
TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| 1 Introduction | 7 |
| 1.1 Contexte | 7 |
| 1.2 Localisation | 8 |
| 1.3 Rappel des principales conclusions de la phase 2..... | 12 |
| 2 Modélisation..... | 17 |
| 2.1 Description du modèle | 17 |
| 2.1.1 Logiciel de modélisation | 17 |
| 2.1.2 Construction du modèle | 18 |
| 2.2 Protocole de modélisation et scénarios..... | 19 |
| 2.2.1 Conditions de rejets..... | 19 |
| 2.2.2 Conditions de vent et de stratification..... | 20 |
| 2.3 Présentation des résultats..... | 22 |
| 2.3.1 Scénario 1 | 22 |
| 2.3.2 Scénario 2a_1 | 25 |
| 2.3.3 Scénario 2a_2 | 28 |
| 2.3.4 Scénario 2b_1 | 31 |
| 2.3.5 Scénario 2b_2 | 34 |
| 2.3.6 Scénario 3a | 37 |
| 2.3.7 Scénario 3b | 40 |
| 2.4 Enseignements tirés de la modélisation | 43 |
| 3 Plan d'actions..... | 45 |
| 3.1 Hiérarchisation des sources de pollution..... | 45 |
| 3.2 Opérations existantes ou en projet..... | 47 |
| 3.3 Points à problèmes..... | 49 |
| 3.4 Actions visant à améliorer les connaissances | 50 |
| 3.4.1 Suivre la qualité des eaux lors d'une crue de la Seine | 50 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.4.2 | Mieux identifier les risques provenant des alimentations du plan d'eau | 51 |
| 3.4.3 | Campagnes de mesures complémentaires pour compléter le diagnostic | 52 |
| 3.5 | Actions préconisées | 53 |
| 3.5.1 | Actions visant à limiter le risque de contamination bactérienne d'origine anthropique | 53 |
| 3.5.2 | Actions visant à réduire le risque de contamination par les animaux | 54 |
| 3.5.2.1 | Contaminations apportées par les chiens | 54 |
| 3.5.2.2 | Contaminations apportées par les rats | 54 |
| 3.5.2.3 | Contaminations fécales apportées par les colonies d'oiseaux aquatiques | 55 |
| 3.5.2.4 | Dermatite cercarienne | 56 |
| 3.5.3 | Actions visant à limiter le risque lié aux cyanobactéries | 57 |
| 3.5.4 | Actions visant à limiter le risque de turbidité | 58 |
| 3.5.5 | Actions visant à réduire le risque de contamination interhumaine | 58 |
| 3.5.6 | Synthèse des actions préconisées | 58 |
| 3.5.7 | Baignade | 59 |
| 4 | Mesures de gestion active | 61 |
| 4.1 | Campagnes de suivis pour caractériser les facteurs de risque | 61 |
| 4.1.1 | Risque de contamination bactérienne par les réseaux pluviaux | 62 |
| 4.1.2 | Risque de contamination bactérienne par les animaux | 62 |
| 4.1.3 | Risque de prolifération des cyanobactéries | 63 |
| 4.1.4 | Risque de contamination inter-humaine | 64 |
| 4.1.5 | Risque de turbidité | 64 |
| 4.2 | Gestion d'une crue de la Seine conduisant à un débordement dans le lac de Créteil | 65 |
| 4.3 | Gestion active et prédictive du risque lié aux cyanobactéries | 67 |
| 4.3.1 | Rappel des caractéristiques des cyanobactéries | 67 |
| 4.3.2 | Mesures de gestion du risque lié aux cyanobactéries | 67 |
| 4.3.2.1 | Évaluation du risque | 67 |
| 4.3.2.2 | Sensibilisation du public et des usagers | 74 |
| 4.3.2.3 | Gestion des activités | 75 |
| 4.3.3 | Synthèse des dispositions pour le suivi des cyanobactéries | 78 |
| 4.3.3.1 | Description de la surveillance | 78 |
| 4.3.3.2 | Plan de gestion de crise | 78 |
| 4.4 | Gestion active et prédictive du risque bactériologique | 79 |
| 4.4.1 | Mesures de gestion pour la qualité bactériologique | 79 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.4.2 | Dispositions pour le suivi de la qualité bactériologique..... | 80 |
| 4.4.2.1 | Paramètres à analyser | 80 |
| 4.4.2.2 | Localisation des prélèvements | 81 |
| 4.4.2.3 | Fréquence des prélèvements | 81 |
| 4.4.2.4 | Protocole de prélèvement..... | 81 |
| 4.4.2.5 | Coût estimatif de la campagne | 82 |
| 4.4.2.6 | Contractualisation avec un laboratoire | 82 |
| 4.4.2.7 | Analyse des résultats..... | 82 |
| 4.4.3 | Plan de gestion de crise | 82 |
| 4.5 | Synthèse opérationnelle | 84 |
| 4.5.1 | Campagnes de suivi des risques liés aux animaux dans le plan d'eau de Créteil | 84 |
| 4.5.2 | Gestion d'une crue de la Seine induisant un débordement dans le lac..... | 84 |
| 4.5.3 | Gestion du risque cyanobactérien dans le plan d'eau de Créteil..... | 85 |
| 4.5.4 | Gestion d'une contamination bactérienne sur le plan d'eau de Créteil..... | 86 |
| 5 | Information du public..... | 89 |
| | Annexe 1 : Circulaire DGS/SD 7 A n° 2003-270 (04/06/2003)..... | 91 |
| | Annexe 2 : Fiche d'observation quotidienne..... | 103 |

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des Figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : localisation du site d'étude | 9 |
| Figure 2 : Localisation du site d'étude | 10 |
| Figure 3 : Carte bathymétrique du lac de Créteil (Etude Safege 2002) | 11 |
| Figure 4 Emprise et bathymétrie du modèle | 18 |
| Figure 5 Points de rejets | 20 |
| Figure 6 Concentration en E. Coli/100ml - SC1 En haut : surface / En bas : fond | 22 |
| Figure 7 Concentration en Entérocoques/100ml - SC1 En haut : surface / En bas : fond | 23 |
| Figure 8 Stock de bactéries dans tout le lac - SC1 | 24 |
| Figure 9 Concentration en E. Coli/100ml - SC2a_1 En haut : surface / En bas : fond | 25 |
| Figure 10 Concentration en Entérocoques/100ml - SC2a_1 En haut : surface / En bas : fond | 26 |
| Figure 11 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2a_1 | 27 |
| Figure 12 Concentration en E. Coli/100ml - SC2a_2 En haut : surface / En bas : fond | 28 |
| Figure 13 Concentration en Entérocoques/100ml - SC2a_2 En haut : surface / En bas : fond | 29 |
| Figure 14 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2a_2 | 30 |
| Figure 15 Concentration en E. Coli/100ml - SC2b_1 En haut : surface / En bas : fond | 31 |
| Figure 16 Concentration en Entérocoques/100ml - SC2b_1 En haut : surface / En bas : fond | 32 |

| | |
|---|----|
| Figure 17 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2b_1 | 33 |
| Figure 18 Concentration en E. Coli/100ml - SC2b_2 En haut : surface / En bas : fond | 34 |
| Figure 19 Concentration en Entérocoques/100ml - SC2b_2 En haut : surface / En bas : fond | 35 |
| Figure 20 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2b_2 | 36 |
| Figure 21 Concentration en E. Coli/100ml - SC3a En haut : surface / En bas : fond . | 37 |
| Figure 22 Concentration en Entérocoques/100ml - SC3a En haut : surface / En bas : fond | 38 |
| Figure 23 Stock de bactéries dans tout le lac – SC3a | 39 |
| Figure 24 Concentration en E. Coli/100ml - SC3b En haut : surface / En bas : fond . | 40 |
| Figure 25 Concentration en Entérocoques/100ml - SC3b En haut : surface / En bas : fond | 41 |
| Figure 26 Stock de bactéries dans tout le lac – SC3b | 42 |
| Figure 27: Schéma décisionnel proposé par le CSHPF et cité dans la circulaire DGS/SD 7 A n° 2003-270 du 4 juin 2003 | 73 |
| Figure 28: Proposition de circuit décisionnel | 83 |
| Liste des Tableaux | |
| Tableau 1 Conditions de rejets..... | 19 |
| Tableau 2 Scénarios en fonction du vent et de la stratification | 21 |
| Tableau 3: Hierrarchisation des risques | 46 |
| Tableau 4: Synthèse des actions préconisées | 59 |
| Tableau 5: Seuils et mesures de gestion et de surveillance pour un dispositif de suivi de niveau I | 70 |
| Tableau 6: Seuils et mesures de gestion et de surveillance pour un dispositif de suivi de niveau II | 71 |
| Tableau 7: Mesures de précaution et d'interdictions en fonction des résultats de surveillance (Source CSHPF, mai 2003) | 75 |

| | |
|--|----|
| Tableau 8: Préconisation de mesures de gestion des activités | 77 |
| Tableau 9: Seuils des mesures de gestion préventives en eau douce proposés par l'AFSSET (2007) | 80 |
| Tableau 10: Normes d'analyses pour les paramètres bactériologiques suivis..... | 81 |

1

Introduction

1.1 Contexte

La Région Île-de-France a confié à SAFEGE la réalisation du profil des eaux de baignade de sept plans d'eau d'Île de France. Le présent rapport concerne la base de plein air et de loisirs (BPAL) de Créteil, et sur cette base son plan d'eau de même nom où ont lieu les activités nautiques.

Le profil de baignade est une obligation réglementaire émanant de la directive européenne de 2006 (2006/7/CE) sur les eaux de baignade. Il a pour fonction d'identifier et de quantifier les risques sanitaires dans les zones de baignade et d'élaborer des mesures concrètes de maîtrise et de gestion des pollutions et risques éventuels.

Cette étude comporte trois phases :

- L'état des lieux ;
- Le diagnostic ;
- Le plan d'actions et les mesures de gestion.

Le présent document constitue le rapport de la phase 3 « plan d'actions et mesures de gestion ». Il fait suite aux deux premières phases qui ont permis :

- De décrire le contexte, les activités ainsi que les équipements qui entourent les activités nautiques ;
- De déterminer et de caractériser les différentes sources de pollutions potentielles recensées sur la zone d'étude locale et étendue ;
- D'identifier les flux de polluants bactériens entrant dans le plan d'eau de Créteil ;
- De dresser un diagnostic du fonctionnement et des dysfonctionnements du plan d'eau ;
- D'évaluer les niveaux de risques vis à vis de la contamination bactérienne d'origine anthropique, de la contamination par les animaux, de la prolifération des cyanobactéries, et des contaminations inter-humaines.

Les phases 1 et 2 ont établi que le plan d'eau de Créteil présente un risque avéré de contamination bactérienne anthropique, et de risques potentiels de prolifération des cyanobactéries et de contamination par les animaux. Par ailleurs, le risque de contamination bactérien anthropique a conduit à la réalisation d'une modélisation pour caractériser ce risque, ce qui classe le profil de baignade en profil de type 3.

La présente phase vise à dresser un plan d'action et de gestion en vue de limiter ces risques et leurs conséquences sur les activités en lien avec l'eau du lac.

La base de loisirs de Créteil est publique, le Conseil Régional d'Ile de France en est le propriétaire. La gestion est assurée par le **Syndicat Mixte d'Études, d'Aménagement et de Gestion (SMAEG) de la base de loisirs de Créteil** grâce aux soutiens de la Ville de Créteil, du Conseil Général du Val de Marne et de la Région Ile de France.

La gestion des espaces verts est effectuée par les services de la ville de Créteil, avec qui la base a un marché et les animations nature sont déléguées à l'association « Nature et Société ».

1.2 Localisation

La Base de Plein Air et de Loisirs (BPAL) de Créteil se situe dans le département du Val-de-Marne (94) en région Île-de-France ; à 10 km au sud-est de Paris. Située dans une zone urbaine dense, elle est incluse entièrement dans le territoire communal de la ville de Créteil. La base représente une superficie totale de 65 hectares dont 42 hectares de plan d'eau, elle est composée du lac de Créteil, long de 1 500 m ainsi que d'espaces verts aux abords du plan d'eau. Elle est inscrite dans la « coulée verte » du Sud Parisien. C'est l'une des plus petites bases de loisirs d'Île-de-France.

Lac artificiel aménagé en 1978 sur d'anciennes gravières (la base de loisir étant ouverte en 1980), le lac de Créteil est devenu un véritable symbole de la ville. Plus qu'un élément important de composition paysagère dans un environnement fortement urbanisé, le lac constitue un milieu très attrayant pour les usages récréatifs (activités nautiques et véliplanchistes, pêche, ...).

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil



Figure 1 : localisation du site d'étude

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

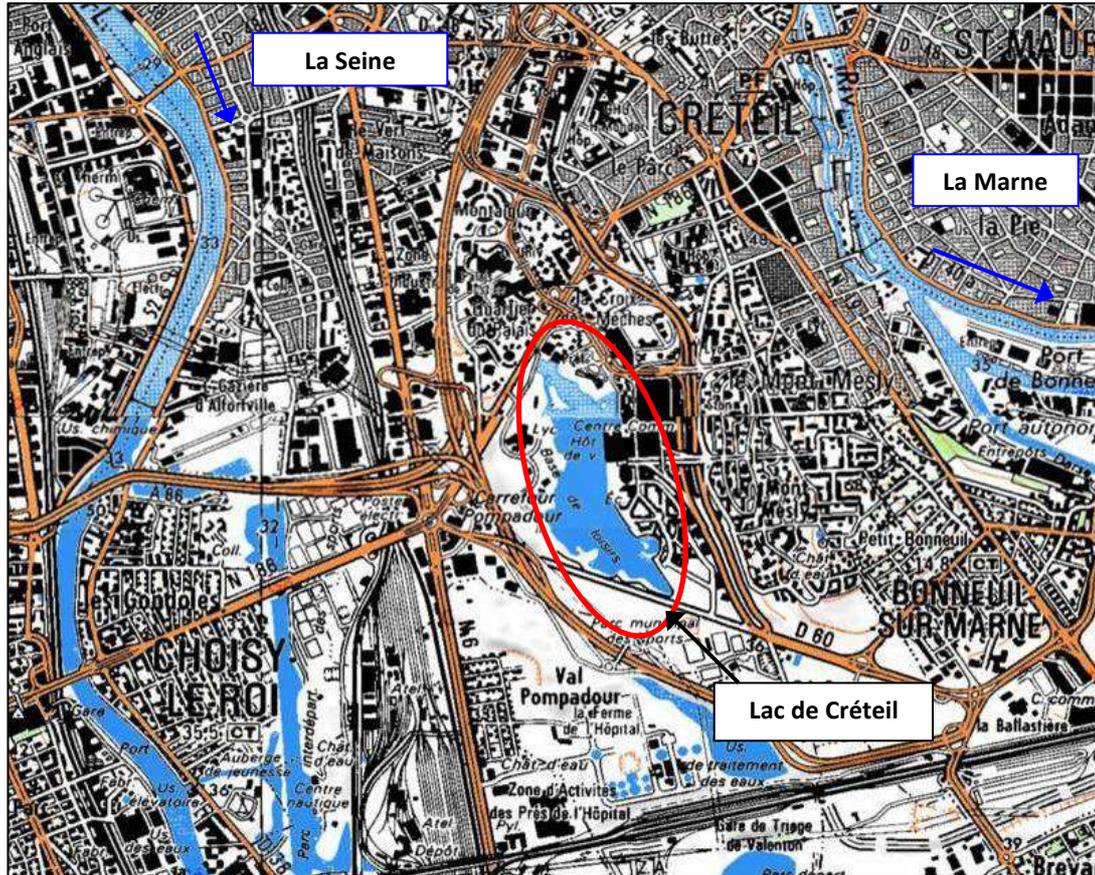


Figure 2 : Localisation du site d'étude

La carte bathymétrique du plan d'eau est présentée ci après.

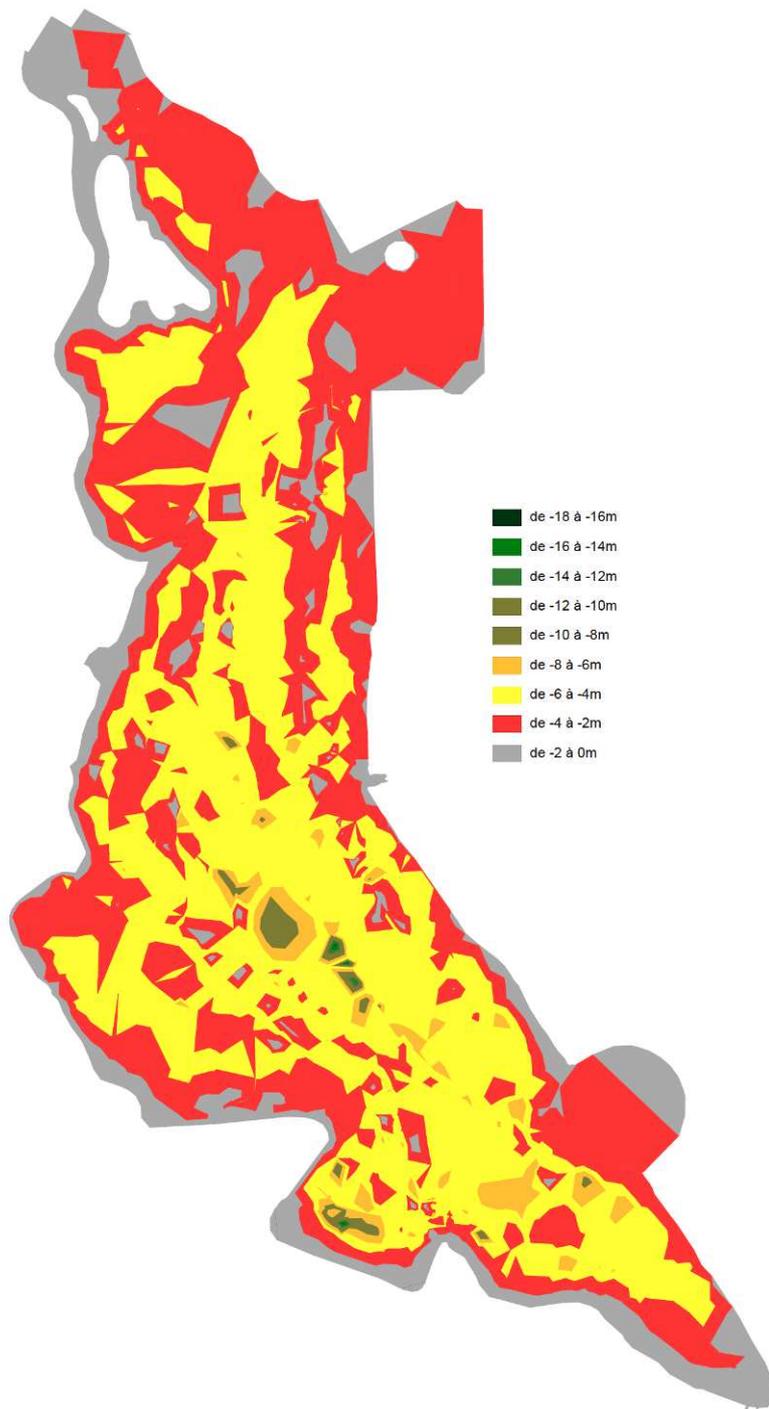


Figure 3 : Carte bathymétrique du lac de Créteil (Etude Safege 2002)

1.3 Rappel des principales conclusions de la phase 2

Les principales sources identifiées de pollutions microbiologiques du plan d'eau sont les suivantes (hors pollutions accidentelles) :

1. Les apports d'eaux pluviales constituent la principale source de contamination microbiologique. Même lissés à l'échelle de l'année, ces flux sont certainement les plus importants, et il faut leur adjoindre quelques raccordements d'eaux usées (en cours de suppression), ainsi que des apports d'eaux claires parasites. Ces flux sont très significatifs lors des fortes pluies ;
2. La présence de colonies d'oiseaux qui occasionnent un flux d'autant plus gênant qu'il intervient pour partie directement dans le lac ;
3. Les apports directs des chiens. Cela étant, ces apports sont répartis spatialement autour du lac et ne parviennent pas directement dans l'eau ce qui conduit à un abattement notable des bactéries, d'où le fait qu'ils ne soient pas considérés comme critiques ;
4. Les apports des rongeurs. Ces apports sont répartis spatialement autour du lac, et comme pour les chiens ils ne parviennent généralement pas directement dans l'eau, d'où le fait qu'ils ne soient pas considérés comme critiques. La population de rats reste tout de même à surveiller.

Parmi ces flux, **les principaux risques bactériens sont liés aux contaminations liés aux épisodes pluvieux (notamment à ceux entrant dans le lac via l'ouvrage cadre)**, et dans une moindre mesure aux contaminations par les oiseaux.

La qualité de l'eau du lac n'a pas fait l'objet des suivis réglementaires liés aux activités de baignade, car il n'y a pas de baignade autorisée sur le plan d'eau lui-même. Par contre un suivi régulier est réalisé dans le cadre d'un protocole mis en place par le conseil général 94 et la ville de Créteil. Il en ressort une qualité d'eau très variable à la fois dans le temps et l'espace. Les abords de l'ouvrage cadre sont régulièrement caractérisés par des valeurs très élevées en germes pathogènes (E Coli, Entérocoques) et par la présence de salmonelles. Ces pics sont dépendant des apports provenant de l'ouvrage cadre. Leur amplitude et leur aire d'effet dans le lac, dépendent fortement des débits entrant et des conditions météorologiques (vent...). Un épisode de forte pluie conduira ainsi à des apports quantitativement et qualitativement conséquents qui finiront par impacter une grande partie du lac du fait des circulations et mélanges des eaux.

Concernant le diagnostic de fonctionnement du plan d'eau de Créteil, on peut faire les constats suivants :

- Le lac est majoritairement alimenté par la nappe alluviale (environ ¾ des apports sur une année moyenne), le complément étant apporté par les eaux pluviales. Le temps de séjour global dans le lac est voisin de un an.

- Le lac de Créteil a une profondeur moyenne d'environ 4,5m. Il présente une stratification thermique verticale intermittente en été.
- Les eaux y sont plutôt fortement minéralisées, ce qui est la conséquence des apports d'eaux souterraines.
- **La transparence de l'eau est moyenne à mauvaise.** Celle ci varie de 1 à 3m, avec des valeurs estivales généralement autour de 1m, et plutôt stables d'une année sur l'autre. Cette transparence estivale est liée à la production primaire phytoplanctonique, qui est confirmée par les teneurs élevées trouvées en chlorophylle a (Frédéric Soullignac qui fait actuellement sa thèse de doctorat sur le lac de Créteil mentionne des pics de chlorophylle a pouvant atteindre 50µg/l et généralement autour de 20µg/l en période estivale). L'impact de cette biomasse est perceptible sur les teneurs en oxygène dissous avec des phases de sursaturation ponctuelles près de la surface du lac, et de façon plus limitée et ponctuelle sur le pH (à cause de la minéralisation élevée de l'eau). Les seuils de mesure sont globalement insuffisants pour analyser finement les évolutions dans le temps des teneurs en nutriments, mais il est néanmoins possible d'évaluer l'état trophique du lac. **Celui ci est sans doute légèrement eutrophe penchant du côté mésotrophe ou eutrophe suivant les années et la variabilité des apports en phosphore.**
- Le phytoplancton domine dans la partie centrale du lac, car il empêche par la faible transparence de l'eau, un développement massif des macrophytes. Par contre, il y a des macrophytes en quantité notable sur certaines zones peu profondes (notamment de Jussie).
- Les suivis confirment la présence récurrente de germes pathogènes à proximité de l'ouvrage cadre (avec des pics de concentration de grandes amplitudes).
- La qualité de la seine est médiocre, avec des teneurs significatives en pathogènes, en azote minéral (surtout en nitrates) et en phosphore. En cas de crue de la Seine, la qualité de l'ensemble du lac de Créteil s'en trouverait donc affectée. Il en résulterait surtout un impact durable (sur un an) sur le niveau d'eutrophisation, les autres paramètres étant plus rapidement abattus. On peut cependant noter qu'aucune crue de ce type n'a pas été recensée depuis l'ouverture de la base de loisir en 1980. Ce type d'événement est donc très rare.
- Au final on peut dire que le lac est dans un **état stable légèrement eutrophe dont le fonctionnement est dominé par le phytoplancton, cet état étant très dépendant des apports provenant de l'ouvrage cadre.** Par ailleurs, il est contaminé dans sa partie Est par les apports de germes pathogènes provenant de l'ouvrage cadre cette contamination pouvant se propager

spatialement en fonction des flux d'eaux pluviales entrant et de la météorologie (vent notamment).

Les risques pesant sur les activités humaines pratiquées sur le plan d'eau sont les suivants :

1. Risque de contamination bactérienne anthropique (E Coli et entérocoques)

- Le risque de contamination bactérienne d'origine anthropique est un risque majeur, et constitue assurément le risque le plus important. Le diagnostic réalisé montre qu'au moins l'ouvrage cadre est la porte d'entrée d'une pollution microbiologique importante au sein du plan d'eau de Créteil. Les flux correspondant présentent une grande variabilité totalement dépendante des conditions climatiques et notamment des épisodes de pluies.
- On peut donc considérer que le problème des pollutions en eaux pluviales urbaines apportées par l'ouvrage cadre ne sont pas réglés, ou en tout cas ne l'étaient pas il y a encore peu.
- Si on analyse la répartition spatiale de ces contaminations, il semble que la plupart du temps, ces contaminations sont circonscrites à la partie Est du lac. La partie Ouest est notablement moins contaminée, avec des teneurs en germes bactériens plus compatibles avec des activités nautiques.
- Cependant, il est extrêmement difficile de garantir qu'il n'y aura pas de problème sur une partie même limitée du lac, étant donné que les contaminations sont éminemment variables dans le temps et dans leur amplitude, puisqu'elles sont totalement dépendantes des histogrammes de pluies et du vent.
- Pour conclure sur ce point, **le risque de contamination bactérienne lié aux activités anthropiques est présent et est critique dans certaines configurations**. Il est de nature à nuire aux activités nautiques, et justifie à lui seul de ne pas ouvrir de baignade sur le plan d'eau. Ce point sera abordé dans la partie modélisation de l'étude.

2. Risques de contaminations par les animaux

- Les risques spécifiquement liés à la présence des chiens restent globalement faibles en comparaison des apports pluviaux, pour autant que les chiens soient dispersés spatialement ce qui est le cas ;
- Des rats sont présents sur la base de loisir, et ils peuvent être le vecteur de maladies comme la leptospirose. Cela étant, ce risque est essentiellement circonscrit en bord de lac, et comme les activités nautiques sont plutôt concentrées en milieu de plan d'eau, on peut s'attendre à ce que ce risque reste présent, mais limité. Il conviendra néanmoins d'assurer une surveillance des populations de rats de sorte à éviter leur développement ;
- Il y a un risque lié aux contaminations par les oiseaux aquatiques. Il y a notamment une population de cygnes et d'oies bernaches, qui peuvent non seulement contaminer le plan d'eau en matières fécales donc en germes pathogènes, mais aussi qui peuvent être vecteur de la dermatite cercarienne. La configuration de la base de loisir conduit à considérer ce risque comme potentiel en l'absence de mesures in situ, car il suffit que des oiseaux contaminés s'installent sur le lac pour que la dermatite cercarienne se développe (tous les ingrédients existent pour cela). S'il y a risque, son impact est cependant limité, car les activités nautiques ne se passent que sporadiquement en bord de l'eau.
- **Au global, le risque de contamination par les animaux est multiple (chiens, rats, oiseaux aquatiques...), mais dans la mesure où il n'y a pas de baignade, ce risque est modéré, puisqu'il concerne principalement les zones littorales.**

3. Risque de prolifération des cyanobactéries

- L'absence de données précises sur les peuplements phytoplanctoniques ne permet pas de diagnostiquer finement l'état réel des biomasses de cyanobactéries. Cela étant, de nombreux indices poussent à penser qu'il y a probablement régulièrement des cyanobactéries dans le lac. Il est cependant difficile de qualifier ce risque, car il manque des informations pour cela, informations qu'il conviendra de compléter dans les années à venir.

- On peut cependant dégager une tendance. En temps normal il est probable que l'on voit apparaître progressivement des cyanobactéries dans le lac dans le courant de l'été, ces peuplements se réduisant à partir du début de l'automne. Dans la majorité des cas, ces populations ne doivent pas être excessives, et s'il y a risque de toxines cyanobactériennes, ce risque est néanmoins limité. Par contre, il peut y avoir conjonction d'événements climatiques favorables à une biomasse plus importante de cyanobactéries. Si ces situations ne sont probablement pas obtenues tous les ans, elles doivent avoir une certaine récurrence. Dans ce type de situation, le risque de toxines cyanobactériennes peut devenir plus important.
- **On peut donc conclure que le risque de prolifération des cyanobactéries toxiques existe. Il est très variable dans le temps et suivant les années car il dépend totalement des conditions météorologiques. On peut donc le considérer comme épisodique et modéré.**

4. Risque de contamination inter-humaine

- Dans la mesure où il n'y a pas de baigneurs (en tout cas pas de baignade autorisée), il n'y a pas de risque de contamination inter-humaine.

2

Modélisation

Comme évoqué au chapitre précédent et en phase 2 de l'étude, il est apparu nécessaire de mettre en œuvre une modélisation des flux bactériens dans le plan d'eau de sorte à identifier l'impact des contaminations pluviales sur le niveau de coliformes fécaux dans le lac, et en déduire les impacts potentiels sur les activités pratiquées ou envisageables.

C'est l'objet du présent chapitre.

2.1 Description du modèle

2.1.1 Logiciel de modélisation

Le modèle mis en œuvre se base sur le code de calcul SEAMER dans sa version tridimensionnelle.

Le schéma numérique de résolution des équations permet une efficacité numérique de calcul assurant des durées de simulation réduites en comparaison des autres outils présents sur le marché. Cette faculté optimise la mise en œuvre de SEAMER. Par ailleurs, la maîtrise du code en interne offre l'opportunité de faire évoluer l'outil pour répondre à des besoins spécifiques.

Ce logiciel prend en compte, de manière intégrée, tous les phénomènes physiques impliqués dans la dynamique du milieu en les décrivant comme des fonctions du temps. Il résout le système d'équations générales de l'hydrodynamique, connu sous le nom de Navier-Stokes. Ces équations mathématiques sont générales et s'appliquent à tous les écoulements, mais leur résolution analytique est impossible, c'est pourquoi une transformation numérique sur un maillage est utilisée.

Le module hydrodynamique du logiciel permet de calculer les courants sous l'effet du vent et des courants de densité imposés par la stratification. Parallèlement une équation d'advection/dispersion de substances dissoutes permet de calculer le transport tridimensionnel des bactéries injectées dans le modèle.

Pour la microbiologie (germes bactériens), le modèle ajoute aux lois de transport

physique, une expression de la mortalité des germes, exprimée par une loi de décroissance linéaire qui fait intervenir le coefficient dénommé T90 (durée nécessaire pour la disparition par mortalité de 90% des organismes).

2.1.2 Construction du modèle

Le domaine de calcul du modèle hydrodynamique tridimensionnel couvre la totalité du Lac de Créteil. La résolution horizontale du calcul (taille de la maille) est de 15 m. Sur l'axe vertical, la colonne d'eau est découpée en cinq niveaux (cordonnées sigma). Cette résolution fine permet d'étudier très finement la dispersion des rejets locaux et leur impact sur la qualité des eaux.

La bathymétrie du modèle (côte des fonds) est construite à l'aide des données acquises au mois de mai 2001. (cf. Figure 4)

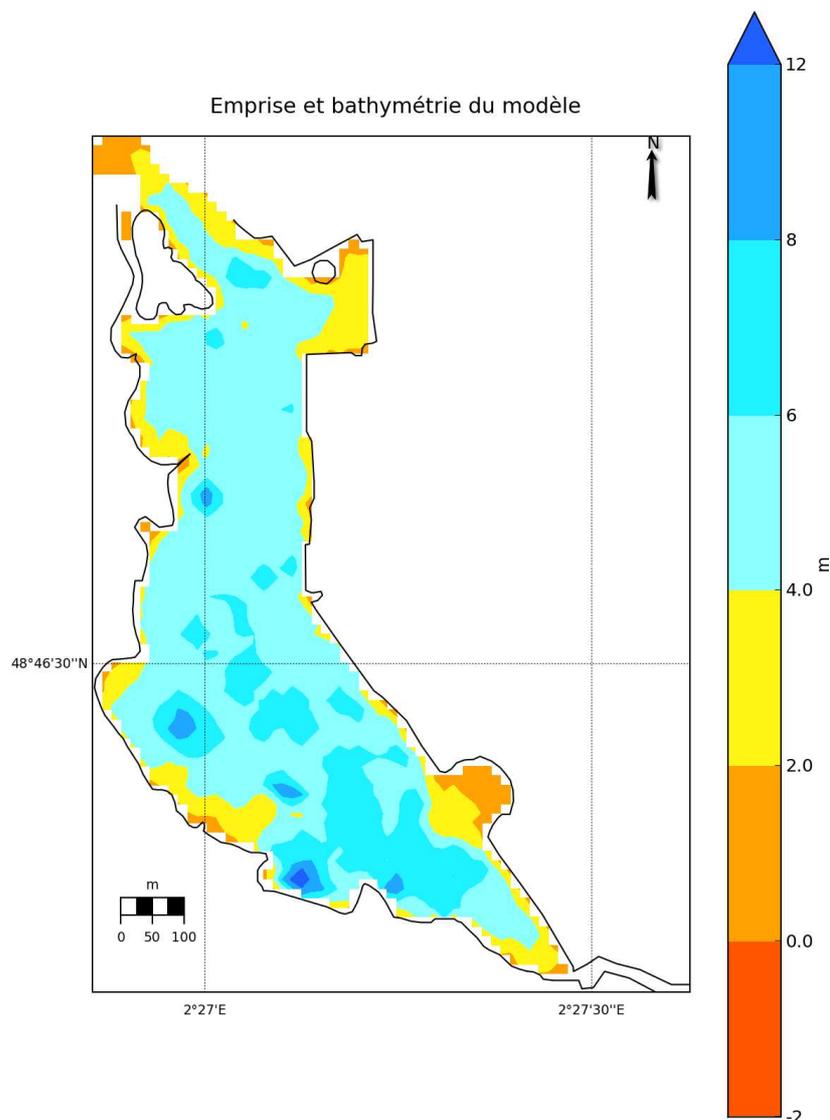


Figure 4 Emprise et bathymétrie du modèle

2.2 Protocole de modélisation et scénarios

Il s'agit de déterminer l'impact du rejet sur la qualité des eaux. On s'intéresse donc à la concentration en germes témoins de contamination fécale : Escherichia Coli et entérocoques. Les premiers ont un T90 de 5h et les seconds de 15h.

Dans le modèle, deux traceurs bactériologiques distincts seront donc définis.

2.2.1 Conditions de rejets

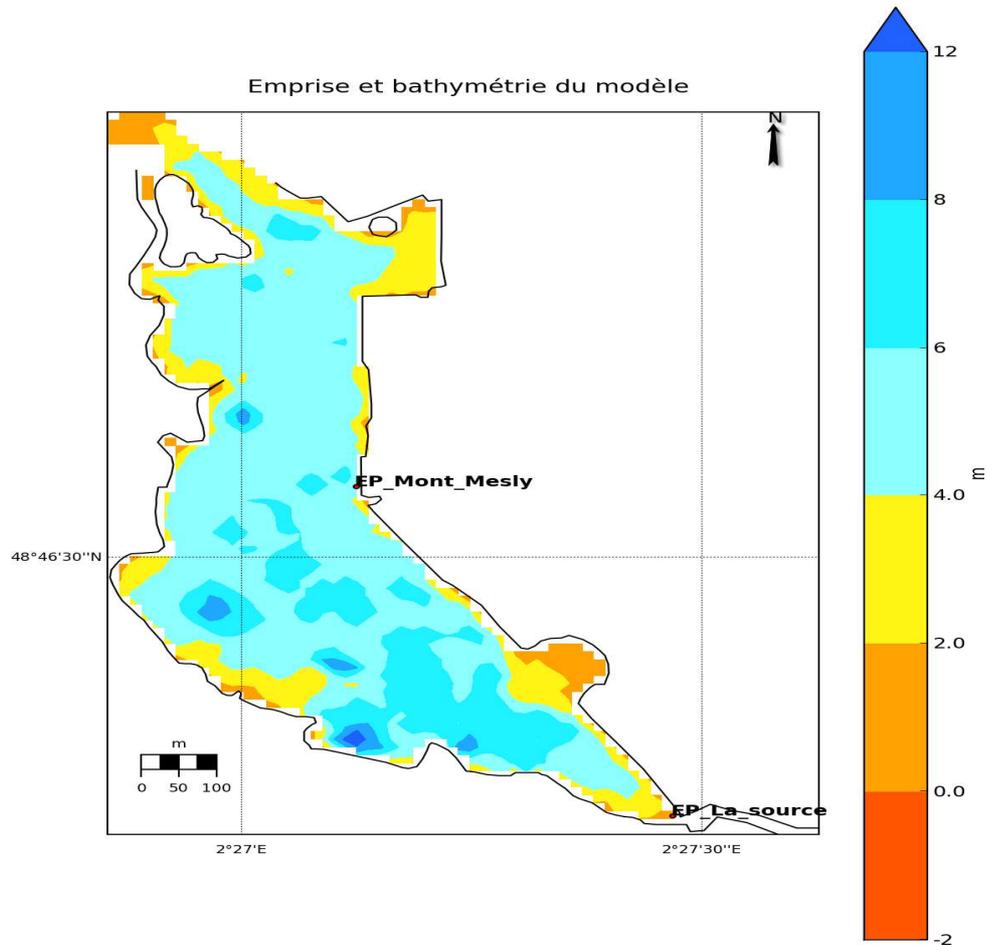
Trois types de scénarios de rejets, répertoriés dans le Tableau 1 sont simulés :

- Un premier scénario de type temps sec avec un rejet constant dans le temps
- Un deuxième scénario avec un seul point de rejet dont les flux s'étalent sur 6h.
- Un troisième scénario avec deux points de rejets et des flux qui ont une durée de 2h.

Tableau 1 Conditions de rejets

| Scénario | N° Rejet | Point de rejet | Durée | Débit (m ³ /s) | concentration E.Coli (E.coli/100ml) | concentration Entérocoques (Ent./100ml) | Flux E.Coli (E.coli/s) | Flux Entérocoques (Ent./s) |
|----------|----------|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|------------------------|----------------------------|
| 1 | 1 | EP mont Mely | toute la simulation | 0.001 | 1.00E+08 | 1.00E+08 | 1.00E+08 | 1.00E+08 |
| 2 | 1 | bassin EP mont Mely | 6h | 0.25 | 6.00E+04 | 8.00E+04 | 1.50E+08 | 2.00E+08 |
| 3 | 1 | bassin EP mont Mely | 2h | 7.5 | 6.00E+04 | 8.00E+04 | 4.50E+09 | 6.00E+09 |
| | 2 | bassin EP la source (point triple) | 2h | 3.5 | 6.00E+04 | 8.00E+04 | 2.10E+09 | 2.80E+09 |

Les points de rejets sont illustrés sur la figure suivante :



2.2.2 Conditions de vent et de stratification

Aux conditions de rejets dans le lac, s'ajoutent la prise en compte ou non du vent avec une stratification homogène ou non. La stratification homogène représente une condition hivernale et un lac stratifié est représentatif des conditions estivales.

Les différents scénarios sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 Scénarios en fonction du vent et de la stratification

| Scénarios | Vent | Stratification |
|------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Pas de vent | Homogène (18°C) |
| 2a_1 | Pas de vent | Homogène (18°C) |
| 2a_2 | Pas de vent | Stratifié (22°C en surface / 20°C 2m) |
| 2b_1 | Vent sud ouest (8 m/s) | Homogène (18°C) |
| 2b_3 | Vent sud ouest (8 m/s) | Stratifié (22°C en surface / 20°C 2m) |
| 3a | Pas de vent | Homogène (18°C) |
| 3b | Vent sud ouest (8 m/s) | Homogène (18°C) |

Au total, sept scénarios sont simulés dans cette étude.

2.3 Présentation des résultats

2.3.1 Scénario 1

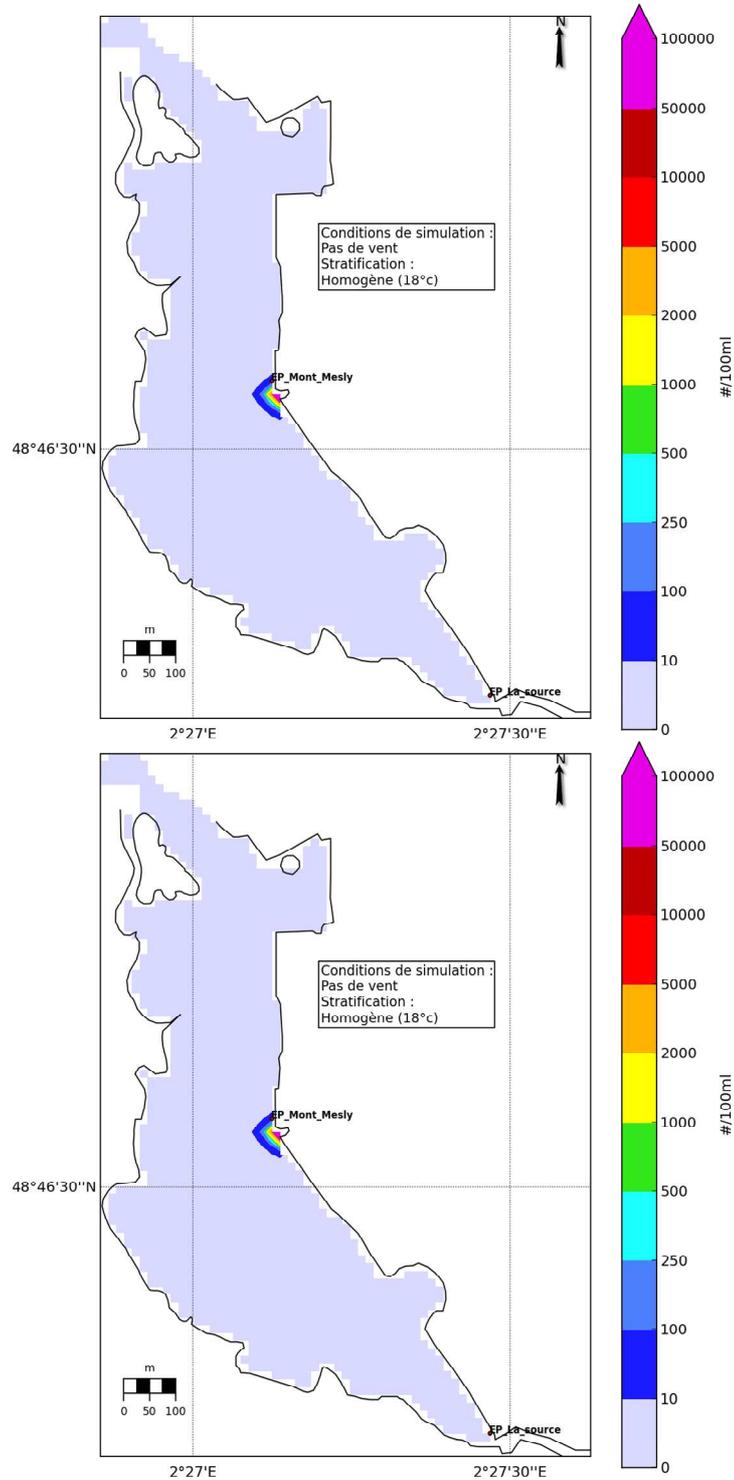


Figure 6 Concentration en E. Coli/100ml - SC1
 En haut : surface / En bas : fond

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

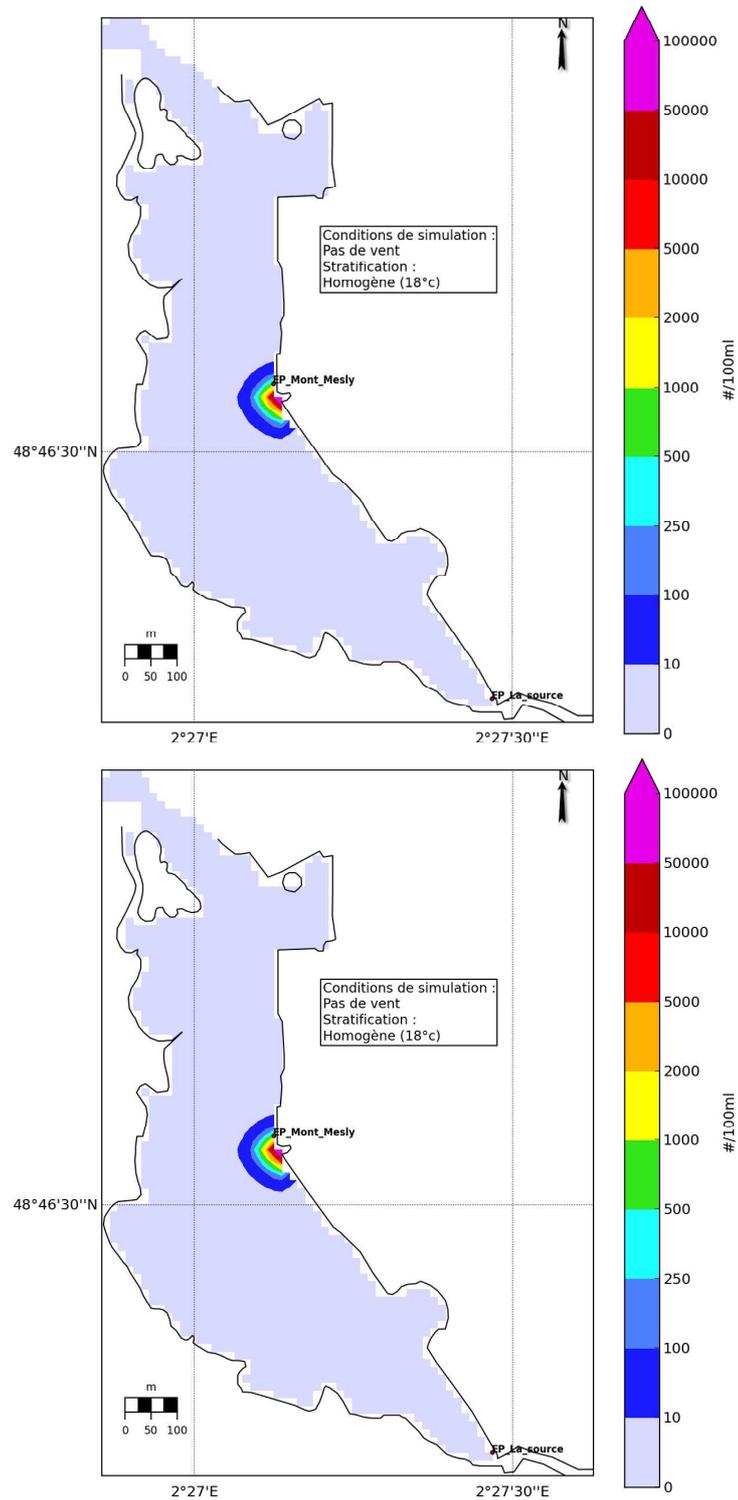


Figure 7 Concentration en Entéroкокs/100ml - SC1
 En haut : surface / En bas : fond

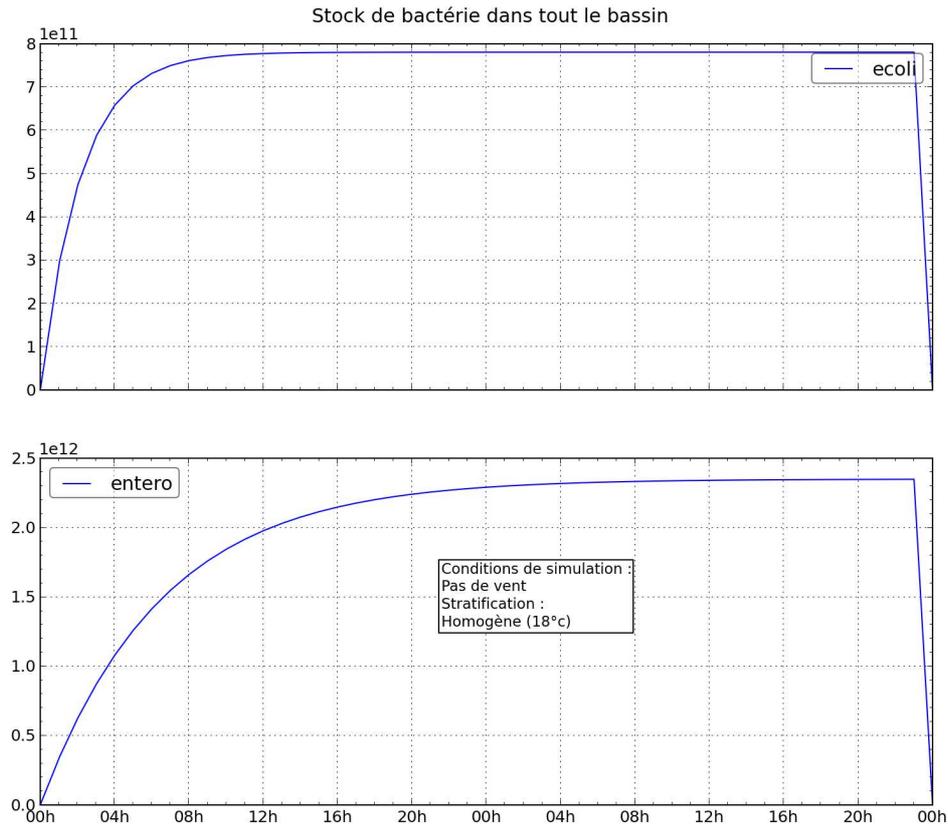


Figure 8 Stock de bactéries dans tout le lac - SC1

2.3.2 Scénario 2a_1

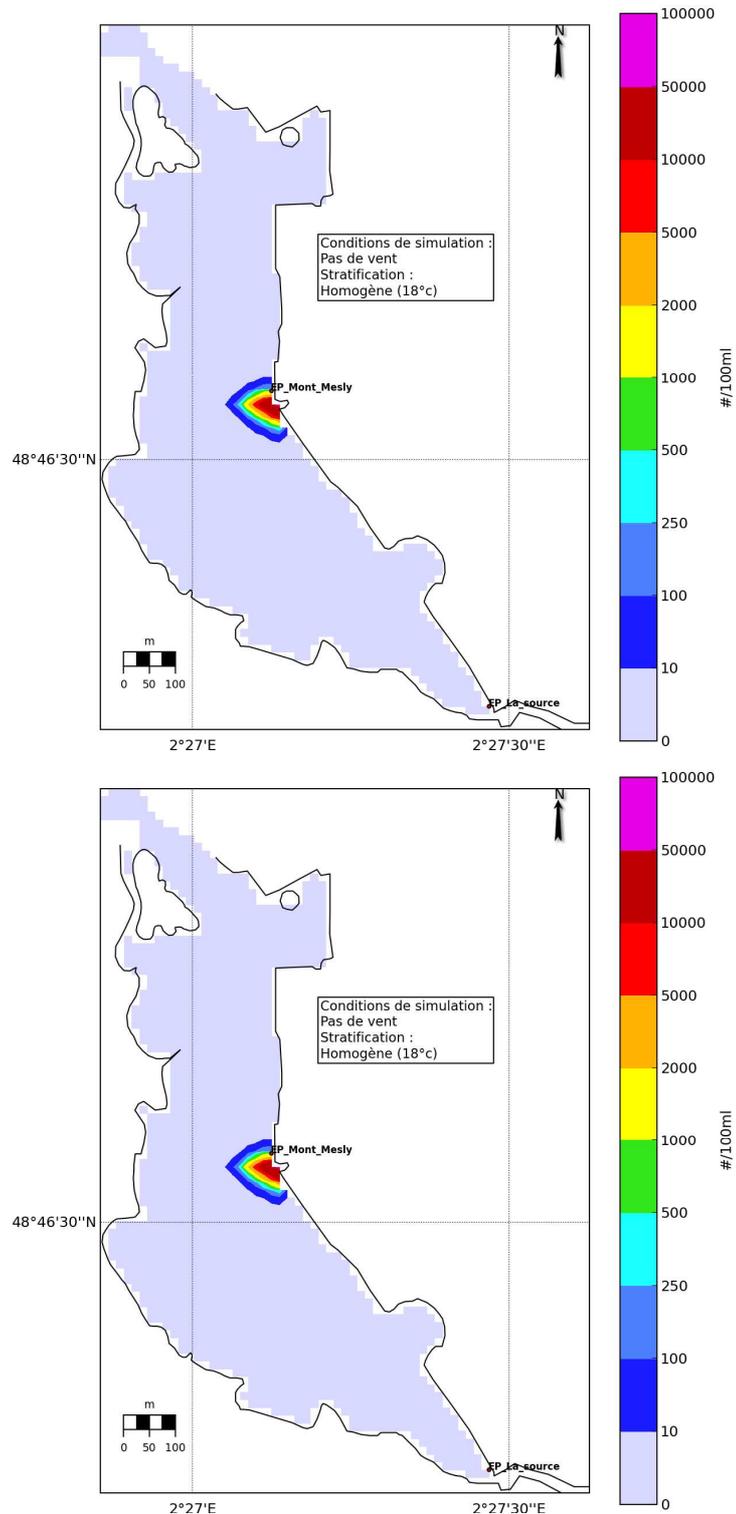


Figure 9 Concentration en E. Coli/100ml - SC2a_1
 En haut : surface / En bas : fond

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

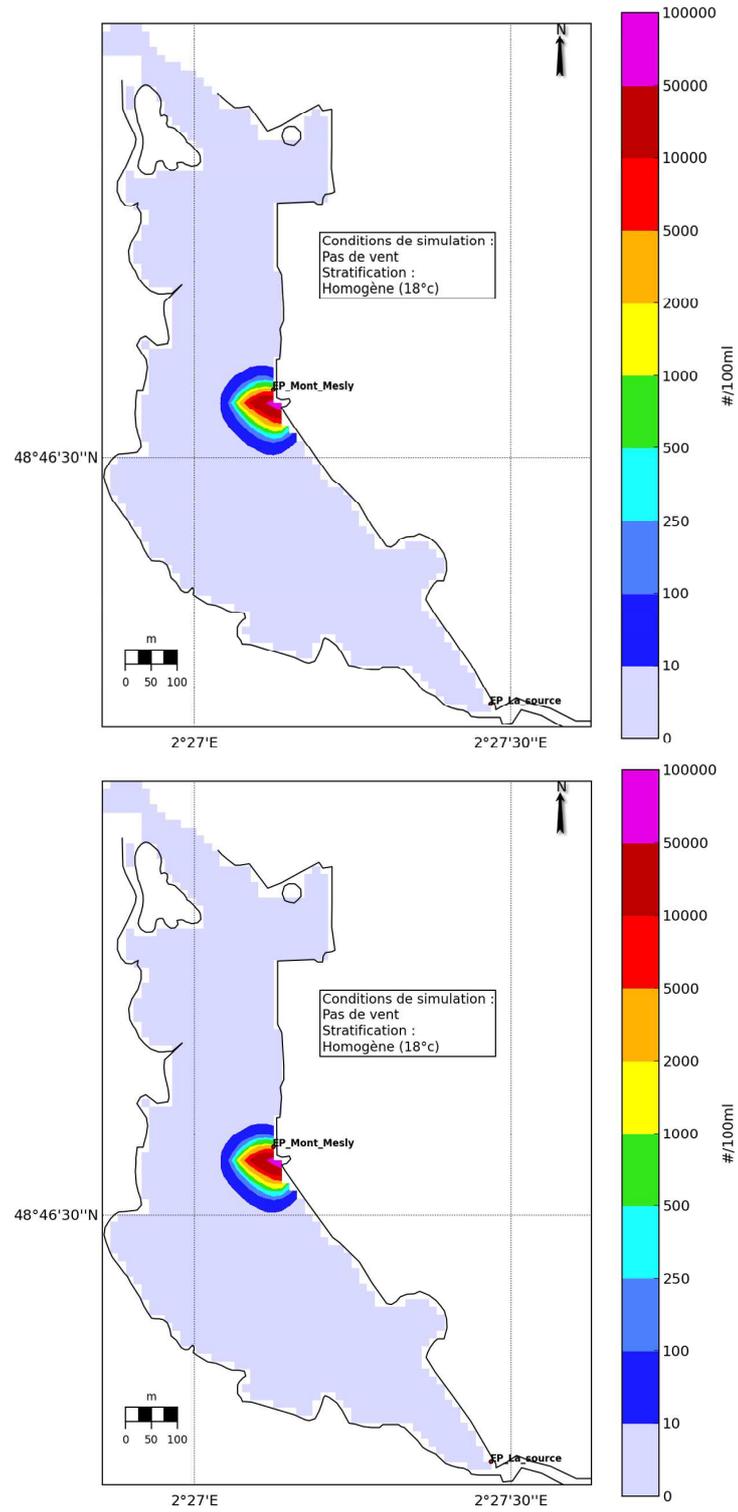


Figure 10 Concentration en Entéroкокs/100ml - SC2a_1
 En haut : surface / En bas : fond

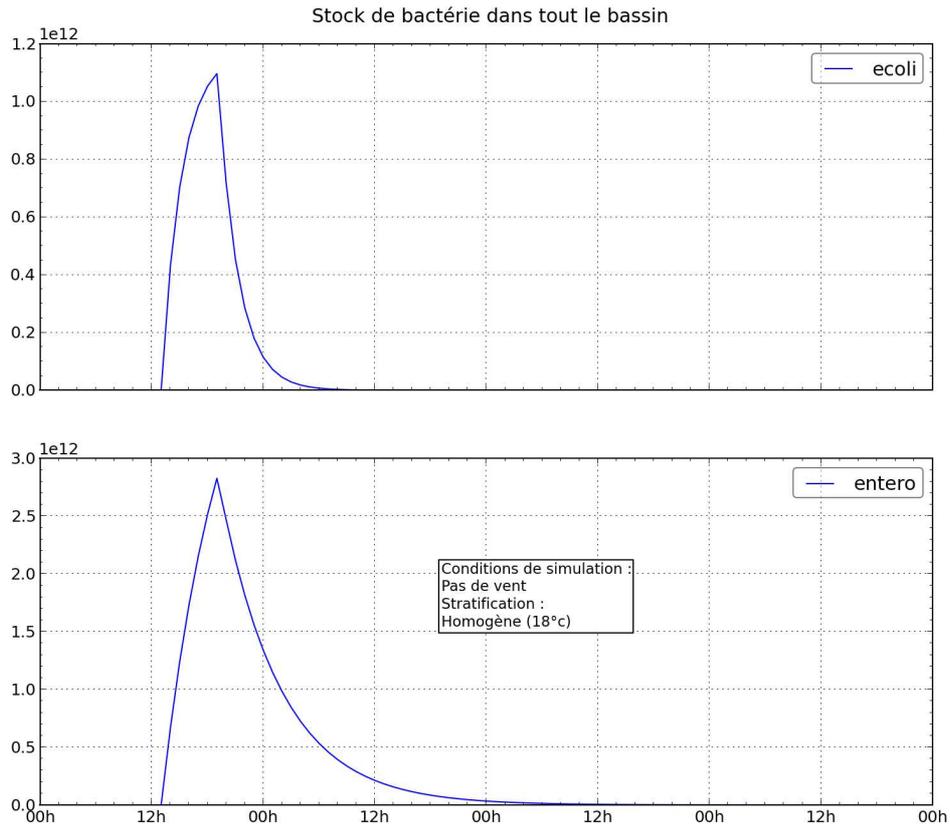


Figure 11 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2a_1

2.3.3 Scénario 2a_2

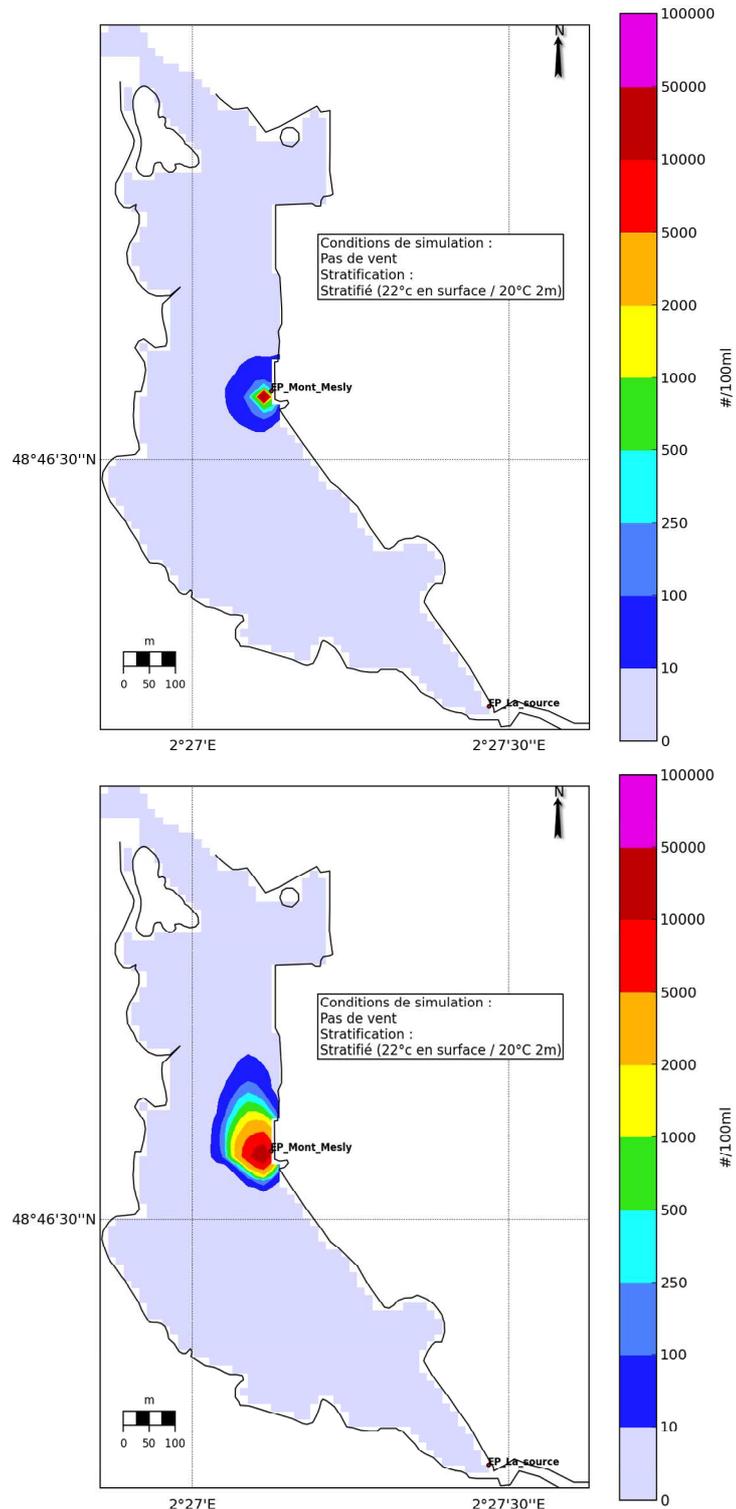


Figure 12 Concentration en E. Coli/100ml - SC2a_2
 En haut : surface / En bas : fond

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

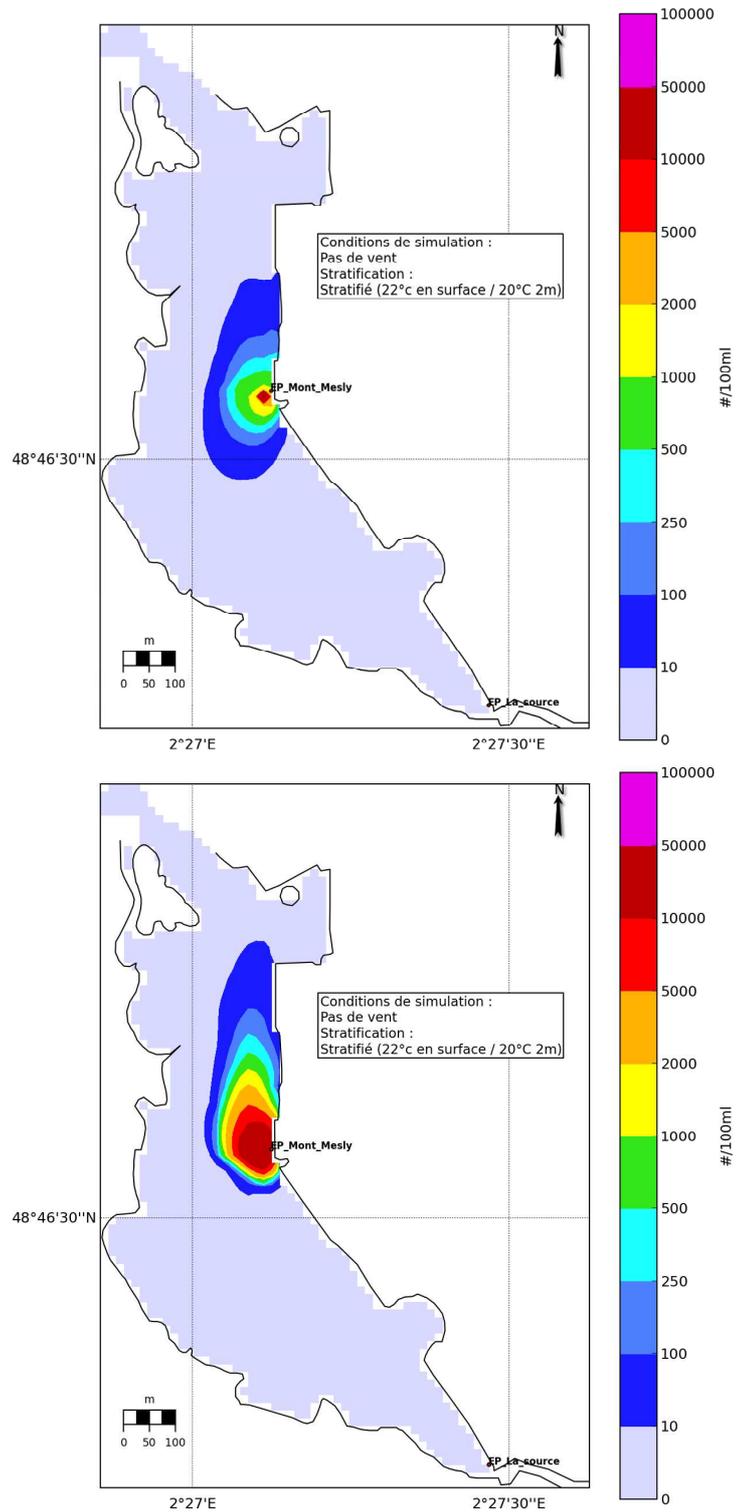


Figure 13 Concentration en Entéroкокs/100ml - SC2a_2
 En haut : surface / En bas : fond

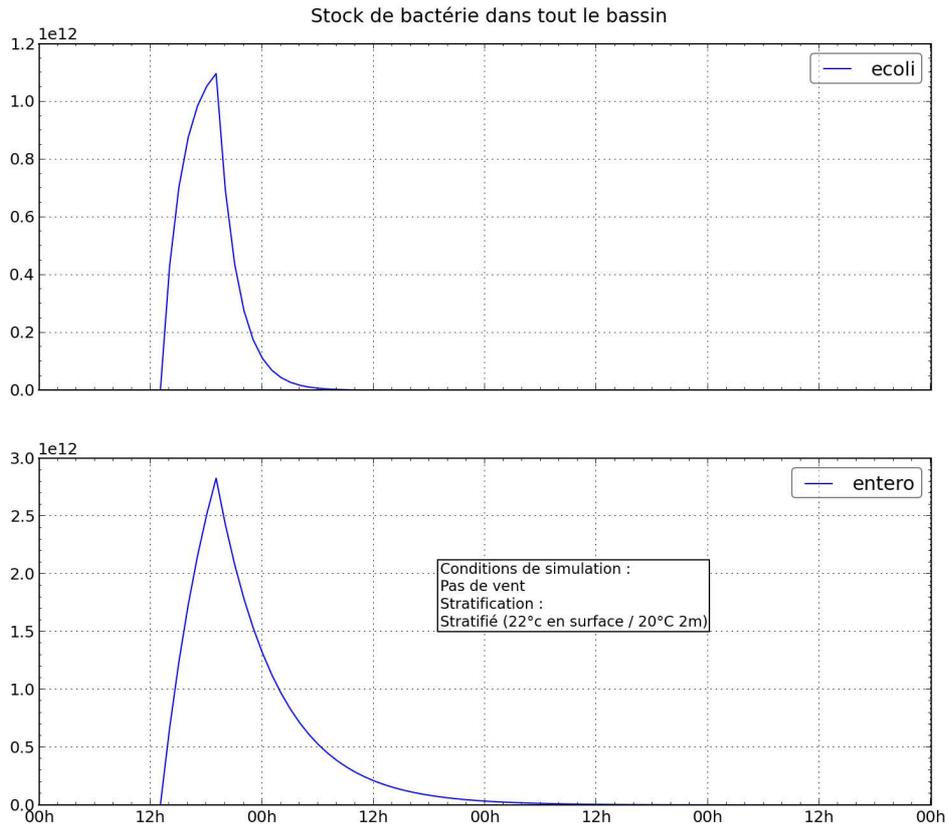


Figure 14 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2a_2

2.3.4 Scénario 2b_1

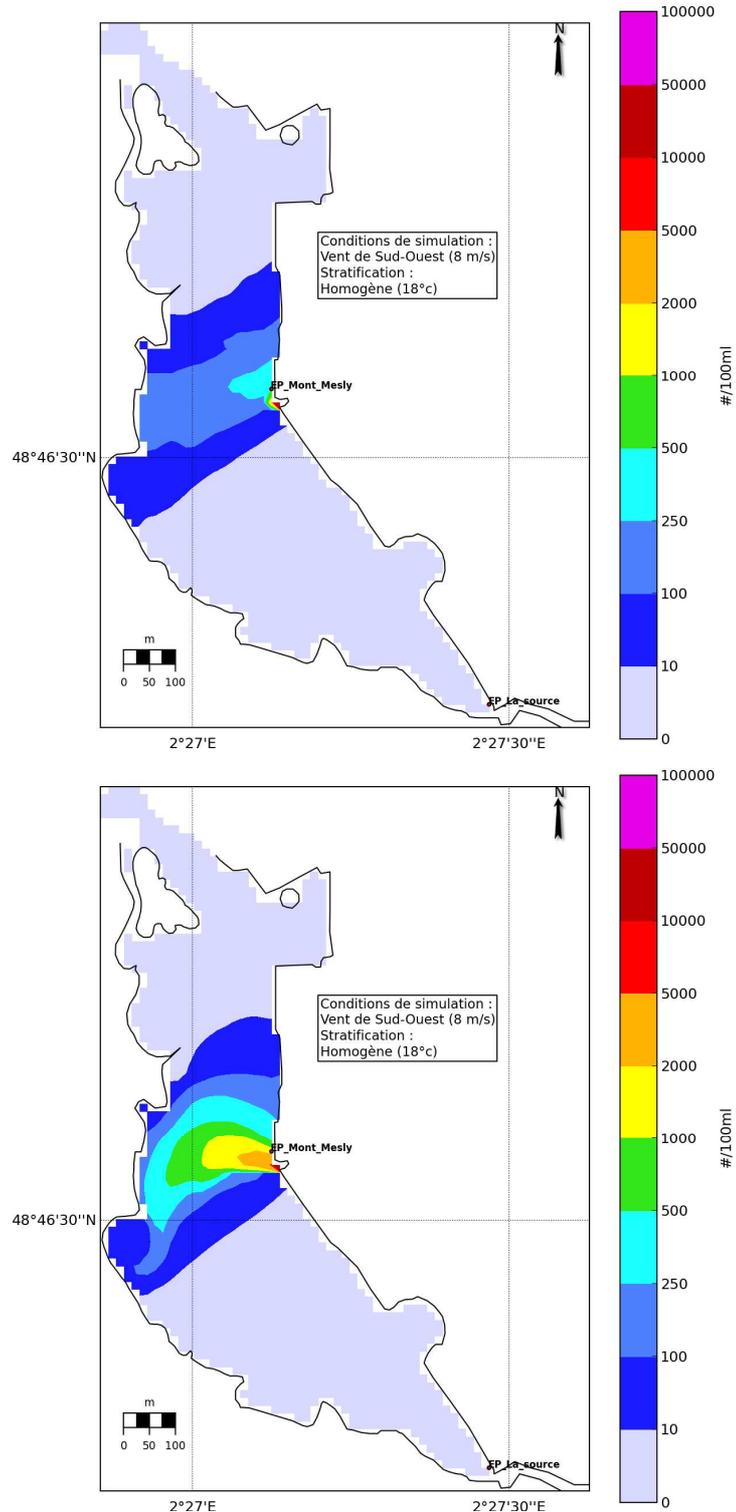


Figure 15 Concentration en E. Coli/100ml - SC2b_1
 En haut : surface / En bas : fond

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

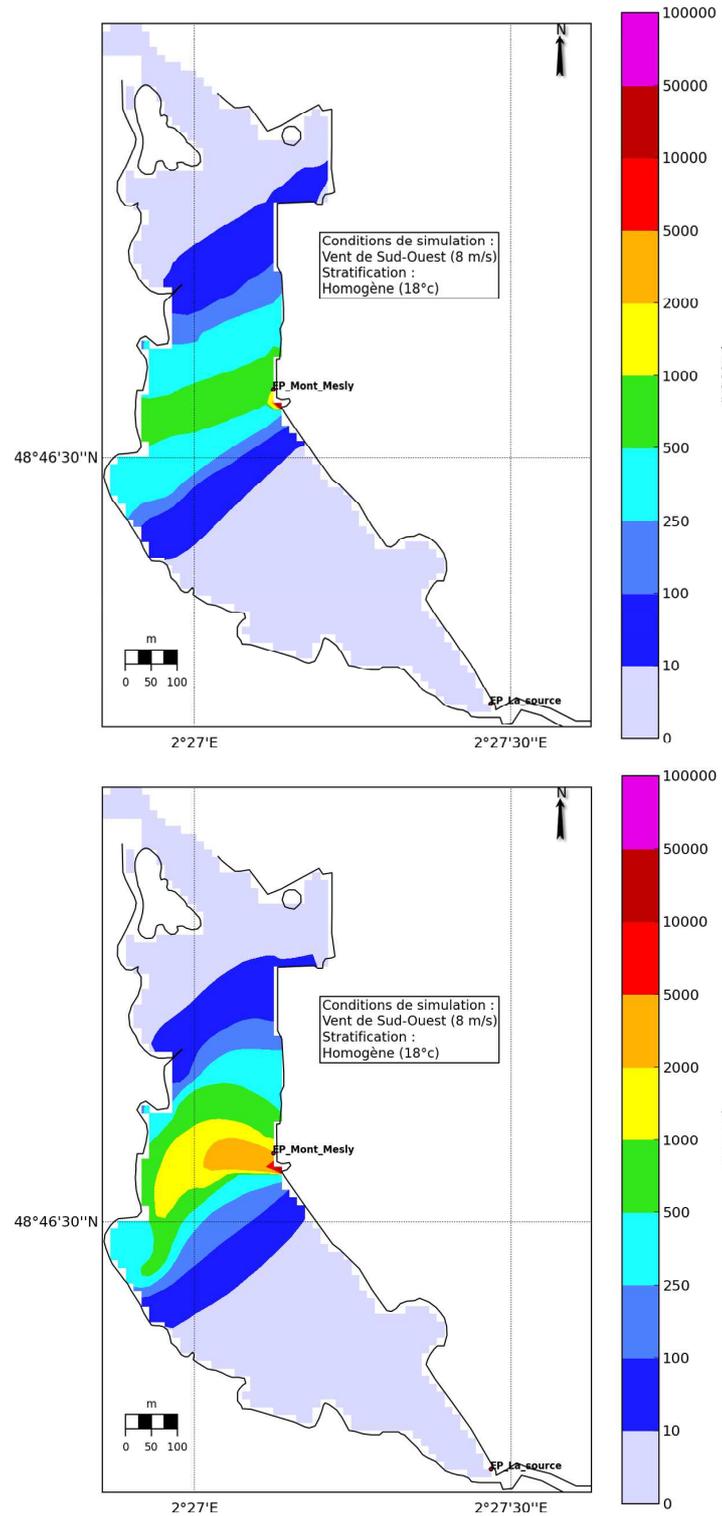


Figure 16 Concentration en Entéroкокs/100ml - SC2b_1
 En haut : surface / En bas : fond

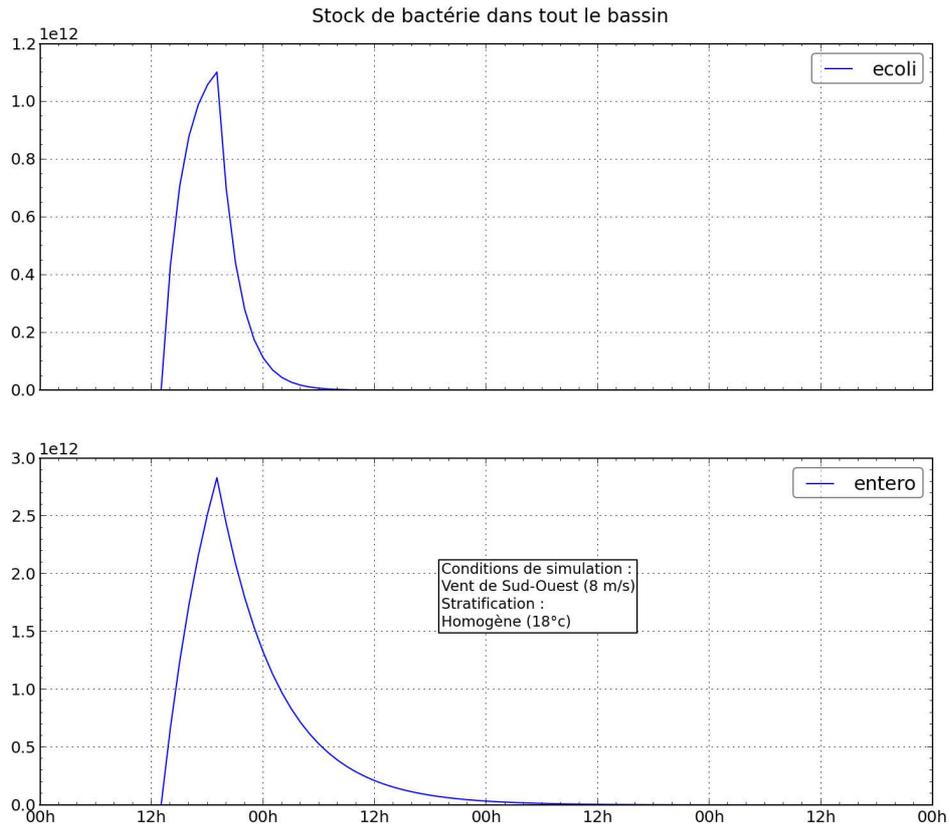


Figure 17 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2b_1

2.3.5 Scénario 2b_2

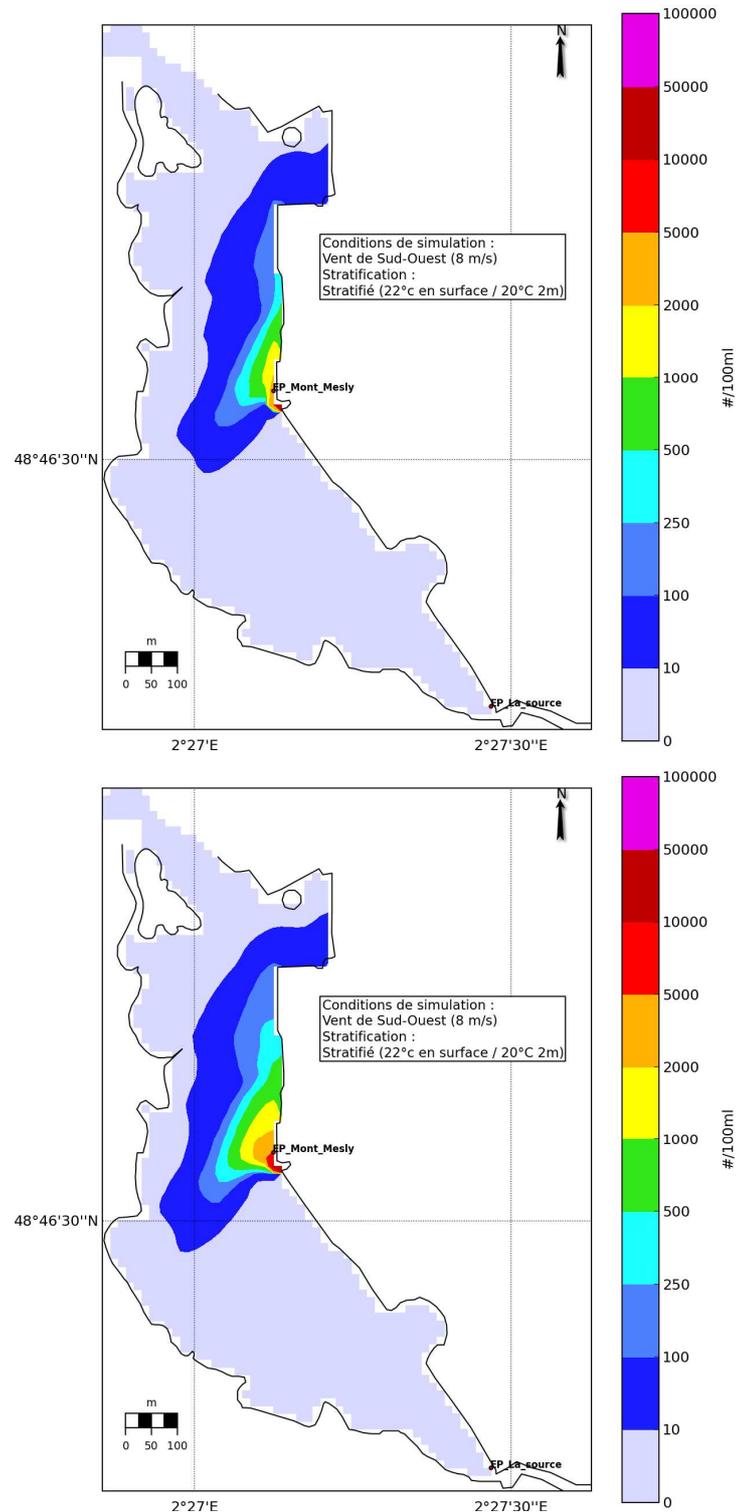


Figure 18 Concentration en E. Coli/100ml - SC2b_2
 En haut : surface / En bas : fond

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

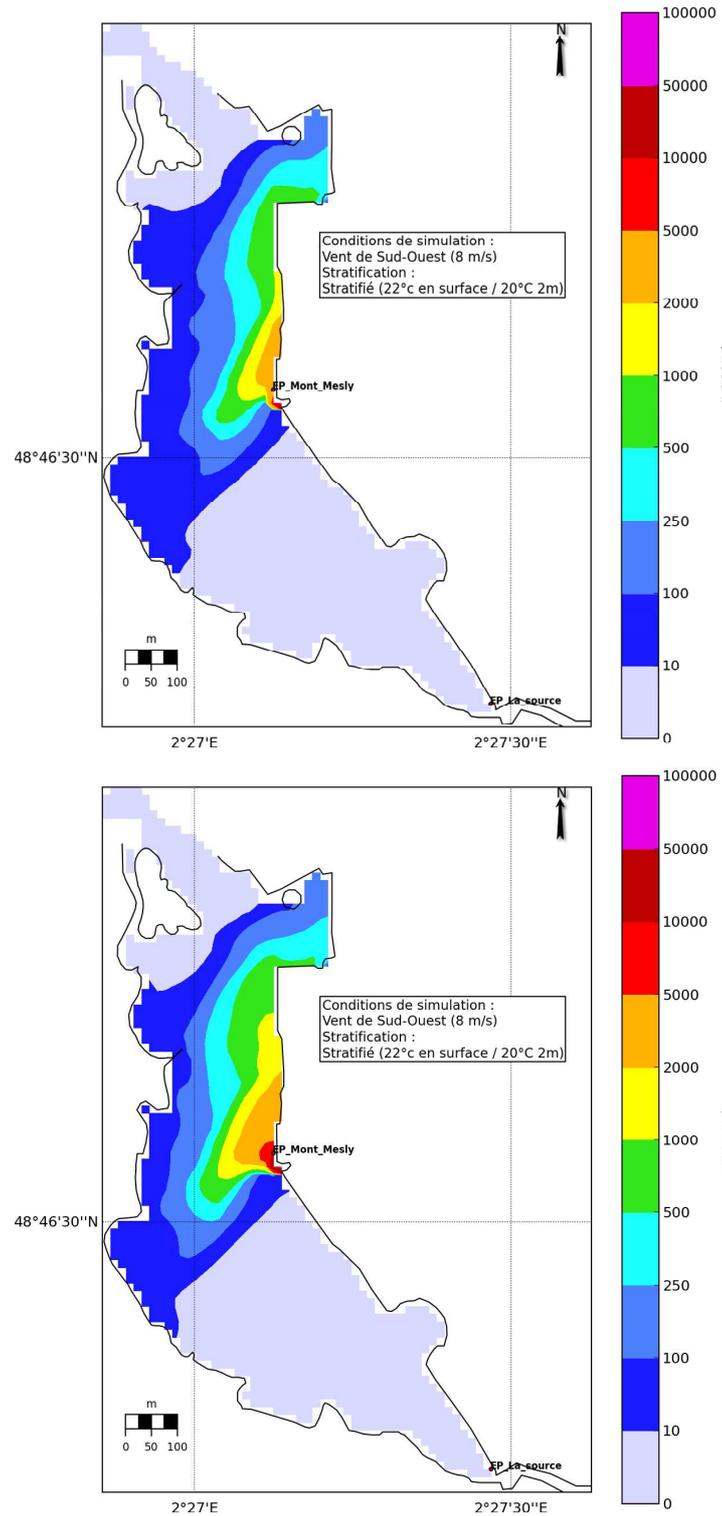


Figure 19 Concentration en Entéroкокs/100ml - SC2b_2
 En haut : surface / En bas : fond

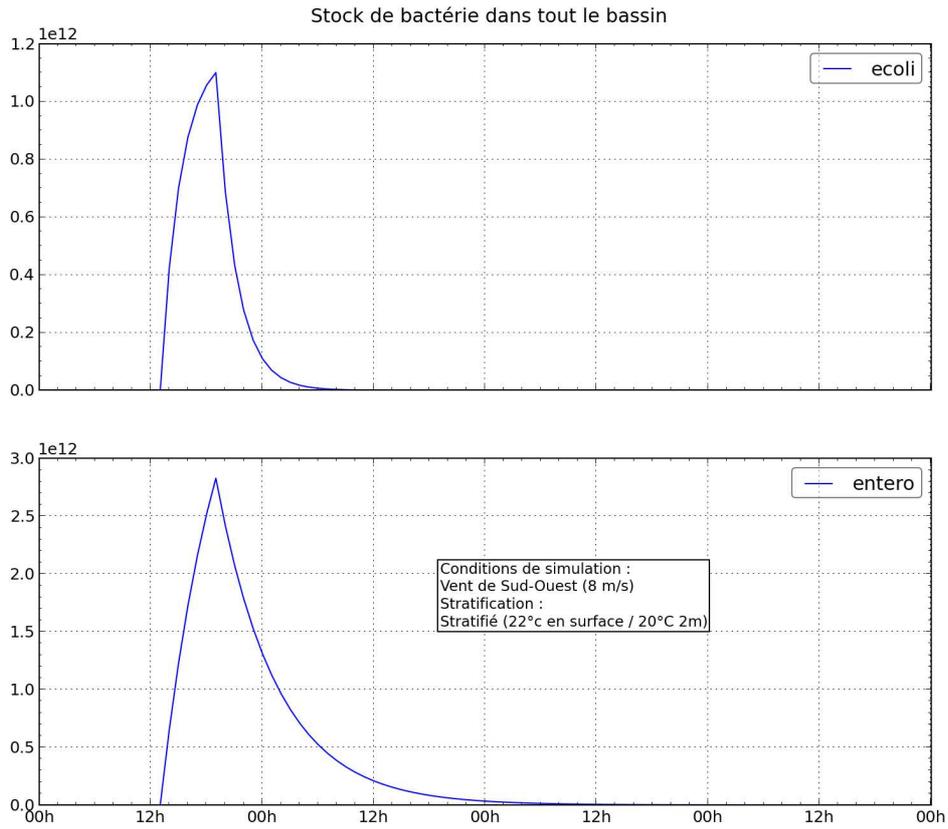


Figure 20 Stock de bactéries dans tout le lac – SC2b_2

2.3.6 Scénario 3a

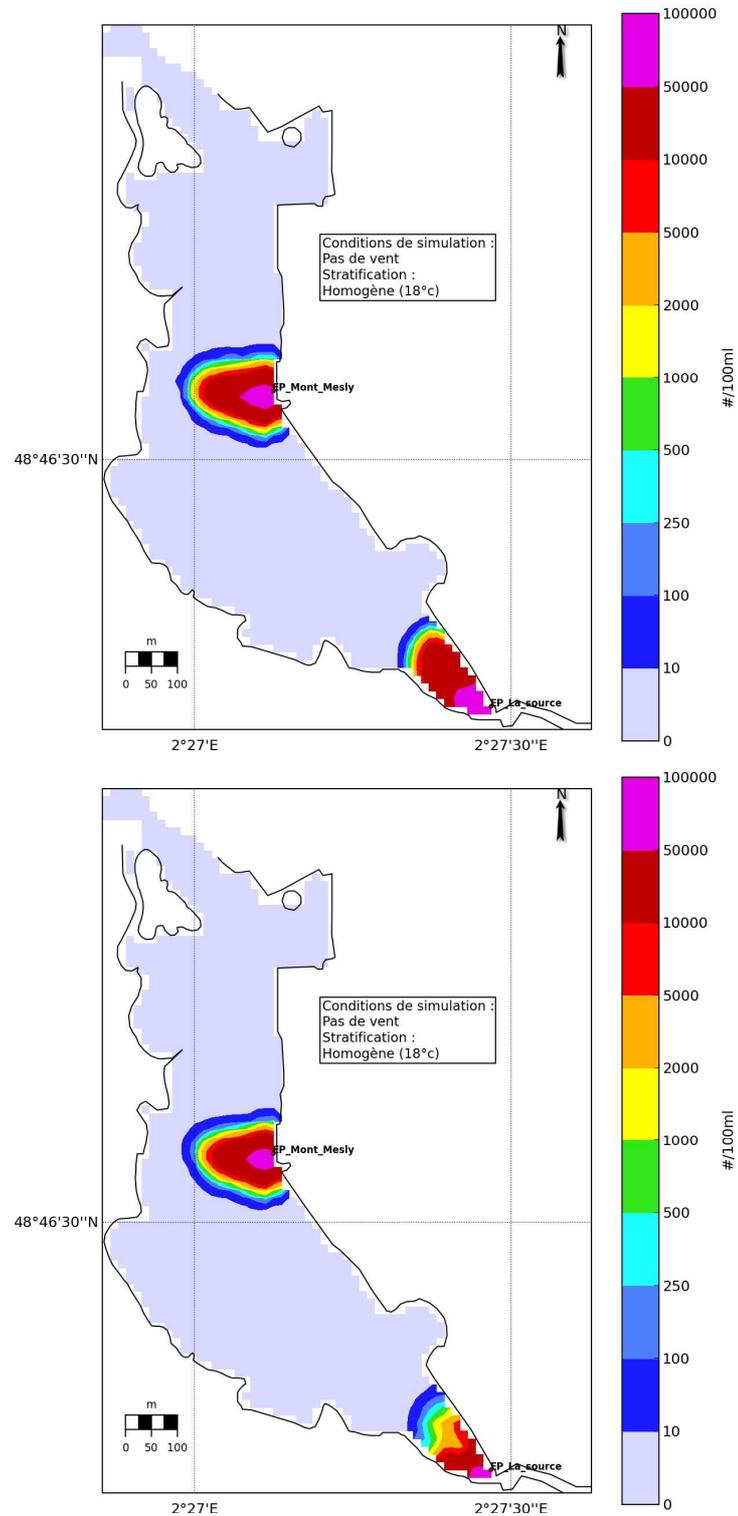


Figure 21 Concentration en E. Coli/100ml - SC3a
 En haut : surface / En bas : fond

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

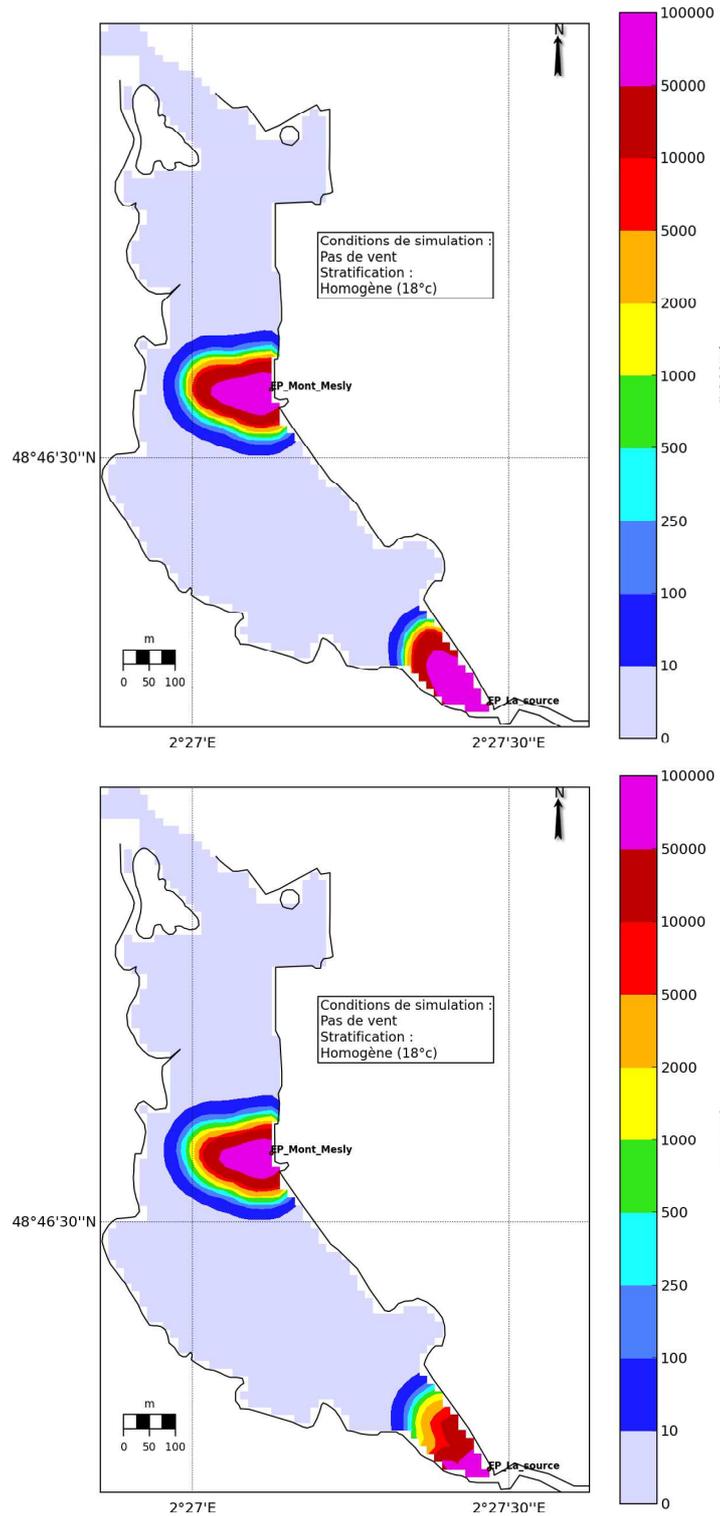


Figure 22 Concentration en Entéroкокs/100ml - SC3a
 En haut : surface / En bas : fond

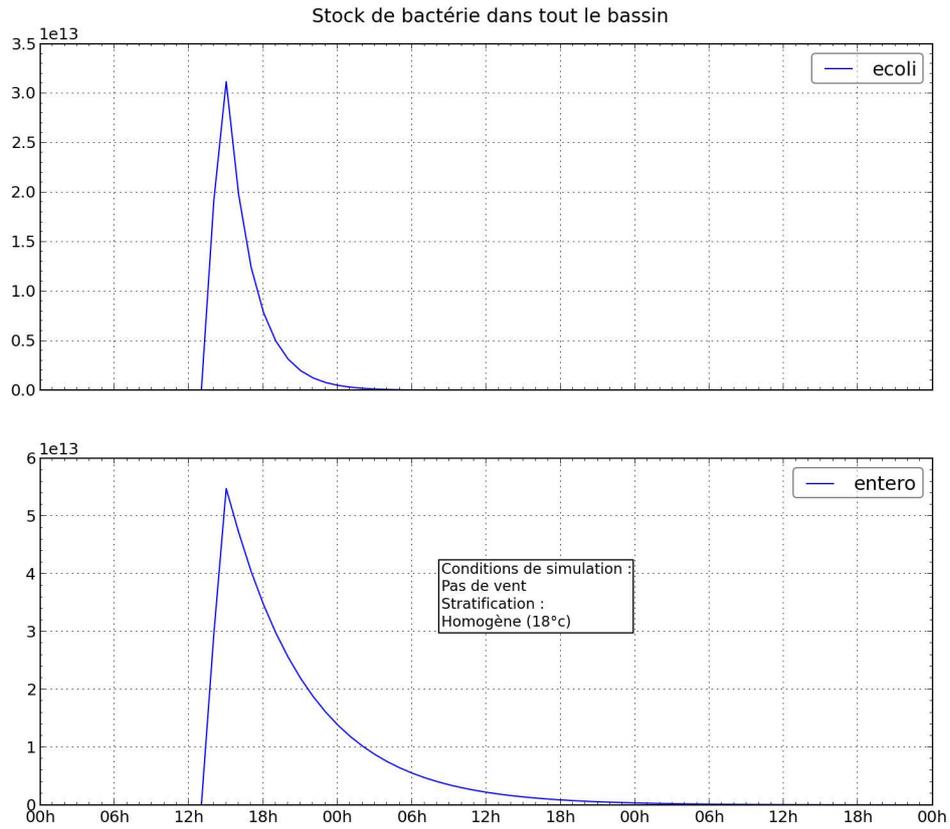


Figure 23 Stock de bactéries dans tout le lac – SC3a

2.3.7 Scénario 3b

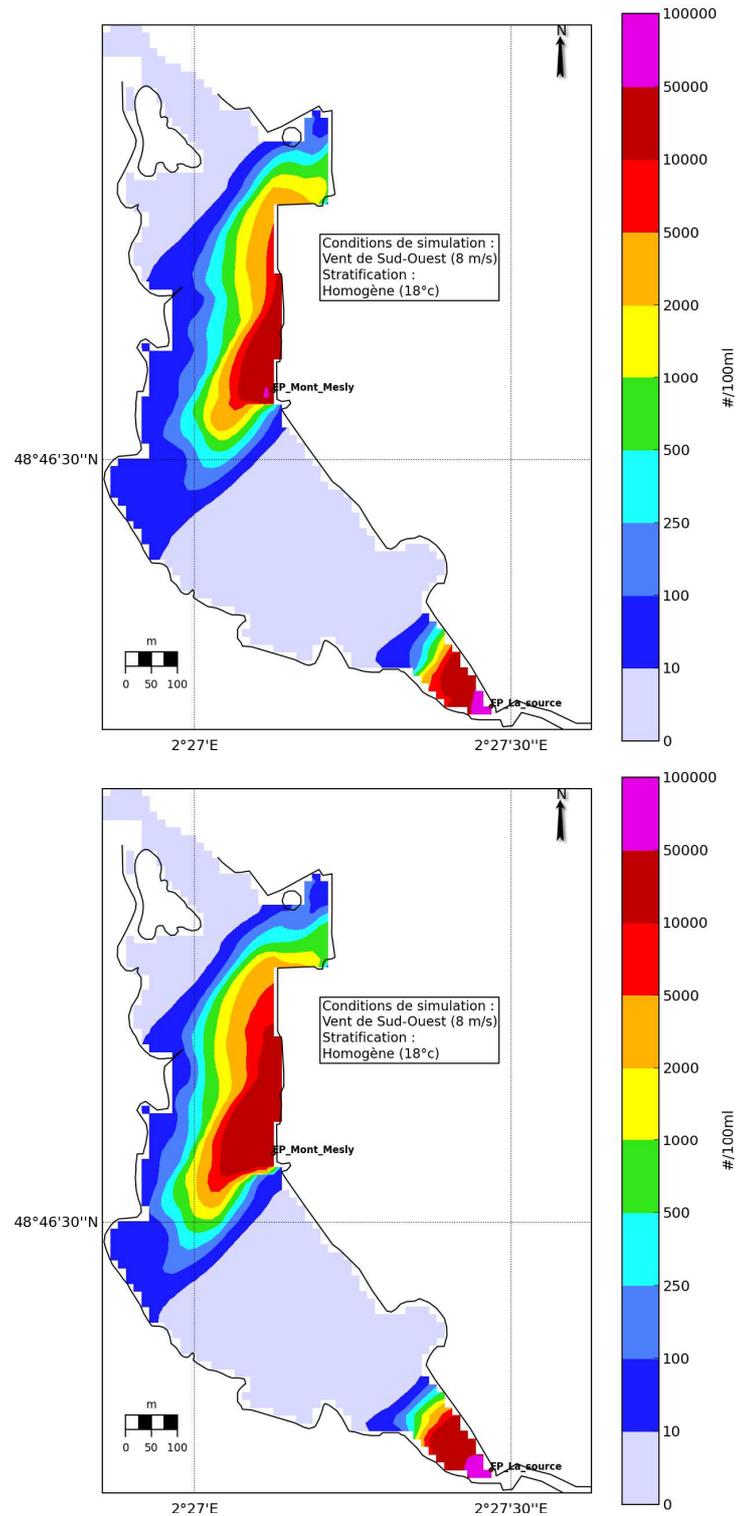


Figure 24 Concentration en E. Coli/100ml - SC3b
 En haut : surface / En bas : fond

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

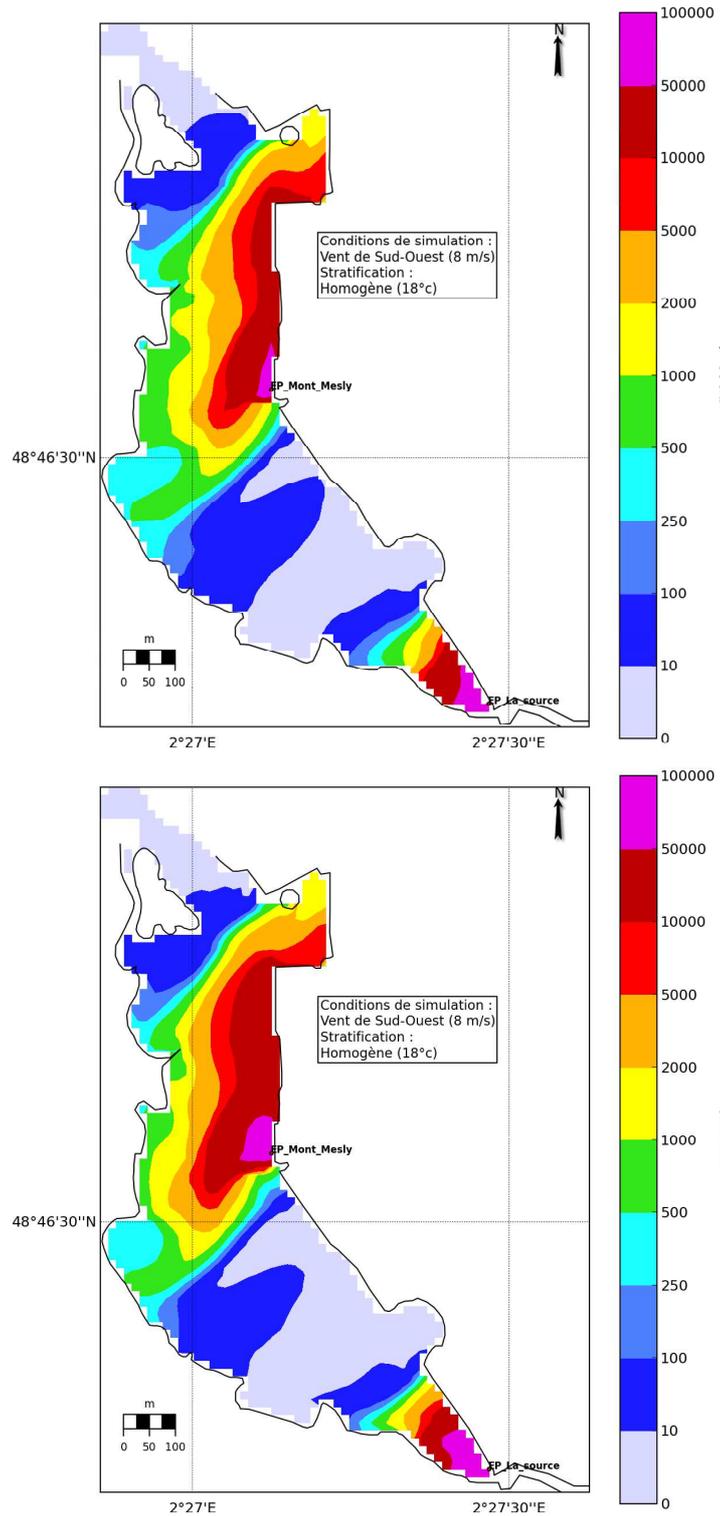


Figure 25 Concentration en Entéroкокs/100ml - SC3b
 En haut : surface / En bas : fond

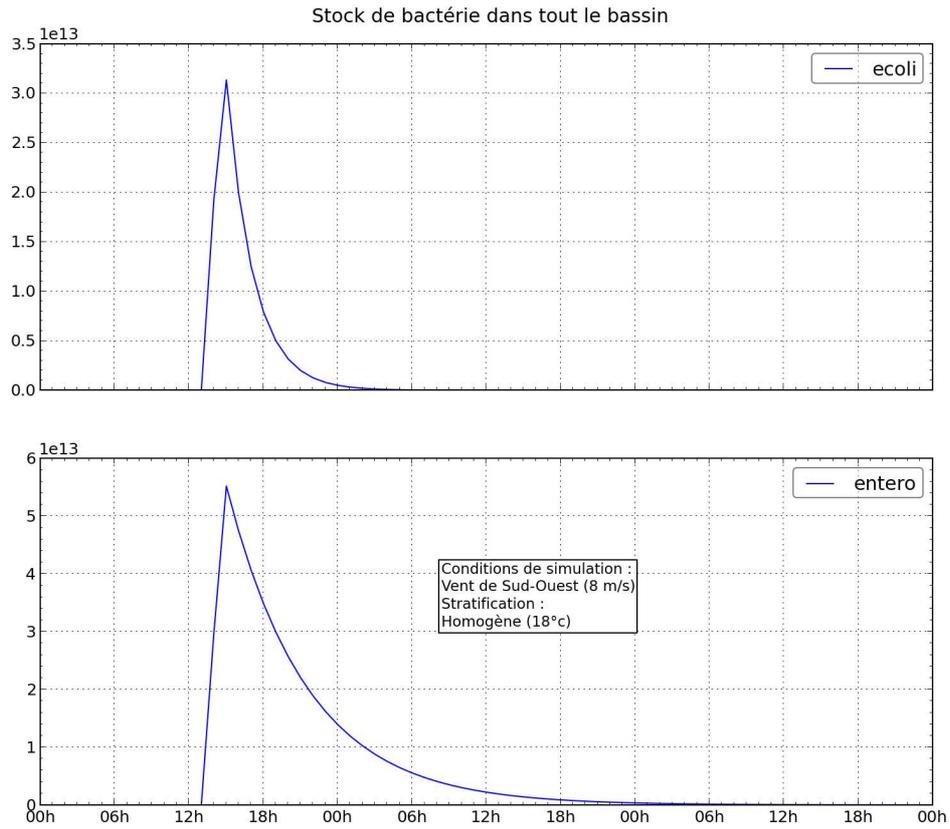


Figure 26 Stock de bactéries dans tout le lac – SC3b

2.4 Enseignements tirés de la modélisation

La modélisation permet de tirer les enseignements suivants :

- Le seul cas de figure qui ne soit pas potentiellement problématique c'est le cas par temps sec. Les apports polluants restent localisés à proximité de l'entrée de l'ouvrage cadre, ce qui permet d'envisager de maintenir les activités sur l'essentiel du plan d'eau.
- Dès lors qu'il y a un épisode pluvieux donnant lieu à un débordement via l'ouvrage cadre dans le lac (pluie d'environ 5 à 15mm en 6h, mais typiquement en moyenne de 10mm) on peut considérer qu'il y a risque de contamination latérale dans le plan d'eau. Si on extrapole les résultats obtenus, l'aire d'extension de cette contamination apparaît très dépendante de l'état de stratification thermique, de la température de la pluie, et surtout de la direction du vent. Ainsi, on peut considérer qu'avec un événement pluvieux de 10mm, on peut avoir une contamination de presque tout le côté Nord Est du lac avec un vent du Sud ouest, mais si le vent est un vent du Nord ouest, ce sera la moitié Sud-Est qui sera contaminée. Par vent d'Est la contamination ira vers la berge ouest et contaminera la zone nautique.
- Dans la situation d'une pluie extrême conduisant à un débordement de plusieurs m³/s on obtient une contamination majeure du lac, qui s'étend sur une bonne partie du plan d'eau. Dans cette situation les concentrations en milieu du lac dépassent largement les limites acceptables.
- Les temps de retour à la normale sont d'environ 18h après l'arrêt de la pluie pour un événement pluvieux de 10mm pendant 6h, et ce temps s'accroît jusqu'à 36h environ pour un événement majeur.

3

Plan d'actions

Le plan d'actions intègre les opérations existantes et déjà entreprises par le gestionnaire de la base de loisir et la région Ile de France et propose des solutions d'amélioration de la qualité des eaux.

On distingue généralement plusieurs types d'actions destinées à :

- réduire la quantité de pollution rejetée dans le milieu ;
- améliorer le fonctionnement au droit des zones d'activités dans le lac pour y limiter les risques ;
- renforcer la connaissance des mécanismes de pollution, au moyen par exemple d'analyses d'eaux plus fréquentes.

Dans cette partie, on distinguera les actions à conduire pour limiter les cinq risques suivants :

- Risque de pollution bactériologique (d'origine anthropique) ;
- Risque de contamination par les animaux ;
- Risque de prolifération des cyanobactéries ;
- Risque de contamination inter-humaine
- Risque de turbidité des eaux.

3.1 Hiérarchisation des sources de pollution

Afin d'établir un plan d'action, il apparaît au préalable utile de hiérarchiser les risques et d'identifier les actions qui peuvent leur être associés. Le tableau suivant synthétise les risques. Les niveaux de priorité mentionnés sont :

- Hors priorité : le risque n'existe pas, ou est tellement limité qu'il ne nécessite pas de mesures particulières
- Priorité 3 : le risque est faible, mais peut faire l'objet d'une mesure ou d'une surveillance spécifique
- Priorité 2 : le risque est moyen, et doit faire l'objet de mesure(s) et/ou surveillance spécifique.

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

- **Priorité 1 : le risque est fort, et doit faire l'objet de mesure(s) et/ou de surveillance spécifique.**

Tableau 3: Hierrarchisation des risques

| Source de pollution | Type de pollution | Impact potentiel | Etat du risque | Fréquence d'occurrence | Criticité en cas d'occurrence | Niveau de priorité |
|--|---|--|--|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Réseaux d'eaux pluviales | apports pluviaux directs au lac | Contamination fécale des eaux du lac et donc des personnes en contact avec l'eau. Contamination aux hydrocarbures. Eutrophisation (cyanobactéries) | Trois rejets (ouvrage cadre à l'est, point triple au sud, et rejets pluviaux de la piscine, de l'école de voile et du lycée à l'ouest). L'ouvrage cadre et dans une certaine mesure le point triple constituent des entrées majeures impactant tout le fonctionnement du lac | moyenne | très forte | priorité 1 |
| Apports par les eaux souterraines | apports nutritifs | eutrophisation du lac et prolifération de cyanobactéries | lac légèrement eutrophe. Une partie des apports nutritifs se fait par les eaux souterraines, c'est donc un vecteur de pollution potentiel, mais ces apports sont plutôt stables depuis des années. | forte | moyenne | priorité 2 |
| Flux issus des réseaux d'eaux usées | rejets eau usée sur conduites réseaux pluviaux | Contamination fécale des eaux du lac et donc des personnes en contact avec l'eau, eutrophisation. | un reliquat de flux d'eau usée parvient à l'ouvrage cadre. L'impact par temps sec est localisé. | forte | faible | priorité 2 |
| Rongeurs (rats) | contamination fécale | contamination bactérienne | présence de rats | moyenne | moyenne | priorité 2 |
| Ruissellement eaux pluviales | apports de contaminants au lac par entrainement des eaux | Contamination fécale des eaux du lac et donc des personnes en contact avec l'eau. Contamination aux hydrocarbures. Eutrophisation (cyanobactéries) | Quelques ruissellements vers le lac, mais le gros des apports vient plutôt par les réseaux (voir ci avant) | moyenne à faible | faible | priorité 3 |
| Inondation du plan d'eau par la Seine en cas de crue | apports organiques, nutritifs, microbiologique, turbidité | contamination bactérienne, eutrophisation (et cyanobactéries), faible transparence | Occurrence très faible (pas de crue dans les 20 dernières années). Risque d'eutrophisation notable | très faible | forte | priorité 3 |
| Oies bernaches, cygnes, canards | contamination fécale, risques cercaire | contamination bactérienne, dermatite cercarienne | Il y a des cygnes, canards et oies bernaches à proximité des bords, mais pas de baignade, donc risque limité | moyenne | faible | priorité 3 |

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

| Source de pollution | Type de pollution | Impact potentiel | Etat du risque | Fréquence d'occurrence | Criticité en cas d'occurrence | Niveau de priorité |
|------------------------------|--|--|--|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Chiens | contamination fécale | contamination bactérienne | chiens dispersés sur le pourtour du lac et baignade interdite | moyenne | faible | hors priorité |
| Rongeurs (ragondins, lapins) | contamination fécale | contamination bactérienne | présence de lapins, mais peu de risque associé | moyenne | très faible | hors priorité |
| Chevaux | contamination fécale | contamination bactérienne, eutrophisation (et cyanobactéries) | pas de chevaux ni de centre équestre aux abords du lac | très faible | très faible | hors priorité |
| Golf | apports d'engrais, de pesticides | eutrophisation du lac, toxique dans les chairs de poissons | pas de golf autour du site | très faible | très faible | hors priorité |
| Mouettes | pollutions liées aux mouettes | contamination bactérienne, eutrophisation du lac (cyanobactéries) | peu de mouettes | très faible | très faible | hors priorité |
| Station d'épuration | dysfonctionnement avec rejets d'eaux mal épurées percolant vers le lac de baignade | Contamination fécale des eaux du lac et donc des personnes en contact avec l'eau | Risque très faible, car la station d'épuration de Valenton rejette ses eaux dans la Seine et est loin du lac | très faible | très faible | hors priorité |
| Sites industriels | fuite accidentelle, rejets d'eau usée... | contamination des personnes en contact avec l'eau et de la chaîne trophique (poissons...) | Les sites industriels ou commerciaux situés à proximité du lac sont raccordés à l'égout. | très faible | très faible | hors priorité |
| Décharge sauvage | percolation de polluants par la nappe | contamination des personnes en contact avec l'eau et de la chaîne trophique (poissons...) | pas de décharge pouvant contaminer le lac | très faible | très faible | hors priorité |
| Extraction de granulats | turbidité de l'eau et hausse du taux de MES | mauvaise transparence de l'eau nuisible à la sécurité des activités nautiques en contact avec l'eau. | aucun car pas d'extraction en connexion avec le lac | très faible | très faible | hors priorité |
| Agriculture | apports d'engrais, de pesticides | eutrophisation du lac, toxique dans les chairs de poissons | pas d'agriculture | très faible | très faible | hors priorité |
| Elevage | contamination fécale | contamination bactérienne des personnes en contact avec l'eau, eutrophisation du lac | pas d'élevage sur le bassin versant direct du lac | très faible | très faible | hors priorité |
| Camping | contamination fécale | contamination bactérienne des personnes en contact avec l'eau, eutrophisation du lac | pas de camping | très faible | très faible | hors priorité |
| ANC | contamination fécale | contamination bactérienne des personnes en contact avec l'eau, eutrophisation du lac | pas d'ANC | très faible | très faible | hors priorité |
| Baigneurs | Contamination microbiologique, turbidité | Contamination inter-humaine des baigneurs | pas de baignade autorisés | très faible | très faible | hors priorité |
| Chenilles urticantes | émission poils urticants | allergies par contact avec la peau | pas de chenilles urticantes | très faible | très faible | hors priorité |
| Chien Terre neuves | contamination fécale lors des baignades | contamination bactérienne | pas de chiens terre neuve sur site | très faible | très faible | hors priorité |
| Pêcheurs de carpes | contamination organique par les appâts | eutrophisation du lac | On peut considérer l'impact comme limité. | moyenne | faible | hors priorité |
| Bateaux à moteur | pollutions aux hydrocarbures | contamination des personnes en contact avec l'eau, des poissons et oiseaux... | Jamais constaté | très faible | très faible | hors priorité |

Dans le cas présent, on note la présence d'un risque en priorité 1 qui est lié aux apports venant des réseaux pluviaux et qui impacte à la fois le niveau de contamination bactérienne de l'eau du lac et le niveau trophique de celui-ci, donc le risque de prolifération des cyanobactéries.

3.2 Opérations existantes ou en projet

On note tout d'abord que les différentes activités sont séparées spatialement, les activités nautiques au centre du lac, la baignade est externe au lac puisqu'elle se fait en piscine et n'est donc pas impactée par le lac à proprement parlé, et la pêche plus dispersée mais localisée sur une bonne partie du pourtour du lac.

Au cours de ces dernières années, le gestionnaire de la base de loisir a réalisé les actions suivantes pour diminuer les risques de pollution :

- La baignade est interdite (l'arrêté préfectoral n°79/177 du 23 janvier 1979 est toujours en vigueur) ;
- Les chiens sont autorisés tenus en laisse ;
- La pêche est autorisée, moyennant un permis de pêche, à l'exclusion de la roselière du lac de Créteil (qui est classée en ZNIEFF 1). Par contre, la remise à l'eau des prises est obligatoire (la pêche a été ponctuellement interdite dans les années 90 et au début des années 2000 en lien avec des cas constatés de botulismes, mais il n'y a pas eu de cas récent).
- Les bords ouest du lac sont équipés de poubelles, sanitaires et toutes les commodités nécessaires, et les seules embarcations à moteur autorisées sur le plan d'eau sont les bateaux assurant la sécurité.



Photo 1 : Pancarte de signalisation de la BPAL de Créteil

- Les espaces verts qui bordent le lac sont entretenus par la ville de Créteil. Est appliquée une **gestion différenciée** des pelouses au niveau des berges du lac :
 - aucun pesticide ni herbicide n'est utilisé, l'utilisation de produits phytosanitaires ou de tondeuses ont été abandonnés,
 - l'herbe est fauchée à la main une fois par an ;
 - les chardons sont également enlevés à la main ;
 - un engrais organiques est utilisé ;
 - Les pelouses sont arrosées avec l'eau du lac ;
 - Un faucardage partiel des roselières est effectué 1 fois par an environ ;
 - Les arbres morts sont conservés sur pied.

L'île n'est ni ouverte au public ni entretenue. Des opérations en bateau sont organisées pour contrôler les stations de Jussie dans ce secteur. En effet, les stations de Jussie sont traitées 1 à 2 fois par an (selon nécessité).

- Le lac de Créteil fait l'objet depuis de nombreuses années d'un suivi de sa qualité des eaux par le conseil général du Val de Marne (DSEA94) et la ville de Créteil. Une synthèse en est faite tous les 5 ans dans le cadre d'un rapport spécifique ;
- Enfin, nous pouvons noter que des travaux ont eu lieu sur les réseaux d'assainissement pluvial du Mont Mesly, de sorte notamment à réduire les rejets d'eaux usées dans ce réseau, et à réaménager l'ouvrage cadre en amont du déversement dans le lac de Créteil.

3.3 Points à problèmes

Il y a malgré tout, un certain nombre de points à problèmes dans la gestion de la base de loisir. Les principaux problèmes identifiés sont les suivants :

- Si des travaux ont été réalisés sur l'ouvrage cadre et sur les réseaux de collecte d'eau pluviale qui l'alimente de sorte à supprimer les rejets d'eau usée, il semble persister un écoulement de temps sec de l'ordre du litre par seconde, et on peut supposer qu'il provient d'apports d'eaux usées, qui contamine le plan d'eau. L'aire d'effet de cette contamination est abordée dans le chapitre modélisation du présent rapport ;
- L'ouvrage cadre draine des flux polluants importants par temps de pluie, et on peut avoir jusqu'à $7,5\text{m}^3/\text{s}$ d'eaux pluviales arrivant dans le lac avec son cortège de pollution (bactérienne, nutriments, matières organiques, ...). La modélisation aborde également ce problème et nous renvoyons au chapitre correspondant pour l'aire impactée par ce flux.
- Le point triple est aussi un point d'entrée potentielle de flux polluants de temps de pluie. Cet ouvrage déverse dans le lac lorsque le débit passant par l'ouvrage est compris entre 2 et $3,5\text{m}^3/\text{s}$.
- Il n'y a pas de baignade autorisée (à raison), mais certains promeneurs se baignent quand même ponctuellement sur la cote ouest du lac ;
- La présence de rats pose problèmes car les rats sont des vecteurs potentiels de maladies, à la fois dans l'eau et sur terre. Des campagnes de lutte contre les rats ont été entreprises, mais le caractère très urbain des abords du plan d'eau complique la gestion de cette population ;
- La surveillance de la qualité de l'eau réalisée par le conseil général est très utile, mais comporte plusieurs insuffisances. Les principales sont présentées ci après :
 - Les rapports de synthèse sont fait tous les 5 ans, alors qu'un rapport annuel serait sans doute utile ;

- L'analyse des données se base trop sur les grilles de lecture, et il manque un vrai diagnostic du fonctionnement du lac ;
 - Les mesures sont souvent faites à profondeur fixe, soit en surface, soit à mi profondeur, mais il n'y a pas de mesures en fond de lac ;
 - Il n'y a qu'un point de suivi physico-chimique (le point 2), ce qui est insuffisant ;
 - Il n'y a pas de campagnes de mesures dédiées au suivi par temps de pluie ;
 - Il manque également des mesures des flux de contaminants entrant dans le lac ;
 - Plusieurs paramètres clés ont des seuils d'analyse incompatibles avec le but affiché. C'est notamment le cas du phosphore pour lequel le seuil minimal d'analyse est déjà supérieur au seuil d'eutrophisation donc inadapté. Dans l'autre sens, les analyses bactériologiques sont plafonnées à 35000/100ml alors que les valeurs réelles peuvent dépasser ce seuil et qu'il serait utile de savoir quels sont les maximum obtenus ;
 - Il n'y a pas de spéciation des espèces phytoplanctoniques qui permettrait pourtant de mieux caractériser le risque de prolifération des cyanobactéries.
- En plus des suivis réalisés par le conseil général 94 et la ville de Créteil, des suivis sont réalisés par ailleurs (LEESU, MNHN...). D'une façon globale, ces suivis ne sont pas inter corrélés, l'accès aux données étant restreint voire bloqué, ce qui empêche les intervenants de disposer des données globales pour en faire l'état des lieux. C'est un point au mieux source de perte de temps, mais pouvant au pire conduire à des erreurs de diagnostic faits sur la base de données partielles, voire anciennes à défaut de disposer des données récentes.
 - En l'état actuel, il manque un suivi quantitatif des biomasses de poissons, et de la biomasse macrophytique (celle ci est probablement cantonnée sur les bords du lac, mais son aire d'extension gagnerait à être précisée).

3.4 Actions visant à améliorer les connaissances

3.4.1 Suivre la qualité des eaux lors d'une crue de la Seine

Le plan d'eau est disposé à proximité de la Seine. Cependant la configuration des lieux et les analyses chimiques de l'eau de la nappe laissent à penser que la Seine alimente peu le lac, et que la nappe coule vers la Seine plutôt que dans l'autre sens. On ne recommande donc pas de suivi spécifique lors des crues de la Seine (pour

autant que celles ci ne débordent pas dans le lac, ce qui est un autre problème et qui est abordé dans la suite du présent rapport).

3.4.2 Mieux identifier les risques provenant des alimentations du plan d'eau

Le plan d'eau reçoit principalement les apports de son bassin versant via les rejets d'eaux pluviales, et des eaux de nappe.

Il est non seulement difficile de quantifier les flux provenant de la nappe, mais aussi d'agir dessus. A contrario, les flux provenant de l'ouvrage cadre et du point triple gagneraient à être mieux connus de façon à caractériser leur impact sur le fonctionnement du plan d'eau et à envisager d'éventuelles actions complémentaires en lien avec les plans d'action déjà mis en œuvre jusqu'à présent sur ces ouvrages. Un suivi est en cours dans le cadre de la thèse de doctorat de Frédéric Soullignac, mais cette thèse ne sera terminée qu'en fin d'année, et les résultats n'en sont donc pas encore connus. Il semble que cette thèse comporte un relevé des flux de nutriments (débit et concentrations) sortant de l'ouvrage cadre entre juin 2013 et janvier 2014. Il sera donc possible d'intégrer ces résultats dans le diagnostic du lac de Créteil, et nous encourageons cette intégration dans la révision du profil de baignade lorsqu'elle interviendra.

Cela étant, il reste quelques zones d'ombres qu'il conviendra d'étudier plus finement. Les questions à régler sont les suivantes :

- Quels sont les flux bactériens parvenant actuellement au lac lors des épisodes pluvieux, via l'ouvrage cadre et via le point triple ;
- Quels sont les flux nutritifs parvenant au lac lors des épisodes pluvieux via le point triple (il semble que la thèse de Frédéric Soullignac n'intègre pas cet ouvrage mais ce point reste à confirmer une fois que les résultats seront disponibles) ;
- Quelle est la dynamique des échanges eau sédiments ;
- Un dernier point est lié au lessivage des remblais liés à l'ancienne décharge renaturée. Il n'y a pas de suivi des toxiques dans le lac qui permettrait de s'assurer de l'absence de percolation de contaminants par temps de pluie.

On propose donc de faire des compléments d'étude qui comporteront les points suivants :

- Suivi de quelques épisodes de grosses pluies conduisant au déversement dans le lac des eaux pluviales via l'ouvrage cadre et dans une moindre mesure via le point triple. Lors de ces épisodes, il conviendra de mesurer au pas de temps de 2h pour chaque déversement le débit, les teneurs en PO₄, Ptotal, NO₃, NH₄, NTK, en E Coli et en entérocoques, ainsi qu'en DBO₅ et DCO, et la température de l'eau. On mesurera aussi au moins la température du lac. Il faudrait suivre au moins les 2 ou 3 plus gros épisodes de pluie entre l'automne et la fin du printemps.

- Lors de ces mêmes 2 ou 3 gros épisodes de pluie, nous recommandons de faire un échantillonnage d'eau au sud ouest du lac pour y rechercher les métaux lourds, hydrocarbures totaux, et HAP, de sorte à vérifier l'absence de contamination par lessivage d'anciens sols potentiellement contaminés sous les buttes aménagées.
- Faire un échantillonnage de sédiment au centre du lac, et y analyser le potentiel redox, le pH, la siccité, les teneurs en matière organique, en phosphore total, en azote global, en fer et en manganèse. Par ailleurs, une granulométrie des sédiments serait utile pour évaluer leur capacité à être remis en suspension.

3.4.3 Campagnes de mesures complémentaires pour compléter le diagnostic

Il s'agit ici de compléments dans le but de caractériser plus finement le diagnostic de fonctionnement du plan d'eau. Beaucoup de données existent, qui permettent une connaissance approfondie du fonctionnement du lac. Il y a cependant quelques niches d'amélioration, et certains points de connaissance gagneraient à être complétés. Nous recommandons donc de prévoir les quelques compléments suivants :

- Nous suggérons d'amender les suivis réalisés par la DSEA 94 comme suit :
 - Intégrer des profils verticaux mesurés in situ dans les suivis réalisés (profil vertical de température, d'oxygène dissous et mesure de pH).
 - Modifier les seuils analytiques sur le phosphore (descendre au moins à 15µgP/l) et supprimer les seuils maximum de mesure des paramètres bactériologiques de sorte à clairement identifier les pics.
 - Au point central du lac, faire des mesures en sub surface et 50cm au dessus du fond, plutôt que de ne prendre qu'un échantillon à mi profondeur, ne permettant pas de caractériser la stratification chimique et biologique verticale ;
 - Faire des identifications du phytoplancton au niveau du genre sur les échantillons prélevés au point central du lac et mesurer conjointement la chlorophylle a et les phéopigments. Il est important que ces prélèvements spécifiques soient faits 50cm sous la surface et 50 cm au dessus du fond et ne soient pas des prélèvements intégrés sur la profondeur. En effet, aucun lien n'est apparu entre les transparences mesurées et les teneurs en chlorophylle a intégrées, et il convient de clarifier l'état de stratification verticale du phytoplancton.
- Procéder à un inventaire de la biomasse de poissons. Il s'agit notamment de vérifier si les peuplements sont équilibrés et quel est l'état de la biomasse de poissons fousseurs (toujours dans la perspective de clarifier l'impact

potentiel de cette biomasse sur la transparence de l'eau). L'inventaire gagnera à être réalisé en dehors de la saison froide ;

- Procéder à un inventaire complet de la couverture macrophytique en fond du plan d'eau. Celle ci comportera les espèces et leur taux de recouvrement spatial. Cet inventaire devra préférentiellement être réalisé sur une campagne en fin de printemps (juin).

3.5 Actions préconisées

Rappelons que le risque critique est celui des contaminations bactériennes liées aux apports par temps de pluie via l'ouvrage cadre et dans une moindre mesure via le point triple. Il induit un risque de catégorie 1 associé (voir Tableau 3). Les actions considérées en lien avec ce problème, et avec les quelques risques mineurs identifiés sont présentées ci après.

3.5.1 Actions visant à limiter le risque de contamination bactérienne d'origine anthropique

D'après les résultats des phases 1 et 2 le risque de contamination anthropique semble important. Il est en grande partie lié aux eaux pluviales. Sur la base des éléments collectés dans le cadre de l'étude, on propose de mettre en œuvre les actions suivantes :

- Poursuivre le travail visant à supprimer l'ensemble des rejets de temps sec dans le réseau pluvial alimentant l'ouvrage cadre ;
- Vérifier les flux parvenant via le point triple pour évaluer s'ils sont significatifs et de nature à poser problème (ce point est abordé au paragraphe 3.4.2). En fonction des résultats obtenus, il conviendra de déclencher ou pas une étude spécifique visant à réduire ces flux.



Photo 2 : Ouvrage cadre

D'une façon générale, les études réalisées laissent à penser que la solution la plus radicale, consistant en un détournement des rejets d'eaux pluviales vers un autre

exutoire serait d'un coût considérable. Le simple report du rejet de l'ouvrage cadre vers le coin sud est du plan d'eau (donc moins impactant pour le lac, d'autant que l'on pourrait alors envisager d'y implanter une zone humide séparant ces rejets du reste du lac), coûterait à elle seule très chère. Ce projet a été évalué en 2002 à presque 6 millions d'euros de l'époque, et encore, ce chiffrage n'incluait il pas le réaménagement intérieur du plan d'eau pour abattre les flux bactériens avant qu'ils n'arrivent dans la partie centrale du lac.

Au vu des montants en jeu, et compte tenu des activités concernées, on propose une approche plus dynamique consistant à neutraliser les activités pendant les périodes à risque. Ce point sera repris dans le chapitre suivant (gestion active).

3.5.2 Actions visant à réduire le risque de contamination par les animaux

Le problème de contamination fécale par les animaux concerne essentiellement les oiseaux et les rats. Ces problèmes n'ont pas un caractère aussi critique que celui des pollutions anthropiques évoqués ci avant, car il n'y a pas d'activité de baignade.

3.5.2.1 Contaminations apportées par les chiens

Les chiens doivent être tenus en laisse au bord du plan d'eau. On ne peut qu'encourager au maintien de cette réglementation.

3.5.2.2 Contaminations apportées par les rats

Comme évoqué, il y a des rats sur le pourtour du lac, et ce, en lien avec l'environnement très urbanisé des abords du plan d'eau. Or les rats sont des vecteurs de pollutions microbiologiques et nuisent aux activités au sens large, même à celles qui sont à terre. Il convient de prendre les mesures suivantes :

- Ramasser régulièrement les déchets et ordures déposés aux abords du lac notamment au nord de celui ci (malgré la présence de poubelles, certains citoyens jettent leurs déchets à même le sol, et ces derniers peuvent se retrouver au bord du lac, poussé par le vent). Ces éléments sont autant d'ancrages favorables aux rats qu'il convient de circonscrire. L'ajout de panneau de sensibilisation du public à une bonne gestion des déchets par l'usage des poubelles, serait également utile ;
- Procéder ponctuellement et en fonction des besoins à des campagnes de dératisation.



Photo 3 : Déchets flottants au nord du lac de Créteil

3.5.2.3 Contaminations fécales apportées par les colonies d'oiseaux aquatiques

Cette contamination n'est pas la plus pénalisante car il n'y a pas de baignade dans le lac, mais elle s'ajoute aux autres contaminations. Elle intervient pour partie directement dans l'eau mais aussi en bord de plan d'eau, avec notamment une population d'oies bernaches et de cygnes. Les germes pathogènes peuvent constituer un risque pour les enfants qui y jouent.

Afin de réduire ce risque, on propose d'entreprendre les actions suivantes :

- Il est important **d'interdire aux usagers du plan d'eau de nourrir les oiseaux** sur la base de loisir, et donc de disposer de suffisamment de panneaux d'information à ce sujet ;
- Il est également important que les détritiques et déchets alimentaires soient mis dans les poubelles prévues à cet effet (ce point a déjà été abordé ci avant). Il convient de ramasser régulièrement les déchets dans les poubelles et aux abords de celles-ci. Cette mesure vise à réduire l'attractivité de la plage aux oiseaux ;
- Un ramassage manuel des déjections des gros oiseaux aquatiques et des chiens sur les zones engazonnées (oies, cygnes) gagnerait à être envisagé à une fréquence appropriée ;
- Une autre mesure à envisager consistera à **réaliser une gestion des populations**, notamment par stérilisation des œufs, ou par abattage sélectif (les oies bernaches ne sont plus parmi les espèces protégées et c'est ce qui explique sans doute que leur population ait régressé dans de nombreux plans d'eau) ;

On retiendra dans un tel contexte que la combinaison d'une limitation des facteurs d'attractivité joint à des facteurs de réduction de peuplement devrait limiter les populations d'oiseaux aquatiques aux abords des aires d'activités humaines et les risques associés.



Photo 4 : présence d'oiseaux sur le lac de Créteil

3.5.2.4 Dermatite cercarienne

Ce problème inclut les oiseaux aquatiques mais aussi les mollusques porteurs intermédiaires, et le contexte environnemental au sens général.

Le cycle des cercaires passe par un hôte intermédiaire qui est un mollusque (*radix...*). Les cercaires sont émises par intermittence depuis ces hôtes intermédiaires. Les fucocercaires émis passent dans l'eau à la recherche de l'hôte définitif (dans le cas présent, principalement les canards et cygnes et probablement aussi les oies bernaches). C'est à ce stade qu'ils peuvent contaminer les humains en pénétrant à travers la peau.

Dans le cas présent, et dans la mesure où aucune activité de baignade n'est autorisée, ce risque reste relatif et aucune mesure spécifique n'est requise à ce stade (d'autant que ce risque n'est pas ici avéré).

Cependant, si d'aventure des cas de dermatite cercarienne étaient constatés dans l'avenir sur les personnes pratiquant des activités de voile, l'une des mesures à prendre consisterait alors à faucher les macrophytes aux abords du port de voile et à en éloigner les oiseaux.

3.5.3 Actions visant à limiter le risque lié aux cyanobactéries

Comme indiqué dans le présent rapport et dans le rapport de phase 2, les apports nutritifs proviennent en grande partie des eaux souterraines et des eaux pluviales véhiculées par l'ouvrage cadre (et dans une moindre mesure par le point triple). A cela s'ajoute les pollutions locales (oiseaux, rats,...) mais celles ci restent sans doute secondaires par rapport aux deux autres sources de contamination.

Le rapport de phase 2 conduit à penser que le lac est eutrophe. Ce point est conforté par le diagnostic en cours réalisé dans le cadre de la thèse de Frédéric Soullignac. En effet, de dernier confirme que les teneurs en chlorophylle a présentent des pics entre 20 et 50 $\mu\text{gChla/l}$ en été, et ces valeurs sont plutôt caractéristiques d'un lac eutrophe. Le lac a une stratification intermittente en période estivale. Elle peut monter jusqu'à 7°C, mais est généralement plutôt comprise entre 0 et 5°C intercalée de phases de brassage. Lors des pics de stratification, on peut craindre un appauvrissement des eaux de fond en oxygène propice, à des relargage d'orthophosphates, ce qui justifie certains des compléments d'études requis aux paragraphes 3.4 pour caractériser ce risque. Par ailleurs, la transparence est variable mais souvent de l'ordre de 1m en saison estivale. Cette transparence est sans doute directement impactée par le phytoplancton. Nous ne disposons pas de spéciation phytoplanctonique récente qui permettrait d'identifier ou pas la présence de cyanobactéries potentiellement toxiques. Les indicateurs indirects d'eutrophisation laissent à penser que ce risque existe même s'il n'est pas qualifié. Par ailleurs, il y a déjà eu par le passé des efflorescences de cyanobactéries dans le lac de Créteil (en 2001 et au début des années 1990). Il est donc probable que l'on ai occasionnellement des cyanobactéries dans le lac de Créteil. Certes, il n'y a pas de baignade officielle, mais ce risque impacte aussi d'autres activités (école de voile, planche à voile...). Lorsqu'elles arrivent de façon épisodique, les fleurs d'eau à cyanobactéries pourraient se retrouver concentrées à différents endroits du lac sous l'effet du vent et c'est alors un facteur accru de risque.

La première action à entreprendre est de clarifier le type d'espèces observées puis de définir si elles sont de nature à être toxiques (voir paragraphe 3.4). Comme il sera très difficile d'agir à court terme sur les sources de phosphore, ce dernier venant sans doute préférentiellement des eaux souterraines, complété par les apports ponctuels des eaux pluviales, le focus doit être donné à la gestion active des efflorescences de cyanobactéries, puisque celles ci restent probablement ponctuelles. Ce point est abordé au chapitre suivant.

Malheureusement aucun lien entre les pics de chlorophylle a et les pics de turbidité des eaux (transparence au disque de Secchi) pas plus qu'avec le taux de saturation en oxygène dissous n'a pu être mis en évidence. On ne peut donc pas s'appuyer en l'état sur ces paramètres indirects pour qualifier un niveau de risque de pic cyanobactéries. Cela est en partie due au fait que les mesures de chlorophylle a réalisées par la DSEA 94 portent sur des moyenne intégrées sur la hauteur de la colonne d'eau, ce qui réduit l'interpolation éventuelle avec la transparence, qui est

plus liée à ce qui se passe dans la tranche d'eau supérieure du lac. Par ailleurs, d'autres éléments peuvent impacter la transparence comme les apports pluviaux et la remise en suspension d'une partie des sédiments (soit par le vent, soit par les poissons fouisseurs, d'où les compléments demandés sur les poissons et les sédiments).

3.5.4 Actions visant à limiter le risque de turbidité

Comme il n'y a pas d'activité de baignade, le risque est donc avant tout lié à la chute éventuelle à l'eau d'une personne pratiquant une activité nautique.

La transparence des eaux est directement dépendante de la biomasse phytoplanctonique, des apports du bassin versant par temps de pluie, et des sédiments. Cela étant, cette transparence n'est que rarement en dessous des 1m sous lesquels on peut considérer qu'il y a risque vis à vis de la sécurité. Aucune mesure particulière n'est donc prévue à ce stade, sauf à essayer de caractériser un peu mieux l'origine des variations de transparence en lien avec la compréhension du fonctionnement du lac (voir paragraphe 3.4).

3.5.5 Actions visant à réduire le risque de contamination interhumaine

Il n'y a pas de risque de contamination inter-humaine puisqu'il n'y a pas de baignade autorisée.

3.5.6 Synthèse des actions préconisées

Le tableau suivant récapitule les risques identifiés avec la ou les préconisations d'action proposées. Ces actions sont avant tout des suivis préconisés pour identifier les sources de pollution, et des actions d'exploitation, et pour la plupart d'entre elles, il s'agit de poursuivre la gestion existante et les ajouts en cours de mise en œuvre qui répondent aux besoins. Comme il n'y a pas de travaux d'aménagement lourd à prévoir, cela explique le faible nombre de montants d'investissement correspondant (colonne de droite du tableau).

Un des risques n'a pas été abordé dans le présent chapitre, car il est avant tout lié à la gestion active. Il s'agit du risque de débordement de la Seine et à ce qu'il conviendra au gestionnaire de la base de loisir de mettre en œuvre après un tel événement. Ce point est traité dans le chapitre suivant.

Au global, à part le problème des contaminations bactérienne anthropiques liées aux apports pluviaux, la majeure partie des risques identifiés restent modérés. Il existe quelques points d'ajustement, identifiés dans le présent rapport.

Tableau 4: Synthèse des actions préconisées

| Source de pollution | Type de pollution | Impact potentiel | Etat du risque | Niveau de priorité | Mesures proposées | Ordre de prix des frais d'investissement (en k€ hors frais d'exploitation) |
|--|---|--|---|--------------------|--|--|
| Réseaux d'eaux pluviales | Apports pluviaux directs au lac | Contamination fécale des eaux du lac et donc des personnes en contact avec l'eau. Contamination aux hydrocarbures. Eutrophisation (cyanobactéries) | Trois rejets (ouvrage cadre à l'est, point triple au sud, et rejets pluviaux de la piscine, de l'école de voile et du lycée à l'ouest). L'ouvrage cadre et dans une certaine mesure le point triple consistent des entrées majeures impactant tout le fonctionnement du lac | priorité 1 | améliorer la caractérisation des flux parvenant au lac. Mettre en œuvre un plan de gestion active (voir chapitre correspondant). Entretien des deux ouvrages d'entrée (ouvrage cadre et point triple) | - |
| Apports par les eaux souterraines | apports nutritifs | eutrophisation du lac et prolifération de cyanobactéries | lac légèrement eutrophe. Une partie des apports nutritifs se fait par les eaux souterraines, c'est donc un vecteur de pollution potentiel, mais ces apports sont plutôt stables depuis des années. | priorité 2 | Poursuivre la surveillance de la qualité des eaux | - |
| Flux issus des réseaux d'eaux usées | rejets eau usée sur conduites réseaux pluviaux | Contamination fécale des eaux du lac et donc des personnes en contact avec l'eau, eutrophisation. | un reliquat de flux d'eau usée parvient à l'ouvrage cadre. L'impact par temps sec est localisé. | priorité 2 | Faire des recherche de mauvais raccordement et les raccorder au réseau d'eau usée | - |
| Rongeurs (rats) | contamination fécale | contamination bactérienne | présence de rats | priorité 2 | Ramasser les déchets et vider les poubelles. Faire des campagnes de dératation | - |
| Ruissellement eaux pluviales | apports de contaminants au lac par entrainement des eaux | Contamination fécale des eaux du lac et donc des personnes en contact avec l'eau. Contamination aux hydrocarbures. Eutrophisation (cyanobactéries) | Quelques ruissellements vers le lac, mais le gros des apports vient plutôt par les réseaux (voir ci avant) | priorité 3 | Maintenir et entretenir les zones tampons et éviter les rejets d'eaux pluviales des éventuelles zones de travaux | - |
| Inondation du plan d'eau par la Seine en cas de crue | apports organiques, nutritifs, microbiologique, turbidité | contamination bactérienne, eutrophisation (et cyanobactéries), faible transparence | Occurrence très faible (pas de crue dans les 20 dernières années). Risque d'eutrophisation notable | priorité 3 | Suivre les paramètres bactériologiques et physico-chimiques du lac dans les mois suivants le débordement. Ne pas ouvrir les activités nautiques tant que la contamination bactériologique n'aura pas retrouvé un niveau normal | - |
| Oies bernaches, cygnes, canards | contamination fécale, risques cercaire | contamination bactérienne, dermatite cercarienne | Il y a des cygnes, canards et oies bernaches à proximité des bords, mais pas de baignade, donc risque limité | priorité 3 | Interdire de nourrir les oiseaux, ramasser les déchets, nettoyer les déjections sur gazon, régulation population d'oies bernaches | - |

3.5.7 Baignade

L'activité de baignade est actuellement interdite. La question qui se pose est aussi de savoir si cette interdiction est justifiée ou s'il faut envisager d'ouvrir la baignade.

Force est de constater qu'il y a de nombreux risques qui pèseraient sur une éventuelle activité de baignade :

- Le plus important de tout est lié aux apports importants de pollutions provenant des flux d'eaux pluviales arrivant par l'ouvrage cadre et dans une moindre mesure par le point triple. Les apports de l'ouvrage cadre arrivent au milieu du lac. La modélisation a permis de montrer que dès que l'on a un événement pluvieux conduisant à un flux entrant par l'ouvrage cadre d'une certaine importance, et sachant que les conditions météorologiques et notamment le vent impactent la dispersion et la concentration des bactéries dans le lac, il peut en résulter des hausses des teneurs en germes pathogènes sur la berge Ouest du plan d'eau, même quand on a des vents du Sud Ouest. A la limite l'absence de vent est moins pénalisante que la présence de vent. Dans un tel contexte, il est très difficile d'anticiper sur l'impact d'une pluie, car les flux entrant par l'ouvrage cadre ne dépendent pas que du cumul de pluie mais aussi de son intensité. Par ailleurs, l'impact des flux entrant dans le lac dépendent de l'état de stratification de celui ci et

du vent au moment de l'événement. Or les simulations montrent que l'on peut atteindre des valeurs élevées sur une bonne partie du plan d'eau à certaines occasions. L'ampleur des risques de contamination lors de ces événements pluvieux justifie donc à lui seul de ne pas ouvrir une baignade dans le lac ;

- Il y a un risque de contamination par les animaux, en lien avec les oiseaux aquatiques, avec les rats, avec les chiens. Ce risque est modéré mais il se cumule aux autres sources de germes bactériens pour poser problèmes.
- Il y a un risque modéré mais non nul de prolifération de cyanobactéries.

Au global, on retiendra avant tout l'apparition de pics de contamination bactérienne en lien avec les apports pluviaux, et ce risque ne s'arrête pas au retour du beau temps, car il faut un certain temps pour retrouver des conditions acceptables, que l'on peut estimer entre 24 et 36h suivant les cas. Nous préconisons donc de **maintenir l'interdiction de baignade dans le lac.**

4

Mesures de gestion active

La gestion active consiste à **prévenir l'exposition des personnes en contact avec l'eau à des pollutions.**

L'objet de ce volet repose tout d'abord sur la proposition d'une méthode d'évaluation du risque d'atteinte à la santé des personnes.

En cas de confirmation de ce risque, il doit être envisagé de mettre en place un système de gestion active pour permettre aux personnes responsables des activités (nautiques, pêche...) d'identifier rapidement et précisément une situation à risque et le retour à une situation sans risque.

Les paragraphes suivants présentent d'abord les campagnes de suivis pour caractériser dans la durée les facteurs de risque.

Est ensuite abordé le cas particulier du risque de débordement de la Seine et de la gestion qui peut en être faite.

Sont enfin présentés les différents systèmes et protocoles de gestion active en cas de contamination effective ainsi que leur fondement réglementaire (avec en point de mire le risque cyanobactérien, et le risque de contamination bactérien).

Une synthèse générale à visée opérationnelle est disposée en fin de chapitre et regroupe les points les plus importants.

4.1 Campagnes de suivis pour caractériser les facteurs de risque

Il s'agit ici de définir les campagnes de mesures à réaliser de façon régulière pour évaluer l'évolution du niveau des risques identifiés. Il ne s'agit donc pas ici d'une gestion de crise mais d'une gestion de long terme.

Parmi les problèmes potentiels à étudier, ont été identifiés les points suivants :

- Risque de contamination bactérienne par les réseaux pluviaux.
- Risque de contamination bactérienne par les animaux (rats, oiseaux).
- Risque de prolifération de cyanobactéries.

Pour faire face à ces différents risques, certains suivis spécifiques gagneront à être réalisés.

D'une façon générale (sauf dans le cas des cercaires), les coûts indiqués ci après sont des coûts d'analyse (ils seront à ajuster en fonction du laboratoire effectivement missionné pour réaliser les analyses), et ne comportent ni l'échantillonnage, ni le flaconnage, ni le transport jusqu'au laboratoire d'analyse, ni les coûts d'interprétation et de diagnostic. Par ailleurs, il y a souvent des frais de prise en charge qui varient d'un laboratoire à l'autre et ne dépendent pas forcément du nombre d'analyses pratiquées, mais uniquement du nombre d'échantillons. Par contre, dans la plupart des cas le laboratoire peut fournir le flaconnage et venir chercher les échantillons pour analyse. Cela nécessite cependant une bonne anticipation de l'organisation des prélèvements, car les échantillonnages sont souvent liés à des conditions spécifiques (notamment météorologiques), et il convient également de tenir compte des contraintes du laboratoire d'analyses. Au global, les coûts dépendent donc beaucoup de l'organisation et des regroupements de prélèvements et d'analyses réalisés.

4.1.1 Risque de contamination bactérienne par les réseaux pluviaux

La surveillance de ce risque est traitée dans la gestion active et dans le cadre des actions (3.4 et 4.4). Nous renvoyons à ces paragraphes pour les détails des suivis préconisés.

4.1.2 Risque de contamination bactérienne par les animaux

Nous avons vu que ce risque reste limité tant qu'il n'y aura pas de baignade dans le lac, car il concerne avant tout les bords du lac, alors que la plupart des activités nautiques sont pratiquées dans la partie centrale du plan d'eau.

La présence des rats et des oiseaux induits cependant quelques risques qu'il conviendra de suivre ponctuellement. Nous recommandons notamment :

- de suivre l'occurrence éventuelle d'une contamination par les leptospires véhiculée potentiellement par les rats. Un suivi ponctuel gagnera à être réalisé de temps en temps sur les rives Ouest du lac où se trouvent concentrées les principales activités humaines, ainsi que si besoin dans les principaux secteurs de pêche. La fréquence sera à ajuster en fonction du développement de la population de rats. Dans un premier temps, on peut partir sur un échantillon prélevé tous les 2 ans (en cas d'absence de Leptospires) et une fois par an (dans le cas contraire), et ce, par temps sec,

de préférence au printemps de sorte à disposer de l'information en amont de la saison estivale. Si la présence de leptospires était avérée dans ce secteur du plan d'eau, il conviendrait alors de lancer une campagne de dératisation dans le(s) secteur(s) concerné(s). Le coût d'une analyse pour recherche de leptospires est d'environ 470 euros HT. On suppose que le gestionnaire de la base de loisir pourra réaliser le prélèvement lui-même.

- Le risque de dermatite cercarienne. Il restera modéré tant qu'il n'y aura pas de baignade autorisée, même si les factures de risque existent (oiseaux potentiellement porteurs, macrophytes...). Aucun suivi n'est donc requis à ce stade.
- le risque de botulisme est suivi par l'ARS, et des mortalités importantes d'oiseaux aquatiques et/ou de poissons peuvent être un indicateur de problème (même s'ils peuvent résulter d'un autre problème). Nous suggérons qu'en cas de mortalité anormale d'animaux les corps des animaux concernés soient ramassés et l'ARS contacté pour définir une marche à suivre.

4.1.3 Risque de prolifération des cyanobactéries

Globalement les faibles transparences de l'eau sont en partie liées à des pics de phytoplancton même si aucune relation claire n'a pu être établie entre les teneurs en chlorophylle a et la transparence au disque de Secchi. Malheureusement, les données disponibles ne permettent pas de conclure sur le fait que la transparence soit un bon indicateur à surveiller pour caractériser le niveau de biomasse phytoplanctonique et donc indirectement sur le niveau des cyanobactéries et les quelques mesures disponibles laissent même plutôt penser le contraire, et il convient d'attendre de disposer de mesures plus homogènes pour pouvoir conclure dans un sens ou dans l'autre.

De même, les suivis du taux de saturation en oxygène dissous et/ou du pH posent problème, car ces suivis ne permettent pas en l'état de discerner facilement les pics de production primaire issus du phytoplancton. Par ailleurs, l'usage d'un oxymètre peut conduire à des valeurs erronées, et la encore il faut de l'expérience pour analyser les résultats obtenus. Sans compter qu'il faut également entretenir les sondes qui sont plutôt fragiles.

De fait, on recommande de croiser les informations suivantes :

- Une mesure régulière de la transparence au disque de Secchi (au milieu du lac dans la partie profonde du plan d'eau).
- L'état visuel de l'eau et sa couleur ;
- Les paramètres météorologiques (vent, pluie).

Si la transparence est correcte (supérieure à 1,5m) on peut supposer que le risque est modéré d'avoir une efflorescence cyanobactérienne (cela ne signifie pas qu'il n'y aura pas de cyanobactéries, mais qu'il y aura un risque moindre que cette biomasse soit conséquente). Si la transparence est inférieure à ce seuil, et qu'elle ne peut être

expliquée par une remise en suspension du fond (conjonction de vent et d'une coloration de l'eau caractéristique d'une telle remise en suspension), il faut considérer qu'il y a un facteur de risque (le problème c'est que ce seuil est généralement obtenu régulièrement en été, même quand il n'y a que peu de phytoplancton. Il est donc crucial de disposer d'autres données pour affiner ce seuil). Ce point sera repris plus avant dans la gestion active du risque Cyanobactérien (voir paragraphe 4.3).

Cela étant, il est important de bien suivre l'évolution du lien entre la chlorophylle a et la transparence. La chlorophylle a est un indicateur qui caractérise généralement le risque d'eutrophisation en ciblant spécifiquement le phytoplancton. En effet, le risque de prolifération des cyanobactéries est en partie lié à la présence d'une biomasse significative de phytoplancton, et la chlorophylle a est un des indicateurs les plus simples à mesurer qui permettent de caractériser cette biomasse. On recommande donc de faire un échantillon au droit du point le plus profond du lac, 20 à 50cm sous la surface, et de rechercher la chlorophylle a sur cet échantillon. Le suivi gagnera à être réalisé à la suite de 3 ou 4 jours de beau temps estival, par temps chaud et sec. En toute logique une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire serait justifiée, mais on doit tenir compte des contraintes de coûts et d'organisation. De fait, on recommande de prévoir environ 2 échantillons par mois sur l'été (entre début juillet et la mi septembre), soit 5 échantillons sur l'été.

Par ailleurs, seront mesurés au moment du prélèvement, la transparence au disque de Secchi.

Ces échantillonnages gagneront à être groupés avec ceux réalisés par ailleurs (suivi mensuels décrits au paragraphe 3.4).

Le dépouillement de ces résultats en fin de campagne estivale permettra d'affiner le diagnostic liant le taux de chlorophylle a et la transparence de l'eau, à des moments pour lesquels la météorologie ne devrait pas provoquer de turbidité des eaux (un lac est un milieu évolutif et il convient de confirmer dans le temps la concordance entre la transparence et la teneur en chlorophylle a).

L'ordre de grandeur de coût d'une analyse de chlorophylle a et phéopigments est d'environ 40 euros HT, et pour un dénombrement phytoplanctonique il varie de 150 à 300 euros HT suivant les laboratoires et la précision requise.

4.1.4 Risque de contamination inter-humaine

Comme indiqué dans le présent rapport, il n'y a pas de risque inter-humain puisque la baignade n'est pas autorisée.

4.1.5 Risque de turbidité

Comme indiqué dans le présent rapport, ce risque est limité car les transparences descendent rarement sous 90cm, et sont généralement supérieure ou égales à 1m qui est le seuil communément admis comme seuil à risque.

4.2 Gestion d'une crue de la Seine conduisant à un débordement dans le lac de Créteil

Ce type d'événement est rappelons le très rare car il n'est pas intervenu au cours des 20 dernières années, mais on ne peut l'exclure, ne serait ce que dans le cas d'une crue type 1910.

Une crue de la Seine s'accompagnant d'un débordement dans le lac de Créteil, conduira aux problèmes suivants :

- Des apports de contaminants microbiologiques (bactéries, virus, parasites...) qui dégraderont la qualité des eaux du plan d'eau ;
- Des apports de matières organiques ;
- Des apports nutritifs (azote, phosphore) susceptibles d'accroître temporairement le niveau trophique des eaux ;
- De la turbidité ;
- Une rehausse du niveau d'eau.

Les principales implications potentielles sont les suivantes :

- Mauvaise qualité temporaire des eaux vis à vis des paramètres microbiologiques interdisant potentiellement les activités pendant le débordement et juste après celui ci ;
- Dégradation de la matière organique dans la partie profonde du plan d'eau avec possible formation d'une zone d'anoxie, suivant les quantités de matières organiques en jeu (donc les flux de débordement) et la période de l'année lors de laquelle le débordement sera intervenu ;
- Enrichissement de la colonne d'eau en nutriments conduisant à une hausse du niveau trophique du lac. La baisse de la transparence ne devrait pas être durable. Dans un tel contexte il devrait y avoir une prolifération phytoplanctonique liée aux nutriments apportés, qui peut nuire plus ou moins durablement à la biomasse de macrophytes et maintenir une biomasse phytoplanctonique supérieure à la moyenne habituelle jusqu'à l'hiver suivant.
- Par ailleurs les macrophytes seront également gênés par la rehausse temporaire du niveau d'eau dans le lac et par la biomasse phytoplanctonique.
- Au global, l'ampleur de la hausse de la biomasse phytoplanctonique dépendra énormément des flux de débordement en jeu, et de la période de l'année à laquelle ces débordements interviendront.

Dans ce contexte, on recommande les actions suivantes :

- Pendant la crue, interdire toutes les activités en lien avec l'eau. Il s'agit autant d'un problème de sécurité que de santé publique, car on ne maîtrisera pas la qualité des eaux pendant cette période ;
- Après la fin de la crue, attendre que le niveau redescende naturellement jusqu'à un niveau acceptable (éventuellement ouvrir la vanne de fond si le niveau ne baisse pas assez rapidement) ;
- Une fois la crue terminée, il faudra suivre la qualité des eaux du plan d'eau. Les paramètres suivis seront :
 - la transparence au disque de Secchi au point central (au pas de temps journalier) ;
 - La température, le taux de saturation en oxygène dissous, le pH, les teneurs en nitrates, en ammonium, en orthophosphates et phosphore total, ainsi que la chlorophylle a. Ces mesures sont des mesures de routines pour identifier l'impact effectif du débordement vis à vis du risque de prolifération des cyanobactéries, et le retour à la normale du plan d'eau. Ces mesures seront à faire sur échantillon prélevé au centre du plan d'eau, en sub-surface, sur la base d'un échantillon tous les 3 mois jusqu'à l'automne suivant (le premier prélèvement devra avoir lieu juste après la fin de la vidange). Un échantillon d'eau sera prélevé en même temps que chacun des échantillons mentionnés ci avant et au même endroit. Il sera conditionné pour conserver les algues phytoplanctoniques, et ne sera analysé qu'en cas de dépassement du seuil de 20µg Chla/l. Dans ce cas de figure, un dénombrement spécifique du phytoplancton sera réalisé au niveau du genre ;
 - Procéder à un échantillonnage hebdomadaire au centre du lac comme pour un contrôle bactérien habituel et faire analyser les *Escherichia Coli* et les entérocoques intestinaux. Tant que les valeurs ne seront pas redescendues à leur seuil habituel, nous préconisons de ne pas rouvrir les activités nautiques. De même nous recommandons d'attendre que la transparence de l'eau soit elle aussi revenue à son niveau d'avant le débordement de la Seine avant réouverture des activités nautiques. Normalement ce retour ne devrait prendre que quelques jours à semaines.

Les MES devraient rapidement décanter au fond du lac, ce qui devrait permettre une amélioration rapide de la transparence. Les teneurs en germes pathogènes vont naturellement tendre vers leur état initial d'avant la crue. La seule chose à faire est de suivre l'évolution de cette teneur et ne rouvrir les activités nautiques que lorsque le niveau d'eau sera revenu à un niveau compatible avec les règles de sécurité appropriée, et que les germes pathogènes seront redescendus à leur niveau d'avant la crue. Enfin, concernant l'eutrophisation, tout dépendra de la

saison à laquelle interviendra le débordement et de son amplitude. On devrait avoir un impact perceptible jusqu'à l'hiver suivant, avec une hausse temporaire du niveau trophique et donc un risque accru de prolifération des cyanobactéries.

4.3 Gestion active et prédictive du risque lié aux cyanobactéries

4.3.1 Rappel des caractéristiques des cyanobactéries

Les cyanobactéries sont des organismes procaryotes dotées de pigments photosynthétiques.

La plupart des proliférations de cyanobactéries sont liées à l'eutrophisation des eaux, et le phosphore est le paramètre le plus important à prendre en compte pour évaluer le risque d'apparition de ces forts développements cyanobactériens. Les conditions d'ensoleillement et de température impactent également notablement la biomasse phytoplanctonique et donc celle des cyanobactéries. Parmi les éléments aggravant on trouve l'implantation d'une stratification thermique et chimique verticale dans le lac.

La prolifération des cyanobactéries peut aboutir à la formation d'écume en surface de l'eau. Il s'agit d'agrégats de cellules de cyanobactéries généralement en phase de sénescence et qui peuvent alors relarguer leurs toxines dans l'eau (lorsqu'elles en ont).

Les cyanobactéries ne sont pas nécessairement toxiques, mais le fait qu'une population de cyanobactéries ne soit pas toxique à un moment donné, ne signifie pas qu'elle ne peut pas le devenir par la suite. Les facteurs déclenchant de la formation de ces toxines ne sont pas connus avec certitude, et il est donc difficile d'anticiper leur apparition. Il existe plusieurs types de toxines et notamment des neurotoxines et des hépatotoxines. Celles-ci sont dépendantes des espèces considérées.

4.3.2 Mesures de gestion du risque lié aux cyanobactéries

4.3.2.1 Évaluation du risque

La **circulaire DGS/SD 7 A n° 2003-270 du 4 juin 2003** relative aux modalités d'évaluation et de gestion des risques sanitaires face à des situations de prolifération de micro-algues (cyanobactéries) dans des eaux de zones de baignade et de loisirs nautiques, propose un schéma décisionnel que l'on détaille ci-après.

Le texte de cette circulaire est reproduit en annexe.

Celui-ci est inspiré des avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF, séance du 06/05/2003 et du 07/07/2004) qui fournissent des « recommandations pour la gestion des situations de contamination d'eau de baignade et de zones de loisirs nautiques par prolifération de cyanobactéries ».

A- Protocole de surveillance et de caractérisation du risque

L'évaluation de ce risque nécessite de distinguer :

- les troubles imputables aux cyanobactéries présentes dans les eaux de baignade ;
- les symptômes (essentiellement des irritations) causés par des substances cyanobactériennes ;
- les conséquences plus graves qui peuvent résulter de l'exposition à de fortes concentrations de cyanotoxines, et en particulier aux microcystines.

Nous préconisons la mise en place (par les gestionnaires de la base de loisirs, en liaison avec les services de l'ARS), **d'une surveillance renforcée, basée sur l'observation visuelle, et sur l'observation au disque de Secchi. Cette surveillance surviendra au centre du plan d'eau et aux abords de la base nautique.**

Une fiche de suivi sera quotidiennement remplie par le gestionnaire pendant la période d'ouverture des activités nautiques (soit en fin de matinée soit en milieu d'après midi). Un exemple de document permettant de consigner les renseignements utiles à la surveillance est présenté en annexe.

En cas de décroissance de la transparence sous un seuil restant à affiner (ce seuil sera compris entre 1m et 1,5m à ajuster en fonction des résultats des suivis préconisés dans le présent rapport) par temps ensoleillé sans épisode de pluie associé ni grand coup de vent et que la couleur de l'eau est verte, nous recommandons de réaliser un prélèvement d'eau 20cm sous la surface au milieu du lac au droit de la zone profonde du plan d'eau et d'y analyser le taux de chlorophylle a. En cas de dépassement d'un seuil de 20 µg Chla/l, nous recommandons de faire un prélèvement complémentaire dans les mêmes conditions pour rechercher les cyanobactéries.

Si aucun seuil de transparence ne peut être dégagé des suivis, et que de fait la transparence n'est pas un bon indicateur de la présence ou pas de biomasse importantes de phytoplancton, nous recommandons d'en rester à un indicateur visuel (eau colorée en vert et faible transparence, ou présence d'écume...).

Ainsi, après 3 ou 4 ans, il sera souhaitable de le réviser sur la base du diagnostic du fonctionnement de l'écosystème lacustre qui sera alors fait.

Lors de la surveillance, le gestionnaire doit être attentif à tout changement des caractéristiques du milieu (modification de la couleur, diminution marquée de la profondeur de disparition du disque de Secchi en dessous de 1m, apparition d'efflorescences, d'écumes, etc.).

D'une façon générale, si les changements découverts lors de la surveillance sont rapides, s'il y a une présomption d'efflorescence à cyanobactéries, ou surtout s'il y a présence d'écume suspecte non identifiées, on ne peut pas attendre le suivi de la chlorophylle a pour rechercher d'éventuelles cyanobactéries. Ainsi, si les changements observés ne peuvent être expliqués par des causes locales simples ne présentant pas de caractère dangereux (un coup de vent peut remettre en suspension les sédiments, il peut y avoir augmentation de la turbidité suite à une pluie abondante...), ils doivent conduire le gestionnaire et les services sanitaires à suivre la démarche suivante :

- Réaliser un prélèvement d'eau dans la zone de la base nautique ou dans le secteur sous le vent (donc susceptible de voir s'accumuler les cyanobactéries). Ce prélèvement sera acheminé dans les meilleurs délais vers un laboratoire spécialisé pour la réalisation d'une observation microscopique.
- Réaliser en parallèle un second prélèvement pour analyse de la teneur en chlorophylle a, ce qui permettra de relier la teneur en chlorophylle a au niveau de population en cyanobactéries dans l'eau.

Ces analyses permettront de rechercher la présence de cyanobactéries. Rappelons que la chlorophylle a ne constitue pas un indicateur spécifique des cyanobactéries et n'est donc qu'un paramètre explicatif additionnel, même s'il peut traduire une augmentation du risque cyanobactérien. Ainsi, en cas de présomption d'efflorescence cyanobactérienne, il vaut mieux directement rechercher la présence des cyanobactéries plutôt que de passer d'abord par une étape intermédiaire consistant à analyser la teneur en chlorophylle a.

Nota : En règle générale, il est important de considérer le fait que les efflorescences sont des phénomènes évolutifs et dynamiques parfois très rapides et qu'il importe d'adapter les fréquences d'échantillonnage en fonction de leurs évolutions (apparition des efflorescences, apparition des éventuelles toxines, disparition des efflorescences, disparition des toxines, déplacement selon les vents...).

- Si les cyanobactéries sont absentes ou minoritaires, la surveillance renforcée est reconduite. Une observation microscopique de contrôle est réalisée après un délai d'une semaine.
- Si les cyanobactéries sont présentes et majoritaires, le dispositif de suivi de niveau I est déclenché : réalisation d'un comptage cellulaire et d'une identification des espèces de cyanobactéries.

Les différents cas de figure identifiés suite au dénombrement de cyanobactéries majoritaires dans les eaux de baignade sont recensés dans le tableau suivant.

Tableau 5: Seuils et mesures de gestion et de surveillance pour un dispositif de suivi de niveau I

| Comptage cellulaire (cellules/ml) | Chlorophylle a (µg/l) | Actions et recommandations pour la gestion et la surveillance |
|---|------------------------|---|
| <20000 à ± 20 % (cyanobactéries en population majoritaire) | <10 | <p><u>gestion :</u> ->maintien d'une activité normale sur le site ->information du public et des usagers du site par la pose de panneaux exclusivement au niveau des zones de dépôts d'efflorescence ou d'écume (à adapter en fonction des variabilités géographiques liées aux vents) ;</p> <p><u>surveillance :</u> -> poursuite de la surveillance renforcée quotidienne du site -> réalisation d'un comptage cellulaire et d'une identification des espèces de cyanobactéries à un pas de temps hebdomadaire.</p> |
| Compris entre 20 000 et 100 000 à ± 20 % (cyanobactéries en population majoritaire) | Compris entre 10 et 50 | <p><u>gestion :</u> ->pas de restrictions d'utilisation du site ->information du public et des usagers du site par la pose de panneaux, notamment au niveau des zones de plus forte présence d'algues (variable en fonction du vent) et des zones d'usages ;</p> <p><u>surveillance :</u> ->poursuite de la surveillance renforcée quotidienne du site ->fréquence d'échantillonnage au moins hebdomadaire (observation microscopique, dénombrement et identification).</p> |

Si le comptage révèle des valeurs supérieures à 100 000 cellules/ml de cyanobactéries, alors le gestionnaire doit déclencher le dispositif de suivi de niveau II : réalisation d'une recherche et d'une quantification de toxines.

Tableau 6: Seuils et mesures de gestion et de surveillance pour un dispositif de suivi de niveau II

| Comptage cellulaire (cellules/ml) | Chlorophylle a (µg/l) | Taux de microcystine (µg/l en équivalent microcystine-LR) | Actions et recommandations pour la gestion et la surveillance |
|--|-----------------------|---|--|
| >100 000 à ± 10 % (cyanobactéries en population majoritaire) | >50 | <25 | <u>gestion :</u> -> limitation de certaines activités à risque selon la localisation journalière des zones de plus forte présence de cyanobactéries et des résultats analytiques des zones d'eau échantillonnées ; -> information du public et des usagers du site par la pose de panneaux, notamment au niveau des zones de plus forte présence d'algues (variable en fonction du vent) et des zones d'usages ; <u>surveillance :</u> -> poursuite du suivi avec une fréquence au moins hebdomadaire (dénombrement cellulaire, si ce dernier est supérieur à 100 000 cellules/ml, nouvelle mesure de concentration de toxines). |
| | | >25 | <u>gestion :</u> -> limitation d'usages pour les loisirs nautiques -> information Idem <u>surveillance :</u> Idem |

Lors de la surveillance, la mise en évidence de la formation de mousse ou d'écume doit immédiatement conduire au déclenchement du dispositif de suivi de niveau III :

- Gestion : interdiction de toutes les activités de loisirs nautiques dans les zones concernées. Prévenir tout contact de personnes ou d'animaux avec les écumes. Information du public et des usagers du site par la pose de panneaux, notamment au niveau des zones de plus forte présence d'algues (variable en fonction du vent) et des zones d'usages ;
- Surveillance : suivi de l'évolution des mousses ou écumes et de leur localisation, poursuite du suivi du site avec une fréquence hebdomadaire (dénombrement cellulaire et identification). Suivi des concentrations en

toxines au moins bimensuel (voire hebdomadaire suivant le nombre de cellules de cyanobactéries par ml).

La présence d'écume d'origine cyanobactérienne est le témoin d'un risque potentiel pour la santé des personnes en contact avec l'eau.

Étant donné qu'il est difficile d'exercer une bonne surveillance et qu'il existe peu de mesures dont les effets soient immédiats (hormis celles visant à interdire ou à dissuader d'utiliser les eaux ou encore l'annulation des compétitions de sports nautiques), l'essentiel que l'on puisse faire à court terme est de bien informer les usagers.

Le schéma décisionnel décrit ci-avant est repris dans la figure suivante.

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

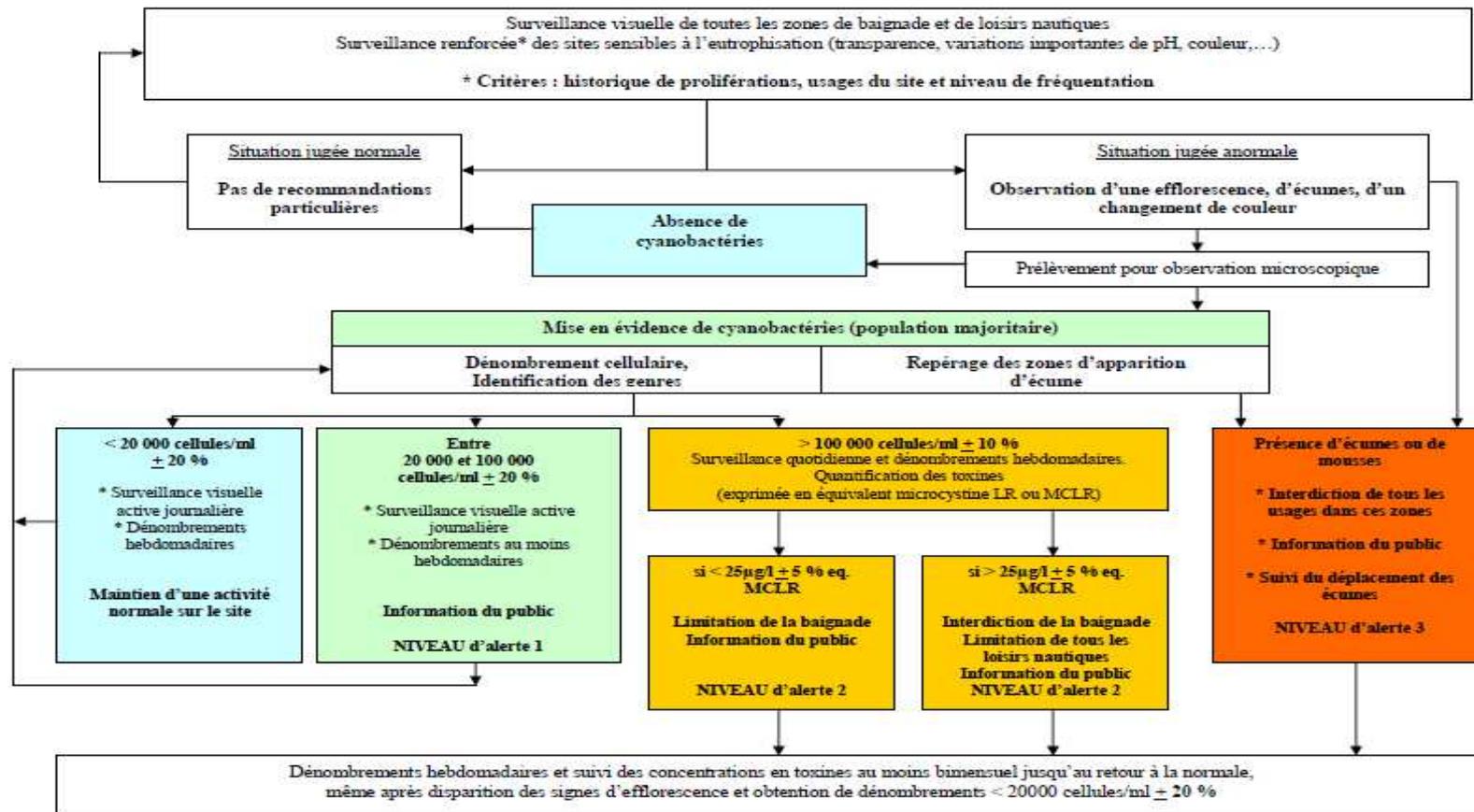


Figure 27: Schéma décisionnel proposé par le CSHPF et cité dans la circulaire DGS/SD 7 A n° 2003-270 du 4 juin 2003

4.3.2.2 Sensibilisation du public et des usagers

Nous proposons la mise en place d'une affiche d'information en cas de prolifération. Cette fiche sera placée à côté de l'affichage des résultats du contrôle sanitaire réalisé en parallèle.

Cette fiche d'information indiquera le niveau de prolifération éventuel de cyanobactéries détectée : 1, 2, ou 3 et les procédures qui en découlent : allant de la présentation de la présence de cyanobactéries à la fermeture des activités en contact avec l'eau. Elle sera installée dans les plus brefs délais suivant l'obtention de résultats d'analyses.

Nous ne proposons pas la mise en place d'un panneau permanent de sensibilisation des usagers à l'observation de «situations anormales ». En effet, les usagers n'ont pas forcément l'expérience leur permettant d'identifier des signes caractéristiques de la présence de cyanobactéries. Il est préférable de s'appuyer sur le personnel de la base de loisir à cette fin.

Selon le résultat du dénombrement de cyanobactéries effectuées sur les sites, des précautions et des interdictions éventuelles devront être prises. La communication au public pourra insister sur les points décrits dans le tableau suivant.

Tableau 7: Mesures de précaution et d'interdictions en fonction des résultats de surveillance
(Source CSHPF, mai 2003)

| Comptage (cellules/ml) | Niveau de risque et conséquences sanitaires | Précautions et interdictions à mettre en œuvre |
|--|--|--|
| <20 000 à ± 20 % (cyanobactéries en population majoritaire) | seuil de mise en éveil <u>à court terme</u> : symptômes gastro-intestinaux, allergiques et irritatifs | <ul style="list-style-type: none"> ▪ éviter de se trouver en contact avec des zones de dépôts abondants et d'irisations de couleur verte et de mousses. |
| Compris entre 20 000 et 100 000 à ± 20 % (cyanobactéries en population majoritaire) | seuil de recommandations <u>à court terme</u> : Idem seuil de mise en éveil <u>à long terme</u> : développement de maladies hépatiques ou neurologiques | <ul style="list-style-type: none"> ▪ éviter d'ingérer et de respirer des aérosols de l'eau ; ▪ prendre une douche soignée après immersion dans l'eau ou après l'activité nautique ; ▪ nettoyer le matériel et les équipements de loisirs nautiques ; ▪ consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. |
| >100 000 à ± 10 % (cyanobactéries en population majoritaire) | seuil d'alerte Idem seuil de recommandation Possible empoisonnement aigu, voire mortalité. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ la baignade est bien évidemment soit limitée, soit interdite en fonction des dosages de toxines (de toute façon la baignade est interdite); ▪ la pratique des activités de loisirs nautiques est limitée ; ▪ éviter d'ingérer et de respirer des aérosols de l'eau ; ▪ éviter tout contact prolongé avec l'eau; ▪ en cas d'immersion accidentelle, se rincer abondamment sous une douche ; ▪ en cas d'apparition de troubles de santé, consulter un médecin en lui précisant la pratique d'activités nautiques sur plan d'eau affecté par des proliférations de cyanobactéries. |

Le délai d'obtention des résultats est toutefois trop long pour adopter une démarche réactive face au risque de prolifération. Une interdiction pourra donc être prononcée avant la recherche des cyanotoxines lorsque le dénombrement indique une quantité supérieure à 100 000 cellules/ml.

4.3.2.3 Gestion des activités

Il y a diverses activités sur le plan d'eau de Créteil. Chaque activité n'est pas impactée de la même façon. Nous pouvons de ce point de vu classer les activités en trois catégories :

- Les activités de baignade proprement dites. Elles sont les plus à risque car les personnes sont immergées dans l'eau et notamment en contact avec la surface de l'eau où tendent à s'accumuler les cyanobactéries en cas d'efflorescence. Il y a donc à la fois contact avec la peau et les muqueuses, et risque d'ingestion. De toute façon **la baignade est interdite sur le lac**, mais il conviendra d'être particulièrement vigilant envers les baigneurs enfreignant cette interdiction (il y en a) ;
- Les activités nautiques partiellement en contact avec l'eau. C'est le cas par exemple des activités de voiles, de planche à voile, de canoë, mais aussi de pêche. Ces activités sont pratiquées en pleine eau, et la personne est hors d'eau plus ou moins durablement, mais elle est sujette à un contact partiel ou total avec l'eau. Il y a donc la aussi risque même s'il est moindre ;
- Les activités disposées sur les bords du lac et qui ne sont pas en contact avec l'eau du plan d'eau. Là le risque est plus limité.

Le tableau suivant synthétise nos recommandations pour les activités sur plan d'eau de Créteil.

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

Tableau 8: Préconisation de mesures de gestion des activités

| Activités | Niveau de risque | | |
|--|--|--|--|
| | Niveau 1 | Niveau 2 | Niveau 3 |
| | < 100 000 cellules Cyano/100ml | > 100 000 cellules Cyano/100ml et toxines cyano (microcystine LR) < 25µg/l | > 100 000 cellules Cyano/100ml et toxines cyano (microcystine LR) > 25µg/l |
| Voiles; planche à voile | maintien d'une activité normale sur le site mais information du public. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Prendre une douche soignée après la baignade ou l'activité nautique, nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | baignade et activités nautiques limitées hors zones de plus fortes présence de cyanobactéries. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Eviter tout contact prolongé avec l'eau. En cas d'immersion accidentelle se rincer abondamment sous une douche. Nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | la pratique de la voile est possible mais sont interdites la découverte et l'initiation à la voile sur dériveur, et toute activité sur dériveur à partir d'un vent de force 4. Par ailleurs, il est interdit d'entrer en contact avec l'eau. Toute pratique nécessitant un tel contact est interdite |
| Planche à voile | | | la pratique est interdite |
| Canoe, kayak | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| Autres activités (en bord de plan d'eau) | | | Interdiction contact avec eau ou écumes (pour les hommes et les animaux) |
| Pêche | interdiction de consommer les poissons, bien se rincer après contact avec l'eau et nettoyer le matériel de pêche | Pêche limitée hors zone de plus fortes présence de cyanobactéries. Interdiction de consommer les poissons, bien se rincer après contact avec l'eau et nettoyer le matériel de pêche | Interdiction de la pêche |

| Baignade** | Interdiction baignade | Interdiction baignade | Interdiction baignade |
|-------------------------|--|--|---|
| Aviron* | maintien d'une activité normale sur le site mais information du public. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Prendre une douche soignée après la baignade ou l'activité nautique, nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | baignade et activités nautiques limitées hors zones de plus fortes présence de cyanobactéries. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Eviter tout contact prolongé avec l'eau. En cas d'immersion accidentelle se rincer abondamment sous une douche. Nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | La pratique de l'aviron est possible mais la découverte et l'initiation est interdite. Toute pratique nécessitant un contact avec l'eau est interdite |
| Ski nautique* | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| Canotage*, pedalo* | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| nage en palme, plongée* | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| Jeux d'eau* | | | arrêt des jeux d'eau liés à des prélèvements dans le lac |

* : Ces activités sont peu ou pas pratiquées sur le lac de Créteil Mais si elles devaient être pratiquées dans un avenir proche, elles seraient couvertes par les présentes préconisations

** : l'activité de baignade est interdite indépendamment du nombre de cyanobactéries présentes, ce qui explique la préconisation faite

En cas de contact avec de l'eau au cours d'une activité nautique tolérée, une douche soignée doit être prise. Une consultation médicale est nécessaire en cas d'ingestion d'eau conduisant à des troubles (cutanéomuqueux, gastro-intestinaux, nausées, vomissements, tremblements...).

4.3.3 Synthèse des dispositions pour le suivi des cyanobactéries

4.3.3.1 Description de la surveillance

Le dispositif de surveillance qui pourra être mis en place repose principalement sur une observation visuelle grâce à une fiche de suivi (présence d'écume, coloration anormale de l'eau...) et potentiellement sur la mesure de la turbidité (disque de Secchi).

L'observation quotidienne des conditions météorologiques (température de l'air, ensoleillement, pluviométrie, direction du vent...) est utile dans le cadre de cette surveillance.

Cette surveillance active devra être réalisée aux abords de la zone nautique.

Elle devra être opérée quotidiennement par le gestionnaire de la base de loisir ou un employé (attention à réaliser ce suivi plutôt en fin de matinée ou en milieu d'après midi).

D'autre part, des suivis spécifiques peuvent être ponctuellement réalisés (incluant des mesures de concentrations en azote et en phosphore et des teneurs en chlorophylle a, mais pas uniquement (voir paragraphes 3.4.3 et dans une moindre mesure 4.1.3) pour permettre de mieux caractériser les facteurs conditionnant les pics de biomasse de cyanobactéries dans le lac de Créteil et suivre leur évolution dans le temps, mais leur interprétation requière l'intervention d'un spécialiste en limnologie.

4.3.3.2 Plan de gestion de crise

Il est nécessaire de définir une procédure de gestion de crise adaptée. Ce « plan d'alerte » doit présenter la marche à suivre en cas de constat d'une pollution. Il reprend les différentes étapes décrites dans le chapitre précédent.

Nous résumons la démarche par le circuit décisionnel suivant :

- Les services techniques vérifient que la zone nautique n'est pas dans une situation à risque par la surveillance quotidienne à l'aide de la fiche d'observation (présence d'écumes, couleur, transparence,...) ;
- Si l'observation est de nature à révéler un risque, on réalise un prélèvement pour analyse en laboratoire ;
- Si les résultats des analyses dépassent 100 000 cellules par millilitre, le responsable de la base nautique peut prendre la décision d'interdire tout ou

partie des activités (celui ci peut également prendre cette mesure préventivement dans le cas d'une apparition d'écume) ;

- L'interdiction d'activité (ou un dénombre de cyanobactéries compris entre 20000 et 100000 cell/ml) implique l'affichage d'une information à destination du public ;
- Des mesures sont réalisées pendant l'interdiction d'activité pour réenclencher l'autorisation d'activité quand la quantité de cyanobactéries retrouve une valeur inférieure à 100 000 cellules/ml et surtout que la teneur en microcystine n'excède pas 25 µg/l.

4.4 Gestion active et prédictive du risque bactériologique

4.4.1 Mesures de gestion pour la qualité bactériologique

La gestion active est utile pour les pollutions à court terme. Ces pollutions sont définies à l'article D.1332-15 du Code de la Santé Publique (CSP). Il s'agit d'épisodes de dégradation de la qualité microbiologique dont l'effet n'excède pas 72 h dans la durée.

Les procédures de gestion dont il est question concernent d'une part, les mesures pour prévenir l'exposition des baigneurs (mais dans le cas de Créteil la baignade n'est pas autorisée donc on peut étendre ici cette procédure aux personnes en contact avec l'eau) à une pollution (avertissement ou interdiction d'activité, notamment de baignade), et d'autre part, les mesures visant à réduire les sources de pollution.

Dans le cas d'une pollution à court terme, un prélèvement (a priori non prévu initialement dans le cadre du contrôle sanitaire) doit être réalisé afin de confirmer la fin de la pollution. Les analyses sont réalisées selon les méthodes réglementaires.

Les seuils proposés par l'AFSSET dans son rapport de septembre 2007 intitulé « Valeurs seuils échantillon unique pour les eaux de baignade : étude de faisabilité méthodologique » **permettent d'établir la présence d'une pollution à court terme**. On se référera également à l'instruction DGS/EA4 n°2013-247 du 18 juin 2013.

Ces valeurs doivent servir de référence pour la mise en place des procédures de gestion préventive (des pollutions à court terme) par la personne responsable de l'eau de baignade (circulaire N°DGS/EA4/2009/389 du 30 décembre 2009 relative à l'élaboration des profils des eaux de baignade au sens de la directive 2006/7/CE) que l'on appliquera à la personne responsable de la base de loisir dans le cas de Créteil puisque la baignade n'est pas autorisée.

Les dépassements de ces seuils rencontrés en cours de saison seront signalés à la personne responsable de la base de loisir de Créteil afin que ces épisodes, et leur origine si elle est identifiée, soient pris en compte dans le cadre de la future actualisation du profil de l'eau de baignade.

Tableau 9: Seuils des mesures de gestion préventives en eau douce proposés par l'AFSSET (2007)

| Seuils proposés par l'AFSSET (en eau douce) | <i>E. coli</i> (UFC/100mL) | Entérocoques intestinaux (UFC/100mL) |
|---|----------------------------|--------------------------------------|
| | | 1800 |

La réglementation insiste sur le fait que peuvent permettre de détecter une pollution :

- les résultats d'analyses approchant ou dépassant les seuils réglementaires ou les seuils proposés par l'AFSSET ;
- un écart significatif par rapport aux résultats habituellement rencontrés, (même s'ils ne présentent pas nécessairement un risque sanitaire immédiat).

S'il s'avère que la présence d'une pollution conduisant à un risque pour la santé des baigneurs (ou des personnes en contact avec l'eau) est confirmée, les mesures d'interdiction qui s'imposent doivent être prises par la personne responsable de la base de loisir de Créteil. **Les conditions de levée de l'interdiction sont à définir localement et à préciser dans l'arrêté d'interdiction.**

4.4.2 Dispositions pour le suivi de la qualité bactériologique

Il n'y a aucun risque de contamination inter-humaine du fait de l'interdiction de baignade. Par contre il y a un risque de contamination par les déversements d'eau de pluie provenant de l'ouvrage cadre et dans une moindre mesure par le point triple. Ainsi, il serait utile de suivre en gestion active les paramètres pathogènes en lien avec les épisodes pluvieux.

4.4.2.1 Paramètres à analyser

Afin de caractériser le risque de contamination humaine, il est recommandé de suivre les paramètres classiques (E Coli et entérocoques intestinaux).

Les méthodes normalisées seront employées lors des analyses.

Tableau 10: Normes d'analyses pour les paramètres bactériologiques suivis

| Espèce | Normes d'analyse |
|--------------------------|-------------------------------------|
| <i>Escherichia coli</i> | NF EN ISO 9308-1 (sur microplaques) |
| Entérocoques intestinaux | NF EN ISO 7899-2 (sur microplaques) |

Il n'existe pas de méthodes simples permettant d'obtenir des résultats en quelques heures. Mais vu qu'il n'y a pas de baignade autorisée et que les activités pratiquées sont moins en contact avec l'eau, le risque de contamination est moindre qu'avec des baigneurs, et une gestion active rapide n'est pas forcément nécessaire. Cette campagne de suivi servira plutôt à apporter des données statistiques plus nombreuses afin d'affiner la gestion des épisodes pluvieux.

4.4.2.2 Localisation des prélèvements

Les prélèvements doivent être localisés au milieu du plan d'eau de Créteil (point 2 du suivi DSEA 94).

4.4.2.3 Fréquence des prélèvements

Nous ne pouvons pas donner de fréquence prédéterminée puisque l'important est de réaliser les prélèvements pendant et après les épisodes pluvieux étant considérés à risque.

Nous recommandons de déclencher ces suivis spécifiques lorsque les conditions suivantes sont obtenues :

- **Une pluie d'au moins 10mm en moins de 6heures, conduisant à un déversement dans le lac depuis l'ouvrage cadre.**

4.4.2.4 Protocole de prélèvement

Les prélèvements seront manuels. Ils seront prélevés en sub surface au milieu du lac. Cet échantillonnage sera réalisé 6h après le début de l'épisode de pluie puis toutes les 24h jusqu'à disparition de la contamination (sauf exception le retour à la normale devrait intervenir au plus tard 36h après l'arrêt de la pluie, ce qui permettra alors de reprendre les activités sur le plan d'eau). Ces échantillons seront alors envoyés rapidement à un laboratoire d'analyse. Le conditionnement et la conservation seront à voir avec le laboratoire qui aura été contacté au préalable de sorte à définir les protocoles opératoires, à fournir le flaconnage, mais on recherchera à ce que les échantillons prélevés soient apportés au laboratoire (ou mieux que celui ci vienne les chercher) dans un délai de moins de 6 heures. En attendant, ils devront être conservés dans une glacière ou au réfrigérateur et à l'abri de la lumière.

4.4.2.5 Coût estimatif de la campagne

Il s'agit des analyses bactériennes classiques. Cependant, le nombre d'échantillon sera variable d'une situation à l'autre puisque, l'objectif est de poursuivre les échantillonnages jusqu'à retour à la conformité des résultats. De fait, le coût sera variable d'un cas à l'autre.

4.4.2.6 Contractualisation avec un laboratoire

Dans la mesure où cette initiative dépend totalement de la météorologie, elle ne peut être anticipée qu'au mieux de un ou deux jours. Cela peut poser un problème potentiel pour le gestionnaire de la base de loisir, et est conditionné par :

- La contractualisation préalable d'un laboratoire, fournissant les flacons stériles, et venant collecter les échantillons sur site juste après les prélèvements (car il est peu probable que le gestionnaire de la base de loisir pourra les porter lui-même au laboratoire) ;
- L'ouverture du laboratoire le jour d'échantillonnage (il ne faut donc pas que ce jour tombe un week-end ou un jour férié).

4.4.2.7 Analyse des résultats

Les seuils au-delà desquels on considérera une contamination humaine comme possible sont normalement de :

- E Coli 1800 ufc/100ml
- Entérocoques intestinaux 660 ufc/100ml

Il conviendra d'en faire une analyse croisée avec les autres paramètres, et notamment les conditions météorologiques (vitesse et direction du vent) et hydrologiques (pluviométrie cumulée sur l'événement considéré) de sorte à affiner le diagnostic qui en sera fait.

4.4.3 Plan de gestion de crise

A l'aide des informations recueillies dans ce profil de baignade, le responsable de la base de loisir doit définir par écrit et mettre en œuvre une procédure de gestion de crise adaptée en cas de pollution ponctuelle (pollution accidentelle ou dépassement des seuils AFSSET lors d'un contrôle sanitaire). Ce « plan d'alerte » doit présenter la marche à suivre en cas de constat d'une pollution.

Ce plan d'alerte porte sur la seule composante « contamination bactériologique anthropique externe » puisqu'il n'y a pas de risque de contamination inter-humaine.

Ce « plan d'alerte » peut suivre les circuits décisionnels suivants :

- Les services techniques vérifient que le lac n'est pas dans une situation à risque au moyen d'indicateurs ciblés :
 - pluviométrie > 10 mm cumulés sur les dernières 6h.
- Compte tenu du faible nombre de données statistiques, ce seuil indicateur ne peut pas être précis et sera affiné au fur et à mesure des futures analyses.
- Si cet indicateur est positif, on déclenche une mesure bactériologique en analyse rapide ;
- Si les résultats des analyses dépassent un des seuils de l'AFSSET (660 pour Entérocoques ou 1800 pour E. coli), le responsable de la base de loisir peut prendre la décision d'interdire tout ou partie des activités nautiques ;
- L'interdiction implique l'affichage d'une information à destination du public ;
- Des mesures sont réalisées pendant l'interdiction d'activité pour réenclencher l'autorisation d'activité quand les seuils ne sont plus atteints.

Le circuit décisionnel est repris de manière schématique ci-après.

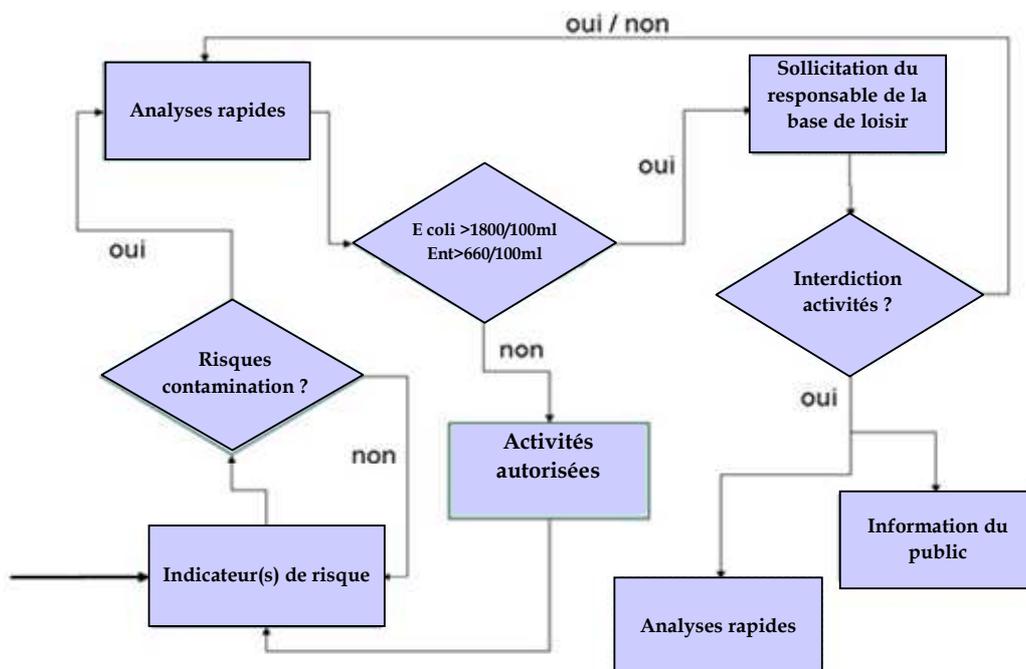


Figure 28: Proposition de circuit décisionnel

4.5 Synthèse opérationnelle

4.5.1 Campagnes de suivi des risques liés aux animaux dans le plan d'eau de Créteil

- **Risque de contamination bactérienne par les rats dans le lac** : Il convient de prélever un échantillon d'eau sur la rive Ouest du lac. Ce prélèvement sera à réaliser une fois au printemps (tous les deux ans en cas d'absence de risque et une fois par an si le risque est avéré). Sur cet échantillon sera analysée la teneur en Leptospires. Si cette présence est constatée elle induira la mise en œuvre d'une campagne de dératisation notamment à l'Ouest et au Nord du lac.

4.5.2 Gestion d'une crue de la Seine induisant un débordement dans le lac.

- Il faut Interdire les activités pendant la durée du débordement dans le lac ;
- Après la fin de la crue, le lac se vidangera progressivement vers la Seine via la nappe, jusqu'à retrouver le niveau d'eau d'avant la crue (on peut le cas échéant ouvrir la vanne de fond pour accélérer le retour du niveau à la normale) ;
- Suivre au pas de temps hebdomadaire la qualité microbiologique de l'eau (échantillonnage hebdomadaire au centre du lac comme pour un contrôle bactérien habituel et faire analyser les Escherichia Coli et les entérocoques intestinaux), et suivre au même pas de temps la transparence de l'eau, et ce jusqu'au retour à la normale des paramètres bactériens et de transparence. Ne rouvrir les activités nautiques qu'à l'issue de ce retour à la normale ;
- Suivre les paramètres caractéristiques de l'eutrophisation pour caractériser le risque de développement éventuel des cyanobactéries en faisant une campagne de mesure trimestrielle jusqu'à l'hiver avec mesure in situ (au droit de la partie profonde au centre du lac) de la transparence au disque de Secchi, de la température, du taux de saturation en oxygène dissous, et du pH et prélèvement d'un échantillon d'eau (en sub surface) et analyse des paramètres suivants : NO_3 , NH_4 , PO_4 Ptotal, et Chlorophylle a. Si la teneur en chlorophylle a dépasse $20\mu\text{g/l}$, il faudra procéder à un dénombrement phytoplanctonique au niveau du genre.

4.5.3 Gestion du risque cyanobactérien dans le plan d'eau de Créteil

- Mettre en place une surveillance basée sur l'observation visuelle et sur la mesure de la transparence au disque de Secchi. Cette dernière est à réaliser au milieu du lac (dans la zone profonde). La mesure est à faire à heure fixe, tous les jours, soit en fin de matinée, soit en milieu d'après midi.
- En cas de suspicion de présence d'une efflorescence de cyanobactéries (présence d'écume...), il faut effectuer un prélèvement et rechercher directement la présence de cyanobactéries dans l'échantillon.
- En cas contraire, si la transparence devient inférieure à un seuil restant à affiner (1,5m dans un premier temps) en plus d'une eau verte, et qu'elle ne peut être inféodée à un coup de vent ou à un épisode de pluie, on procède à un échantillonnage d'eau 20 cm sous la surface de l'eau pour analyse de la chlorophylle a (fréquence bimensuelle à hebdomadaire) ;
- Si la teneur en chlorophylle a est supérieure à 20 µg/l on procède à un échantillon d'eau en sub surface pour dénombrement des cyanobactéries.
- Si les cyanobactéries sont présentes et majoritaires. On regarde quel est leur nombre par unité de volume et on ajuste la gestion des usages et les mesures prises. Les trois seuils sont de 0 à 20 000 cellules/ml, de 20 000 à 100 000 cellules/ml, et au delà de 100 000 cellules/ml. Au delà de 100 000 cellules/ml il faut déclencher une recherche de microcystine LR. Le seuil critique est de 25µg/l. A partir de ces éléments on définit 3 niveaux, correspondant à différents impératifs de gestion. Le tableau de gestion des activités présenté dans le rapport est rappelé ci après.

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

| Activités | Niveau de risque | | |
|--|--|--|--|
| | Niveau 1 | Niveau 2 | Niveau 3 |
| | < 100 000 cellules Cyano/100ml | > 100 000 cellules Cyano/100ml et toxines cyano (microcystine LR) < 25µg/l | > 100 000 cellules Cyano/100ml et toxines cyano (microcystine LR) > 25µg/l |
| Voiles; planche à voile | maintien d'une activité normale sur le site mais information du public. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Prendre une douche soignée après la baignade ou l'activité nautique, nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | baignade et activités nautiques limitées hors zones de plus fortes présence de cyanobactéries. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Eviter tout contact prolongé avec l'eau. En cas d'immersion accidentelle se rincer abondamment sous une douche. Nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | la pratique de la voile est possible mais sont interdites la découverte et l'initiation à la voile sur dériveur, et toute activité sur dériveur à partir d'un vent de force 4. Par ailleurs, il est interdit d'entrer en contact avec l'eau. Toute pratique nécessitant un tel contact est interdite |
| Planche à voile | | | la pratique est interdite |
| Canoe, kayak | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| Autres activités (en bord de plan d'eau) | | | Interdiction contact avec eau ou écumes (pour les hommes et les animaux) |
| Pêche | interdiction de consommer les poissons, bien se rincer après contact avec l'eau et nettoyer le matériel de pêche | Pêche limitée hors zone de plus fortes présence de cyanobactéries. Interdiction de consommer les poissons, bien se rincer après contact avec l'eau et nettoyer le matériel de pêche | Interdiction de la pêche |

| | | | |
|-------------------------|--|--|---|
| Baignade** | Interdiction baignade | Interdiction baignade | Interdiction baignade |
| Aviron* | maintien d'une activité normale sur le site mais information du public. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Prendre une douche soignée après la baignade ou l'activité nautique, nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | baignade et activités nautiques limitées hors zones de plus fortes présence de cyanobactéries. Eviter d'ingérer et respirer les aérosols de l'eau. Eviter tout contact prolongé avec l'eau. En cas d'immersion accidentelle se rincer abondamment sous une douche. Nettoyer le matériel et les équipements de loisir nautiques, consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé. | La pratique de l'aviron est possible mais la découverte et l'initiation est interdite. Toute pratique nécessitant un contact avec l'eau est interdite |
| Ski nautique* | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| Canotage*, pedalo* | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| nage en palme, plongée* | | | interdiction toutes activités dans zone concernée |
| Jeux d'eau* | | | arrêt des jeux d'eau liés à des prélèvements dans le lac |

* : Ces activités sont peu ou pas pratiquées sur le lac de Créteil Mais si elles devaient être pratiquées dans un avenir proche, elles seraient couvertes par les présentes préconisations

** : l'activité de baignade est interdite indépendamment du nombre de cyanobactéries présentes, ce qui explique la préconisation faite

D'une façon générale, toute restriction d'activité doit faire l'objet de l'affichage d'une information à destination du public.

4.5.4 Gestion d'une contamination bactérienne sur le plan d'eau de Créteil

- **Contamination bactériologique anthropique externe** : Si le lac est dans une situation à risque (pluviométrie > 10mm cumulés sur les 6h précédentes), on fait un prélèvement au centre du lac pour analyse bactériologique (E Coli et

Entérocoques intestinaux). Si l'un des seuils (respectivement 1800 ufc/100ml et 660 ufc/100ml) est dépassé, on interrompt les activités nautiques jusqu'à retour en deçà des seuils.

D'une façon générale, toute restriction d'activité doit faire l'objet de l'affichage d'une information à destination du public.

5

Information du public

L'information du public est une étape importante du profil de baignade car les usagers de la base de loisirs sont les premiers touchés en cas de pollution.

Afin de les informer de la vulnérabilité du lac, une affiche résumant le profil sera préparée à l'issue de la phase 3, et installée à proximité de la base nautique.

Enfin, une note de synthèse sous format électronique a été réalisée pour les phases 1 et 2, et sera complétée pour la phase 3.

ANNEXE 1 :
CIRCULAIRE DGS/SD 7 A N° 2003-270
(04/06/2003)

**Circulaire DGS/SD 7 A n° 2003-270 du 4 juin 2003 relative aux modalités
d'évaluation et de gestion des risques sanitaires face à des situations de
prolifération de micro-algues (cyanobactéries) dans des eaux de zones de
baignade et de loisirs nautiques**

NOR : SANP0330251C

(Texte non paru au *Journal officiel*)

Date d'application : immédiate.

Textes modifiés : circulaire DGS/SD 7 A n° 2002-335 du 7 juin 2002 relative à la campagne 2002 de contrôle sanitaire de la qualité des eaux de baignade (chapitre II-3 : conduite à tenir en présence de micro-algues [cyanobactéries]).

Le directeur général de la santé à Mesdames et Messieurs les préfets de région (directions régionales des affaires sanitaires et sociales [pour information]) ; Mesdames et Messieurs les préfets de département (directions départementales des affaires sanitaires et sociales [pour attribution]) Le développement de cyanobactéries dans les eaux de baignade et de loisirs nautiques constitue un problème sanitaire émergent. En effet les cyanobactéries (algues bleues) sont, dans certaines conditions et selon leurs types, susceptibles de produire différentes toxines (dermatotoxines, hépatotoxines, neurotoxines) et d'être à l'origine de troubles somatiques de nature et d'intensité variables tels que des démangeaisons, des gastro-entérites aiguës, voire des atteintes neurologiques. Ces troubles surviennent à la suite d'une ingestion ou éventuellement de l'inhalation d'eau contaminée. Les baigneurs et les personnes pratiquant des activités nautiques constituent les populations les plus exposées aux risques sanitaires liées aux cyanobactéries.

En l'absence de normes sanitaires françaises ou européennes pour les eaux de baignade spécifiques aux cyanobactéries, hormis les critères visuels réglementaires de qualité des eaux, j'ai saisi le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF), afin de préciser les critères d'évaluation des situations de prolifération de cyanobactéries et les modalités de gestion des risques sanitaires liés aux usages des zones de loisirs.

Vous trouverez ci-joint, l'avis du 6 mai 2003 du CSHPF, relatif aux mesures de gestion des risques sanitaires à mettre en œuvre en fonction de l'importance des proliférations et des activités pratiquées (baignades, loisirs nautiques). Je vous demande de transmettre cet avis aux maires et aux gestionnaires des zones de

baignade et de loisirs nautiques concernés de votre département. Vous vous assurerez de la mise en œuvre homogène à l'échelle du département, des dispositions de cet avis qui concernent notamment :

- la surveillance des caractéristiques physico-chimiques des zones de baignade et d'activités de loisir ;
- la démarche de gestion des risques qui devra être suivie en cas de modification des caractéristiques du milieu, selon le schéma décisionnel mentionné en annexe ;
- les messages sanitaires à diffuser au public.

Toute situation de prolifération devra vous être signalée immédiatement par le gestionnaire du site ou le maire concerné. Les coûts engendrés par les analyses réalisées par les collectivités sont à la charge de ces dernières. Vous veillerez également à ce que des panneaux d'information à destination du public soient apposés sur le site et dans tout lieu approprié (mairie, office du tourisme,...) selon les modalités définies dans l'avis. Il vous appartiendra (DDASS) de demander à la mairie de compléter le panneau d'informations par tous éléments qui mériteraient d'être portés à la connaissance du public.

Je vous demande de présenter l'avis du CSHPF aux membres du conseil départemental d'hygiène. Vous le diffuserez également auprès des instances locales concernées (élus, conseils départementaux de l'ordre des médecins, des pharmaciens, structures sanitaires, structures d'urgence, etc.).

Vous voudrez bien me faire parvenir sous le présent timbre vos observations éventuelles ou les difficultés que vous rencontrerez dans l'application des présentes instructions, ainsi qu'un bilan chiffré des épisodes de prolifération de micro-algues survenus dans votre département pour le 30 septembre 2003.

Le chef de service,
Y. Cocquin

CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE PUBLIQUE DE FRANCE
Section des eaux
Séance du 6 mai 2003

RECOMMANDATIONS POUR LA GESTION DES SITUATIONS DE
CONTAMINATION D'EAUX DE BAINNADE ET DE ZONES DE LOISIRS
NAUTIQUES PAR PROLIFÉRATION DE CYANOBACTÉRIES

Avis

Considérant :

- les signalements de prolifération de cyanobactéries dans des eaux de baignade et de zones de loisirs nautiques, recensés par les directions départementales des affaires sanitaires et sociales dans le cadre du contrôle sanitaire des baignades aménagées et du suivi de zones de loisirs nautiques ;
- les dernières recommandations sur la gestion du risque pour la santé publique lié à la présence de cyanobactéries dans les eaux de baignade et de zones de loisirs nautiques publiées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 1999, les niveaux de danger à considérer et les actions à mettre en œuvre (cf. annexe) ;
- l'absence de certitudes scientifiques sur l'écologie générale, les paramètres conditionnant l'apparition des efflorescences et la production de métabolites et en particulier de toxines par les cyanobactéries, et la faiblesse des données épidémiologiques sur l'impact sanitaire des proliférations en France ;
- le manque de méthodes analytiques normalisées pour les dénombrements des cyanobactéries et la détection ou le dosage de certaines de leurs toxines ;
- les risques sanitaires potentiels pour les baigneurs ou les pratiquants d'activités nautiques, induits par les différentes toxines (dermatotoxines, hépatotoxines, neurotoxines) qui peuvent être associées aux proliférations de cyanobactéries et être à l'origine de pathologies telles que des démangeaisons, des gastro-entérites, voire des atteintes hépatiques ou neurologiques ;
- le projet de directive de la Commission européenne relative à la qualité des eaux de baignade qui introduit le paramètre « prolifération de micro-algues » en tant que paramètre à surveiller dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux de baignade.

Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France, à la suite des travaux réalisés par son groupe de travail et après discussion,

1. Demande :

- que soit validé un protocole permettant de définir et d'évaluer sur le terrain une « prolifération algale » pouvant déclencher la recherche de cyanobactéries et de leurs toxines ;
- que soient validées et normalisées les stratégies et les méthodes de prélèvements et d'analyses relatives à la détermination d'une contamination des eaux de baignades et de zones de loisirs nautiques par des cyanobactéries et leurs toxines pour lesquelles des méthodes existent (dénombrement cellulaire, identification, quantification de toxines) ;
- que soit réalisée une étude sur les contaminations des eaux de loisirs nautiques par les cyanobactéries et leurs toxines dans le but d'estimer les expositions à prendre en compte pour évaluer l'impact sanitaire sur les pratiquants de la baignade et des activités de loisirs nautiques ;
- qu'une veille épidémiologique soit organisée pour identifier des cas de pathologies associées à des proliférations de cyanobactéries.

2. Recommande :

- que soit mis en œuvre un programme de surveillance des zones de baignade et de loisirs nautiques, selon un arbre décisionnel décrit en annexe, afin de détecter toute prolifération algale et que celui-ci soit renforcé dans le cas des zones de baignade et de loisirs nautiques sensibles à l'eutrophisation ;
- qu'à la suite de ce programme, un bilan et un recueil de données soit établi à la fin de l'année 2003 pour permettre l'élaboration d'un nouvel avis pour la saison 2004 ;
- que l'emploi de toute substance chimique ou procédé physique à effet ou caractère algicide dans les zones de baignades soit proscrit en présence d'une prolifération de cyanobactéries afin d'éviter les risques de libération des toxines, une éventuelle sélection de souches résistantes et une dégradation de l'environnement ;
- qu'en l'absence de protocole validé garantissant l'absence de sélection de souches résistantes et de contamination de l'environnement, l'emploi en mode préventif de toute substance chimique à effet ou caractère algicide dans les zones de baignades soit soumis à autorisation ;
- que la gestion des situations de contamination par des cyanobactéries et/ou leurs toxines et l'information du public soient assurées selon les modalités définies en annexe.

3. Estime que malgré l'absence de méthodes validées et normalisées de dénombrement et/ou de détection des cyanobactéries ou de leurs toxines, la mise en œuvre d'une surveillance renforcée des sites de baignade, suivie d'une conduite à tenir détaillée comportant notamment l'information du public (cf. annexe), en cas de

prolifération de cyanobactéries, constitue actuellement le moyen le plus approprié pour assurer la sécurité des utilisateurs des baignades aménagées et des zones de loisirs nautiques.

4. Précise que l'arbre décisionnel devra être réexaminé à la lumière des expériences et des données acquises au cours de l'année 2003.

Le sous-directeur de la gestion
des risques des milieux,
T. Michelin

ANNEXE

ÉVALUATION ET GESTION DES SITUATIONS DE CONTAMINATION D'EAUX DE BAINADES AMÉNAGÉES OU DE ZONES DE LOISIRS NAUTIQUES PAR PROLIFÉRATION DE CYANOBACTÉRIES

1. Schéma décisionnel

Mise en place, par les gestionnaires des sites, en liaison avec les services en charge du contrôle sanitaire réglementaire des baignades aménagées :

- d'une surveillance renforcée, basée sur l'observation visuelle et sur la mesure de la turbidité ou l'observation au disque de Secchi ou la mesure du pH, des sites connus comme sensibles à l'eutrophisation, ayant déjà présenté des épisodes de proliférations de cyanobactéries ou dont le niveau de fréquentation est particulièrement élevé. Des dosages de chlorophylle a peuvent être réalisés mais ne peuvent être considérés comme des indicateurs spécifiques de cyanobactéries. Ce dosage peut être considéré comme une aide pour le suivi d'un même site avec un niveau d'alerte entre 10 et 50 $\mu\text{g/l}$ et un niveau préoccupant supérieur à 50 $\mu\text{g/l}$ à condition que des observations microscopiques soient réalisées pour confirmer la présence de cyanobactéries majoritaires ;
- d'une surveillance visuelle des autres sites de baignade et de loisirs nautiques.

Lors de cette surveillance, tout changement des caractéristiques du milieu (modification de la couleur, variations importante de pH entre le jour et la nuit, diminution de l'indice de Secchi, apparition d'efflorescences, d'écumes, etc.), ne pouvant être expliqué par des causes locales simples qui ne présentent pas de caractère dangereux (augmentation de la turbidité suite à une pluie abondante...) doit conduire le gestionnaire du site, privé ou public et les services des DDASS, à suivre la démarche suivante :

Un (ou plusieurs) prélèvement(s) d'eau pour observation microscopique sont réalisés en des points représentatifs du plan d'eau où sont pratiquées des activités (baignade et loisirs nautiques). Ces prélèvements sont acheminés dans les meilleurs délais vers un laboratoire spécialisé pour la réalisation d'une observation microscopique, dans le but de rechercher la présence de cyanobactéries. Des dosages de chlorophylle a peuvent être réalisés mais ne peuvent être considérés comme des indicateurs spécifiques de cyanobactéries. En règle générale, il est important de considérer le fait que les efflorescences sont des phénomènes évolutifs et dynamiques parfois très rapides et qu'il importe d'adapter les fréquences d'échantillonnage en fonction de leurs évolutions (apparition des efflorescences, apparition des éventuelles toxines, disparition des efflorescences, disparition des toxines, déplacement selon les vents...).

Si les cyanobactéries sont absentes ou présentes mais minoritaires, la surveillance renforcée est reconduite. Une observation microscopique de contrôle est réalisée après un délai d'une semaine.

Si les cyanobactéries sont présentes et majoritaires, le dispositif de suivi de niveau I est déclenché :

Niveau I : réalisation d'un comptage cellulaire et d'une identification des espèces de cyanobactéries.

Si le comptage est inférieur à 20 000 cellules/ml 20 % (cyanobactéries en population majoritaire) :

- gestion : maintien d'une activité normale sur le site mais information du public et des usagers du site par la pose de panneaux exclusivement au niveau des zones de dépôts d'efflorescence ou d'écume (à adapter en fonction des variabilités géographiques liées aux vents) ;
- surveillance : poursuite de la surveillance renforcée de manière journalière. Réalisation d'un comptage cellulaire et d'une identification des espèces de cyanobactéries au moins bi-mensuelle.

Si le comptage est compris entre 20 000 et 100 000 cellules/ml 20 % (cyanobactéries en population majoritaire) :

- gestion : pas de restrictions d'utilisation du site mais information du public et des usagers du site par la pose de panneaux, notamment au niveau des zones de plus forte présence d'algues (variable en fonction du vent) et des zones d'usages ;
- surveillance : poursuite de la surveillance renforcée quotidienne du site, en assurant une fréquence d'échantillonnage hebdomadaire (observation microscopique, dénombrement et identification).

Si le comptage est supérieur à 100 000 cellules/ml 10 % (cyanobactéries en population majoritaire), alors déclenchement du dispositif de suivi de niveau II.

Niveau II : réalisation d'une recherche et d'une quantification de toxines.

Pour ce faire, et en attente de méthodes normalisées, il est recommandé de procéder à une analyse selon la méthode d'inhibition de l'activité enzymatique de la PP2A exprimée en équivalent microcystine LR. Si le laboratoire ne dispose pas de cette méthode, et bien que ne donnant pas une réponse de même nature, il est également possible, de réaliser des dosages de microcystines par test immunologique (résultat exprimé en microcystine LR) ou avec les méthodes, plus précises mais plus onéreuses, par couplage chromatographie en phase liquide-spectrométrie de masse. Si le taux de microcystines est inférieur à 25 µg/l en équivalent microcystine-LR :

- gestion : limitation de la baignade selon la localisation journalière des zones de plus forte présence de cyanobactéries et des résultats analytiques des zones d'eau échantillonnées ; information du public et des usagers du site par la pose de panneaux, notamment au niveau des zones de plus forte présence d'algues (variable en fonction du vent) et des zones d'usages ;
- surveillance : poursuite du suivi avec une fréquence hebdomadaire (dénombrement cellulaire, si ce dernier est supérieur à 100 000 cellules/ml, nouvelle mesure de concentration de toxines).

Si le taux de microcystines est supérieur à 25 $\mu\text{g/l}$ en équivalent microcystine LR :

- gestion : interdiction de la baignade et limitation d'usages pour les loisirs nautiques individuels ou collectifs selon les modalités définies au point 2 ci-après.

Information du public et des usagers du site par la pose de panneaux, notamment au niveau des zones de plus forte présence d'algues (variable en fonction du vent) et des zones d'usages :

- surveillance : poursuite du suivi avec une fréquence hebdomadaire (dénombrement cellulaire, si ce dernier est supérieur à 100 000 cellules/ml, nouvelle mesure de concentration de toxines). Lors de la surveillance, la mise en évidence de la formation de mousse ou d'écume sur une aire de la zone doit immédiatement conduire au déclenchement du dispositif de suivi de niveau III ;

- gestion : interdiction de la baignade et de toutes les autres activités de loisirs nautiques dans les zones concernées. Prévenir tout contact de personnes ou d'animaux avec les écumes. Information du public et des usagers du site par la pose de panneaux, notamment au niveau des zones de plus forte présence d'algues (variable en fonction du vent) et des zones d'usages ;

- surveillance : suivi de l'évolution des mousses ou écumes et de leur localisation, poursuite du suivi du site avec une fréquence hebdomadaire (dénombrement cellulaire et identification). Suivi des concentrations en toxines au moins bimensuel.

2. Exemple de limitation des usages (1) exercée au sein des structures d'activités de loisirs nautiques

Étude de profil de baignade et activités aquatiques de la base de Créteil

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

En cas de doute sur les résultats du suivi analytique et en fonction des conditions environnementales, des mesures plus contraignantes concernant la restriction de pratique des activités nautiques peuvent être prises par les autorités locales ou les responsables et éducateurs sportifs qui travaillent sur les zones d'activités nautiques.

3. Exemple d'information du public

Le CSHPF propose le message d'information type suivant à destination du public et des usagers dans le souci d'afficher une cohérence et une homogénéité des messages officiels.

Les cyanobactéries sont des organismes microscopiques qui peuvent se développer dans les eaux douces et les eaux de mer et former des dépôts abondants et des mousses appelées « efflorescences algales ». Certaines espèces peuvent produire et libérer des toxines qui peuvent être à l'origine de risques sanitaires pour les baigneurs ou les pratiquants d'activités nautiques. Les effets actuellement connus sont les suivants :

- lors de contact avec l'eau : irritations et rougeurs de la peau, du nez, de la gorge, des yeux, des muqueuses ;
- lors de l'ingestion de l'eau : maux de ventre, diarrhées, nausées, vomissements.

Les risques sanitaires liés aux situations de proliférations algales sont gérés sur la base des recommandations du Conseil supérieur d'hygiène publique de France. Les analyses effectuées sur ce site indiquent la présence de cyanobactéries à un nombre* Ce site fait l'objet d'une surveillance de la part des gestionnaires et des services de la direction départementale des affaires sanitaires et sociales. Cependant certaines précautions doivent être prises et les interdictions éventuelles respectées :

Éviter de se trouver en contact avec des zones de dépôts abondants et d'irisations de couleur verte et de mousses si * inférieur à 20 000 cellules/ml.

Si * compris entre 20 000 et 100 000 cellules/ml, il est conseillé :

- d'éviter d'ingérer et de respirer des aérosols de l'eau ;
- de prendre une douche soignée après la baignade ou après l'activité nautique ;
- de nettoyer le matériel et les équipements de loisirs nautiques ;
- de consulter un médecin en cas d'apparition de troubles de santé.

Si * supérieur à 100 000 cellules/ml :

1. la baignade est soit limitée, soit interdite en fonction des dosages de toxines ;
2. la pratique des activités de loisirs nautiques est limitée ;
3. éviter d'ingérer et de respirer des aérosols de l'eau ;
4. éviter tout contact prolongé avec l'eau ;
5. en cas d'immersion accidentelle, se rincer abondamment sous une douche ;

6. en cas d'apparition de troubles de santé, consulter un médecin en lui précisant la pratique d'activités nautiques sur plan d'eau affecté par des proliférations de cyanobactéries.

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

ANNEXE 2 :
FICHE D'OBSERVATION
QUOTIDIENNE

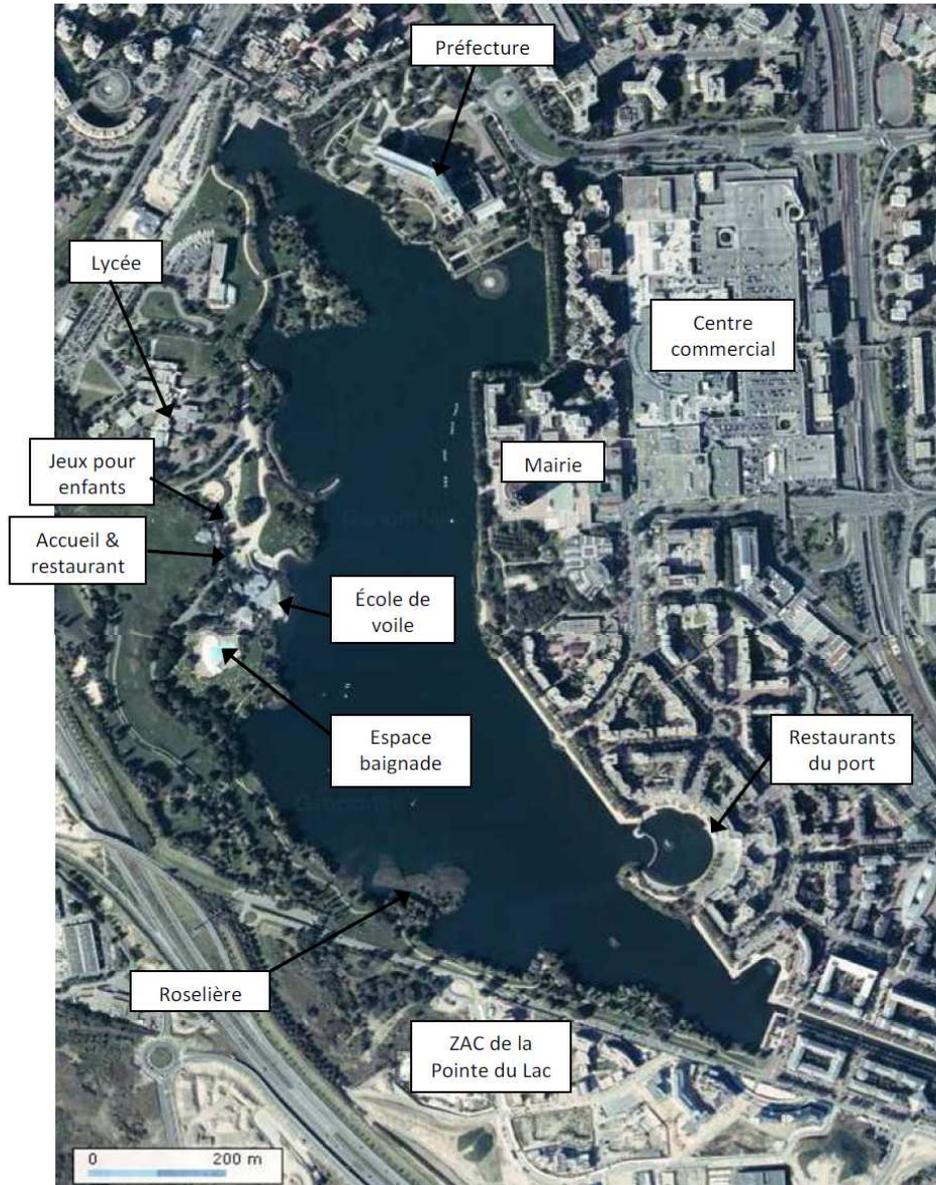


| Fiche d'observation visuelle de site | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------------|------------------------|----------------|------------|---------|----------|--------|
| Description du contexte des observations | | | | | | | | | | |
| Date : | | Heure : | | | Nom de l'observateur : | | | | | |
| Force du vent : | | | m/s | | | | | | | |
| Temps : | | humide | pluvieux | | nuageux | | ensoleillé | | | |
| Météo des jours précédents : | | | | | | | | | | |
| Compte rendu des observations sur site | | | | | | | | | | |
| <u>Présence d'une couche d'écume</u> | | OUI | | | | NON | | | | |
| Définition : Couche ininterrompue d'algues presque ou complètement opaque d'au moins 1 m² | | | | | | | | | | |
| Si OUI : | A proximité de la base nautique : | | | OUI | | NON | | | | |
| | A l'extérieure de la base nautique : | | | OUI | | NON | | | | |
| | Épaisseur de la couche d'écume : | | | | | cm | | | | |
| | Surface de l'écume | | | | | m ² | | | | |
| | Couleur de l'écume | | | verte | | orangée | | Autre : | | |
| | Caractéristiques de la couche d'écume | | | continue | | éparse | | Autre : | | |
| <u>Dominance de cyanobactéries</u> | | OUI | | | | NON | | | | |
| Définition : Dominance visible dans la colonne d'eau sous forme d'amas ou de flocs (verts ou oranges) | | | | | | | | | | |
| Si OUI : | | Caractéristiques de la dominance | | | flocs | | boules | | Autres : | |
| <u>Présence d'animaux</u> | | OUI | | | | NON | | | | |
| Définition : Présence d'animaux domestiques ou sauvages sur la base nautique, ou à ses abords immédiats | | | | | | | | | | |
| Si OUI : | Espèce : | | cygne | | canard | | oie | | rat | |
| | État : | | mort | vivant | mort | vivant | mort | vivant | mort | vivant |
| | Nombre : | | | | | | | | | |
| | Espèce : | | poisson | | chien | | ragondin | | ... | |
| | État : | | mort | vivant | mort | vivant | mort | vivant | mort | vivant |
| | Nombre : | | | | | | | | | |
| <u>Présence de déchets</u> | | OUI | | | | NON | | | | |
| Définition : Présence de déchets de tout type : alimentaires, gros volumes, verts (algues ou macrophytes mortes) sur les berges, les zones d'activités ou leurs abords immédiats | | | | | | | | | | |
| Si OUI : (Nombre et type) | Sur le fond | | | | | | | | | |
| | Flottants sur l'eau | | | | | | | | | |
| | Sur les berges | | | | | | | | | |
| | Ailleurs | | | | | | | | | |
| Mesures de terrain | | | | | | | | | | |
| <u>Température de l'eau</u> | | °C | | Température de l'air | | | | °C | | |
| <u>Fréquentation</u> | | Base nautique | | | autres | | | | | |
| <u>Photographies :</u> | | N°..... | | N°... | | | | | | |
| <u>Transparence (Secchi) :</u> | | | | m. | | | | | | |
| Autres éléments à noter | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |



Croquis du plan d'eau de Créteil pour localiser les anomalies

Lac de Créteil



Légende :

| | |
|---|----------------|
| | Couche d'écume |
| | Cyanobactéries |
| X | Animaux |
| O | Déchets |