études ont mis en évidence la présence, dans les conditions naturelles, de concentrations en cyanobactérie et cyanotoxine, pouvant induire des effets aigus sur les animaux.** Elles mettent de ce fait l'accent sur le danger que peuvent représenter les efflorescences pour la santé de l'homme. Plusieurs cas d'allergie ou d'intoxication aiguë ont d'ailleurs été rapportés suite à l'utilisation, à des fins de consommation ou récréatives, d'eau contaminée par les cyanobactéries (Schwimmer et *al.*, 1968 ; DUY et *al.*, 2000 ; FALCONER, 1999).

Cependant, les efflorescences demeurent encore imprévisibles du point de vue de leur apparition, de leur durée et de leur toxicité. Ce sont en des phénomènes très dynamiques, présentant une grande variabilité spatio-temporelle, liée à l'état physiologique des cellules. Plusieurs études ont été menées dans le but d'approcher le pourcentage d'efflorescences toxiques. Il apparaît que 27 à 83 % des isollements de fleurs d'eau peuvent produire des hépatotoxines (SIVONEN et *al.*, 1989 ; FALCONER, 1999). Des campagnes de prélèvement effectuées entre 1994 et 2001, sur plusieurs plans d'eau de Bretagne et de Loire-Atlantique, ont conduit à des résultats similaires : environ 73% des échantillons bruts sont producteurs de microcystines. (VEZIE et *al.*, 1997 ; études interrégionales).

1.2 Les cyanotoxines

Les toxines de cyanobactéries ou cyanotoxines sont des métabolites secondaires (Carmichael, 1992), c'est-à-dire qu'elles ne sont utilisées par la cellule ni pour son métabolisme primaire ni pour sa division ; elles ne sont pas non plus indispensables à sa survie.

Carmichael (1992) distingue les **cytotoxines**, ayant une activité cytotoxique sur des cultures de cellules et présentant des propriétés antibiotiques, des **biotoxines**, ainsi dénommées parce que leur activité toxique est testée sur des animaux (souris ou invertébrés aquatiques). Ce sont celles qui nous intéressent dans le cadre de ce mémoire, car seules ces dernières sont impliquées dans des cas sporadiques ou

épidémiques d'intoxication chez l'animal et chez l'homme. A celles-ci s'ajoutent les lipopolysaccharides (LPS), **endotoxines** présentes au niveau de la membrane cellulaire des bactéries Gram négatif, incluant les cyanobactéries.

Plus de soixante-dix toxines cyanobactériennes différentes ont été isolées. Elles se différencient par leur nature chimique et par leur mode d'action sur les organismes vivants (CHORUS et BARTRAM, 1999) :

– Suivant leur structure chimique, elles sont regroupées en trois familles : les **peptides cycliques** ; les **alcaloïdes** et les **lipopolysaccharides (LPS)**.

– Suivant leur mode d'action, et plus précisément l'organe cible principal sur lequel elles agissent, on distingue les **hépatotoxines** dont l'organe cible principal est le foie ; les **neurotoxines** dont l'organe cible principal est le système nerveux et les **dermatotoxines** dont l'organe cible principal est la peau.

1.2.1 Les hépatotoxines

Les hépatotoxines sont les toxines le plus fréquemment rencontrées lors d'efflorescences algales. Détectées dans le monde entier, elles sont impliquées dans de nombreux cas d'intoxication humaine et animale. Elles agissent en priorité sur le foie, mais également sur d'autres organes tels que les reins et l'intestin (SCHWIMMER et SCHWIMMER, 1968). Les hépatotoxines caractérisées chimiquement sont les microcystines, les nodularines (peptides cycliques) et la cylindrospermopsine (alcaloïde).

▪ **Les microcystines**

Les microcystines sont les toxines les mieux connues et les plus répandues dans le monde. Détectées la première fois chez le genre *Microcystis* (d'où leur nom), elles sont également synthétisées par des espèces des genres *Anabaena*, *Planktothrix* et *Nostoc*.

Ce sont des heptapeptides cycliques constitués de 2 acides aminés variables et de 5 acides aminés invariables parmi lesquels se trouve l'Adda (acide 3-amino-9méthoxy-2,6,8-triméthyl-10-phényldéca-4,6-diénoïque). Cet acide aminé à 20 carbones est un élément clef de l'activité biologique et toxique puisqu'un clivage entre la chaîne latérale de l'Adda et le peptide cyclique rend ces éléments non toxiques (CHORUS et BARTRAM, 1999).

Une soixantaine de microcystines ont été isolées à l'heure actuelle. La plus commune et la plus étudiée est la microcystine-LR (LR pour leucine et arginine), c'est aussi la plus toxique. Elle est recherchée en cas de prolifération de cyanobactéries, et si plusieurs hépatotoxines sont présentes dans un même échantillon, le résultat est exprimé en équivalent microcystine-LR, afin de se situer dans les conditions les plus critiques.

- **Les nodularines**

Les nodularines sont des pentapeptides cycliques synthétisés principalement par l'espèce *Nodularia spumigena* (SIVONEN et al., 1989). Cette cyanobactérie a été rencontrée en Mer Baltique et en Australie, en eau saumâtre.

- **La cylindrospermopsine**

La cylindrospermopsine est une cytotoxine synthétisée principalement par l'espèce *Cylindrospermopsis raciborskii*, cyanobactérie d'origine tropicale que l'on trouve de manière croissante dans les zones tempérées. Une étude française sur cette espèce est actuellement en cours (projet DECLIC). Elle n'a été identifiée qu'une seule fois en France, en 1994, dans le Bassin Parisien (COUTE et al., 1997).

1.2.2 Les neurotoxines

Les neurotoxines sont des biotoxines de nature alcaloïdique présentant une activité neurotoxique (SIVONEN et al., 1989; CARMICHAEL et al., 1990; CARMICHAEL, 1992; CHORUS et al., 2001). Elles sont beaucoup moins fréquentes sur le globe que les hépatotoxines, elles n'ont pas encore été isolées en France. Elles sont regroupées en deux familles : les anatoxines (anatoxine-a et anatoxine-a(s)) et les saxitoxines (ou toxines PSP).

- **Les anatoxines** sont des alcaloïdes spécifiques aux cyanobactéries.

- L'anatoxine-a (antx-a) est une amine secondaire cyclique, soluble dans l'eau, analogue à la cocaïne. Elle est synthétisée essentiellement par l'espèce *Anabaena flos-aquae*, et dans une moindre proportion par des espèces des genres *Aphanizomenon* et *Plankthotrix*. L'antx-a affecte le système nerveux en mimant l'acétylcholine (neurotransmetteur présent notamment au niveau de la jonction neuromusculaire).

- L'anatoxine-a(s) (antx-a(s)), composé organophosphoré, a été identifiée chez les espèces *Anabaena flos-aquae* et *Anabaena lemmermannii*. Elle provoque les mêmes symptômes que l'anatoxine-a avec en plus une hypersalivation, d'où le suffixe (s). Ce puissant inhibiteur de la cholinestérase est environ quatre fois plus toxique que antx-a.

- **Les saxitoxines**

Les saxitoxines, alcaloïdes aux propriétés paralysantes, sont produites par des cyanobactéries d'eau douce comme *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena circinalis*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, ainsi que par certains dinoflagellés marins. Elles sont d'ailleurs connues dans la littérature marine en tant que substances responsables d'intoxications neurologiques de type « Paralytic Shellfish Poisoning ».

(Remarque : La saxitoxine est classée parmi les armes chimiques).

1.2.3 Les dermatotoxines

Les dermatotoxines sont les toxines les moins étudiées à ce jour. Les plus connues sont essentiellement produites par les genres *Lyngbya*, *Oscillatoria* et *Schizothrix*. Ces microalgues, essentiellement d'origine marine, produisent trois sortes de dermatotoxines (aplysiatoxines, debromoaplysiatosine et lyngbyatoxin-a). Elles sont responsables d'irritations et de réponses allergiques au niveau de la peau.

La toxicité dermique des cyanobactéries a également été attribuée aux **lipopolysaccharides** (LPS) (PILOTTO, 2004). Ces constituants de la paroi cellulaire des bactéries à gram négatif, incluant les cyanobactéries, sont présents chez toutes les cyanobactéries. Contrairement aux toxines citées ci-dessus, les LPS font partie intégrante du corps cellulaire : ce sont des endotoxines.

Sur le plan structural, les LPS sont constitués d'une partie lipidique (lipide A) et d'une partie polysaccharidique ; cette dernière, formée de sucres de nature et de séquences propres à la bactérie, constitue un puissant déterminant antigénique. La partie lipidique semble être le support de la toxicité de la molécule : dans le cas de *M. aeruginosa*, elle présente une activité endotoxique environ dix fois plus faible que celle de l'endotoxine de *Salmonella*. (RAZIUDDIN *et al.*, 1983 ; MARTIN *et al.*, 1989). Le lipide A est ancré dans la bicouche et ne peut se détacher de la bactérie qu'au moment de la lyse bactérienne. Elle correspond donc à l'endotoxine des bactéries à Gram négatif. Il est à l'origine d'effets délétères tels que fièvre, irritations par contact cutané, gastro-entérite, diarrhée, vomissement, suite à leur ingestion (RAZIUDDIN *et al.*, 1983).

Les cyanobactéries et les cyanotoxines (structure chimique en annexe 1) les plus fréquemment rencontrées en France sont répertoriées dans le tableau 1.

Tableau 1: Principales cyanobactéries toxiques rencontrées en France

Genres	Espèces	toxines	Type de toxine
<i>Microcystis</i>	<i>M. aeruginosa</i>	Microcystines, Anatoxine-a	HépaT, NeuroT
	<i>M. flos-aquae</i>	Microcystines	HépaT
<i>Aphanizomenon</i>	<i>A. flos-aquae</i>	Anatoxines, saxitoxines	NeuroT
<i>Anabaena</i>	<i>A. flos-aquae</i>	Microcystines, Anatoxine-a et a(s)	HépaT, NeuroT
	<i>A. circinalis</i>	Saxitoxines, microcystines, Anatoxines,	HépaT NeuroT
	<i>A. spiroides</i>	anatoxines et microcystines	NeuroT, HépaT,
<i>Planktothrix</i>	<i>P. agardhii</i>	Microcystines, anatoxine-a	HépaT, NeuroT
	<i>P. rubescens</i>	Microcystines	HépaT
<i>Lyngbya</i>	<i>L. wollei</i>	Saxitoxines	HépatO

Sources: CODD 1999, DUY *et al.*, 2000

1.2.4 Production et persistance des cyanotoxines

Les mécanismes de production de toxines ne sont que partiellement compris, ils sont influencés par des facteurs biologiques et environnementaux (température, lumière,...) (Carmichael, 1992).

La production des toxines a lieu généralement au cours de la phase de croissance des cellules. Les cyanotoxines sont libérées dans le milieu après sénescence ou mortalité des cellules (CODD *et al.*, 1992); cette dernière pouvant être provoquée par l'action d'un algicide comme le sulfate de cuivre ou par l'utilisation de réactifs dans la filière de fabrication de l'eau potable.

La distribution des cyanotoxines au sein des espèces est variable et difficilement prédictible. En effet, les souches d'une même espèce ne sont pas toutes productrices de toxines. En revanche, plusieurs types de toxines peuvent coexister chez une même cyanobactérie et un même type de toxine peut être synthétisé par plusieurs espèces. C'est le cas de *M. aeruginosa* qui, en plus de ses hépatotoxines, peut produire des toxines présentant une activité neurotoxique (CARMICHAEL, 1982).

Les toxines, selon leur structure chimique, persistent plus ou moins longtemps dans le milieu aquatique. Les microcystines conservent leur activité toxique pendant plusieurs semaines (réduction de 90% de l'activité sur une période variant de 40 à 90 jours), tout comme les saxitoxines. Les anatoxines, en revanche, se dégradent rapidement en milieu naturel (CHORUS *et al.*, 1999).

1.3 Toxicité des cyanobactéries

1.3.1 Mise en évidence des effets toxiques des cyanobactéries

Afin de mieux caractériser les effets sur la santé des cyanobactéries et de leurs toxines, des études ont été menées en laboratoire. La méthode de référence pour détecter les cyanobactéries toxiques est le bioessai sur souris, celui-ci consiste en une injection intrapéritonéale, à des souris, de cellules lyophilisées ou d'extrait de cyanobactérie en solution.

▪ Les neurotoxines

L'activité neurotoxique de l'anatoxine-a et de l'anatoxine-a(s) a été mise en évidence chez des animaux de laboratoire (tests sur souris), elle se traduit par des contractions au niveau des muscles périphériques et respiratoires, par une paralysie

progressive, une cyanose et des convulsions. En perturbant l'activité du système acétylcholine/acétylcholinestérase, ces toxines conduisent à la mort des animaux par arrêt respiratoire, en quelques minutes ou quelques heures, après une exposition aiguë par ingestion ou injection intra péritonéale (SIVONEN, 1996 ; CARMICHAEL, 1988). La DL₅₀, par voie i.p. sur souris, est comprise entre 200 et 250 µg/kg pour l'anatoxine-a, entre 20 et 40 µg/kg pour l'anatoxine-a(s).

La saxitoxine agit directement sur les mécanismes de transmission des influx nerveux en bloquant le passage des ions sodium à travers les canaux sodiques, au niveau des cellules excitatrices (nerveuses et musculaires) (Tréguer, 1998).

▪ Les hépatotoxines

Les animaux réceptifs ayant reçu une dose aiguë de *M. aeruginosa* meurt en quelques heures par choc hémorragique (SIVONEN, 1996 ; THEBAULT *et al.*, 1995). Chez d'autres animaux moins sensibles, la mort survient en quelques jours (36 heures environ), elle est précédée par un tableau clinique comprenant incoordination des mouvements, faiblesse musculaire, état de fatigue généralisé, respiration laborieuse, production de larmes, diarrhée, ictère et dermatite. La DL₅₀ pour la microcystine est comprise entre 25-150 µg/kg par voie i.p., elle est de 5000 µg/kg par voie orale.

Une toxine diarrhéique a été isolée chez *M. aeruginosa* pouvant expliquer les cas de gastro-entérites en l'absence de tout autre agent étiologique connu.

Des essais biologiques ont mis en évidence l'activité inhibitrice des microcystines et des nodularines sur des protéines phosphatases (PP1 et PP2A) impliquées dans le maintien de l'homéostasie cellulaire. Leur inhibition peut conduire à la promotion de tumeurs (RAPALA *et al.*, 1997).

▪ Les dermatotoxines et les LPS

Afin d'étudier les effets cutanés et oculaires des cyanobactéries des genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Cylindrospermopsis*, and *Aphanizomenon*, TOROKNE *et al.* (2001) ont réalisé des tests d'irritation cutanée et oculaire sur des cobayes et sur des lapins. Cette étude a clairement mis en évidence un effet irritant de certaines cyanobactéries. L'effet irritant le plus important a été obtenu avec des souches d'*Aphanizomenon*. Les souches des genres *Microcystis* et *Cylindrospermopsis*, plus toxiques, n'ont présenté que des effets irritatifs limités.

En plus de leurs effets irritants et pyrogènes, les LPS sont soupçonnés d'avoir des effets sur le système respiratoire. Leur administration par voie intra trachéale provoque

une inflammation pulmonaire aiguë chez le cobaye. De plus, l'ingestion ou l'inhalation d'endotoxines de cyanobactéries peuvent également générer des troubles intestinaux (LIPPY et ERB, 1976).

Les propriétés pharmacologiques et toxicologiques des cyanotoxines les plus fréquents sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Propriétés pharmacologiques et toxicologiques des cyanotoxines

toxines	Activités pharmacologiques	Mécanisme d'action toxique
HEPATOTOXINE		
Microcystines et nodularines	Inhibition puissante des phosphatases cellulaires Dépolymérisation des protéines du cytosquelette	Promoteur de tumeur <i>in vivo</i> chez le rat Insuffisance et hémorragie hépatiques
NEUROTOXINE		
Anatoxine-a	Agoniste de l'acétylcholine	Fasciculation musculaire Convulsions et détresse respiratoire
Anatoxine-a(s)	Inhibition de l'acétylcholinestérase	
Saxitoxines	Inhibition des canaux sodiques des neurones	Syndrome « PSP », paralysie Blocage de la conduction nerveuse
ENDOTOXINE		
LPS		Effets gastro-intestinaux Irritation et inflammation des voies supérieures

Source : THEBAULT et al., 1995 ; DUY et al., 2000, SIVONEN, 1996 ; CODD, 1989.

1.3.2 Effets observés sur la santé relatifs à l'utilisation d'eau à des fins récréatives

Seuls les effets sur la santé humaine liés à la pratique d'activités récréatives sont abordés dans le cadre de ce mémoire. Dans le tableau 3 sont présentés les principaux incidents attribués à un contact de nature récréative aux cyanobactéries et à leurs toxines. Certains sont développés par la suite.

Tableau 3 : Exemples d'incidents attribués aux cyanobactéries lors de la pratique de baignade ou d'autres activités nautiques (ski nautique*, canoë)**

Situation de l'étude	Nombre de personnes	pathologies	Genres/espèces identifiés
1949	2	Forte fièvre, détresse respiratoire (asthme), crise d'urticaire	<i>Microcystis</i> <i>Oscillatoria</i>
Canada, 1959 (Dillenberg et Dehnel, 1960)	12	Gastro-intestinaux aigus, maux de tête, douleurs musculaires	<i>Anabaena</i> , <i>Microcystis</i>
(Schwimmer et al., 1968)	1 enfant	fièvre, pneumonie, respiration laborieuse, douleurs généralisées, état de coma, réponses allergiques, éruptions papulo-vésiculaires, conjonctivites	<i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i>
Pennsylvanie, 1979 (Billings, 1981)	12 enfants (4-12 ans) 1 adulte	Troubles Gastro-intestinaux	<i>Anabaena</i>
Pennsylvanie, 1981 (Carmichael, 1985)	100 *	Irritations de la peau, des yeux, et des oreilles (otites), fièvre, rhume des foins, toux sèche, troubles intestinaux	<i>Anabaena</i>
UK , 1989 (Turner, 1990)	20 **	troubles intestinaux, maux de gorge, toux sèche, 2 cas de pneumonie	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Australie, 1991 (Soong et al., 1992)	5 adultes 3 enfants	Irritations cutanées problèmes respiratoires	<i>Microcystis</i>

Sources : THEBAULT et LESNE, 1995 ; DUY et *al.*, 2000 ; HUNTER, 1998.

Les symptômes décrits suite à un contact récréatif avec des cyanobactéries des genres *Anabaena*, *Microcystis* et *Aphanizomenon*, sont de nature et d'intensité variée : crampes abdominales, vomissements, diarrhée, fièvre, céphalées, douleurs musculaires (Dillenberg et Dehnel, 1960), irritations cutanées comprenant des éruptions papulo-vésiculaires, des démangeaisons,..., (SCHWIMMER et *al.*, 1968), ainsi que des rougeurs oculaires douloureuses, des conjonctivites, des otites, des maux de gorge, et des réactions allergiques (HEISE, 1949 et 1951 ; PILOTTO et *al.*, 1997 ; RESSOM et *al.*, 1994).

Ces symptômes ont été rapportés par un nombre important de personnes incluant des enfants et des adultes, ayant nagé dans un lac présentant une prolifération d'*Anabaena*. **Tous les tests bactériologiques et virologiques menés étaient**

négatifs (BILLINGS, 1981). De même, DILLENBERG et DEHNEL (1960) ont enregistré l'empoisonnement d'un homme ayant ingéré accidentellement, lors de la baignade, environ 300 ml d'eau d'un lac contenant une épaisse efflorescence de cyanobactéries. Cet homme présenta des nausées, de la diarrhée, des maux de tête, des crampes et une hyperthermie. Dans ses selles, on trouva *Microcystis* et *Anabaena*, **mais pas d'autres germes pathogènes**. Des troubles analogues, mais moins intenses, ont également été constatés auprès des autres baigneurs. Il est à noter que tous se sont baignés malgré des recommandations concernant la baignade et des cas de mortalité d'animaux de bétail ayant consommé de cette eau.

L'exposition à de fortes concentrations de cyanobactéries peut engendrer des troubles plus graves que ceux cités précédemment. SCHWIMMER et SCHWIMMER (1968) ont rapporté un cas presque fatal d'un jeune garçon. Celui-ci présenta de la fièvre, une respiration laborieuse, une pneumonie, des douleurs généralisées et un état de coma après s'être baigné dans de l'eau contenant *M. aeruginosa*. Des symptômes similaires ont été rapportés par TURNER et *al.* (1990) : suite d'un entraînement de natation et de canoë-kayak comprenant un exercice d'esquimautage dans une eau présentant une forte prolifération de *Microcystis spp.*, 10 militaires (sur vingt) ont présenté des troubles divers (gastroentérite, maux de gorge, toux sèche, irritations cutanée, céphalées). Deux d'entre eux ont été hospitalisés et ont développé une pneumonie atypique. L'hypothèse selon laquelle cette pneumonie aurait pu être causée par l'inhalation de matière algale et donc de LPS a été émise.

Des réactions de type allergiques semblent pouvoir se déclarer suite à un contact avec des cyanobactéries. Plusieurs scientifiques soupçonnent les LPS des cyanobactéries d'être à l'origine d'effets irritants et allergènes au niveau des tissus, surtout lorsque la paroi cellulaire se brise (ex. : par le frottement entre le maillot de bain et la peau ou sous l'effet des turbines) (CHORUS, 2001) et de troubles gastro-intestinaux, avec de fortes fièvres en cas d'ingestion (INSPQ 2001, RESSOM et *al.*, 1994, LIPPY et ERB, 1976). Cependant, en l'état des connaissances sur les LPS, il est difficile de confirmer le lien de causalité entre les LPS et leurs effets observés.

Remarques :

- Certains scientifiques s'interrogent sur l'implication d'autres substances dans les troubles sur la santé tels que les peptides (Prog. Eur. PEPCY 2004-2005)
- Les symptômes décrits ci-dessus ne sont pas spécifiques aux cyanobactéries. On les retrouve chez d'autres maladies d'origine hydrique tels que la dermatite du baigneur

(irritations), la leptospirose (fièvre des eaux), le botulisme (Marion, 1996), etc.... (Cf. site du ministère de la santé : <http://baignades.sante.gouv.fr/index.htm>)

1.3.3 Étude épidémiologique sur les effets sur la santé lors de contacts récréatifs

Afin de préciser les effets sur la santé des cyanobactéries présentes dans des plans d'eau à usage récréatif, PILOTTO *et al.* (1997) ont mené une étude épidémiologique prospective concernant 852 participants, en Australie. Elle s'intéressait essentiellement aux effets aigus, pouvant subvenir à la suite de baignade. Deux facteurs principaux ont été suivis : la durée de contact avec l'eau et l'abondance de cellules cyanobactériennes. Les symptômes mis en évidence, suite à une baignade régulière pendant une semaine dans un lac contenant des cyanobactéries, peuvent être regroupés en plusieurs catégories :

- **Gastro-intestinaux** comprenant vomissements et diarrhées ;
 - **Allergiques et irritatifs** au niveau de la peau (ulcères buccaux), des yeux (conjonctivites) et des oreilles (problèmes ORL) ;
 - **Allergiques et respiratoires** (rhume des foins, toux,...) ;
- Auxquels on peut ajouter fièvre, étourdissements, fatigue....

Ces symptômes résultent de l'exposition aux cyanobactéries en tant que telles. Aucun lien n'a en effet pu être établi par rapport aux concentrations en microcystines et neurotoxines, bien que leur présence et leurs effets ne peuvent être totalement exclus du contexte. L'intensité des symptômes encourus est corrélée à la durée et au niveau d'exposition aux cyanobactéries et à leurs toxines.

1.3.4 Etude sur les effets allergisants et irritants des cyanobactéries

MITTAL *et al.* (1979) ont testé le pouvoir allergisant de 10 algues parmi lesquelles se trouvent des cyanobactéries des genres *Lyngbya*, *Anabaena*, *Oscillatoria* et *Nostoc*. Des tests cutanés allergologiques (tests intradermique et tests de Prausnitz-Küstner) ont été réalisés (4000 tests sur 400 personnes souffrant d'allergies respiratoires et 300 tests sur 30 personnes « saines »). Des tests de provocation bronchique et conjonctivale ont également été réalisés.

Les résultats de cette étude tendent à montrer que les réactions obtenues ne sont pas seulement le fait de la présence d'un agent irritant, mais dépendent de la sensibilité et de la nature allergique de chacun. En effet, les tests réalisés sur les personnes « saines » se sont tous révélés négatifs, tandis que 43% des personnes souffrant d'allergies respiratoires ont présenté une réaction positive pour le test intradermique. La moitié des

tests de provocation bronchique et les tests de provocation conjonctivale, réalisés sur les personnes de nature allergique se sont relevés positifs (respectivement 50% et 48,5%).

Les manifestations cliniques dépendent également de l'espèce algale (entre 1,7% pour *Oscillatoria* et 25,7% pour *Lyngbya*).

L'existence d'un lien entre les personnes souffrant d'allergie respiratoire et les irritations cutanées générées à la suite d'un contact avec des cyanobactéries, est fortement probable. Cela est conforté par l'étude de McELHENNEY et *al.* (1962).

Une étude similaire a été réalisée par PILOTTO (2004). Les espèces de cyanobactéries testées sont *Microcystis aeruginosa* (souches toxiques et non toxiques), *Anabaena circinalis*, *Nodularia spumigena* et *Cylindrospermopsis raciborskii*. Des concentrations comprises entre 5000 et 200000 cellules/ml ont été appliquées, sur des volontaires, par l'intermédiaire de patchs. A l'issue de cette étude, il apparaît qu'une faible proportion de personnes en bonne santé (moins de 20%) développe des réactions cutanées. De plus, celles-ci sont peu sévères et de courte durée ; elles ne nécessitent pas de traitement.

Contrairement aux études précédentes, celle de Pilotto n'a pas mis en évidence de différences significatives entre personnes peu ou fortement sensibles aux allergies respiratoires. Cela est peut être lié à la nature du test, Mittal a employé un test par voie intradermique tandis que Pilotto a eu recours à des patchs.

1.4 Recommandations sanitaires concernant la présence de cyanobactéries dans les eaux de loisirs

Contrairement à l'eau potable (décret n°2001-1220 du 12 décembre 2001), l'Europe et la France ne disposent pas encore véritablement de réglementation spécifique à la présence de cyanobactéries dans les eaux de baignade et de loisirs nautiques. Mais cela est en cours. Le projet de révision de la **directive européenne 76/160/CEE** relative à la qualité des eaux de baignade (COM (2002) 581 final), projette :

- de tenir compte du problème lié à la toxicité algale, en introduisant le paramètre « prolifération des microalgues » dans la liste des paramètres à surveiller dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux de baignade (cf. article 14 et annexe I).
- d'étendre, à la demande du Parlement européen, son champ aux activités de plaisance, devenues de plus en plus populaires sous l'effet des évolutions sociales et techniques. Celles-ci y sont définies comme « *les activités nautiques au cours desquelles des dispositifs sont utilisés pour se déplacer dans l'eau, présentant un risque sérieux d'avaler de l'eau, telles que le surf, la planche à voile, le canoë-kayak* » (article 3).

Cependant, cette extension n'a pas été jugée opportune par la Commission en raison des difficultés certaines que cela engendrerait en terme de gestion et de surveillance. De plus, de nombreux états membres ont exprimé une réserve sur ce point, principalement pour des raisons d'ordre économique.

Remarque : la directive 76/160/CEE est actuellement en cours de révision, notamment parce qu'elle se doit d'être cohérente et coordonnée avec la directive-cadre sur l'eau (2000/60/CE), qui a été adoptée par le Parlement européen et le Conseil le 23 octobre 2000 ; les "algues bleues" constituant un élément de la qualité pour la classification de l'état écologique de l'eau. La directive cadre s'est fixée l'objectif général d'atteindre un « bon état écologique » pour tous les types de milieux aquatiques, sur tout le territoire européen et des objectifs spécifiques pour les « zones protégées » telles que les eaux de baignade.

En raison du projet de révision de la directive 76/160/CEE et à cause des nombreux signalements de prolifération de cyanobactéries (programme EFFLOCYA), des phénomènes d'intoxications animales et des risques sanitaires potentiels pour les baigneurs et les pratiquants d'activités nautiques, le CHSPF, à la demande du ministère de la Santé, a émis un avis relatif aux mesures de gestion par rapport aux proliférations cyanobactériennes.

Dans son **avis du 6 mai 2003**, le CSHPF reprend, en les précisant, les recommandations de l'OMS (OMS, 1998 ; annexe 2) concernant les niveaux de danger à considérer et les actions à mettre en œuvre concernant la surveillance et la gestion d'un plan d'eau (annexe 3). Cet avis a été transmis, par la **circulaire DGS/SD7a n° 2003-270 du 4 juin 2003**, aux mairies et aux gestionnaires des zones aquatiques à usage récréatif afin que des dispositions soient prises en terme de gestion, surveillance et suivi des zones de baignades et de loisirs nautiques sujettes à la prolifération de micro algues.

Afin de faciliter la gestion des situations de contamination des plans d'eau à usages récréatifs par les cyanobactéries, un schéma décisionnel a été élaboré (annexe 3). Il est basé sur une surveillance renforcée du plan d'eau, essentiellement au niveau visuel. Tout changement des caractéristiques ou de l'aspect du milieu, ne pouvant être expliqué par des raisons locales simples, doit conduire à des prélèvements d'eau afin que soit analysée la composition algale du milieu. En fonction des résultats de cette analyse, des mesures sont à prendre conformément à l'avis du CSHPF du 6 mai 2003. En cas de forte prolifération de cyanobactéries, les usages nautiques peuvent faire l'objet de limitations voire d'interdictions, par arrêté municipal. Celui-ci s'accompagne

nécessairement d'une campagne d'information auprès des acteurs de terrain et aux usagers et par la pose de panneaux de signalisation.

La présence des cyanobactéries dans des plans d'eau à usages récréatifs constitue un risque potentiel pour la santé humaine ; la littérature scientifique faisant état de plusieurs cas cliniques chez des sujets s'étant baignés ou ayant pratiqué une activité de plaisance dans une eau contaminée par ces algues. Il semble donc important de pouvoir améliorer les connaissances sur l'exposition engendrée par les activités aquatiques.

2 METHODOLOGIE

Afin d'évaluer l'exposition aux cyanobactéries lors de contacts de type récréatif, mon travail a été de définir les pratiques exposantes, les populations exposées, les modalités de l'exposition (par quelles voies, combien de temps et avec quelle fréquence ?), ainsi que le niveau de contamination auquel les usagers étaient confrontés.

Pour apporter des éléments de réponse à ces questions, des observations ont été réalisées sur deux sites avec des activités aquatiques différentes. Parallèlement, le niveau de contamination par les cyanobactéries a été mesuré par des suivis analytiques.

2.1 Présentation des sites choisis pour l'étude

Les deux sites sur lesquels ont porté les observations sont l'étang d'Apigné et le stade d'eaux vives établi sur un tronçon de la Vilaine à Cesson Sévigné. Ils ont été choisis pour des raisons pratiques (localisation à proximité du lieu de stage) mais aussi et surtout pour les raisons suivantes :

- Ces deux sites subissent des proliférations de microalgues depuis plusieurs années. Ils font de ce fait l'objet d'un suivi régulier de la part de la DDASS d'Ille et Vilaine. (Cf. bilans sur le suivi des cyanophycées (DDASS 35))
 - Chaque année, une à plusieurs fleurs d'eau ou accumulations sont observées sur l'étang d'Apigné (avec parfois présence de microcystines), conduisant à la fermeture momentanée des activités. Les espèces identifiées ont été *Anabaena sp.* en 2001 et 2002, *Aphanizomenon flos-aquae* en 2000 et 2003 et *Planktothrix agardhii* en 2001.
 - Au niveau de la rivière sportive, des proliférations de *Planktothrix agardhii* ont eu lieu en 2002 et 2003, dépassant parfois le seuil des 100 000 cellules/ml et entraînant l'arrêt des activités nautiques. Le dosage des microcystines s'est révélé négatif sur toute la période.
- Ils sont contrastés par leurs caractères biogéochimiques (eau courante/eau stagnante, milieu ouvert/milieu fermé) ;
- en plus de la baignade surveillée, de nombreuses activités d'eau douce y sont proposées : voile et planche à voile, canoë-kayak en eau vive et en eau calme, rafting ;
- Enfin, ils sont fréquentés par un nombre important de personnes. L'étang d'Apigné constitue, en période estivale, le lieu de baignade privilégié pour les Rennais ne pouvant accéder, pour des raisons multiples, à la mer, à la piscine ou à d'autres plans d'eau. On en parle souvent sous la dénomination «plage des Rennais ». Il en est de

même pour « le stade d'eaux vives », ce parcours aménagé, accessible à tous, tout au long de l'année, offre aux débutants une approche sécurisante, pédagogique et ludique du sport en eau vive et propose aux plus confirmés un site d'entraînement performant et inhabituel.

2.2 Approche pour caractériser les pratiques exposantes

Afin d'apporter des éléments de réponse aux questions posées concernant les pratiques exposantes, plusieurs paramètres ont été suivis lors des observations. Ces dernières devaient également permettre de mettre en évidence des facteurs pouvant avoir une influence sur le comportement des usagers.

2.2.1 Définitions des paramètres à suivre

Plusieurs paramètres ont donc du être définis, avec comme critères, le fait d'être attribuable à chacune des activités et d'être facilement estimable par observation. Ces derniers ont été affinés et complétés lors des premières observations.

Ceux retenus sont les suivants :

- Nature de l'activité : baignade, canoë-kayak en eau vive ou eau calme, voile ou planche à voile ;
- Cadre de l'activité : encadrée ou non ; loisir, entraînement, stage, ... ;
- Type de supports ;
- Populations concernées ;
 - Age ;
 - Sexe ;
 - Effectif ;
 - Niveau de pratique : débutant, intermédiaire ou expérimentée, ... ;
 - Groupe scolaire, club ou particulier, moniteurs, ... ;
 - Comportement avant, pendant et après l'activité (baignade, jeu d'eau, ...) ;
 - Tenue vestimentaire durant l'activité ;
 - Pathologies éventuelles suite à un contact à l'eau ;
- Durée de l'exposition ;
- Fréquence de l'exposition ;
- Nature et intensité du contact (niveau d'immersion) ;
- Voie(s) d'exposition ;
- Parties du corps en contact avec de l'eau.

Pour décrire les parties du corps en contact avec de l'eau, les termes utilisés sont les suivants : membres supérieurs comprenant les bras, les bustes ; membres inférieurs prenant en compte les membres des pieds à la taille.

Lors des observations, une attention particulière a été portée au niveau du visage et de la tête car, leur exposition peut générer le contact des yeux, des oreilles, de la bouche, de la gorge, du nez et donc des muqueuses nasales, pharyngiennes avec de l'eau contaminée. De plus, leur immersion peut conduire à l'ingestion et à l'inhalation d'eau.

Certains paramètres comme le niveau de pratique, la tenue vestimentaire ou encore la présence d'un encadrement, ont été suivis afin de déterminer s'ils ont une influence sur l'exposition.

2.2.2 Recueil des informations

Un planning des observations a été dressé de manière à accéder à un éventail de pratiques nautiques le plus large possible, avec, si possible, pour une même activité, des populations différentes. Afin d'obtenir un maximum d'informations et de caractériser au mieux les expositions, les observations d'une même activité ont été, dans la mesure du possible répétées au moins trois fois.

Les observations ont été menées de manière collective pour des raisons de faisabilité et de temps. En l'absence de questionnaires individuels pour recueillir des informations concernant les pratiquants, des approximations ont dû être faites, notamment en ce qui concerne l'âge des pratiquants. Les classes d'âge suivantes ont été définies et affinées suite aux observations : <4 ans ; 5-9 ans ; 10-15 ans ; 16-20 ans ; > 21 ans. Concernant les activités de plaisance, il est à noter qu'un âge minimum est imposé pour des raisons notamment de sécurité, il est de 7 ans pour la voile et la planche à voile et de 8 ans pour le canoë-kayak.

De manière à ce que les différentes activités soient « jugées » et caractérisées de la même façon, il est important que les observations soient réalisées par la même personne (en l'occurrence moi). Cependant, afin que celles-ci soient le plus correctes et le plus objectives possible et afin de valider l'appréciation des activités, l'avis d'autres personnes a été demandé de manière ponctuelle, surtout au début de mon enquête.

Afin d'avoir un retour des éventuelles pathologies attribuables au contact aux cyanobactéries, une fiche d'enregistrement des problèmes de santé a été distribuée aux

acteurs de terrain (annexe 4). Pour connaître l'existence de pathologie antérieure à la période d'étude, des contacts ont été pris avec le Centre Antipoison de Rennes, les gestionnaires du plan d'eau et les encadrants d'activités nautiques.

2.3 Mesures du niveau de contamination du milieu par les cyanobactéries

2.3.1 Mesures classiques

Pour caractériser l'exposition aux cyanobactéries dans son entier, une mesure des niveaux de contamination auxquels les usagers ont été exposés a été réalisée sur les deux sites étudiés. Ce suivi y est d'ailleurs effectué depuis plusieurs années, dans le cadre du programme de suivi « cyanophycées ».

Concernant les prélèvements, il est important de noter qu'il n'existe pas, à l'heure actuelle, de protocole d'échantillonnage normalisé. C'est pourquoi, il a été choisi de se baser sur le protocole mis en place dans le cadre du suivi régulier des deux sites étudiés. Ainsi, les prélèvements ont été réalisés, comme d'ordinaire, avec une fréquence hebdomadaire, au niveau des zones de baignade et d'activités nautiques, à quelques mètres de la rive, en intégrant la couche d'eau sur les premiers mètres.

L'échantillon prélevé est transporté sous 48h au laboratoire de l'Université de Rennes 1. Celui-ci réalise les analyses suivantes :

- identification et dénombrement des différentes espèces algales présentes dans l'échantillon, par microscopie optique ;
- recherche de la microcystine LR par HPLC. Celle-ci, suivant l'avis du CHSPF du 6 mai 2003, est effectuée pour un nombre de cellules cyanobactériennes supérieur à 100 000 cellules/ml ;
- mesure de la chlorophylle. Ce paramètre est un indicateur de biomasse algale global (donc non spécifique aux cyanobactéries) et un paramètre de classe trophique de la qualité des plans d'eau. Il est présent dans les critères de l'OMS relatifs aux cyanobactéries (une concentration en chlorophylle-a a été définie, de manière théorique, relativement au nombre de cellules de cyanobactéries) et a été repris par le CSHPF. Il constitue « *un niveau d'alerte pour une teneur en chlorophylle a comprise entre 10 et 50µg/l et un niveau préoccupant pour des valeurs supérieures à 50µg/l* » (avis du 6 mai 2004).

2.3.2 Analyses complémentaires

▪ **Mesure de la transparence**

Ces analyses ont été complétées par des mesures de transparence. Ce paramètre constitue un critère visuel de suivi de la qualité des eaux de baignade ; conformément à la directive 76/160/CEE relative à la qualité des eaux de baignade, les valeurs guides et impératives de la transparence sont respectivement de 2m et 1m.

La transparence fait partie des paramètres proposés par le CHSPF dans son avis du 6 mai 2003, pour la surveillance renforcée des plans d'eau. Il est en effet probable que *« toute modification de la transparence sur un même plan d'eau ayant déjà fait l'objet d'une efflorescence de cyanobactérie constitue un signal d'alerte »*. De plus, sa mesure est un moyen pour inciter les acteurs de terrains à réaliser un suivi visuel régulier, du plan d'eau. La mesure de la transparence a été réalisée par l'intermédiaire d'un disque de Secchi confié aux encadrants d'activités nautiques.

▪ **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. (Celle-ci est actuellement en cours d'expérimentation et de validation). Différents types de sonde existe, celle étudiée au laboratoire Eco-Bio est une sonde fluorimétrique immergeable (Tricos). Elle est spécifique à la phycocyanine, pigment présent essentiellement chez les cyanobactéries. Ce pigment est également présent chez les cryptophycées qui sont des algues caractérisées par une morphologie particulière permettant une reconnaissance facile et rapide.

3 RESULTATS

Les observations relatives à la baignade se sont effectuées pour l'essentiel sur la période d'ouverture de la plage soit du 1^{er} juillet au 10 août 2004 ; celles relatives aux activités de plaisances ont commencé dès le mois de mai. Plusieurs sorties sur le terrain ont été réalisées : 12 relativement à la baignade et à la voile ; 21 relativement aux activités d'eau vive..

3.1 Résultats relatifs aux pratiques exposantes

Au cours des 25 dernières années, de nouvelles activités nautiques se sont développées (COM (2002) 581 final). Si bien qu'aujourd'hui, il existe une dizaine de types de contact avec l'eau différents, en plus de la baignade *stricto sensu* qui d'ailleurs, peut revêtir plusieurs formes allant du « pataugeage » à la plongée.

Selon la nature et l'intensité du contact à l'eau, on distingue (glossaire sur l'eau ⁽³¹⁾) :

- les **activités récréatives de contact primaire** (exposition directe) au cours desquelles une grande partie du corps est en contact régulier avec l'eau ; par exemple, baignade, nage avec palmes, plongée, nage en eau vive ou hydrospeed, planche à voile ; canoë-kayak en eau vive, rafting, canyoning, ski nautique, etc....
- les **activités récréatives de contact secondaire** comprenant navigation de plaisance, canotage, voile, pédalo, aviron, canoë-kayak en eau calme, pêche, etc...., induisent un contact moins fréquent avec l'eau.

3.1.1 Présentation et description des activités récréatives observées

Les différentes activités récréatives observées au cours de ce mémoire sont décrites ci-dessous :

A) La baignade et ses formes dérivées

La baignade est une des activités récréatives les plus populaires en période estivale. Les différentes observations menées ont mis en évidence une multitude de formes, influencées essentiellement par l'âge du baigneur :

- Les enfants de 5 ans passent la plus grande partie de leur temps à patauger, à barboter ou à jouer, assis dans l'eau jusqu'au nombril,.... Certains, parfois les mêmes, s'amuse aussi en plus à sauter à pieds joints dans l'eau ; d'autres, encore, munis de brassards et/ou de bouées, s'essaient à la nage (ils «nageotent ») ou bien s'amuse avec de petits supports flottants (bateau gonflable, petite planche,...) desquels ils chutent assez souvent.

– Les 6-10 ans s'entraînent pour la plupart à la nage, s'essayent à la nage aquatique (arbre droit et roulades dans l'eau), jouent au ballon le corps immergé jusqu'aux mollets ou jusqu'à la taille.

– Les 11-15 ans ont un comportement assez proche des 5-10 ans, seul change en fait la fréquence et la durée des activités, plus faibles chez eux. Ils passent en effet une bonne partie de leur temps sur la plage à jouer au ballon, aux raquettes.... Sur cette tranche d'âge, commencent les jeux de « coulage ».

– Les jeunes de 16 à 20 ans sont ceux chez qui les jeux de types aspersion et coulage sont les plus fréquents. Chez eux, la nage s'accompagne la plupart du temps de l'immersion complète de la tête (crawl, nage coulée, apnée).

– Les plus de 21 ans pratiquent une nage leur permettant de garder la tête hors de l'eau. On les retrouve le plus souvent à marcher au niveau de la franche d'eau.

B) La nage avec palme

La nage avec palmes est un sport de loisir ou de compétition pouvant se pratiquer aussi bien en piscine qu'en milieu naturel (mer, rivière, lac, étang, etc.).

La tenue classique comprend un tuba, une paire de palmes, un masque et une combinaison de plongée. Cependant, certaines personnes n'utilisent pas de masque ou bien le remplace par des lunettes de plongée ; Concernant la combinaison, celle-ci peut être sèche (étanche) ou humide ; cette dernière est ainsi dénommée car elle laisse passer l'eau. Se forme alors une pellicule d'eau à la surface de la peau, qui, une fois réchauffée au contact du corps du plongeur, forme une couche isolante. Les pratiquants n'ont pas tous nécessairement recours à une tenue spéciale, parfois un maillot de bain suffit.

C) Le canoë kayak et ses dérivés

Le canoë et le kayak sont des sports de loisir et de compétition qui se pratiquent aussi bien en eau vive qu'en eau calme. Ils se distinguent par la position dans laquelle ils sont pratiqués (à genou ou assis pour le canoë, assis pour le kayak) et par la pagaie utilisée (simple pour le canoë, double pour le kayak).

Une grande diversité de formes et d'usages existe ; celles ayant fait l'objet d'un suivi sont :

- en eau calme : les randonnées en canoë-inca, le kayak polo et la course en ligne ;
- en eau vive : le slalom (C.K.), la descente (C.K.), le raft et ses dérivés (hot dog et airboat).

A celles-ci peuvent s'ajouter des exercices techniques courants tels que la nage à contre courant et l'esquimautage (technique permettant de rétablir une embarcation ayant chaviré).

Types de supports :

Plusieurs types d'embarcation ont été utilisés :

- le canoë-kayak « classique », embarcation, mono ou biplace, utilisée en eau calme comme en eau vive. Elle peut être ouverte ou fermée par une jupe dont l'objectif est d'assurer l'étanchéité entre le pagayeur et le bateau
- le canoë inca est une embarcation très stable, ouverte, généralement biplace. Elle est utilisée principalement en eau calme, dans le cadre de randonnée ;
- le raft se pratique sur une embarcation gonflable et ouverte, conduite à la pagaie, pouvant transporter de 5 à 10 personnes.
- Le hot-dog (canoë gonflable) et l'airboat (kayak gonflable), variantes du raft, sont également gonflables et ouverts, mono ou biplaces.

Equipement :

Quelle que soit la forme de l'activité, le pratiquant doit, pour des raisons de sécurité, nécessairement porter un gilet de sauvetage et des chaussures, auxquels s'ajoute, en eau vive, un casque (HELUWAERT, 2002).

Les pratiquants en club portent des chaussons étanches tandis que dans le cadre scolaire ou d'activité familiale, les chaussures de sport classique sont utilisées.

Les pratiquants de canoë-kayak inscrits ou ayant été inscrits dans un club portent généralement une combinaison ; celle-ci peut être « courte » (manches courtes et short) ou « longue », parfois juste utilisée pour le buste ou pour le bas. Dans le cadre de loisir, la tenue de sport classique (short ou jogging, tee-shirt et/ou pull) prédomine ; elle est parfois complétée par un coupe vent ; on en trouve de particulièrement bien adaptés au kayak, en tissu étanche resserré au col et aux poignets par du néoprène. Il en existe aussi de plus légers pour l'été, avec manches courtes.

D) La voile et la planche à voile

La pratique de la voile s'est considérablement diversifiée, recouvrant aujourd'hui un grand nombre de sports et d'activités.

Type de support :

Plusieurs types de supports existent, ceux rencontrés au cours de la réalisation de ce mémoire sont la planche à voile, l'optimiste (petit dériveur solitaire, universel,

constituant le bateau école par excellence) et le toppeur (bateau d'initiation mono ou biplace).

Équipement :

En dehors du gilet de sauvetage et de chaussures (bottillons ou chaussons) dont le port est systématique et obligatoire pour toutes les activités nautiques, seuls les pratiquants de planche à voile ont recours à une combinaison isotherme. Selon la saison, elle peut être longue, « long John » (bras et épaules découverts) ou un courte (jambes et bras découverts). Les activités sur dériveur se pratiquent la plupart du temps en tenue de sport classique (short, jogging, tee-shirt...).

Pour les activités de plaisance, l'équipement varie essentiellement en fonction du type de navigation et des températures de l'air et de l'eau. Celles rencontrées au cours des observations sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Tenue vestimentaire requise selon les activités et leur cadre

Activité	Cadre	Tenue vestimentaire	Chaussures
baignade	loisir	Maillot de bain, parfois vêtements conservés	
Canoë kayak	Club	Combinaison (embarcation fermée)	Chaussons étanches
	scolaire	combinaison (selon disponibilité) ou tenue de sport classique	Baskets
	Loisir	Tenue de sport classique	Baskets
	moniteur	Combinaison (embarcation fermée)	Chaussons étanches
Canoë-inca	Loisir	Tenue de sport classique	Baskets
Rafting	Loisir	Tenue de sport classique ou maillot de bain	Baskets
Voile	Scolaire	Tenue de sport classique ou maillot de bain	Baskets
	Loisir		
Planche à voile	Club	Combinaison	Chaussons étanches
	Scolaire	Combinaison ou tenue de sport classique ou maillot de bain	Baskets
	Loisir		

3.1.2 Présentation des populations suivies

Les populations suivies lors de la réalisation de ce mémoire sont présentées dans le tableau 5, en fonction des activités pratiquées, de l'âge et du niveau de pratique.

Tableau 5 : Populations suivies

Activité	cadre	Classe d'âge	niveau	effectif/jr.	Fréquence de l'activité	Durée (h)
baignade	Loisir	Tout age	Tout niveau	50-300	+/- répétée selon les individus	0 à 6
plongée	Entraînement	Adulte (>25 ans)	confirmé	5	Ponctuelle	1/2
Canoë-kayak	Loisir -promenade	Tout age (> 8 ans)	Tout niveau	1 à 3 /sem.	Ponctuelle	1
	Scolaire Encadrée	8 à 25 ans	Tout niveau (surtout débutant)	20-60	1 fois/ semaine pendant un trimestre	1-2
	Club	Tout âge (> 8 ans) (surtout des 15-20 ans)	Tout niveau (surtout expert)	10-40	1 à 5 fois/semaine	1-2
	Stages d'été	tout âge (> 8 ans) (surtout 8-12,13-17)	Tout niveau (surtout débutant)	5-50	Période courte (1 semaine, 2h/jour)	1-2
Rafting	Loisir	Tout âge (> 8 ans) (surtout des 15-20 ans)	Tout niveau	5-10	Ponctuelle	1
	scolaires	Tout âge (> 8 ans)	Tout niveau	20-50	1 fois par semaine pendant un trimestre	1-2
Voile	scolaire	Jeunes (> 7 ans) (surtout 7-15 ans)	Tout niveau (surtout débutant)	20-30	3 demi-journées sur une semaine	2h-3h
	loisir	Tout âge (> 7 ans)	Tout niveau	1-5	répétée 1 ou 2 fois/ semaine	2-3
Planche à voile	scolaire	Jeunes (> 7 ans) (surtout 7-15 ans)	Tout niveau (surtout débutant)	20-30	3 demi-journées sur 1 semaine	2-3
	loisir	Tout âge (> 7 ans)	Tout niveau	1-2	Ponctuelle (répétée)	2-3
CK et voile	moniteurs	20-30 ans		2-4	Régulière et répétée	3-6

Observations et remarques :

- Concernant la baignade :

Celle-ci était autorisée du 1^{er} juillet au 1^{er} septembre 2004 de 13H30 à 19H30. Douze observations ont été réalisées sur la période d'ouverture de la baignade, trois en dehors de celle-ci.

Une centaine de personnes fréquente en moyenne la plage, avec des pics de 300 à 500 personnes selon les conditions climatiques et les horaires, un peu moins de la moitié se baigne. La fréquentation est généralement maximale entre 15h et 18h. Le nombre de personnes fréquentant la plage et se baignant, en dehors de la période et des horaires d'ouverture est approximativement le même, avec dans une moindre mesure les familles avec de jeunes enfants.

La répartition des « baigneurs » est très inégale selon les classes d'âge. Sur une journée type, les trois quarts des personnes dans l'eau ont moins de 10 ans. Les adultes sont les moins présents dans l'eau (moins de 10%), près des trois quarts d'entre eux n'ont aucun contact avec l'eau.

Concernant la durée de la baignade la même tendance est observée, celle-ci varie beaucoup entre classe d'âge. Les moins de 10 ans sont ceux qui passent le plus de temps en contact avec l'eau en moyenne entre 2 et 3 heures par après midi contre 1 à 2 heures pour les 16-21 ans. Les adultes sont ceux qui passent le moins de temps dans l'eau, généralement moins d'une heure.

Il y a généralement plus de garçons que de filles dans l'eau (Sex-ratio F/M: 3/4).

Plusieurs personnes notamment des jeunes entre 15 et 20 ans se baignent en dehors de la zone de baignade autorisée, au niveau du ponton d'embarcation des canoës.

- Concernant les activités de plaisance :

Un âge minimum est nécessaire pour pratiquer une activité de plaisance : il est de 7 ans pour la voile et la planche et de 8 pour le canoë-kayak.

Les populations varient sensiblement selon le mois de l'étude, ce qui s'accompagne de divergences au niveau de la forme, de la fréquence et du cadre de l'activité. Le comportement des pratiquants est également différent. Les groupes scolaires et les clubs sont présents essentiellement et majoritairement en mai et en juin. Ils laissent place aux activités de loisir familial autonome et aux stages (initiation, perfectionnement) durant juillet et août. Concernant le canoë-kayak, 4 groupes scolaires et 2 clubs ont été suivis sur respectivement 7 et 5 séances, ainsi que deux stages d'une semaine. Pour la voile et la

planche à voile, les observations ont porté sur deux groupes scolaires (élèves de cinquième), présents sur le plan d'eau pendant trois demi-journées, en alternance avec du canoë. Relativement aux activités réalisées dans le cadre de loisir, quelques particuliers ont été observés.

- Concernant le personnel encadrant :

Deux comportements différents ont été observés : certains, comme les maîtres nageurs et les moniteurs de voile, sont très faiblement exposés, ils n'ont en effet aucun contact avec l'eau. Ce qui n'est pas le cas des moniteurs de canoë-kayak. Ces derniers, lorsqu'ils encadrent une activité, sont en effet toujours présents sur l'eau. Ils sont donc soumis aux mêmes expositions que les pratiquants à la différence que celle-ci est beaucoup plus fréquente.

3.1.3 Estimation des voies d'exposition

Lors d'un contact de nature récréative avec l'eau, l'exposition aux cyanobactéries et aux cyanotoxines peut survenir par voie cutanée (contact direct), par voie orale (ingestion accidentelle d'eau) ou par voie respiratoire (inhalation d'aérosols). Celles-ci sont plus ou impliquées selon les activités.

A) Contact cutané

Le contact cutané est la voie d'exposition principale : elle est commune à la plupart des activités et concerne les baigneurs comme tous les pratiquants d'activités nautiques quel que soit leur niveau.

Selon les activités, le contact cutané est plus ou moins intense et généralisé.

- **nage avec palme**

Le contact avec l'eau est fonction des types de masque et de combinaison utilisés.

Quel que soit le masque utilisé, il y a toujours une partie du visage qui est en contact avec l'eau ; elle se localise essentiellement autour de la bouche, au niveau du front et des tempes. Cette zone peut ensuite être plus ou moins étendue : elle comprend le nez et les muqueuses nasales si l'on utilise des lunettes de plongée et englobe les yeux en l'absence de masque (les yeux étant généralement ouverts dans l'eau).

Si la combinaison est de type humide, tout le corps est en contact permanent avec l'eau et ce du début de l'activité jusqu'à ce que la combinaison soit retirée. En revanche, si elle est sèche et donc étanche, le corps est entièrement protégé.

▪ **baignade**

Selon sa forme, la baignade engendre un contact cutané plus ou moins généralisé. Celui-ci est décrit dans le tableau 6.

Tableau 6 : Les différentes formes de baignade observées et contact cutané

Personnes concernées	Forme de baignade	Zones du corps en contact avec l'eau
Enfants (<4-5 ans)	Pataugeage ou barbotage	Membres inférieurs (jusqu'au nombril) Mains et avant bras Contact mains/visage, yeux
	« Nageoter »	Tout le corps incluant la moitié du temps le visage
	Jeux avec support	Corps entier incluant le visage
5-10 ans et 10-15 ans	Nage	Corps entier incluant les $\frac{3}{4}$ du temps le visage
	Jeux d'eau Faire l'arbre droit	Corps entier incluant le visage
	jeux d'eau : aspersion, coulage	Corps entier incluant le visage
	Autres jeux (ballons)	Membres inférieurs, mains, corps
15-20 ans	Nage	Corps entier (incluant les $\frac{3}{4}$ du temps la tête)
	jeux d'eau (s'asperger, se couler)	Corps entier incluant le visage
	Autres jeux (ballons)	Eau jusqu'aux genoux, à la taille ou au cou
Adultes (>21 ans)	Nage	Corps entier incluant rarement la tête
	Marche dans l'eau	Eau jusqu'aux mollets ou aux genoux

A l'exception du pataugeage, les différentes formes de baignade observées engendrent le contact direct et généralisé de tout le corps avec l'eau. Certaines impliquent en plus l'immersion du visage ou de la tête (coulage, jeux avec support, nages coulées).

Dans l'ordre croissant, les classes d'âge les plus en contact à l'eau sont : les plus de 21 ans, les 15-20 ans, les 10-15 ans, les 5-10 ans et les moins de 5 ans.

▪ **voile et planche à voile**

La pratique de la voile sur optimiste ou toppeur engendre un contact cutané relativement faible, celui-ci ne survenant véritablement que lors d'un dessalage. Or la probabilité de chavirer avec ces embarcations est faible, car toutes deux sont des embarcations d'initiation et donc assez stables. Sur toutes les observations réalisées, aucun

dessalage n'a été observé sur optimiste, en revanche quelques uns l'ont été pour le topper, notamment chez des débutants (en moyenne une fois par heure).

La planche à voile en revanche est beaucoup moins stable que les bateaux à voile. Cela se traduit par une fréquence de chute beaucoup plus importante. Les débutants dessalent environ une dizaine de fois par heure, surtout lors des premières séances. Ils ont en effet du mal à se tenir sur leur planche et à prendre leurs repères, notamment par rapport au vent. Il leur est aussi difficile de dresser la voile, certains s'y reprennent entre 5 et 10 fois, chaque essai infructueux se soldant par une immersion totale du corps et de la tête.

Les débutants ne constituent pas la seule population qui dessale fréquemment. En effet, bien que cela puisse sembler paradoxal, les personnes confirmées passent quasiment autant de temps dans l'eau. En effet, pour progresser, ils prennent des risques, expérimentent de nouvelles positions, ce qui s'accompagne forcément de chutes.

Outre le niveau de pratique, plusieurs facteurs favorisent le dessalage, comme le vent, surtout lorsque celui-ci est irrégulier ou trop faible, ou encore le fait de naviguer sur un petit plan d'eau car cela impose de changer souvent de cap.

- **canoë-kayak**

La nature et l'intensité du contact varient selon le type d'usage et essentiellement selon le fait qu'il soit pratiqué en eau calme ou en eau vive.

- **Activités d'eau calme**

La pratique du canoë-kayak en eau calme engendre une faible exposition à l'eau et ce quel que soit le niveau de pratique. Celle-ci est d'ailleurs nulle dans le cadre de randonnée sur canoë-inca.

Concernant la course en ligne, un contact est possible au niveau des mains et du buste ; celui-ci est engendré par l'intermédiaire d'éclaboussures ou par le ruissellement de l'eau le long de la pagaie. L'exposition est d'ailleurs favorisée par l'intensité de la propulsion.

En kayak polo, les mains et leurs avant-bras sont en contact fréquent avec l'eau, notamment lorsque les pratiquants tiennent la balle (mouillée) dans les mains ou la récupèrent dans l'eau. De plus, lorsque la balle tombe dans l'eau à proximité de leur embarcation, ils peuvent recevoir des projections sur le haut du corps, visage inclus.

Il est à noter qu'en eau calme, le dessalage est très rare. Il est en effet quasi impossible de dessaler avec un canoë-inca. Concernant les embarcations « classiques », la

probabilité de chavirer est légèrement plus élevée tout en demeurant faible (aucun dessalage n'a été recensé lors des investigations).

– **Activités d'eau vive**

Les activités d'eaux vives génèrent un contact à l'eau beaucoup plus important. La quantité d'eau entrant en contact avec le pratiquant est fonction de la courantologie, de la turbulence, de la hauteur de la chute d'eau et de la façon d'aborder la descente.

Concernant le canoë et le kayak en eau vive, les pratiquants sont tous munis d'un équipement complet (combinaison longue ou courte) et d'embarcations fermées par une jupe. En assurant l'étanchéité entre le pratiquant et le bateau, celle-ci protège du contact à l'eau la partie inférieure du corps. En revanche, les membres supérieurs et le visage sont exposés (il suffit de regarder l'état des gilets de sauvetage à la fin de l'activité); Le buste et dans une moindre proportion les bras, sont parfois protégés en partie par la combinaison et le gilet de sauvetage. Dans l'ordre croissant, les membres exposés sont le visage, le buste, les bras, les avant-bras et les mains.

Le contact cutané est favorisé par certains usages ou exercices techniques, plutôt pratiqués par des personnes expérimentées, tels que l'esquimautage au cours duquel la tête est entièrement mise sous l'eau, la navigation à contre-courant qui favorise les éclaboussures et les aspersion au niveau du visage, ou encore le slalom qui engendre un contact main/eau important.

Contrairement à la voile, l'embarquement et le débarquement pour le canoë-kayak et ses dérivés, peut se faire sans aucun contact des membres inférieurs à l'eau.

Le raft, le hot dog et l'airboat sont préférentiellement utilisés dans le cadre d'activité de loisir. Ses activités induisent un contact direct avec l'eau beaucoup plus important et intense que pour le canoë-kayak, cela tient en partie au fait que les embarcations sont ouvertes, le corps tout entier est donc exposé. Les jambes et dans une moindre mesure le buste et le visage, sont en contact quasi-permanent avec l'eau en raison de nombreuses (en fréquence et intensité) éclaboussures engendrant l'entrée d'une grande quantité d'eau dans l'embarcation. De plus, ce sont des embarcations gonflables, donc légères, par conséquent, elles se renversent très facilement.

Remarque : La tenue portée par le pratiquant sert de protection contre les éclaboussures, cependant, d'un autre côté, le port de combinaison notamment mouillée, peut contribuer à prolonger et à augmenter le contact cutané avec les cyanobactéries et leurs toxines (FALCONER, 1999). Il en est de même pour ceux qui conservent leur vêtement (essentiellement leur tee-shirt) pour se baigner.

B) Ingestion

L'ingestion accidentelle d'eau est habituelle lors de la baignade ou de la pratique d'activité nautique impliquant un contact récréatif de nature primaire. Elle est en revanche peu probable lors d'un contact secondaire, sauf si l'embarcation vient à se renverser ou pour des raisons externes à l'activité.

La quantité d'eau ingérée accidentellement, bien que variable selon les activités, est généralement estimée entre 100 et 200 ml.

Plusieurs formes d'ingestion existent : on peut distinguer l'ingestion au sens propre du terme qui revient à « boire la tasse », de celle induite par un contact mains mouillées/bouches, ou par la mise en bouche d'eau. Ces deux dernières se limitent à un contact entre l'eau et les muqueuses buccales. Enfin, il est possible d'avaler du mucus nasal dilué avec de l'eau lorsque l'on boit la tasse.

▪ **Nage avec palmes**

L'ingestion de petits volumes d'eau est fréquente et répétée. Son intensité dépend de la forme de l'activité (loisir, entraînement, compétition) ; plus celle-ci est intensive plus la quantité d'eau pouvant être ingérée est importante.

▪ **Baignade**

L'ingestion accidentelle d'eau est courante pour tous les baigneurs, surtout lorsque la surface du plan d'eau est agitée. Elle est favorisée par :

– des nages impliquant l'immersion de la tête (brasse coulée, crawl,...). Celles-ci sont pratiquées essentiellement par les moins de 20 ans ; elles sont plus fréquentes chez les hommes que chez les femmes.

– certains jeux d'eau tels que les jeux de coulage, essentiellement pratiqués par les 10-20 ans ou les jeux avec supports flottants, concernant principalement les enfants de moins de 10 ans. De plus, dans ce cas, les prises orale et nasale augmentent sous l'effet de la surprise et/ou en fonction de la force avec laquelle on est coulé.

Le contact mains mouillées/visage (bouche, nez, yeux) est courant chez les enfants jouant au niveau de la frange d'eau dans l'eau ou faisant des pâtés de sable.

- **Activités de plaisance**

Concernant les activités de plaisance, l'ingestion est essentiellement liée au dessalage, car celui-ci implique dans 90% des cas l'immersion totale du visage.

La probabilité de dessaler varie fortement d'une activité à l'autre. Elle dépend essentiellement de la stabilité de l'embarcation ; elle est parfois influencée par le niveau de pratique. Les activités les plus à risque sont, dans l'ordre croissant, le canoë inca, la voile, le canoë-kayak en eau calme, le canoë-kayak en eau vive, le rafting et la planche à voile.

- **Voile et planche à voile**

Sur dériveur, le dessalage (et le ressalage) n'implique pas nécessairement un contact à l'eau contrairement à la planche à voile ou . En effet, en fonction du niveau de pratique, il peut « se faire à sec ». Cependant, la chute est inévitable pour les débutants ou lorsque le pratiquant est déconcentré ou surpris. Il en est de même sur une embarcation biplace, pour l'équipier (le barreur étant censé faire le tour de la coque au fur et à mesure que le bateau se retourne, de manière à aller le plus vite possible sur la dérive afin d'éviter que le bateau se retourne complètement).

En planche à voile, le dessalage s'accompagne nécessairement de l'immersion totale du pratiquant et ce quel que soit son niveau.

- **canoë-kayak**

En eau calme, l'ingestion est une voie d'exposition secondaire, elle n'est en fait réellement à prendre en compte que si l'embarcation chavire. Or la probabilité de dessaler est nulle avec un canoë de type inca même pour les débutants, elle est un peu plus fréquente avec des embarcations classiques, tout en demeurant faible : sur toutes les observations réalisées, aucun dessalage n'a été enregistré en eau calme que se soit lors de promenade, stage découverte, d'initiation ou encore pour des groupes scolaires.

Le dessalage est en revanche courant dans le cadre d'activité d'eau vive, notamment sur airboat et hot dog (environ une fois par demi-heure et ce quelque soit le niveau). Par séance, les pratiquants de raft chutent de zéro à trois fois, la probabilité de dessaler étant plus importante pour le hot dog et l'airboat que pour le raft (2 à 3 contre 0 à 1). Concernant le canoë-kayak, seulement deux chutes ont été observées une dans le cadre d'une

compétition, l'autre chez un débutant (première séance). Cela est certainement du au fait que le hot dog et l'airboat sont des embarcations gonflables, contrairement au canoë-kayak, et plus légères que le raft.

En plus du dessalage, l'ingestion est favorisée par certains exercices techniques tels que l'esquimautage et la navigation à contre-courant.

C) Inhalation

L'inhalation est une voie possible d'exposition, cependant, elle n'est pas facile à approcher. Plusieurs formes d'inhalation peuvent être distinguées.

L'inhalation de particules d'eau nébulisées ou d'aérosols est possible lors de la navigation à contre courant ou dans les remous.

L'inhalation de liquide est fréquente lors d'une prise nasale ou orale s'accompagnant d'une fausse route. Les activités à considérer sont donc celles qui engendrent l'immersion totale de la tête, c'est-à-dire la baignade, certains exercices techniques de canoë-kayak (esquimautage, nage à contre-courant). Tout comme l'ingestion, cette voie est favorisée lors du dessalage et est accentuée en fonction de l'intensité du contact et sous l'effet de la surprise.

3.1.4 Facteurs externes aux activités

Lors des observations, une différence a essayé d'être faites entre facteurs intrinsèques et facteurs externes à l'activité. Cela a permis de mettre en évidence l'influence des facteurs suivants :

Le comportement des pratiquants est fortement influencé par les **conditions climatiques**. De manière naturelle, le contact à l'eau est intensifié lorsque les conditions climatiques (ensoleillement, température de l'air et de l'eau) sont favorables. En effet, celles-ci sont propices aux jeux d'eau (éclaboussures, essayer de renverser les autres embarcations...) et aux baignades avant, pendant et après l'activité nautique. De même, les pratiquants se laissent plus facilement tombés à l'eau lorsque l'activité est réalisée sous la pluie. Les conditions environnementales influent également sur le type de tenue (plutôt courte en été).

Des **facteurs d'ordre psychologique** (caractère, état du moment) et **comportemental** (comportements aventuriers, comportements provocateurs, hyperactivité,

comportements affectifs) entrent également en jeu. Selon l'attitude de la personne, sa motivation et son état de fatigue du moment, sa tendance à vouloir prendre des risques ou à essayer de nouvelles figures, l'intensité et la nature de l'exposition peuvent être différentes... Le comportement des pratiquants n'est pas le même lorsque l'activité est effectuée en groupe ou individuellement. De plus, lors d'une activité de groupe, le comportement est fortement influencé par l'âge des participants et le sex-ratio du groupe. Leur motivation, leur attention et leurs objectifs n'étant pas les mêmes.

Le **cadre dans lequel l'activité** est réalisée, influe significativement sur le comportement des individus. Les jeux d'eau et la baignade sont en effet plus fréquents lorsque l'activité n'est pas encadrée. Le cadre influe également sur la tenue, le plus souvent les combinaisons sont utilisées par les pratiquants réguliers (clubs, personnes expérimentées).

L'exposition peut également être influencée par des facteurs liés au milieu comme la facilité d'accès à l'eau, la structure d'accueil.

3.2 Résultats relatifs aux niveaux d'exposition

Les **niveaux d'exposition** ont été mesurés à l'aide des techniques classiquement utilisées (identification et dénombrement des espèces, dosage des microcystines et mesures de la chlorophylle-a). Celles-ci ont été complétées par l'utilisation d'une sonde à fluorescence et par le suivi de la transparence du milieu (annexes 6 et 7).

3.2.1 Identification des espèces, dénombrement et dosage des microcystines

Sur les deux sites étudiés, la présence de cyanobactérie a été observée tout au long de la période d'étude avec des fluctuations plus ou moins importantes au niveau du nombre de cellules. L'évaluation du nombre de cellules de cyanobactéries entre mai et août est présentée par les figures 1 et 2, respectivement pour l'étang d'Apigné et pour la rivière sportive. Les dosages de microcystine ont toujours été négatifs.

– Etang d'Apigné :

Comme il est possible de le voir sur la figure 1, les cyanobactéries étaient présentes de manière très minoritaire entre le 7 mai et le 5 juillet, avec moins de 3000 cellules par millilitre. A partir du 5 juillet, une nette augmentation du nombre de cellules a été mise en évidence. Cette prolifération a été stoppée par la chute des températures autour du 12 juillet. Ce stress thermique est responsable de la sénescence des algues. Ne pouvant plus migrer

dans la colonne d'eau, elles sont restées en surface, donnant au plan d'eau une coloration vert foncé. Elles sont venues s'accumuler au niveau de la plage, du 13 juillet au 15 juillet, sous l'action du vent. Elles ont disparu en 24 h de façon naturelle.

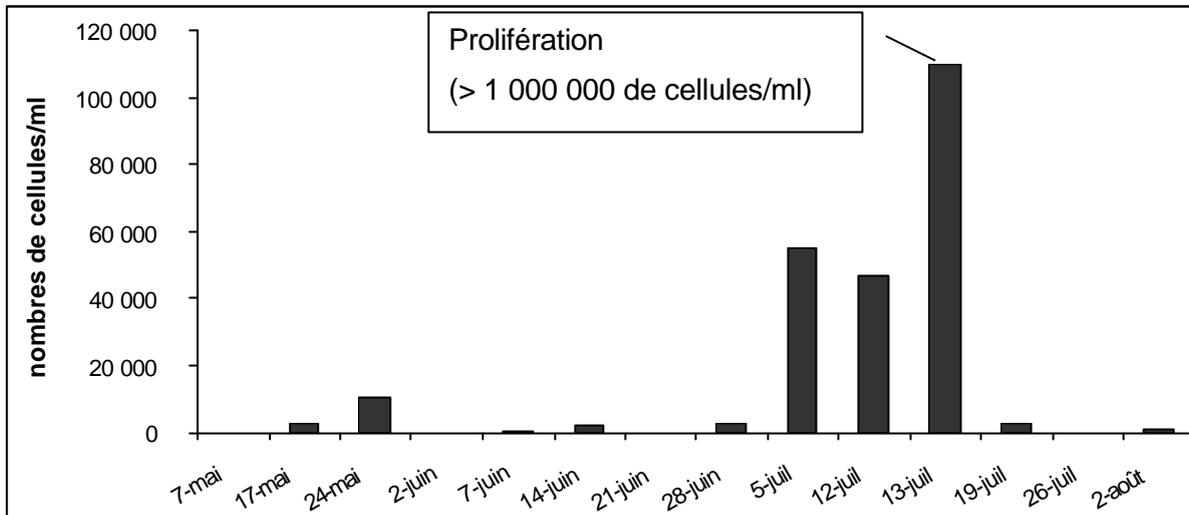


Figure 1 : Evolution du nombre de cellules de cyanobactérie/ ml, sur Apigné

Conformément à la réglementation (circulaire DGS/SD7a n° 2003-270 du 4 juin 2003), l'apparition d'une écume en surface du plan d'eau a entraîné le déclenchement du dispositif de niveau 3 (interdiction de la baignade et de toutes activités conduisant un contact avec l'eau). Des prélèvements ont été effectués directement après signalement de l'accumulation afin d'identifier l'algue en cause et de connaître la teneur en microcystines.

L'espèce de cyanobactéries identifiée a été *Anabaena circinalis*. Cette cyanobactérie filamenteuse faite partie des cyanobactéries d'eau douce productrices de toxines paralysantes (rapport IFREMER, mai 2003), à l'origine de la mort de bétail en Australie (Falconer, 1999). Le nombre de cellules mesuré dépassait très largement le million. Le dosage de microcystine s'est révélé négatif.

Ainsi, en l'absence de microcystine, l'étang a été fermé sur la durée au cours de laquelle l'accumulation était visible, soit pendant deux jours. Le lendemain de la levée de l'interdiction, la plage a été fréquentée comme à l'habitude.

Remarques :

- L'accumulation a été mise en évidence très tôt grâce au suivi visuel réalisé quotidiennement par le personnel communal.

- Afin d'avertir les usagers, des panneaux d'interdiction ont été placés autour de l'étang, essentiellement au niveau de la zone d'accumulation. L'arrêté municipal interdisant les activités a été placé au niveau des les panneaux d'affichage public.

– **Rivière sportive « Stade d'eau vive » :**

Deux proliférations de cyanobactéries, une début juin et une mi-juillet ont pu être constatées (figure 2). L'espèce identifiée est *Planktothrix agardhii*, cette cyanobactérie filamenteuse, potentiellement toxique, est très largement répandue dans l'Ouest de la France. Elle supporte assez bien la turbulence et est très efficace dans des conditions limitantes de lumière. Le nombre de cellule par millilitre n'a jamais dépassé 50 000, la présence de microcystines n'a pas été détectée. Aucune efflorescence n'a été observée. De ce fait, les activités n'ont fait l'objet d'aucune restriction d'usage.

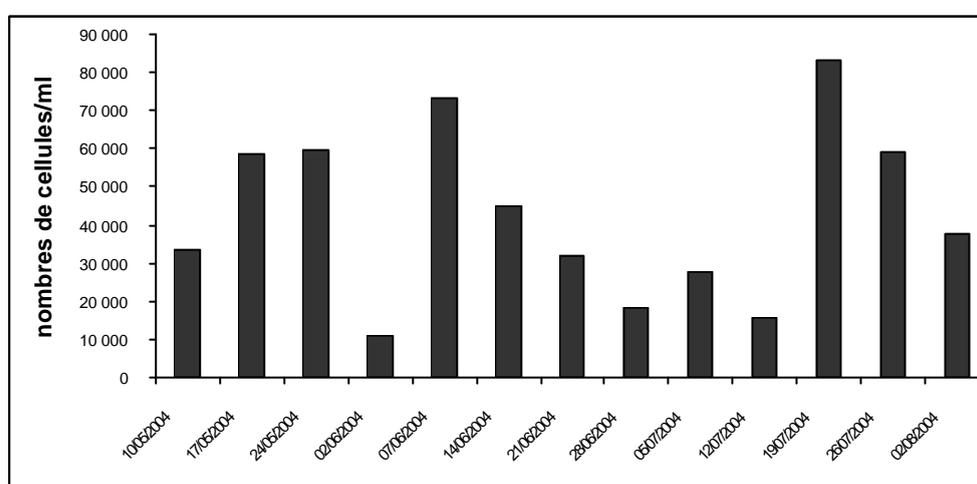


Figure 2 : Evolution du nombre de cellules de cyanobactérie/ ml, sur la rivière sportive

Pour la rivière sportive, il avait été envisagé d'essayer d'évaluer l'impact des turbulences et des turbines sur les cyanobactéries et sur la libéralisation des toxines sur le milieu. Cependant, cela n'a pu être possible en l'absence de microcystines (tous les dosages de microcystines étaient négatifs). En revanche, concernant les cyanobactéries, un suivi microscopique a montré une certaine dénaturation des trichomes (colonies de cyanobactéries) et de filaments, ces derniers sont comme délavés.

3.2.2 Résultats des mesures de chlorophylle

La mesure de la chlorophylle été réalisée sur chaque prélèvement (annexes 6 et 7).

Concernant l'étang d'Apigné, la teneur en chlorophylle a est comprise entre 15 et 30µg/l et situe le plan d'eau en eutrophisation.

Concernant la rivière sportive, le taux de chlorophylle a est, sur toute la période, supérieur à 20 µg/l, dépassant, pour 70% des échantillons prélevés, 50 µg/l ; valeur à partir de laquelle est défini un niveau d'alerte préoccupant par le CHSPF (avis de 4 mai 2003) lorsque les cyanobactéries sont présentes de manière majoritaire et correspondant au dispositif de niveau 3 défini par l'OMS. L'importante teneur en chlorophylle explique en partie la faible transparence de l'eau.

Remarque : on peut constater que les teneurs en chlorophylles mesurées sont toutes supérieures à celles données par l'OMS (20000 cellules de cyanobactéries/ml = 10 µg/l chlorophylle) et ceci en concordance avec l'Etude interrégionale Grand Ouest (2002). Cela est dû au fait que les relations entre la chlorophylle et le nombre de cellules ont été définies de manière théorique à partir de cultures contenant uniquement des cyanobactéries. Les variations observées entre les deux sites sont provoquées par la quantité cellulaire de chlorophylle a qui est fonction des espèces algales présentes dans le milieu. Le biovolume des algues varie de 1 à 6.

3.2.3 Résultats des mesures de la transparence

Concernant l'étang d'Apigné (annexe 7), la transparence moyenne de l'eau est inférieure au niveau impératif exigé par la norme européenne (0,5 en moyenne sur la période d'ouverture de la baignade coïncidant avec la période d'étude contre la valeur minimale de 1 m exigée par la réglementation). Cela est fréquent sur les plans d'eau bretons en raison notamment de la remise en suspension de fines particules limoneuses déposées au fond de l'étang. Cela a d'ailleurs été favorisé par les nombreuses précipitations s'étant abattues sur la Bretagne pendant la période d'étude.

Remarque : la hauteur d'eau de l'étang d'Apigné est comprise entre 1,50 et 1,80 m.

Au niveau de la rivière sportive (annexe 6), la valeur de la transparence n'a pas beaucoup évolué au cours de la période d'étude, elle était de 0,5 ou 0,6m, et ce malgré la mise en évidence de deux proliférations de cyanobactéries.

Remarque : De telles valeurs de transparence posent des problèmes en terme de sécurité.

3.2.4 Résultats des mesures à la sonde à fluorescence

En raison de problèmes logistiques et techniques, la sonde à fluorescence n'a pu être utilisée directement sur le terrain. Quelques mesures de phycocyanine ont été effectuées au laboratoire (5 sur Cesson, et 6 sur Apigné). Le peu de mesures réalisées ne permet pas de conclure.

Toutefois, des mesures réalisées au laboratoire sur plus d'une centaine d'échantillons ont montré une relativement bonne corrélation entre la teneur en phycocyanine et l'abondance en cyanobactéries bien que la teneur en phycocyanine varie d'une espèce à l'autre. (Son utilisation est actuellement en cours de validation).

3.3 Résultats des fiches d'enregistrement

Aucun cas clinique n'a été noté sur les fiches d'enregistrement par les moniteurs ou par les maîtres nageurs.

Cependant, sur la période d'étude, après discussion avec certains pratiquants, il a pu être constaté :

– Sur la rivière sportive sur la Vilaine :

Des inflammations au niveau des voies supérieures (yeux rouges, nez qui coule, boutons,...) chez deux adultes (moniteur de canoë) de nature sensible aux allergies et ce après chaque séance de canoë-kayak coïncidant avec la présence de cyanobactéries dans l'eau. Celles-ci coïncident avec la mise en évidence d'une présence de cyanobactéries par les mesures analytiques ainsi que par l'odeur caractéristique dégagée par ces algues (odeur phénolique).

– Sur l'étang d'Apigné :

Des boutons chez trois jeunes d'une quinzaine d'années après une baignade. Ces manifestations cutanées n'étaient à priori pas les premières. Selon eux, elles sont de courte durée, les boutons disparaissant après une douche. Ces manifestations cliniques coïncident avec la mise en évidence au laboratoire de la présence de cyanobactéries dans l'eau, il se pourrait donc que celles-ci en soient à l'origine. Il est à noter que ces jeunes se baignaient en dehors de la zone d'autorisation de la baignade, au niveau de l'embarcadère des canoë-kayak, juste à l'endroit où une partie des prélèvements est effectuée.

4 DISCUSSION

Avant de discuter des principaux résultats issus de ce travail, il est important de s'interroger sur les limites et les intérêts de la méthodologie suivie pour approcher l'exposition aux cyanobactéries lors d'usages récréatifs.

4.1 Discussion sur la méthodologie

Les résultats obtenus concernant les pratiques exposantes sont le fruit essentiellement de mes observations. Ils revêtent donc une certaine subjectivité. De plus, les observations ne permettent pas toujours de retranscrire le contact réellement engendré par l'activité. Pour pallier à cela, il serait intéressant de consulter tous les pratiquants y compris les encadrants qui ont un comportement différent lié à leurs activités.

Plusieurs paramètres ont été collectés lors des observations. Cependant, certains d'entre eux n'étaient pas faciles à suivre, en raison notamment de l'absence de questionnaires individuels pour recueillir les informations relatives aux pratiquants. C'est le cas essentiellement de la durée et de la fréquence de l'exposition pour la baignade et les activités nautiques réalisées dans le cadre de loisir/location. De plus, celles-ci varient parfois de manière importante sur une journée ou sur le mois. Il en est de même pour l'âge et l'effectif, ce dernier n'est pas toujours facile à approcher surtout lorsqu'il est élevé, comme cela l'était sur Apigné.

Ces paramètres sont en revanche faciles à obtenir lors d'activité encadrée, grâce aux registres des écoles de voile ou de canoë.

Les résultats présentés sont fonction d'un lieu, de sa disposition, de son attractivité, des conditions climatiques... ; il est donc fort probable que ces derniers, notamment ceux concernant les populations exposantes (effectif, fréquence, durée,...) varient de manière importante d'un site d'étude à l'autre. Afin de tester le caractère généralisable de ces résultats, il serait intéressant de réaliser des observations sur d'autres sites proposant les mêmes activités que celles étudiées ici. Il conviendrait également de l'étendre aux autres activités nautiques existantes.

Concernant les niveaux d'exposition, il est difficile de les estimer en raison des limites relatives à la mesure du niveau de contamination. En effet, en l'absence d'un test global de l'ensemble des toxines, seules les hépatotoxines sous la forme des quelques microcystines

dont la LR sont recherchées dans les échantillons. Ce qui se traduisant par une non prise en compte du risque sanitaire potentiel des autres toxines (de type dermatotoxine).

Se pose également la question de la représentativité de l'échantillon, en raison entre autre, des variations spatio-temporelles importantes dont les efflorescences font l'objet. Celle-ci peut être en partie atténuée par la connaissance du plan d'eau, de son historique et de sa courantologie.

Malgré ses limites, la méthodologie suivie permet d'obtenir des résultats qui, pour en avoir discuter avec des usagers, semblent assez réalistes.

Cette étude contribue donc à améliorer la connaissance de l'exposition engendrée par la pratique d'activités récréatives. Cela devrait permettre de mieux appréhender les risques encourus par les usagers par rapport aux cyanobactéries mais également par rapport à toute autre contamination du milieu aquatique. En effet, les résultats obtenus concernant les pratiques exposantes et les voies d'exposition ne sont pas spécifiques aux cyanobactéries mais peuvent être utilisables pour toutes autres sources de polluants.

De plus, elle peut constituer une aide en terme de gestion des plans d'eau, notamment par rapport aux restrictions d'usage. En effet, les résultats obtenus pourraient être utilisés pour affiner les recommandations émises par le CHSPF concernant les restrictions d'usage.

4.2 Discussion des résultats

4.2.1 Discussion sur les pratiques exposantes

A l'issue de cette étude, il est possible de dresser un premier bilan sur l'exposition aux cyanobactéries, en fonction des usages pratiqués sur les deux plans d'eau étudiés. Celui-ci est présenté dans les tableaux 7 et 8 respectivement pour les activités de plaisance et pour la baignade. Il ne tient compte que de l'exposition intrinsèque à l'activité.

Concernant les voies d'exposition, afin de mettre en évidence leur intensité et leur probabilité, le code suivant a été choisi :

Symboles	signification
-	Pas d'exposition par cette voie
+	Voie d'exposition possible
++	Voie d'exposition probable
+++	Voie d'exposition certaine

Concernant les activités de plaisance, l'âge n'est pas spécifié dans le tableau 7 car il n'influe pas sur l'exposition intrinsèque à l'activité. Il faut juste noter qu'un âge minimum est imposé pour des raisons de sécurité, celui-ci est de 7 ans pour la voile et plus de 8 ans pour le canoë-kayak. Seules les voies d'exposition directement liées à l'activité sont exposées, elles ne tiennent donc pas en compte du dessalage.

Concernant la baignade, la fréquence n'a pu être estimée par simple observation, celle-ci étant très variable d'un individu à l'autre.

Tableau 7 : Matrice pratique / exposition pour les activités de plaisance, en dehors du dessalage

Activité	Fréquence (par sem. (sur) la durée des séances selon le cadre de l'activité	Durée (h)	Niveau de pratique	Voie d'exposition		
				Contact Cutané	Ingestion	Inhalation
CK en eau calme						
Randonnée canoë inca	loisir : ponctuelle scolaire : 1/sem/trim stage : 5/sem/sem	1	T	-	-	-
Kayak polo	ponctuelle	1-2	T	+++ Mains, avant-bras	-	-
CK en eau vive						
Descente	scolaire : 1/sem/trim. club : 1 à 3 fois/sem/an stage : 5/sem/sem	1-2	T	+++ Membres supérieurs, visage	+	+
Slalom	club : 1 à 3 fois/sem/an stage : 2/sem/sem	1-2	I, C	+++ Membres supérieurs, visage	+	+
Nage à contre courant	Répétée 1 ou plusieurs fois par séance	< 1/4	I, C	+++ Membres supérieurs, visage	+	+
Esquimautage		10 s	I, C	+++ Membres supérieurs, visage	+	+
Rafting	Loisir : ponctuelle scolaire : 1/sem/trim.	1-2	T	+++ Membres inférieurs et supérieurs, visage	++	+
Voile	Loisir : ponctuelle scolaire : 3/sem/trim. Stage : 1/sem/an	1-4	T	-	-	-
Planche à voile	Loisir : ponctuelle scolaire : 3/sem/trim. Stage : 1/sem/an	1-4	T	+++ Membres inférieurs	+	+
moniteurs						
voile	quotidienne	4-6	C	+ mains	-	-
Canoë-kayak	quotidienne	3-5	C	+++ Membres supérieurs, visage	+	+

Niveau : T = tout ; C = confirmé ; I = intermédiaire ; D = débutant

Tableau 8 : Tableau pratique / exposition pour la baignade

Activité	Population concernée		Voie d'exposition		
	Age	Durée du contact à l'eau sur une durée de 5-7h	Contact Cutané	Ingestion	Inhalation
Pataugeage ou barbotage	< 4-5 ans	3-4 (> ¾ du temps passé à la plage)	Membres inférieurs, mains, avant-bras	Mains/bouche	Mains/nez
« Nageoter »	< 4-5 ans	1-2	Immersion totale du corps, visage		
Nage	5-10 ans	1-2	Immersion totale du corps, visage (les ¾ du temps)	++	+
	10-15 ans	1-2	Immersion totale du corps, visage (les ¾ du temps)	++	+
	15-20 ans	1/2-2	Immersion totale du corps, visage (les ¾ du temps)	++	+
	> 21 ans	< 1	Immersion totale du corps, visage (rare)	++	+
Marche dans l'eau	15-20 ans ; > 21 ans	< 1	Membres inférieurs	-	-
sauter dans l'eau, s'asperger	<4-5 ans	Ponctuelle (>1/4 h)	Membres inférieurs et supérieurs	-	-
	10-15 ans ; 15-20 ans		Membres supérieurs, visage	-	-
se couler	10-15 ans ; 15-20 ans	Ponctuelle (>1h)	Immersion totale du corps, visage	++	+
Jeux avec support gonflable	5-10 ans	1-3	Immersion totale du corps, visage	++	++
Autres jeux (ballons)	5-10 ans ; 10-15 ans ; 15-20 ans	1-3	Membres inférieurs	-	-
nage avec palmes	> 21 ans	1/2-1	Visage Tout le corps (si combinaison « humide »)	++	+
Maître nageur		0 (sauf en cas de problème style noyade)	-	-	-

La voie principale d'exposition engendrée par la pratique de la baignade comme des activités de plaisance est le contact cutané. Celle-ci est en effet commune à la plupart des activités et concerne tous les pratiquants quels que soient leur âge et leur niveau de pratique. A celle-ci peut être ajoutée l'ingestion, qui est favorisée par des usages impliquant l'immersion de la tête ou du visage (activités d'eau vive, nages coulées, les jeux de coulage,...). L'inhalation est également une voie possible d'exposition, notamment lors de la pratique d'activité engendrant des nébulisations et des aérosols (navigation à contre courant) ou lors de l'immersion de la tête s'accompagnant d'une fausse route.

Parmi celles observées, **les pratiques les plus exposantes** et quel que soit le niveau des pratiquants, sont :

- La planche à voile, celle-ci engendre une exposition importante à l'eau, aussi cutanée qu'orale et respiratoire, en raison des nombreux dessalages.
- Les activités d'eaux vives avec en priorité la pratique de l'airboat, de l'hot-dog et du raft.
- Les formes de baignade s'accompagnant de l'immersion du visage et de la tête. Ces dernières engendrent en effet un contact généralisé impliquant contact cutané et ingestion. L'inhalation est également possible.

Parmi les différentes activités observées, deux n'engendrent aucune exposition à l'eau en dehors du dessalage, dont la probabilité est par ailleurs très faible : ce sont la voile sur optimiste et topper et la randonnée en canoë inca sur eau calme.

La planche à voile semble être une activité toute aussi exposante, peut être même plus, que la baignade, en raison de l'importante fréquence du dessalage et du comportement des baigneurs de plus de 7 ans. Il en est de même pour le rafting en eau vive. Les pratiquants de ces activités nautiques sont, en effet, soumis à une plus forte probabilité de « boire la tasse », l'immersion de la tête étant, contrairement à la baignade, le plus souvent inattendue.

De plus, lors de la pratique d'activité nautique, le contact cutané est généralement prolongé par le port de combinaison ou de vêtements mouillés.

L'intensité de l'exposition est influencée par un grand nombre de facteurs parfois externes à l'activité tels que les conditions climatiques et le comportement de chaque pratiquant. Elle diffère également en fonction du cadre dans lequel l'activité est réalisée : l'exposition est généralement plus forte au cours d'une activité non encadrée, en raison du comportement différent des usagers.

Parmi celles suivies, **les populations les plus exposées** sont :

- Les enfants de moins de 10 ans en raison de leur comportement. Ce sont ceux qui passent le plus de temps en contact avec l'eau et qui présentent la plus grande probabilité d'ingérer accidentellement de l'eau. De plus, ils sont les plus à même d'être en contact avec de grandes quantités de cyanobactéries car ils jouent le plus souvent dans les zones peu profondes favorables à l'accumulation des cyanobactéries.
- Les pratiquants qui ont une fréquence quasi journalière dans l'eau toute l'année à savoir les sportifs de haut niveau et les encadrants de canoë-kayak. Pour ces derniers et au regard de ceux de la rivière sportive, les symptômes corporels indésirables sont récurrents et persistent généralement pendant toute la période de présence des cyanobactéries, étant sujets éventuellement à des arrêts maladies. Ils pourraient faire l'objet d'une déclaration dans le cadre des maladies professionnelles.

4.2.2 Discussion sur le niveau d'exposition

Les efflorescences sont des phénomènes évolutifs, très dynamiques, qui apparaissent de manière stochastique sur une période généralement bien définie dans l'année, de mai à octobre. De plus, influencées par de nombreux paramètres, les conditions de développement sont encore mal définies. Il n'est donc pas forcément facile de prédire leur apparition. Il arrive d'ailleurs parfois que les efflorescences se produisent entre deux prélèvements et passent donc analytiquement inaperçue. D'où l'importance de réaliser un suivi visuel quotidien du plan d'eau (c'est d'ailleurs cette surveillance visuelle qui a permis, au niveau de l'étang d'Apigné, la mise en évidence de l'accumulation de cyanobactérie) et, d'utiliser d'autres paramètres ou outils, comme la sonde à fluorescence, pour compléter cette surveillance. Ces moyens, mise à la disposition des services de santé et des gestionnaires des plans d'eau, permettraient une plus grande réactivité.

La transparence est un paramètre relativement facile à mesurer au quotidien mais qui n'est pas révélateur d'une prolifération de cyanobactéries. En effet, dans le cadre de cette étude, le suivi de la transparence n'a pas permis de mettre en évidence les proliférations de cyanobactéries, aucune variation significative des valeurs n'ayant été observée. Les mesures ont très certainement été perturbées par les importantes et fréquentes précipitations ayant eu lieu pendant la période d'étude.

La chlorophylle-a est relativement bien corrélée avec l'abondance des microalgues, cependant, elle n'est pas uniquement représentative des cyanobactéries car d'autres algues en produisent. De plus, la quantité cellulaire varie d'une espèce à l'autre. Néanmoins, un

niveau fort de chlorophylle est corrélé de façon significative avec une forte présence de cyanobactéries (Etude Interrégionale du Grand Ouest – 2004)

Ces deux paramètres, facilement accessibles, constituent une aide pour le suivi d'un même site.

D'autres paramètres indicateurs de la prolifération de cyanobactéries existent, tels que la concentration en azote et phosphore total (facteur limitant pour les algues). Cependant, dans les plans d'eau de nos régions, les concentrations en phosphore sont tellement élevées que la corrélation entre les quantités d'algues et le phosphore est non significative (Etude Interrégionale du Grand Ouest – 2004.)

En terme d'exposition, il serait intéressant d'exploiter l'expression des résultats et notamment, de connaître la pertinence de la détermination jusqu'à l'espèce, de la représentation des cyanobactéries dans la masse globale des algues et du comptage du nombre de cellules. Pour ce dernier paramètre, la notion de biovolume permettrait de diminuer l'impact des petites cellules sachant qu'un rapport de 6 existe entre les différentes espèces. Ce paramètre est d'ailleurs utilisé en Allemagne ou encore au Québec.

Outre son intérêt scientifique, la sonde à fluorescence apparaît comme une aide précieuse en terme de gestion et de surveillance des plans d'eau soumis aux cyanobactéries, en raison notamment de la réactivité qu'elle permet. En effet, son utilisation *in situ* engendrerait un gain de temps considérable : quelques minutes contre 2 à 3 jours de temps d'attente par les méthodes classiques de mesures (comprenant transport et analyses au laboratoire). De plus, elle rend possible un suivi spatial et temporel des proliférations sur le plan d'eau. Et elle est facilement accessible par les acteurs du terrain.

Il convient maintenant de valider son utilisation et de dresser pour une même espèce, des « abaques » représentant le nombre de cellules de cyanobactéries en fonction des teneurs en phycocyanine, puisque cette dernière varie comme tout pigment d'une espèce à l'autre. (Etude en cours)

Remarques : Il est possible que le niveau d'exposition soit plus élevé au niveau d'une rivière sportive en raison de la turbulence engendrée par les turbines provoquant la lyse des cellules et de la circulation en circuit fermée.

4.2.3 Discussion sur les résultats concernant les fiches d'enregistrement des éventuelles pathologies

Les manifestations cliniques rassemblées lors des observations, ont été rapportées lors de proliférations de cyanobactéries, chez des personnes en contact fréquent et régulier avec ces algues (certains encadrants d'activités nautiques), ainsi que chez des individus (jeunes de 15-20 ans), qui, par leur usages, ont un contact important avec l'eau.

Les symptômes attribués aux cyanobactéries semblent donc être fonction de la durée et du niveau de contamination, ce qui est cohérent avec l'étude de Pilotto (1997).

De plus, les personnes sensibles aux allergies et sujets aux crises d'asthme constituent une population fragile. Certains réagissent en effet quasi-instantanément à la présence de cyanobactérie, même à des niveaux faibles, par des inflammations des voies supérieures ou irruptions cutanées (elles peuvent même servir, pourquoi pas des sentinelles). Ceci est en accord avec certaines études comme celles de Mittal (1979).

CONCLUSION

Ce mémoire constitue une première approche sur l'exposition aux cyanobactéries engendrée par la pratique d'activités récréatives aquatiques comprenant baignade, voile, planche à voile, canoë-kayak en eau vive et en eau calme et rafting.

Il contribue à améliorer les connaissances sur les contacts de type récréatif et constitue ainsi une aide pour les gestionnaires des plans d'eau et les structures d'activités nautiques. Les résultats obtenus permettent d'affiner et d'adapter les recommandations émises par le CHSPF, en fonction des usages du plan d'eau considéré (tableau 9). Ils s'en dégagent des propositions de limitations des activités aquatiques dans l'état d'esprit du principe de précaution.

Tableau 9 : Propositions de limitation des activités aquatiques en présence des cyanobactéries

Canoë-kayak (CK) en eau calme	La pratique du canoë-kayak <i>en eau calme</i> est : <ul style="list-style-type: none">– autorisée dans le cadre de randonnées en canoë <i>inca</i>, et ce quels que soient le niveau et l'âge des pratiquants– autorisée sur les embarcations « classiques » pour les initiés. <i>Le kayak polo est déconseillé.</i>
Canoë-kayak en eau vive	<i>En eau vive</i> , le canoë-kayak est à limiter aux pratiquants en club lorsqu'ils sont munis d'un équipement complet (<i>combinaison étanche, jupe, voire lunettes</i>).
Exercices techniques en CK	<i>Interdire l'esquimautage et la nage à contre courant.</i>
Rafting	<i>Le raft et ses dérivés (airboat et hot-dog) sont à interdire pour tous.</i>
Voile	La pratique de la voile est : <ul style="list-style-type: none">– possible sur optimiste <i>quel que soit le niveau</i>– déconseillée sur dériveur instable (topper) pour les débutants– déconseillée lorsque les conditions climatiques sont défavorables (vent fort)
Planche à voile	<i>Interdire pour tous</i>
Baignade	La baignade est interdite pour tous.

En italique apparaissent les différences par rapport aux limitations d'usages émises par le CHSPF

Les mesures de gestion préconisées dans le tableau 9 ne tiennent pas compte du niveau d'exposition. Il est en effet difficile d'accéder à celui-ci en raison de contraintes

techniques qui ne permettent pas de mesurer le niveau réel de contamination de l'eau par les cyanobactéries. Pour le connaître, il serait nécessaire d'avoir un test global de toxicité ou de réaliser les analyses systématiques des différents groupes de cyanotoxines (neurotoxines, hépatotoxines, dermatotoxines et plus particulièrement les cyanopeptides).

Autres dispositions :

Pour les pratiques autorisées, il est important d'informer les usagers sur les risques qu'ils encourent et sur la conduite à tenir.

Les activités encadrées doivent être adaptées de manière à limiter au maximum le contact direct à l'eau ; les moniteurs doivent également veiller à ce que les usagers n'adoptent pas de comportement exposant comme, par exemple, les jeux d'eau.

Dans le cadre des activités en club en raison de la fréquence il est préférable de trouver un autre lieu d'entraînement

Quelques recommandations pratiques peuvent être données comme prendre une douche après l'activité surtout s'il y a un contact avec l'eau, rincer tout le matériel (gilet de sauvetage, pagaies, embarcation).

En terme de gestion, l'utilisation d'outils de mesure *in situ*, à disposition des acteurs du terrain, amènerait à une plus grande réactivité en cas de prolifération.

Concernant cette étude, il serait intéressant :

- De valider et d'affiner la méthodologie utilisée ;
- D'étendre cette étude aux autres activités de loisirs nautiques existantes ;
- De réaliser un suivi des pathologies attribuées aux cyanobactéries comprenant les effets cutanés, gastro-intestinaux ainsi que ceux sur d'autres organes tel que le foie (proposer des investigations plus poussées auprès des usagers fréquemment en contact avec les cyanobactéries et présentant des symptômes irritants récurrents) ;
 - De poursuivre les études sur la sonde à efflorescence de manière à valider son utilisation ;
 - De s'interroger sur les paramètres à suivre pour approcher le niveau d'exposition.

Bibliographie

Périodiques :

- 1 BILLINGS W.H. Water-associated human illness in Northeast Pennsylvania and its suspected association with blue-green algae blooms, *The Water Environment*, 1981, pp. 243-255.
- 2 CHORUS I., BARTRAM J. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*, published on the behalf of the World Health Organization, London, Spon/Chapman&Hall, 1999, 416 p.
- 3 CHORUS I., *Cyanotoxins: occurrence, causes, consequences*. Berlin: Springer, 2001. 357p.
- 4 CODD G.A., BELL S.G., BROOKS W.P. Cyanobacterial toxins in water, *Water Science and Technology*, 1989, n° 21, pp. 1–13.
- 5 CODD G.A., BELL S.G., KAYA K., WARD C.J., BEATTI K.A., METCALF J.S, Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health, *Eur.J.Phycol.*, 1999, n°34, pp. 405-415.
- 6 CARMICHAEL W.W., Cyanobacteria secondary metabolites – the cyanotoxines, *Journal of Applied Bacteriology*, 1992, n°72, pp. 445-459.
- 7 DUY T.N., LAM P.K.S, SHAW G.R., CONNELL D.W., Toxicology and risk assessment of freshwater Cyanobacterial (Blue-green algal) toxins in water, *rev Environ Contam Toxicol*, 2000, n°163, pp. 113-186.
- 8 FALCONER I.R. An overview of problem caused by toxic blue-green algae (cyanobacteria) in drinking water and recreational water, 1999 by John Wiley & Sons,Inc.
- 9 FRANCIS G. Poisonous Australian Lake, *Nature*, 1878, n°18, pp 11-12.
- 10 HAIDER S., NAITHANI V., VISWANATHAN P.N., KAKKAR P., Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern, *Chemosphere*, 2003, n°52, pp. 1-21.
- 11 HUNTER P.R., Cyanobacterial toxins and human health, *Journal of Applied Microbiology*, 1998, n°84, pp. 35S-40S.
- 12 LIPPY E.C., ERB J. Gastrointestinal illness at Sewickley, *J. Am. Water Works Assoc.*, 1976, n°68, pp.606-610.
- 13 MITTAL A., AGARWAL M.K, SHIVPURI D.N., Respiratory allergy to algae: clinical aspect, *Annals of Allergy*, 1979, n°42, pp. 253-256.
- 14 PILOTTO L.S. Acute skin irritant effects of Cyanobacteria (blue-green algae) in healthy volunteers, *Australian and New Zealand Journal of Public health*, 2004, vol. 28, n°3, 220-224.

- 15 PILOTTO L.S., DOUGLAS R.M. Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities, *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 1997, vol.21, n°6, pp.562-566.
- 16 RAZIUDDIN S., SIEGELMAN H.W., TORNABENE T.G., Lipopolysaccharides of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Eur. J. Biochem.*, 1983, vol 137, pp.333-336.
- 17 SIVONEN K., Cyanobacterial toxins and toxin production, *Phycologia*, 1996, vol.35 (6 supplement).
- 18 SCHWIMMER M. and SCHWIMMER D., (1968) Medical aspects of phycology. In: Jackson DF, ed. *Algae, man and the environment*. Syracuse, NY, Syracuse University Press, pp. 279–358.
- 19 THEBAULT L., LESNE J. Les toxines des cyanobactéries : quels risques pour la santé?, *TSM*, n° 12, décembre 1995.
- 20 THEBAULT L., LESNE J., BOUTIN J.P., Les cyanobactéries, leurs toxines et les risques pour la santé, *Med. Trop.* 1995, n°55, pp.375-380.
- 21 TOROKNE A., PALOVICS A., BANKINE M., HUMPAGE A.R., Allergenic (sensitization, skin and eye irritation) effects of freshwater cyanobacteria_experimental evidence, *Environmental toxicology*, 2001, vol.16, n°6, pp. 512-516.
- 22 VEZIE C., BERTRU L., BRIENT L., LEFEUVRE J.C. Bloom de cyanobactéries hépatotoxiques dans l'Ouest de la France, 1997, *TSM*, n°10, pp. 401-413.
- 23 VEZIE C., BRIENT L., SIVONEN K. et al., Occurrence of microcystin-containing Cyanobacterial blooms in freshwaters of Brittany (France), *Arch. Hydrobiol.*, 1997, vol. 139, n°3, pp. 401-413.

Autres :

- 24 HELUWAERT A. faut-il avoir peur des cyanobactéries?, cyanobactéries et canoë-kayak, santé et environnement, 2004.
- 25 Inf'ODE n°28, prolifération des cyanobactéries dans les eaux intérieures et conséquences sur les eaux de baignade et de consommation, bulletin d'information de l'Observatoire Départemental de l'Environnement, Côtes d'Armor, octobre 2003.
- 26 Étude interrégionale Grand Ouest sur les cyanobactéries en eau douce, avril 2004.
- 27 Guides des toxines paralysantes, IFREMER, mai 2003.
(<http://www.ifremer.fr/envlit/documentation/documents.htm#1>)

Sites Internet visités:

- 28 Site concernant la qualité des eaux de baignades :
[I-Sise-baignade \(http://baignades.sante.gouv.fr\)](http://baignades.sante.gouv.fr)
- 29 Qualité des eaux de loisirs et algues microscopiques :

<http://bretagne.sante.gouv.fr>

<http://www.pays-de-la-loire.sante.gouv.fr>

30 OMS, World Water Day 2001: Toxines cyanobactériennes :

<http://www.worldwaterday.org/2001/lqfr/disease/cyano.html>

31 OMS, World Water Day 2001: Water for positive health, Swimming and other recreational contact with water :

http://www.who.int/water_sanitation_health/positivehealth/en/index1.html

32 Maladies humaines en eau douce :

www.pasteur.fr/actu/presse/documentation/lepto.html

www.reseau-chu.org

33 glossaire sur l'eau : www.menv.gouv.qc.ca (www.menv.gouv.qc.ca/eau/sys-image/contenu1.htm)

Réglementation :

34 Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France : recommandations pour la gestion des situations de contamination d'eaux de baignades et de zones de loisirs nautiques par prolifération de cyanobactéries, 6 mai 2003.

35 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 micro algues (cyanobactéries) dans les eaux de zones de baignades et de loisirs nautiques.

36 DGS, Dossier de presse, qualité des eaux de baignade, 28 mai 2004, chap. 9 et 10.
www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/baign02/dp_2004.pdf

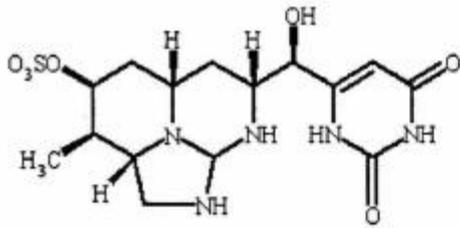
37 Directive sur la sécurité des eaux de baignade – Volume 1 : eaux côtières et eaux douces, Organisation Mondiale de la Santé, 2004.

38 Proposition de directive 2002/0254 (COD) du Parlement Européen et du Conseil du 24 octobre 2002, concernant la qualité des eaux de baignade. (COM(2002) 581 final).

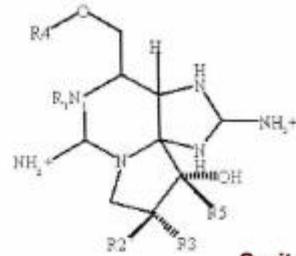
Liste des annexes

Annexe 1 : Structure chimique des principales cyanotoxines	II
Annexe 2 : Niveaux d'alerte définis par l'OMS	III
Annexe 3 : Niveau et dispositif de suivi définis par le CSHPF	V
Annexe 4 : Fiche de recueil des données récoltées lors des observations	VII
Annexe 5 : Fiche d'enregistrement des problèmes de santé suite à un contact avec l'eau	VIII
Annexe 6 : Résultats des analyses menées sur la rivière sportive	IX
Annexe 7 : Résultats des analyses menées sur l'étang d'Apigné	X
Annexe 8 : pour en savoir plus sur les cyanobactéries	XI

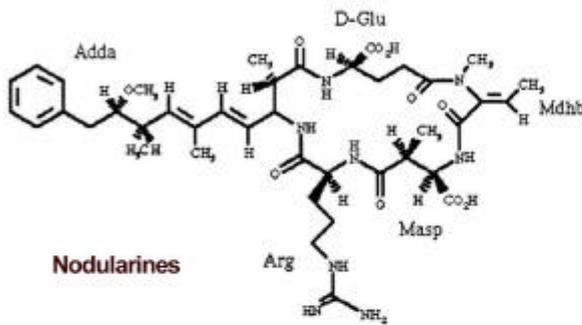
Annexe 1 : Structure chimique des principales cyanotoxines



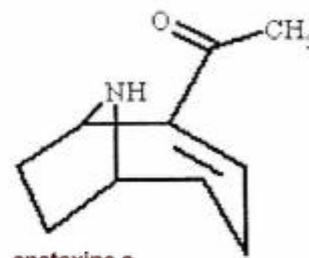
Cylindrospermopsine



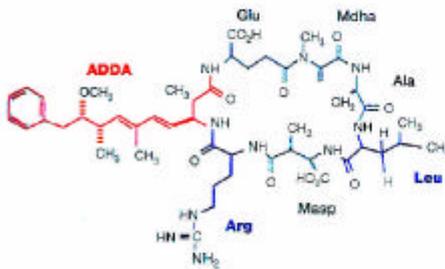
Saxitoxines



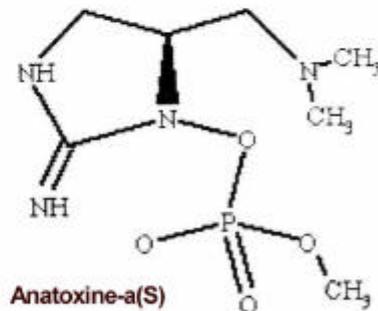
Nodularines



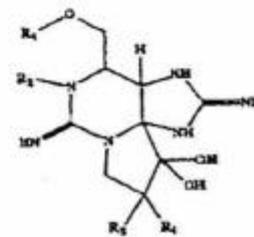
anatoxine a



Microcystine LR



Anatoxine-a(S)



PSP

Annexe 2 : Niveaux d'alerte définis par l'OMS

En l'absence de normes sanitaires françaises ou européennes spécifiques aux cyanobactéries, dans les eaux de baignades et de loisir nautique, (avant l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France), les critères de qualité élaborés par l'OMS faisaient office de référence. Ils sont basés sur le dénombrement des cellules cyanobactériennes par millilitre d'eau ou sur le taux de chlorophylle *a* par litre d'eau. Trois séries de seuils ont ainsi été définies selon le niveau de risque d'atteinte à la santé et selon la sévérité de la situation (OMS, 1998) :

- Niveau I : faible probabilité d'effets à la santé ou effets relativement mineurs
- Niveau II : probabilité modérée d'effets sur la santé
- Niveau III : probabilité élevée d'effets sur la santé.

Ils ont d'ailleurs été repris dans le volume 1 des directives pour la sécurité des eaux de baignade, dans lequel, l'état actuel des connaissances sur les risques pour la santé que présentent les loisirs nautiques est décrit (OMS, 2004).

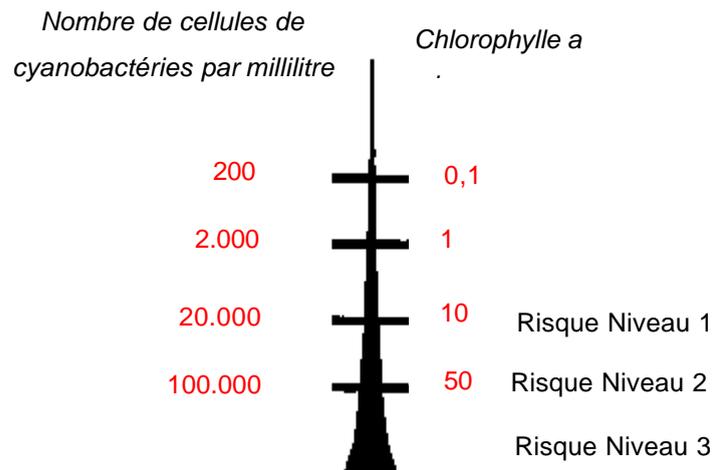
Les trois niveaux de seuil définis par l'OMS sont les suivants :

Niveau	Nombre de cellules par millilitre	Taux de chlorophylle (µg/l)	Risques pour la santé	Actions recommandées
I	20 000	10	<u>Court terme</u> : Irritations cutanées, gastro-entérites	Surveillance visuelle, Limitation de la baignade, information des autorités sanitaires, Information du public
II	100 000	50	<u>Court terme</u> : Irritations cutanées, gastro-entérites <u>Long terme</u> : développement de maladies	
III	Présence d'écume	> 50	<u>Court terme</u> : Irritations cutanées, gastro-entérites <u>Long terme</u> : développement de maladies, intoxications	Surveillance visuelle, Limitation voire interdiction de la baignade et des activités conduisant à un contact avec l'eau, information des autorités sanitaires et du public Mise en place d'un système de surveillance

Remarque : le niveau I a été défini dans le but de protéger les usagers contre les troubles qui ne sont pas dus aux cyanotoxines mais à l'action irritante ou allergisante d'autres constituants cyanobactériens

Cyanobactéries dans l'eau de baignade et niveaux d'alerte

(Source : OMS : Chorus et al., 1999)



Annexe 3 : Niveau et dispositif de suivi définis par le CSHPF
(Source : avis du 6 mai 2003)

Le dispositif de **Niveau 1** est déclenché si les cyanobactéries sont présentes de manière majoritaire. Il consiste en une identification des espèces et un comptage cellulaire :

Comptage inférieur à 20 000 cellules/ml (+/- 20%)	
Actions recommandées en terme de gestion	Maintien d'une activité normale Information du public et des usagers par la pose de panneaux au niveau des zones concernées. (à adapter selon les variabilités géographiques de l'efflorescence)
Actions recommandées en terme de surveillance	Surveillance visuelle quotidienne Fréquence d'échantillonnage : bimensuel (Comptage cellulaire et identification des espèces de cyanobactéries)
Comptage compris entre 20 000 et 100 000 cellules/ml (+/- 20%)	
Actions recommandées en terme de gestion	Maintien d'une activité normale, Information du public et des usagers par la pose de panneaux au niveau des zones concernées.
Actions recommandées en terme de surveillance	Surveillance visuelle renforcée quotidienne Fréquence d'échantillonnage : hebdomadaire (Comptage cellulaire et identification des espèces)

Le dispositif de **Niveau 2** est déclenché si le comptage est supérieur à 100 000 cellules/ml (+/-10%) et si les cyanobactéries sont en population majoritaire. Il comprend une recherche et une quantification des toxines. Selon le taux de microcystine deux situations sont envisagées :

Taux de microcystine < 25 µg/l en équivalent microcystine LR	
Actions recommandées en terme de gestion	Limitation de la baignade, Information du public (panneaux au niveau des zones concernées)
Actions recommandées en terme de surveillance	Surveillance visuelle renforcée Fréquence d'échantillonnage : hebdomadaire (dénombrement cellulaire*)

Taux de microcystine > 25 µg/l en équivalent microcystine LR	
Actions recommandées en terme de gestion	Interdiction de la baignade, <i>Limitation d'usages pour les loisirs nautiques</i> Information du public (panneaux au niveau des zones concernées)
Actions recommandées en terme de surveillance	Surveillance visuelle renforcée Fréquence d'échantillonnage : hebdomadaire (dénombrement cellulaire*)

(*dénombrement cellulaire, si ce dernier est supérieur à 100 000 cellules/ml alors mesure de concentration de toxines).

Le dispositif de **Niveau 3** est déclenché lorsque la formation de mousse ou d'écume est mise en évidence sur une aire de la zone de la surveillance :

NIVEAU 3 : formation de mousse ou d'écume	
Actions recommandées en terme de gestion	interdiction de la baignade et de toutes activités conduisant un contact avec l'eau, dans les zones concernées. Information du public (pose de panneaux au niveau des zones concernées)
Actions recommandées en terme de surveillance	Surveillance visuelle, Suivi de l'évolution et de la localisation des mousses et écumes Fréquence d'échantillonnage : hebdomadaire (dénombrement cellulaire et identification) bimensuel (teneur en toxines)

Annexe 4 : Fiche de recueil des données récoltées lors des observations

Lieu :		Date :	
Nom du groupe :		N° observation :	
Population			
	pratiquants		encadrants
Club/fédération			
Niveau			
Nombre/Age			
Activité			
	pratiquants		encadrants
nature			
Encadrée ?			
Durée			
Fréquence	/ semaine : /année :		
Nature du contact à l'eau			
Immersion	Totale – partielle Membres immergés		
Tenue portée			
Remarques			
	pratiquants		encadrants
Conditions climatiques :			

Annexe 5 : Fiche d'enregistrement des problèmes de santé suite à un contact avec l'eau

Date de la déclaration	Personne concernée			Activité pratiquée			symptômes		remarques
	Age	Sexe	Sensible aux allergies	Nature de l'activité	conditions de contact à l'eau (immersion)	Date de l'activité	Date de survenue	Nature des symptômes	

Listes des symptômes :

1. Irritation oculaire (conjonctivite) ;
2. Problèmes respiratoires ;
3. Inflammation des voies supérieures (gorge, nez) ;
4. Problèmes gastro-intestinaux (Vomissements, Douleur abdominale, ...) ;
5. Nausées ;
6. Problèmes cutanés (dermatose, irritation, picotement,...) ;
7. Autres (à préciser).

Annexe 6 : Résultats des analyses menées sur la rivière sportive

dates	Nbr de cyanobactéries/ml	% de cyanobactéries	Microcystines (µg/l LR)	Chlorophylle a (µg/l)	Fluorescence Phycocyanine (µg/l)	Transparence (m)	Dispositif de niveau
10/05/2004	14 072	41		54,64			
17/05/2004	12 701	21		136,35			
24/05/2004	20 560	34	ND	63,64			1
02/06/2004	1 728	16		31,79			
07/06/2004	47 176	64	ND	69,03			1
14/06/2004	32 910	73	ND	51,88		50	1
21/06/2004	23 680	74	ND	49,72		50	1
28/06/2004	6 833	37		58,14		60	
05/07/2004	7 479	27		61,5	10,06	50	
12/07/2004	4 850	30		22,24	3	60	
19/07/2004	79 235	95	ND	65,27	25	60	1
26/07/2004	54 336	91	ND	57,78	13,6	50	1
02/08/2004	27 184	71	ND	53,09	15	50	1

Annexe 7 : Résultats des analyses menées sur l'étang d'Apigné

dates	Nbr de cyanobactéries/ml	% de cyanobactéries	Microcystines (µg/l LR)	Chlorophylle a (µg/l)	Fluorescence Phycocyanine (µg/l)	Transparence (m)	Dispositif de niveau
7/05/2004	67	0		30,02		45	
17/05/2004	2 420	1		13,03		40	
24/05/2004	10 546	5		20,24		40	
02/06/2004	140	0		26,45		35	
07/06/2004	440	0		14,86		35	
14/06/2004	2 054	1		17,61		30	
21/06/2004	226	0		19,38		40	
28/06/2004	2 835	3		16,44		60	
05/07/2004	54 933	66	ND		31,01		1
12/07/2004	46 733	75	ND	25,15	35		1
13/07/2004	68 710		ND		40		1
13/07/2004	accumulation		ND				3
19/07/2004	2 746	12		15,68	17		
26/07/2004	190	1		25,7	4,8		
02/08/2004	1 185	18		11,6	22		

Annexe 8 : pour en savoir plus sur les cyanobactéries

- BLAIS S., la problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie de Missiquoi en 2001, *Agrosol*, 2002, **13 (2)** : 103-105.
- BOUAICHA N., risques pour la santé publique associés aux cyanotoxines an milieu d'eau douce, *TSM n°9*, septembre 2001.
- BURKE W.A and TESTER P.A, Skin problems related to non-infectious coastal microorganisms, *Dermatologic Therapy*, 2002, **15**: 10-17.
- CARMICHAEL W.W., Chemical and Toxicological studies of the Toxic Freshwater Cyanobacteria *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* and *Aphanizomenon flos-aquae*, *South African Journal of Science*, 1982, vol. **78**, 367-372.
- CARMICHAEL W.W., JONES C.L.A., MAHMOOD N.A., THEISS W.C., Algal toxins and water-based diseases, vol 15, issue 3, 275-313.
- FEUILLADE J., les toxines de cyanobactéries : revue de synthèse, *Revue des Sciences de l'Eau*, 1992, **5** : 489-508.
- FALCONNER I.R., Tumor promotion and liver injury caused by oral consumption of Cyanobacteria, *Environmental toxicology and water quality*, 1991, n°6, pp. 177-184.
- GORHAM P.R and CARMICHAEL W.W., Hazards of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria), In: Lembi CA, Waaland JR, ed. *Algae and human affairs*. New York, NY, Cambridge University Press, pp. 404–431.
- Colloque médico-sportif, 2002, HELUWAERT A., Le risque sanitaire lié à l'environnement dans la pratique du canoë ou du kayak en Communauté européenne : aspects microbiologiques.
- JOCHIMEN E.M et al., Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil, *The new England journal of medicine*, col.338, n°13, 1998.
- MARTIN C., CODD G.A., SIEGELMAN H.W., WECKESSER J., Lipopolysaccharides and polysaccharides of the cell envelope of toxic *Microcystis Aeruginosa* strains, *Arch Microbiol*, 1989, n°152, pp. 90-94.
- METCALF J.S and CODD G.A., Cyanobacterial toxins in the water environment, A review of Current Knowledge, Foundation for Water Research, University of Dundee, février 2004.
- TANDEAU DE MARSAC N., état des connaissances sur les cyanobactéries toxiques et leurs nuisances, *TSM n°9*, septembre 2001.
- Ueno, Y., Nagata, S., Tsutsumi, T., Hasegawa, A., et al. (1996). Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen

- and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. *Carcinogenesis*, 17(6): 1317–1321.
- Yu, S.-Z. (1989). Drinking water and primary liver cancer. Dans : Primary liver cancer. Z.-Y. Tang, M.-C. Wu and S.-S. Xia (eds.). Springer-Verlag, New York, NY. pp. 30–37.
 - Lettres du pôle Santé-environnement, dossier spécial Eau & Santé, n°10, p 8-10, janvier-février 2002.

Sites Internet :

- Les algues bleues (cyanobactéries) et leurs toxines, site Santé Canada, dernière modification juin 2003 :
http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/eau/feuillet/algues_bleues.htm
- CHEVALIER P., Les cyanobactéries toxiques et les microcystines : www.cegep-st-laurent.qc.ca/depar/assain/LES%20CYANOBACTÉRIES%20TOXIQUES%20ET%20LES%20MICROCYSTINES.pdf
- direction de l'environnement et de l'aménagement littoral, Guide pour les toxines paralysantes (PSP), mai 2003, IFREMER.
<http://www.ifremer.fr/envlit/documentation/documents.htm#1>
- OMS, World Water Day 2001, Toxines cyanobactériennes :
<http://www.worldwaterday.org/2001/lqfr/disease/cyano.html>
- Projet SACYTOX : <http://www.sacytox.org>
- Pr B. Boris VARGAFTIG, Rapport d'activité de l'unité Pharmacologie Cellulaire, Institut Pasteur. www.pasteur.fr/recherche/RAR/RAR1998/Phacell.html
- "[Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management](#)" (CHORUS, BARTRAM, WHO 1999)
- OMS, World Water Day 2001: Water for positive health, Swimming and other recreational contact with water :
http://www.who.int/water_sanitation_health/positivehealth/en/index1.html
- [Site Internet du Syndicat Mixte EDEN](#) (cliquez sur Environnement, puis Cyanobactéries)

Site concernant la qualité des eaux de baignades :

<http://baignades.sante.gouv.fr>

<http://bretagne.sante.gouv.fr><http://www.pays-de-la-loire.sante.gouv.fr>

La réglementation

- Circulaire DGS/VS 4 n° 99-395 du 6 juillet 1999 relative à la participation des services santé environnement au programme EFFLOCYA relatif au recensement des efflorescences d'algues
- 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 (directive cadre sur l'eau)
- Cyanobacteria in Recreational and Drinking Waters, Environmental health Assessment Guidelines, Queensland Government, août 2001.
- Les toxines cyanobactériennes — Les microcystines-LR, recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, mai 2002.
- Circulaire DGS/SD7A n° 2002-335 du 7 juin 2002, relative à la campagne 2002 de contrôle sanitaire de la qualité des eaux de baignade (chap II.3 conduite à tenir en présence de micro-algues (cyanobactéries)), modifiée par la circulaire DGS 7a n° 2033-270.
- Directive sur la sécurité des eaux de baignade – Volume 1 : eaux côtières et eaux douces, Organisation Mondiale de la Santé, 2004.

Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles (transposition en droit français de la directive européenne 98-83/CE).