



HAL
open science

Dispositif CYANALERT : un système de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries sur les plans d'eau du Born (Landes).

Sylvia Moreira, Christophe Laplace-Treyture, Laurent Pickhahn, Aurélien Jamoneau, Mélissa Eon

► To cite this version:

Sylvia Moreira, Christophe Laplace-Treyture, Laurent Pickhahn, Aurélien Jamoneau, Mélissa Eon. Dispositif CYANALERT : un système de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries sur les plans d'eau du Born (Landes).. *Dynamiques Environnementales - Journal international des géosciences et de l'environnement*, 2019, 43 - 44, pp.74 - 97. 10.4000/dynenviron.4767 . hal-03745384

HAL Id: hal-03745384

<https://hal.inrae.fr/hal-03745384>

Submitted on 4 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

43-44 | 2019

Un patrimoine unique à partager et à protéger

Dispositif CYANALERT : un système de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries sur les plans d'eau du Born (Landes).

CYANALERT device: a system for monitoring and warning Cyanobacterial blooms in the Born water bodies (Landes).

Sylvia Moreira, Christophe Laplace-Treyture, Laurent Pickhahn, Aurélien Jamoneau et Mélissa Eon



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/4767>

DOI : 10.4000/dynenviron.4767

ISSN : 2534-4358

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 6 octobre 2019

Pagination : 74-97

ISSN : 1968-469X

Ce document vous est offert par INRAE Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement



Référence électronique

Sylvia Moreira, Christophe Laplace-Treyture, Laurent Pickhahn, Aurélien Jamoneau et Mélissa Eon, « Dispositif CYANALERT : un système de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries sur les plans d'eau du Born (Landes) ». », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 43-44 | 2019, mis en ligne le 01 avril 2022, consulté le 04 août 2022. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/4767> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.4767>

Ce document a été généré automatiquement le 2 juillet 2022.



Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International - CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Dispositif CYANALERT : un système de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries sur les plans d'eau du Born (Landes).

CYANALERT device: a system for monitoring and warning Cyanobacterial blooms in the Born water bodies (Landes).

Sylvia Moreira, Christophe Laplace-Treyture, Laurent Pickhahn, Aurélien Jamoneau et Mélissa Eon

NOTE DE L'ÉDITEUR

Définitions

ECOVEA : équipe Écologie des Communautés Végétales Aquatiques et impact des pressions multiples.

CCGL : Communauté de Communes des Grands Lacs.

Efflorescence : phase de prolifération massive de cyanobactéries aussi appelée bloom en anglais. Cette phase se traduit par la production, sur une assez courte période de temps (quelques jours à quelques semaines), d'une biomasse importante et par une forte diminution de la diversité spécifique dans le compartiment phytoplanctonique puisqu'une ou deux espèces deviennent alors très largement dominantes.

LabEx COTE : laboratoire d'excellence « Évolution, adaptation et gouvernance des écosystèmes continentaux et côtiers ». Il réunit des chercheurs de diverses disciplines pour comprendre et prévoir les réponses des écosystèmes aux changements induits par l'homme et pour fournir des outils et des méthodes de régulation ou de conduite de leur évolution. Il regroupe 9 laboratoires de l'Université de Bordeaux et des principaux instituts nationaux de recherche situés en aquitaine et impliqués dans les recherches sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. <http://cote.labex.u-bordeaux.fr/>

Test ELISA : « enzyme-linked immuno-sorbent assay ». Il s'agit de tests immuno-enzymatique basés sur le principe de la reconnaissance de motifs structuraux spécifiques de certaines toxines ou familles de toxines par des anticorps. Ils sont en général développés sous la forme d'essai, mettant en œuvre des anticorps poly- ou monoclonaux dirigés contre une toxine.

Introduction

- 1 Dans les eaux douces françaises et plus particulièrement dans les lacs et les étangs, des zones récréatives sont aménagées spécifiquement pour les activités de baignade et nautiques. La réglementation française y impose une surveillance sanitaire notamment au regard des risques liés à la présence de cyanobactéries et préconise la mise en place de mesures de gestion en cas de risques. Les cyanobactéries sont connues pour être potentiellement toxiques pour l'homme et les animaux (Afssa & Afsset, 2006). Elles se développent massivement dans les plans d'eau lorsque les conditions environnementales leurs sont propices obligeant parfois la fermeture de ces zones récréatives. En effet, ces zones sont localisées au niveau des berges, milieux peu profonds, parfois abrités du vent, dans lesquelles les eaux sont plus chaudes et plus calmes et donc propices au développement des cyanobactéries. Au cours de ces dernières années, leur prolifération est devenue de plus en plus fréquente et est désormais considérée comme un enjeu économique et environnemental important pour les services de l'État et les gestionnaires en charge de la surveillance et de la gestion des ressources en eau. La présence et le développement des cyanobactéries est un phénomène naturel, complexe et imprévisible exacerbé par l'anthropisation (Merel et al., 2013). Le réchauffement climatique et les pollutions urbaines et agricoles sont les principales causes dans la récurrence de développements massifs de cyanobactéries (Sanseverino et al., 2016). Les lacs et étangs sont des sentinelles du changement global et local car ils sont particulièrement exposés aux facteurs de stress anthropiques et climatiques (Jenny et al., 2020) et notamment ceux issus du bassin versant. En effet, la qualité de l'eau et l'état trophique des lacs sont directement liés aux caractéristiques du bassin versant drainé par les cours d'eau et par le ruissellement de surface (Gomez, 2015). Les scientifiques sont régulièrement sollicités par les gestionnaires pour améliorer les connaissances sur ces organismes potentiellement toxiques, leur apporter des solutions concrètes pour anticiper et maîtriser le danger et assurer une gestion optimisée des sites classés à risque.

Que sont les cyanobactéries et pourquoi sont-elles problématiques ?

- 2 Les cyanobactéries sont apparues il y a près de 2,5 à 3 milliards d'années (Sanseverino et al., 2016). Elles sont présentes naturellement dans tous les milieux terrestres et aquatiques (marins et eaux douces) et sont à l'origine de l'oxygène atmosphérique et à la base du réseau trophique (Bernard, 2014). Les cyanobactéries sont des micro-organismes aquatiques invisibles à l'œil nu qui présentent à la fois des caractéristiques provenant des bactéries et des caractéristiques provenant des algues (De Reviere, 2002, 2003). Les cyanobactéries présentent des formes diversifiées (unicellulaires, colonies ou filaments) et se répartissent dans plus de 150 genres. Elles ont la particularité de

pouvoir coloniser rapidement un milieu lorsque les conditions environnementales leurs sont favorables (température supérieure à 20°C, eau stagnante, luminosité modérée à forte, concentration élevée en nutriments notamment en phosphore, principal facteur de développement) et former ainsi une masse colorée visible à l'œil nu que l'on nomme « fleur d'eau », « efflorescence » ou bien encore « bloom » en anglais (figure 1). En France métropolitaine, les cyanobactéries sont plus abondantes en été et à l'automne. Leurs proliférations ont des conséquences non négligeables pour le milieu aquatique car elles créent des déséquilibres environnementaux (diminution de la biodiversité, baisse de la transparence de l'eau, etc.). Plusieurs espèces de cyanobactéries sont aussi connues pour être capables de synthétiser des cyanotoxines qui peuvent provoquer à partir d'une certaine concentration, des troubles gastriques (hépatotoxines), neurologique (neurotoxines), cutanées (dermatotoxines) ou encore avoir des effets néfastes sur la reproduction humaine et animale (Chen *et al.*, 2016). Ces toxines sont pour la plupart intracellulaires, seuls 10 à 20 % de la teneur totale en toxines sont extracellulaires (Anses, 2019). Elles sont donc majoritairement libérées lors de la sénescence, ou mort des cellules. Dans certaines conditions d'exposition, comme les activités récréatives en plan d'eau, le contact ou l'ingestion d'eau contaminée par ces efflorescences peut occasionner des problèmes de santé.

Figure : quelques exemples d'efflorescences de cyanobactéries observées dans les plans d'eau landais en 2012. Crédits photos : CCGL et Christophe Laplace-Treytore, INRAE Cestas.



Comment est organisé le contrôle réglementaire des eaux de baignades et autres activités récréatives en France ?

- 3 La surveillance et la gestion de la qualité des eaux de baignade et autres activités récréatives sont réglementées et relèvent des dispositions fixées par la directive européenne 2006/7/CE (Parlement Européen, 2006) qui a été transposée en droit français au travers des articles D.1332-14 à D.1332-38-1 du code de la santé publique (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 2003). L'objectif de cette surveillance est de limiter l'exposition aux risques sanitaires en évaluant la qualité bactériologique des eaux. Les délégations départementales des Agences Régionales de Santé (ARS) assurent durant la saison balnéaire un contrôle réglementaire selon les circulaires en vigueur sur des échantillons prélevés (Agence Régionale de Santé de Nouvelle-Aquitaine, 2020). Ce contrôle est réalisé *a minima* une fois par mois et comprend un dénombrement cellulaire des différentes espèces de cyanobactéries présentes par observation directe au microscope, et la quantification d'une cyanotoxine spécifique la microcystine-LR. Les microcystines constituent un groupe de plus de 250 variants, et la microcystine-LR (MC-LR) est le variant le plus commun et le plus abondant, donc le plus largement étudié (Anses, 2019). Les prélèvements et les analyses sont réalisés par des laboratoires agréés par le ministère de la santé. En complément du contrôle réglementaire, les gestionnaires peuvent mettre en place une auto-surveillance pour prédire une potentielle dégradation de la qualité des eaux du milieu et définir des mesures de gestion en situation avérée d'efflorescence de cyanobactéries. En Nouvelle-Aquitaine depuis 2013, plusieurs communes ont fait le choix de renforcer leur auto-surveillance afin d'anticiper les mesures qui s'imposent en cas de risques.

La réglementation actuelle est-elle adaptée et représentative des risques sanitaires encourus vis-à-vis des cyanobactéries ?

- 4 La réglementation française préconise un suivi et une gestion des zones récréatives selon un arbre décisionnel à trois niveaux d'alerte reposant sur des seuils précis exprimés en nombre total de cellules de cyanobactéries par millilitre. Ces seuils proviennent des dénombrements réalisés au microscope en laboratoire. Un premier seuil de 20 000 cellules/ml correspond au premier niveau d'alerte et déclenche une surveillance visuelle renforcée. Le second seuil de 100 000 cellules/ml correspond au deuxième niveau d'alerte et génère une limitation de la baignade pour réduire les risques sanitaires (Afssa & Afsset, 2006). À partir de ce deuxième seuil, une quantification de la microcystine-LR en laboratoire est réalisée, et lorsque le résultat est supérieur à 13 µg/l, la baignade est interdite et les loisirs nautiques limités. Pour ces deux niveaux d'alerte, le suivi et l'échantillonnage est effectué à une fréquence hebdomadaire. La présence d'efflorescence de surface conduit directement à un niveau d'alerte 3. Dans ce cas, la baignade et toutes les autres activités de loisirs nautiques sont interdites. L'évolution et la localisation de ces efflorescences est alors suivi de façon journalière. Lors de chaque alerte, une information du public et des usagers doit être affichée par la pose de panneaux au niveau des zones de plus forte fréquentation.

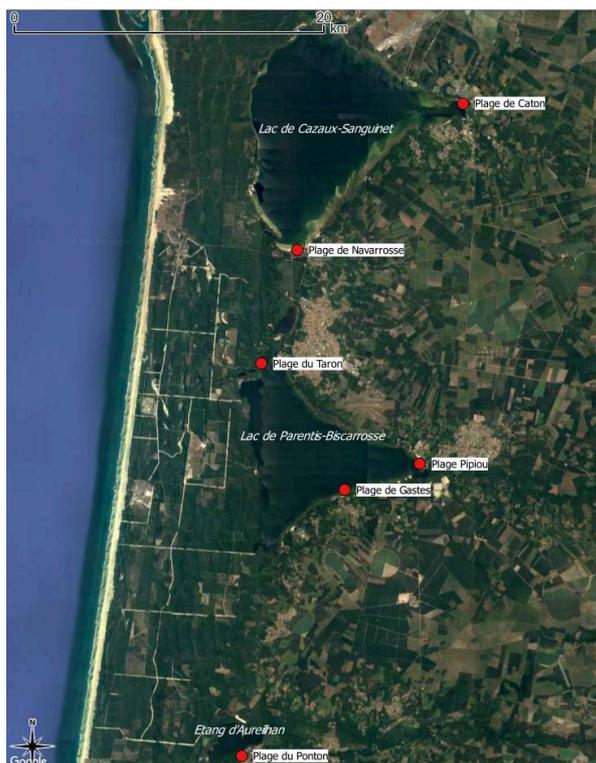
Cependant, les analyses faites en laboratoire, bien que précises, se révèlent peu compatibles avec la sécurité sanitaire car elles comportent un délai de réponse d'au moins 36 heures. Ces analyses engendrent souvent des coûts financiers importants, notamment pour certaines communes ayant à leur charge la gestion de multiples zones récréatives. De plus, le dispositif réglementaire actuel n'est pas complètement représentatif du risque réel encouru puisque le résultat du dénombrement ne différencie pas les espèces toxiques des non-toxiques et ne tient pas compte de la taille des individus. En effet, de petites cyanobactéries coloniales assez abondantes, connues pour être non toxiques, peuvent engendrer des mesures de gestion (en dépassant les seuils réglementaires basés sur les comptages) alors qu'il n'y a pas de risques potentiels. À l'inverse, des proliférations moindres de cyanobactéries filamenteuses ou coloniales, connues pour être toxiques et ayant des cellules de tailles importantes, ne déclencheront pas de mesures de gestion alors qu'un risque existe. Enfin, selon la réglementation, seule la microcystine-LR est dosée alors qu'il en existe de nombreux variants toxiques différents, et que celle-ci n'est pas connue comme étant la plus toxique. Ainsi, le système actuel de suivi et d'alerte des proliférations des cyanobactéries préconisé par la réglementation est perfectible. Le déploiement d'outils alternatifs simples, plus réactifs et fiables, permettant de surveiller à haute fréquence et à moindre coût la dynamique des populations de cyanobactéries potentiellement toxiques dans les milieux aquatiques, est devenu prioritaire.

La problématique des cyanobactéries sur les plans d'eau du Born à l'origine d'un partenariat entre gestionnaires et scientifiques.

- 5 Dans le sud-ouest de la France, la Communauté de Communes des Grands Lacs (CCGL) et la communauté de communes de Mimizan ont en charge le suivi et la gestion de nombreuses zones de baignade de trois plans d'eau landais faisant partie des lacs et étangs du Born : le lac de Cazaux-Sanguinet, le lac de Parentis-Biscarrosse et l'étang d'Aureilhan. Ces trois plans d'eau naturels sont régulièrement confrontés à des proliférations de cyanobactéries. Afin d'anticiper le risque lié à la présence des cyanobactéries et d'en améliorer la gestion sur les zones de baignades, le service environnement de la CCGL a souhaité, à partir de 2012, mettre en place un protocole opérationnel de surveillance et d'alerte plus adapté que celui préconisé par la réglementation. Pour cela, elle a fait appel aux compétences scientifiques de l'équipe ECOVEA d'INRAE Cestas-Gazinet avec laquelle elle collabore depuis de nombreuses années sur diverses problématiques de gestion. Ce partenariat gestionnaires-scientifiques est à l'origine du dispositif CYANALERT dont l'enjeu était de réadapter l'arbre décisionnel réglementaire en redéfinissant des seuils d'alertes basés sur l'usage d'une sonde fluorimétrique de terrain. Cette sonde, *AlgaeTorch*, de la marque Bbe (Bbe Moldaenke, 2020), est capable de détecter et de quantifier la présence des cyanobactéries en eau douce. Elle regroupe plusieurs avantages, comme permettre l'acquisition de nombreuses données sans engendrer de coût financier élevé, évaluer la quantité de matière venant des cyanobactéries et aussi d'être simple d'utilisation. Pour élaborer un système opérationnel, un protocole expérimental a été établi sur 6 zones classées à risque vis-à-vis des cyanobactéries (Figure 2) : ce classement résulte de la présence régulière et importante de cyanobactéries et/ou de conditions favorables à

leur accumulation (positionnement de la zone par rapport aux vents, morphologie de la zone de baignade, etc.). Parmi ces 6 zones 4 ont été identifiées les plus à risque : les trois plages du lac de Parentis-Biscarrosse et celle de l'étang d'Aureilhan. Le suivi expérimental a intégré la réalisation de mesures *in situ* et de nombreux prélèvements pour des analyses ultérieures en laboratoire.

Figure : carte de localisation des zones de baignade dites à risque vis-à-vis des cyanobactéries suivies dans le dispositif CYANALERT.



- 6 Une première collaboration entre la CCGL et l'équipe ECOVEA a été initiée durant l'été 2012, période pendant laquelle la CCGL a également constitué un réseau de surveillance permanent sur les trois plans d'eau. Le rôle de ce réseau est de détecter les manifestations visuelles de prolifération de cyanobactéries (aspect, couleur, etc.). En cas de détection anormale de cyanobactéries, les observateurs remplissent une fiche d'information, précisent les signes visuels observés et avertissent la CCGL qui intervient ensuite sur le terrain, d'une part pour valider la présence de cyanobactéries et d'autre part pour coordonner les opérations futures si nécessaires. Ce réseau basé sur le volontariat perdure encore aujourd'hui et est actuellement constitué d'une vingtaine d'acteurs différents (pêcheurs, police municipale, moniteurs d'activité nautique, etc.). Ces observateurs ont été formés pour identifier et signaler toute présence anormale de cyanobactéries selon les clés de détermination et les fiches d'observations rédigées par la CCGL. Au cours de cette même période, une phase de relevés bihebdomadaires a été réalisée par la CCGL et a permis l'acquisition de données entre mai et août 2012 (26 campagnes avec dosages de chlorophylle-a, de microcystines et dénombrements de cyanobactéries par l'équipe ECOVEA). Les résultats obtenus ont été encourageants car une corrélation significative a été observée entre les concentrations algales obtenues avec l'AlgaeTorch et les comptages réalisés selon les méthodes normalisées de laboratoire. Suite à cette première saison, des seuils d'alerte ont été proposés en

cohérence avec la réglementation. Cependant, ces seuils s'appuyaient sur peu de mesures (45), pour lesquelles seules sept ont atteint un « niveau d'alerte 1 ». Il était par conséquent nécessaire de mettre en place une deuxième année de suivi sur une période plus étendue afin d'acquérir davantage de données et d'améliorer la pertinence des seuils. En 2013, ce partenariat a été soutenu financièrement par le LabEx COTE dans le cadre d'un appel à projet « transfert », avec pour objectif la finalisation de l'arbre décisionnel de surveillance et de gestion du dispositif CYANALERT pour une application en routine par la CCGL sur les plans d'eau du Born.

La mise en place d'un suivi expérimental spécifique et d'une technologie fluorimétrique au service de la surveillance et de la gestion des cyanobactéries.

- 7 Sur chacune des 6 stations identifiées, 6 prélèvements d'eau ont été effectués sur des points répartis à équidistance sur l'ensemble de la zone afin d'obtenir des échantillons représentatifs des zones étudiées (Figure 3). Sur chaque point, un prélèvement d'eau a été réalisé sur une colonne d'eau d'environ 1 mètre. Ces prélèvements sont ensuite mélangés dans un même récipient avant d'effectuer l'ensemble des mesures puis des prélèvements d'échantillons pour les analyses en laboratoire. Une campagne bihebdomadaire a été effectuée pendant l'été 2012 et 2013 (période de forte fréquentation des plages) et une campagne bimensuelle au printemps et l'automne 2013. Ces échantillons ont servi, à la fois, à l'application des seuils réglementaires et à la mise en œuvre du suivi expérimental avec le fluorimètre de terrain AlgaeTorch. Ainsi, l'ensemble des données acquises dans cette étude ont servi, d'une part, à valider l'usage de l'AlgaeTorch comme outil d'alerte et de gestion des proliférations des cyanobactéries sur les lacs et les étangs du Born et d'autre part, à définir un arbre décisionnel applicable sur ce territoire en proposant des seuils qui amènent à des résultats d'alertes comparables à ceux obtenus par la réglementation.

Figure : schéma d'une zone de baignade illustrant la répartition des prélèvements d'eau au cours du suivi expérimental pour l'élaboration du dispositif CYANALERT.



- 8 La CCGL a réalisé les prélèvements d'eau pour les analyses ultérieures en laboratoire et les mesures de terrain *in situ* : mesures physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous, conductivité, transparence et turbidité), mesures au fluorimètre et dosage des microcystines par une méthode rapide immuno-enzymatique. L'équipe ECOVEA a réalisé l'ensemble des analyses de laboratoire selon les normes en vigueur : dosage de la chlorophylle-a totale par spectrophotométrie UV-visible-spectrométrie d'absorption moléculaire (NF T 90117, 1999) ; identification et dénombrement des cyanobactéries par comptage au microscope inversé selon la méthode Utermöhl (NF EN 15204, 2006) et le dosage des microcystines par méthode HPLC (chromatographie en phase liquide à haute performance, (ISO 20179, 2005). Elle a ensuite assuré le travail d'analyses statistiques de l'ensemble des résultats pour la conception d'un nouvel arbre décisionnel. Au cours de ce partenariat, elle a aussi apporté son expertise technique et scientifique en dispensant une formation auprès des opérateurs de terrain de la CCGL pour l'utilisation de l'AlgaeTorch et de sa gestion métrologique nécessaire à l'acquisition de données fiables. Enfin, conjointement avec la CCGL, la valorisation de ces travaux par la diffusion de l'information scientifique et technique auprès des scientifiques (Moreira et al., 2018) et du grand public Laplace-Treytoure et al., 2017) a été assurée.
- 9 La sonde AlgaeTorch utilisée dans ce projet est simple d'utilisation. Elle est manipulable directement à la main ce qui la rend facilement transférable à un opérateur moyennant une formation au préalable (Figure 4). Son principe de mesure est le suivant : sept LEDs émettent des rayonnements lumineux, à trois longueurs d'ondes différentes (470, 525 et 610 nm), excitant les pigments chlorophylliens contenus dans les cellules algales qui en réponse émettent une fluorescence proportionnelle à leur densité (Bbe Moldaenke, 2020). L'appareil mesure en retour l'émission de cette fluorescence à 680 nm et convertit, par calculs, l'équivalence en chlorophylle-a (en microgramme par litre). La sonde quantifie la biomasse totale de phytoplancton présent et estime la proportion attribuable aux cyanobactéries. Pour cela, elle utilise un profil de fluorescence de référence, celui d'une espèce spécifique assez répandue, *Microcystis aeruginosa*, qu'elle compare avec le profil de fluorescence mesuré. Les résultats issus de l'AlgaeTorch sont considérés comme représentatifs de la concentration en cyanobactéries car ils se basent sur une quantité de biomasse présente et non sur le nombre de cellules. La gamme de mesure de l'AlgaeTorch est valide jusqu'à une concentration de 200 microgrammes par litre de chlorophylle-a.

Figure : photo de l'utilisation de la sonde AlgaeTorch au cours du dispositif CYANALERT. Crédit photo : Christophe Laplace-Treyture, INRAE Cestas.



Etat des lieux des cyanobactéries et des cyanotoxines sur les plans d'eau du Born entre 2012 et 2013

- 10 Dans le cadre de cette étude, au total six variants de microcystines (LY, LW, LF, YR, LR et RR) ont été quantifiés au laboratoire (HPLC). Tous les résultats obtenus étaient inférieurs au seuil d'alerte fixé à 13 $\mu\text{g}/\text{l}$. Cent quatre-vingt observations microscopiques ont été réalisées selon la norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée. Cette méthode a permis l'analyse qualitative (liste des espèces ou genres rencontrés) et quantitative des peuplements en cyanobactéries. Chaque individu observé a été identifié et dénombré au niveau spécifique selon ses attributs morphologiques définis dans les ouvrages de taxonomie de référence (John et al., 2011 ; Komarek, 2013; Komarek & Anagnostidis, 1999, 2005 ; Wehr et al., 2015). Les résultats des comptages sont exprimés en abondance (nombre de cellules par millilitre) et en biovolume (millimètre cube par litre). Le biovolume quantifie le volume occupé par un individu et s'avère être plus représentatif du risque encouru que la concentration cellulaire, qui n'intègre pas la différence de taille entre les cellules des individus. Pourtant, les espèces de grandes tailles (*i.e.* avec un biovolume plus important) sont généralement associées à des espèces de cyanobactéries potentiellement toxiques (figures 5, 6 et 7) alors que les espèces non-toxiques sont généralement de petites tailles, avec un biovolume plus faible (figure 8). Le logiciel PHYTOBS V3.1.3 développé par l'équipe ECOVEA (Laplace-Treyture et al., 2017) a été utilisé comme outil informatique pour enregistrer les résultats des observations microscopiques et calculer les biovolumes et les dénombrements totaux. Le caractère

toxique d'une espèce est issu de la liste fournie par le rapport Afssa-Afsset de juillet 2006 (Tableau 2).

Figure : photo de *Dolichospermum spiroïdes* prise au microscope à x600 dans le cadre du dispositif CYANALERT. Crédit photo : Sylvia Moreira, INRAE Cestas.



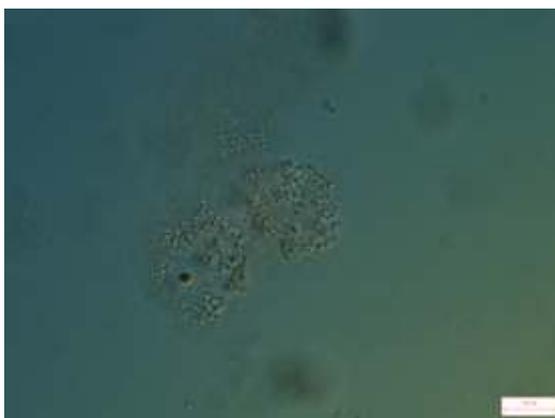
Figure : photo de *Microcystis wesenbergii* prise au microscope à x600 dans le cadre du dispositif CYANALERT. Crédit Christophe Laplace-Tretyure, INRAE Cestas.



Figure : *photo de Planktothrix agardhii* prise au microscope à x600 dans le cadre du dispositif CYANALERT. Crédit photo : Christophe Laplace-Treyture, INRAE Cestas.



Figure : *photo d'Aphanothece minutissima* prise au microscope à x600 dans le cadre du dispositif CYANALERT. Crédit photo : Sylvia Moreira, INRAE Cestas.



- 11 Ci-dessous, le tableau 1 synthétise les mesures de chlorophylle-a obtenues par l'AlgaeTorch dans le cadre du dispositif CYANALERT sur les 6 sites étudiés. La plage du Ponton de l'étang d'Aureilhan présente une valeur moyenne et maximale en chlorophylle-a totale et attribuable aux cyanobactéries la plus importante des 6 zones étudiées. Au vu de ce critère cet étang est défini comme hyper productif. Le lac de Cazaux-Sanguinet présente les concentrations les plus faibles en accord avec son état trophique évalué en 2016 (Laplace-Treyture et al., 2017), avec des valeurs similaires pour ses deux plages. Sur le lac de Parentis-Biscarrosse, la plage du Taron présente les valeurs moyennes et maximales en chlorophylle-a les plus élevées. Ces valeurs importantes permettent de classer ce lac comme milieu très productif (OCDE, 1982).

Tableau : concentrations moyennes et maximales en chlorophylle-a obtenues par l'AlgaeTorch au cours du dispositif CYANALERT sur les 6 sites des 3 lacs et des étangs naturels du Born (Cazaux-Sanguinet, Parentis-Biscarrosse et Aureilhan).

| Stations étudiées par plan d'eau | Moyenne Chl-a totale (µg/l) | Moyenne Chl-a cyano (µg/l) | Max Chl-a totale (µg/l) | Max Chl-a cyano (µg/l) |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| CAZAUX-SANGUINET | | | | |
| plage du Caton | 5,8 | 0,8 | 10,4 | 1,2 |
| plage de Navarrosse | 3,4 | 0,8 | 12,1 | 1,5 |
| PARENTIS-BISCARROSSE | | | | |
| Plage du Taron | 14,3 | 5,0 | 54,5 | 14,1 |
| Plage Pipiou | 10,0 | 3,9 | 20,5 | 9,8 |
| Plage de Gastes | 6,2 | 2,8 | 12,5 | 6,5 |
| AUREILHAN | | | | |
| Plage du Ponton | 26,0 | 6,8 | 92,9 | 21,2 |

- 12 Au total, 94 espèces de cyanobactéries ont été observées sur l'ensemble de ces plans d'eau au cours de ces deux années de suivi expérimental. Trente et une espèces potentiellement toxiques dont 7 productrices potentielles de microcystines ont été identifiées. La majorité des autres espèces observées sont reconnues comme étant non toxiques. Le Lac de Cazaux-Sanguinet regroupe une diversité en cyanobactérie assez faible (32 espèces pour la plage du Caton et 39 espèces pour la plage de Navarrosse) contrairement au lac de Parentis-Biscarrosse. Ce dernier présente la plus grande richesse en cyanobactéries, avec 59 espèces recensées pour la plage du Taron, 49 espèces pour la plage du Pipiou et 56 espèces pour le port de Gastes. L'étang d'Aureilhan présente également une forte diversité en cyanobactéries, regroupant un total de 53 espèces sur la plage du Ponton. Le dénombrement cellulaire moyen en cyanobactéries sur l'ensemble des sites est inférieur au premier seuil d'alerte de 20 000 cellules/ml. L'étang d'Aureilhan et le lac de Parentis-Biscarrosse présentent des dénombrements cellulaires moyens élevés (supérieur à 3 000 et à 2 000 cellules/ml respectivement), alors que le dénombrement cellulaire moyen en cyanobactéries sur le lac de Cazaux-Sanguinet reste assez faible (environ 300 cellules/ml). Le biovolume moyen en cyanobactéries est assez faible sur l'ensemble des plans d'eau (inférieur à 1 mm³/l), et maximal sur l'étang d'Aureilhan (0,4 mm³/l). Le dénombrement cellulaire maximal sur les 2 plages du lac de Cazaux-Sanguinet est inférieur au premier seuil d'alerte de 20 000 cellules/ml contrairement aux 4 autres sites : la plage du Ponton (Aureilhan) et la plage du Taron (Parentis-Biscarrosse) présentent un dénombrement maximal supérieur au deuxième seuil d'alerte de 100 000 cellules/ml (respectivement 124 000 et 264 000 cellules/ml) ; la plage du Pipiou et la plage du port de Gastes ont des valeurs maximales dépassant le premier seuil d'alerte.

- 13 Le Tableau 2ci-dessous, synthétise les espèces dominantes recensées sur l'ensemble des stations dans la cadre du suivi expérimental du dispositif CYANALERT. Les 2 espèces les plus abondantes retrouvées sur l'ensemble des 3 lacs sont des espèces reconnues à ce jour comme non-toxiques et de petites tailles (*Aphanothece minutissima* et *Aphanocapsa holsatica*), alors qu'en termes de biovolume, les 3 espèces toxiques (*Aphanizomenon gracile*, *Anabaena catenula* et *Dolichospermum planctonicum*) dominent largement la communauté.

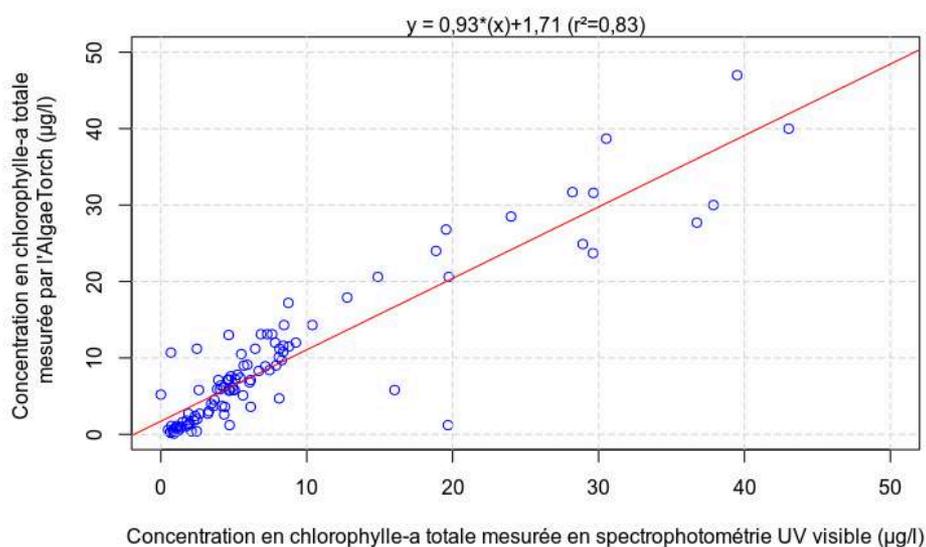
Tableau : répartition en pourcentage des cyanobactéries dominantes recensées au cours du dispositif CYANALERT.

| Espèces | Dénombrement relatif (cel/ml) | Biovolume relatif (mm ³ /l) | Toxines potentiellement produites |
|------------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| <i>Aphanothece minutissima</i> | 29% | <1% | Aucune |
| <i>Aphanocapsa holsatica</i> | 17% | <1% | Aucune |
| <i>Aphanizomenon gracile</i> | 5% | 25% | Anatoxine-a |
| <i>Anabaena catenula</i> | 1% | 17% | Anatoxine-a |
| <i>Dolichospermum planctonicum</i> | 2% | 16% | Anatoxine-a |

Validation de l'outil fluorimétrique de terrain, l'AlgaeTorch

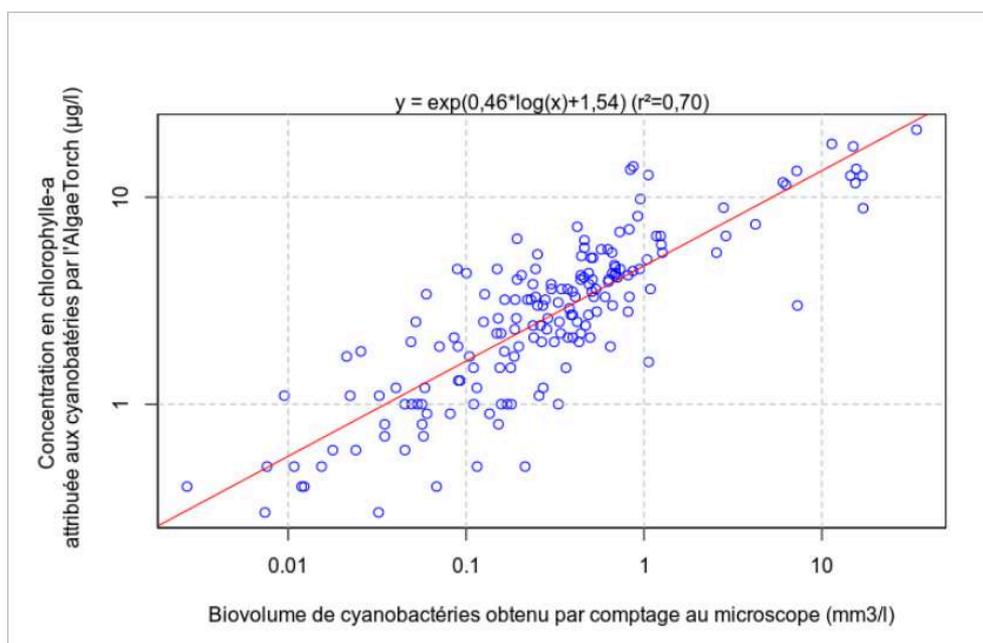
- 14 Afin de valider le recours à l'AlgaeTorch dans le cadre de la mise au point d'une nouvelle méthode de surveillance, nous avons comparé les données obtenues par la sonde AlgaeTorch dans le cadre du dispositif CYANALERT à celles issues des méthodes normalisées de laboratoire. Les données ont d'abord été validées pour la quantification totale en chlorophylle-a sur un jeu de données élargi incluant également les résultats du plan d'eau de Miribel (69) afin de disposer d'une gamme de valeurs plus étendue. La Figure 9 montre que les résultats de chlorophylle-a totale de la sonde sont très bien corrélés à ceux obtenus par la méthode de spectrophotométrie UV-visible-spectrométrie d'absorption moléculaire (r^2 ajusté = 0,83 ; p-value < 0,001 et distribution des résidus proche de la normale). Cette corrélation est donc établie sur le gradient de concentration en chlorophylle-a totale du jeu de données, à savoir de 0 à 50 µg/l.

Figure : corrélation entre la chlorophylle-a totale mesurée par l'AlgaeTorch et celle mesurée par spectrophotométrie-UV visible (méthode de Jeffrey & Humphrey) sur un jeu de donnée élargi (p-value < 0,001).



- 15 Les résultats des dénombrements microscopiques, obtenus par observations directes au microscope ont ensuite été comparés aux estimations de chlorophylle-a attribuées aux cyanobactéries par la sonde. La Figure 10 montre également une corrélation assez élevée (r^2 ajusté= 0,7 ; p-value < 0,001) entre les biovolumes de cyanobactéries calculés à partir des observations au microscope et la quantité de chlorophylle-a attribuée aux cyanobactéries avec l'AlgaeTorch. Cela est confirmé statistiquement par la distribution quasi normale des résidus de la corrélation.

Figure : corrélation entre les mesures de chlorophylle-a attribuées aux cyanobactéries par l'AlgaeTorch et les biovolumes de cyanobactéries calculés à partir des observations au microscope obtenus pendant le dispositif CYANALERT (p-value < 0,001).



- 16 La sonde AlgaeTorch fournit donc *in situ* des valeurs exprimées en équivalent de chlorophylle-a tout à fait comparables à celles obtenues par les méthodes normalisées de laboratoire (Figures 9 et 10). Dans ces conditions, elle semble être capable de quantifier correctement la quantité totale de biomasse phytoplanctonique présente sur un site ou dans un échantillon donné, et d'y estimer la part occupée par les cyanobactéries en équivalent de chlorophylle-a.
- 17 Le Tableau 3ci-dessous, illustre les niveaux d'alerte obtenus par l'arbre décisionnel réglementaire à partir des résultats obtenus dans le suivi expérimental du dispositif CYANALERT. Sur l'ensemble des mesures effectuées, la majorité des campagnes ne déclenche pas d'alerte et les alertes de niveau 2 sont peu nombreuses. Pour les deux plages du lac de Cazaux-Sanguinet, tous les résultats sont inférieurs au premier seuil d'alerte (20 000 cellules/ml de cyanobactéries), ce qui signifie qu'aucune alerte n'a eu lieu sur ce lac. L'ensemble des stations du lac de Parentis-Biscarrosse et la plage du Ponton de l'étang d'Aureilhan présentent des alertes de niveau 1 et 2. Pour ce dernier plan d'eau, la majorité des campagnes est classée en alerte de niveau 1. La plage de Gastes (Parentis-Biscarrosse) présente la proportion maximale d'alerte de niveau 2 par rapport au nombre de campagnes réalisées.

Tableau : nombre de niveaux d'alerte obtenus en appliquant l'arbre décisionnel réglementaire sur les données de comptages microscopiques obtenues dans le suivi du dispositif CYANALERT sur les 6 sites des 3 lacs et étangs naturels du Born (Cazaux-Sanguinet, Parentis-Biscarrosse et Aureilhan).

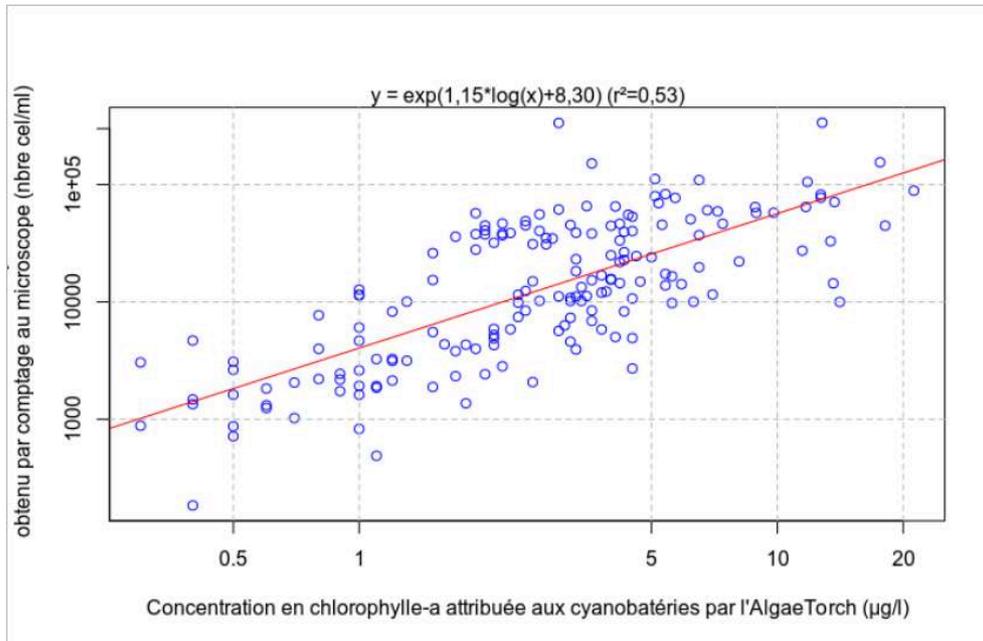
| PLAN D'EAU/Station | PAS D'ALERTE <20 000 cel cyanos /ml | ALERTE 1 [20 000 - 100 000] cel cyanos /ml | ALERTE 2 >100 000 cel cyanos/ml | TOTAL |
|--------------------|---|--|---------------------------------------|-------|
| CAZAUX-SANGUINET | 35 | 0 | 0 | 35 |

| | | | | |
|----------------------|-----|----|---|-----|
| plage du Caton | 12 | 0 | 0 | 12 |
| plage de Navarrosse | 23 | 0 | 0 | 23 |
| PARENTIS-BISCARROSSE | 54 | 42 | 5 | 101 |
| Plage du Taron | 14 | 12 | 2 | 28 |
| Plage Pipiou | 16 | 19 | 0 | 35 |
| Plage de Gastes | 24 | 11 | 3 | 38 |
| AUREILHAN | 15 | 21 | 2 | 38 |
| Plage du Ponton | 15 | 21 | 2 | 38 |
| TOTAL | 104 | 63 | 7 | 174 |

Le dispositif CYANALERT à l'origine d'un nouvel arbre décisionnel applicable sur les lacs et étangs du Born

- 18 Après avoir validé (en comparant avec les méthodes normalisées), la capacité de la sonde AlgaeTorch pour quantifier la biomasse phytoplanctonique totale (au travers de la chlorophylle-a totale) et la biomasse attribuée aux cyanobactéries (chlorophylle-a attribuée aux cyanobactéries), il était nécessaire de définir son aptitude à servir d'outil d'alerte alternatif à la réglementation. Pour cela, une équivalence a été définie entre les seuils réglementaires, basés sur le nombre de cellules en cyanobactéries par millilitre (observations microscopiques), et la concentration en chlorophylle-a attribuée aux cyanobactéries (AlgaeTorch). La définition des seuils a été réalisée en fin d'étude au moyen de la Figure 11ci-dessous, obtenue à partir des 174 mesures acquises dans le cadre du suivi expérimental du dispositif CYANALERT. Ce graphique démontre qu'il existe une corrélation entre les résultats de quantification de cyanobactéries de l'AlgaeTorch et les dénombrements des cyanobactéries lors des observations microscopiques (r^2 ajusté=0,53 ; p-value < 0,001) obtenus dans le cadre de l'étude CYANALERT. Ce qui est confirmé par la distribution quasi normale des résidus de la corrélation. Ainsi, les seuils de concentration finaux en chlorophylle-a attribuables aux cyanobactéries de 4 µg/l et 17 µg/l ont été déterminés par calcul à partir de l'équation du graphe et des deux seuils réglementaires de 20 000 et 100 00 cellules/ml, respectivement.

Figure : corrélation entre les mesures de chlorophylle-a attribuées aux cyanobactéries par l'AlgaeTorch et les dénombrements cellulaires de cyanobactéries calculés à partir des observations au microscope obtenues pendant le dispositif CYANALERT



19 Le Tableau 4 illustre le résultat final de comparaison des niveaux d'alerte en appliquant sur le jeu de données de l'étude les seuils du système d'alerte réglementaire et ceux du dispositif CYANALERT fixés à 4 et 17 µg/l de chlorophylle-a attribuée aux cyanobactéries par l'AlgaeTorch. Dans 70 % des cas, les évaluations entre les deux dispositifs sont identiques, alors que 20 % des situations amènent à une sous-évaluation du risque et 10 % à une surévaluation. Les sous-évaluations s'expliquent par la présence d'espèces de petite taille, non toxiques, dont le dénombrement accroît artificiellement le risque sanitaire en atteignant rapidement les seuils réglementaires alors que le risque n'est réellement pas avéré. Les surévaluations sont dues à la présence d'espèces de biovolumes plus importants, potentiellement toxiques, dont la quantité de matière exprimée en chlorophylle-a est plus élevée bien que leurs abondances en nombre de cellules soient inférieures aux seuils. Dans ces deux cas, nous considérons que l'arbre décisionnel du dispositif CYANALERT est plus protecteur et représentatif du risque sanitaire réel au regard des cyanobactéries que l'arbre décisionnel réglementaire.

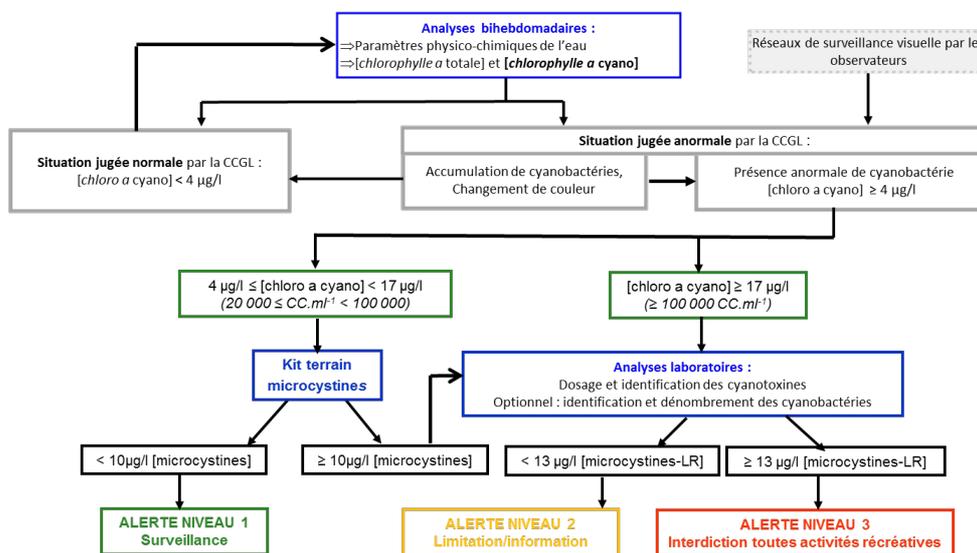
Tableau : comparaison, par niveau d'alerte, du nombre d'alertes obtenus par l'arbre décisionnel réglementaire et par celui du dispositif CYANALERT à partir du jeu de données du dispositif CYANALERT sur les 6 sites des 3 lacs et étangs naturels du Born (Cazaux-Sanguinet, Parentis-Biscarrosse et Aureilhan).

| | | DISPOSITIF CYANALERT | | | |
|---------------|-------------------|----------------------|----|---|---|
| | | Niveau d'alerte | | | |
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| REGLEMENTAIRE | Niveau d'alerte 0 | 85 | 19 | 0 | 0 |
| | Niveau d'alerte 1 | 27 | 34 | 2 | 0 |

| | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 2 | 4 | 1 | 0 |
| | | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

- 20 Les seuils de 4 et 17 $\mu\text{g/l}$ de chlorophylle-a en cyanobactéries définis par l'usage de l'AlgaeTorch étant ainsi validés, un arbre décisionnel alternatif a ensuite été finalisé (Figure 12) en suivant les trois niveaux d'alerte établis par la réglementation. Il intègre ces deux nouveaux seuils ainsi que le seuil réglementaire de 13 $\mu\text{g/l}$ en microcystine-LR pour les toxines. Le réseau permanent de surveillance visuelle instauré par la CCGL sur son territoire a été également incorporé dans ce nouvel arbre décisionnel.

Figure : arbre décisionnel de surveillance et d'alerte des cyanobactéries des zones de baignade des plans d'eau du Born défini par le dispositif CYANALERT



- 21 Ainsi, selon le nouvel arbre décisionnel schématisé dans la Figure 12, les mesures avec la sonde sont réalisées deux fois par semaine en période de surveillance classique. Lorsque la concentration en cyanobactéries (exprimée en équivalent de chlorophylle-a - [chloro a cyano]), est inférieure au seuil de 4 $\mu\text{g/l}$, la situation est jugée normale, aucune analyse supplémentaire n'est réalisée et la surveillance classique se poursuit. Si par contre, la concentration dépasse 4 $\mu\text{g/l}$ ou si des accumulations de cyanobactéries (efflorescences) et/ou des changements de couleur de l'eau sont visibles dans la zone de baignade, la situation est alors jugée anormale déclenchant ainsi des mesures de gestion spécifiques selon les résultats obtenus. Si la [chloro a cyano] reste inférieure à 17 $\mu\text{g/l}$, la zone bascule *a minima* en alerte de niveau 1 avec une surveillance renforcée journalière jusqu'à un retour à la normale. Un dosage complémentaire des toxines par un test rapide de terrain (type ELISA par immuno-essai) est alors réalisé pour mesurer la concentration en microcystines totale. Lorsque le résultat est supérieur à 10 $\mu\text{g/l}$, on s'oriente vers un niveau d'alerte supérieur, 2 voire 3, avec des mesures de gestion plus sévères. De même, lorsque [chloro a cyano] est supérieure à 17 $\mu\text{g/l}$, la zone passe *a minima* en alerte de niveau 2. Les activités sont alors limitées avec interdiction de baignade mais maintien des autres activités nautiques et diffusion d'une information auprès des usagers sur la zone d'activités au moyen d'un affichage expliquant les risques sanitaires encourus. À ce niveau d'alerte, le dosage en laboratoire des

microcystines-LR est alors nécessaire. Le résultat de ce dosage (inférieur ou supérieur au seuil réglementaire de 13 µg/l) déclenche ou non le passage en alerte de niveau 3. En cas d'alerte de niveau 3, la fermeture de la zone et l'interdiction de toutes activités récréatives est établie. Pour les niveaux d'alerte 2 et 3, une surveillance renforcée et des mesures par la sonde doivent être mises en place avec un rythme journalier jusqu'au retour à la normale.

Conclusion et perspectives

- 22 Le dispositif CYANALERT mené en partenariat entre gestionnaires (CCGL) et scientifiques (équipe ECOVEA, INRAE) a permis l'élaboration d'un nouveau protocole opérationnel de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries sur les zones récréatives des lacs et des étangs du Born par l'usage d'une sonde fluorimétrique de terrain (AlgaeTorch). Ce nouveau système s'affranchit des inconvénients du protocole réglementaire qui est parfois peu réactif et peu représentatif du risque encouru et qui sous certaines conditions, engendre des coûts financiers importants. Le dispositif CYANALERT repose sur un arbre décisionnel à trois niveaux d'alerte et de gestion, validé sur la base d'analyses obtenues entre 2012 et 2013 dans le cadre du suivi expérimental sur trois plans d'eau landais (Lac de Cazaux-Sanguinet, Lac de Parentis-Biscarrosse et l'étang d'Aureilhan). Les résultats mettent en évidence que la sonde AlgaeTorch est un outil sensible, fiable, et simple d'usage. Sa rapidité d'emploi est un atout incontestable pour les gestionnaires qui ont désormais la possibilité de réaliser des mesures fiables et peu coûteuses à une fréquence d'analyse supérieure à la réglementation. De plus, les mesures de l'AlgaeTorch basées sur l'évaluation de la concentration en cyanobactéries exprimée en quantité de chlorophylle-a, reflètent mieux la biomasse attribuable aux cyanobactéries. Les instances publiques telles que les Agences Régionales de Santé (ARS) et la Direction Générale de la Santé (DGS) ainsi que les gestionnaires disposent ainsi d'une méthode alternative à la réglementation utilisable dans le cadre de suivi sanitaire des cyanobactéries ou d'autocontrôles dans les zones de baignade. Néanmoins, les concentrations en chlorophylle-a mesurées par le suivi expérimental CYANALERT n'ont jamais dépassées 50 µg/l alors que la gamme de mesure de ce fluorimètre s'étend jusqu'à 200 µg/l. La validation des réponses de la sonde sur des sites différents, notamment avec des concentrations en cyanobactéries plus élevées et composées d'autres genres reste alors à confirmer. Avec l'approbation de l'ARS régionale, le dispositif CYANALERT est désormais mis en œuvre en routine par la CCGL et d'autres gestionnaires de la région landaise concernés par la problématique des cyanobactéries. Le Syndicat Mixte de Gestion des Baignades Landaises (SMGBL) a d'ailleurs validé l'application du dispositif CYANALERT à l'échelle de toutes les zones de baignade lacustres des Landes. De la même manière, le Syndicat Mixte de Rivières Côte Sud en charge de la gestion du bassin versant du Boudigau et du Bourret (Landes) l'a adopté dans son système de surveillance.

BIBLIOGRAPHIE

Afssa et Afsset. (2006). Evaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives.

Agence Régionale de Santé de Nouvelle Aquitaine. (2020, 24 février). Contrôle des eaux de baignades en Nouvelle Aquitaine. <https://www.nouvelle-aquitaine.ars.sante.fr/contrôle-des-eaux-de-baignades-en-nouvelle-aquitaine>

Anses. (2019). Valeurs toxicologiques de référence: la microcystine-LR. [Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective]. ANSES. <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2016SA0297Ra.pdf>

Bbe Moldaenke. (2020, 24 février). AlgaeTorch. Chlorophyll and Cyanobacteria measurement. <http://www.bbe-moldaenke.de/en/products/chlorophyll/details/algaetorch.html>

Bernard, C. (2014). Les cyanobactéries et leurs toxines. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2014(460), 53-68. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(14\)72405-0](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(14)72405-0)

Chen, L., Chen, J., Zhang, X., Xie, P. (2016). A review of reproductive toxicity of microcystins. *Journal of Hazardous Materials*, 301, 381-399. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.08.041>

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. (2003). Section des eaux, séance du 6 mai 2003 - Recommandations pour la gestion des situations de contamination d'eau de baignade et de zones de loisirs nautiques par prolifération de cyanobactéries.

De Reviere, B. (2002). *Biologie et phylogénie des algues : t.1*. Belin.

De Reviere, B. (2003). *Biologie et phylogénie des algues : t.2*. Belin.

Gomez, O.P. (2015). Approche par bassin versant pour caractériser les causes de dégradation de la qualité de l'eau du lac Baie d'Or [mémoire présenté pour l'obtention du grade de maître ès sciences (m.sc.) en sciences de l'eau, Université du Québec à Montréal]. <http://espace.inrs.ca/id/eprint/2793/1/T00746.pdf>

ISO 20179. (2005). Qualité de l'eau - Dosage des microcystines - Méthode utilisant l'extraction en phase solide (SPE) et la chromatographie en phase liquide à haute performance (CLHP) avec détection dans l'ultraviolet (UV).

Jenny, J.-P., Anneville, O., Arnaud, F., Baulaz, Y., Bouffard, D., Domaizon, I., Bocaniov, S. A., Chèvre, N., Dittrich, M., Dorioz, J.-M., Dunlop, E. S., Dur, G., Guillard, J., Guinaldo, T., Jacquet, S., Jamoneau, A., Jawed, Z., Jeppesen, E., Krantzberg, G., ... Weyhenmeyer, G.A. (2020). Scientists' Warning to Humanity: Rapid degradation of the world's large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 46, 686-702. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.05.006>

John, D.M., Whitton, B.A., Brook, A.J. (2011). *The Freshwater Algal Flora of the British Isles: an Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Second Edition. Cambridge University Press.

Komarek, J. (2013). *Cyanoprokaryota: 3. Teil/Part 3: Heterocytous Genera*. Springer Spektrum Verlag.

Komarek, J., Anagnostidis, K. (1999). *Cyanoprokaryota 1.Teil: Chroococcales (Gustav Fischer)*. Gustav Fischer.

Komarek, J., Anagnostidis, K. (2005). *Cyanoprokaryota 2.Teil: Oscillatoriales (Elsevier Spektrum Akademischer Verlag)*. Elsevier.

- Laplace-Treyture, C., Hadoux, E., Plaire, M., Dubertrand, A., Esmieu, P. (2017). PHYTOBS v3.0 : Outil de comptage du phytoplancton en laboratoire et de calcul de l'IPLAC. Version 3.0. Application JAVA (version 3.0). <https://hydrobio-dce.inrae.fr/phytobs-software/>
- Laplace-Treyture, C., Moreira, S., Eon, M., Jan, G. (2017). Rapport d'activité du suivi scientifique des plans d'eau de Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse – Année 2016. Irstea, Unité de Recherche Écosystèmes Aquatiques et Changements Globaux.
- Laplace-Treyture, C., Moreira, S., Gogin, S., Pickhahn, L., Eon, M., Jamoneau, A. (2017). Un système opérationnel de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries : application aux plans d'eau landais. Sciences Eaux & Territoires, Hors-série n°37, 6. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2017.HS.06>
- Merel, S., Walker, D., Chicana, R., Snyder, S., Baurès, E., Thomas, O. (2013). State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins. *Environment International*, 59, 303-327. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.06.013>
- Moreira, S., Laplace-Treyture, C., Gogin, S., Pickhahn, L., Eon, M., Jamoneau, A. (2018). An operational monitoring system for cyanobacterial blooms: application to water bodies in the South-Western France. « Big lakes - Small World » ELLS-IAGLR-2018. 23-28 september 2018, Evian.
- NF EN 15204. (2006). Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl).
- NF T 90117. (1999). Qualité de l'eau - Dosage de la chlorophylle a et d'un indice phéopigments. Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- OCDE. (1982). Eutrophisation des eaux: méthode de surveillance, d'évaluation et de lutte. OCDE Paris.
- Parlement Européen. (2006). Directive 2006/7/CE du Parlement Européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE. Journal officiel de l'Union européenne.
- Sanseverino, I., Conduto, D., Pozzoli, L., Dobricic, S., Lettieri, T. (2016). Algal Bloom and its Economic Impact (p. 48). Join Research Center. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/algal-bloom-and-its-economic-impact>
- Wehr, J.D., Sheath, R.G., Kociolek, P. (2015). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification* (2° ed). Academic press.

RÉSUMÉS

Les lacs et les étangs naturels du Born situés dans le département des Landes sont largement concernés par les activités humaines et constituent une destination touristique importante pendant l'été. Ces lacs disposent de zones de baignade qui, en accord avec la réglementation liée à la santé publique, sont régulièrement surveillées, notamment pour les cyanobactéries qui peuvent être potentiellement toxiques. Cependant, les analyses effectuées en laboratoire nécessitent un long délai de réponse (36 heures) préjudiciable à la sécurité sanitaire et entraînant des coûts financiers importants. Le dispositif CYANALERT mené entre scientifiques (Équipe ECOVEA, INRAE) et gestionnaires (CCGL) vise à définir un système de surveillance et d'alerte des cyanobactéries alternatif sur les zones de baignades des lacs et étangs du Born. Le présent travail, propose de réduire ce délai et de limiter les coûts en modifiant l'arbre de décision réglementaire

de surveillance et d'alerte par l'utilisation d'une sonde fluorimétrique de terrain. Ainsi, nous avons analysé 174 échantillons d'eau de 3 lacs landais (2012-2013), et comparé les valeurs de la sonde de terrain *in situ* avec les résultats des comptages faits en laboratoire. Nous avons ensuite adapté l'arbre de décision reposant initialement sur le comptage du nombre de cellules, pour l'établir sur des seuils de biomasse de cyanobactéries (équivalent chlorophylle-a). Ce nouvel arbre de décision offre au moins le même niveau de sécurité et est, souvent, plus protecteur que la méthode réglementaire. Cette nouvelle méthode doit cependant être testée sur d'autres sites ayant des biomasses de cyanobactéries différentes, mais elle donne des résultats encourageants pour la gestion des zones de baignade, et est d'ores et déjà utilisée pour la gestion des plages des lacs et étangs du Born.

The natural Born lakes and ponds located in the Landes department are largely concerned by human activities and constitute an important touristic place during summer. These lakes have bathing areas regularly monitored for public health, especially for cyanobacteria that could be potentially toxic. However, analyses carried out in laboratories require long response delay (36 hours) damaging to sanitary safety and leading to important financial costs. The CYANALERT system carried out between scientists (ECOVEA Team, INRAE) and managers (CCGL) aims to define an alternative monitoring and warning system for cyanobacteria in the bathing areas of the Born lakes and ponds. The present work, proposed to reduce this time delay and to limit the costs by modifying the monitoring and alert regulatory decision tree with the use of a fluorimetric field probe. Thus, we analyzed 174 water samples from 3 lakes (2012-2013) of the Landes department in France, and compared *in situ* field probe values with counted cell results obtained in laboratory. We then adapted a decision tree, based on thresholds of cyanobacteria biomass (chlorophyll-an equivalent) instead of the number of counted cells. This new decision tree provides at least the same safety level and is, often, more precautionary than the regulatory method. This new method need however to be tested for other lakes and ponds with different cyanobacteria biomass gradient, but provide encouraging results for bathing areas management and is already used for management of bathing areas of the Born lakes and ponds.

INDEX

Keywords : cyanobacteria bloom, toxicity, monitoring, recreational waters, water bodies, Landes, regulation, microscopic counting, alternative device, field fluorimeter, chlorophyll-a, alert threshold.

Mots-clés : efflorescence de cyanobactérie, toxicité, surveillance, eaux récréatives, plan d'eau, Landes, réglementation, comptage microscopique, dispositif alternatif, fluorimètre de terrain, chlorophylle-a, seuil d'alerte.

AUTEURS

SYLVIA MOREIRA

sylvia.moreira@inrae.fr

INRAE, EABX, 50 avenue de Verdun Gazinet, F-33612 Cestas Cedex, France.

CHRISTOPHE LAPLACE-TREYTURE

christophe.laplace-treiture@inrae.fr

INRAE, EABX, 50 avenue de Verdun Gazinet, F-33612 Cestas Cedex, France.

Pôle R&D Ecosystèmes lacustres (ECLA), F-13100 Aix-en-Provence, France.

LAURENT PICKHAHN

l.pickhahn@ccgrandslacs.fr

Communauté de Communes des Grands Lacs (CCGL), 136 rue Jules Ferry B.P. 64, F-40161 Parentis-en-Born Cedex, France.

AURÉLIEN JAMONEAU

aurelien.jamoneau@inrae.fr

INRAE, EABX, 50 avenue de Verdun Gazinet, F-33612 Cestas Cedex, France.

Pôle R&D Ecosystèmes lacustres (ECLA), F-13100 Aix-en-Provence, France.

MÉLISSA EON

melissa.eon@inrae.fr

INRAE, EABX, 50 avenue de Verdun Gazinet, F-33612 Cestas Cedex, France.

Pôle R&D Ecosystèmes lacustres (ECLA), F-13100 Aix-en-Provence, France.