



SeeWandel

La vie dans le
lac de Constance: hier,
aujourd'hui et demain

SeeWandel fiche d'information n° 01 | Septembre 2021



Universität
Zürich UZH

L'algue sang des Bourguignons dans le lac de Constance – Occupant dominant ou hôte rare?

Actuellement, la probabilité d'une installation durable de l'algue sang des Bourguignons, avec une présence régulière en masse dans l'eau libre de la partie supérieure du lac de Constance, est estimée faible par les chercheurs du projet de SeeWandel «Raisons de la croissance de *Planktothrix rubescens* dans le lac de Constance et de Zurich». Toutefois, si le brassage du lac reste très faible durant plusieurs années consécutives, cela pourrait provoquer un développement de masse.

L'utilisation de l'eau du lac pour l'approvisionnement en eau potable est considérée comme non problématique même si l'algue prolifère en masse, du moment que les centrales hydrauliques disposent des procédés de préparation nécessaires. La prolongation de la saison balnéaire jusqu'à la fin de l'automne due aux conditions climatiques augmente la probabilité que les baigneurs entrent en contact avec les substances toxiques de l'algue sang des Bourguignons.



Qu'est-ce que l'algue sang des Bourguignons?

L'algue sang des Bourguignons dont le nom scientifique est *Planktothrix rubescens* est une cyanobactérie d'un millimètre de long aux filaments cellulaires non ramifiés, visible à l'œil nu dans un échantillon d'eau (ill.1). Sa couleur rouge caractéristique provient de la phycoérythrine, un pigment auxiliaire de la photosynthèse. Alors que de nombreuses cyanobactéries sont présentes dans des eaux riches en nutriments, l'algue sang des Bourguignons se multiplie en masse (efflorescences) dans les lacs grands, profonds et pauvres en nutriments. Nombre de ces lacs subissent des changements drastiques des conditions physiques et chimiques dû au climat, ce qui a un effet négatif sur les groupes d'algues classiques comme les chrysophycées ou les diatomées. Comme beaucoup d'autres cyanobactéries, l'algue sang des Bourguignons en revanche dispose d'une série de propriétés physiologiques qui en font une concurrente efficace des algues classiques, en particulier dans les systèmes qui changent rapidement [4]:

- L'algue sang des Bourguignons peut produire des substances toxiques stockées à l'intérieur des cellules¹ qui sont rejetées dans l'eau lorsque les cellules sont détruites. Celles-ci sont potentiellement toxiques pour les humains et les organismes animaux.
- Adaptée à une faible intensité lumineuse, elle vit de préférence dans la couche de rupture² des lacs stratifiés profonds (à une profondeur de 15 mètres dans le lac de Constance). Dans de telles conditions lumineuses, les algues classiques ne poussent guère. C'est ainsi que l'algue sang des Bourguignons échappe à la forte pression concurrentielle dans les eaux de surface baignées de lumière.
- Les vésicules gazeuses (structures cellulaires de forme cylindrique remplies d'air) confèrent à l'algue sanguine de Bourgogne une flottabilité et lui permet de réguler activement sa position dans la colonne d'eau [1].
- Dans des conditions lumineuses insuffisantes pour la photosynthèse, l'algue sang des Bourguignons peut absorber les acides aminés présents dans l'eau pour gagner de l'énergie et supporter de courtes phases d'obscurité. Néanmoins, et contrairement à beaucoup d'autres cyanobactéries, elle ne peut pas fixer l'azote élémentaire et dépend du nitrate ou de l'ammonium comme source d'azote.



ILL. 1: Au microscope, les filaments cellulaires non ramifiés d'un millimètre de long de l'algue sang des Bourguignons sont bien visibles. Photo: Station limnologique de Kilchberg, Université de Zurich.

Infobox

L'algue sang des Bourguignons doit son nom à une légende et fait référence à sa première apparition dans le lac de Morat (CH) décrite en 1825: En 1476, les Confédérés ont vaincu l'armée de Charles le Téméraire, duc de Bourgogne. Plus tard, lorsque l'eau du lac de Morat prit une couleur rouge, la population crut que c'était le sang des Bourguignons morts dans la bataille. Mais il s'agissait d'une efflorescence de l'algue sang des Bourguignons.

¹ En font partie: Cyanopeptoline, anabaenopeptine, aeruginosine et microcystine [2]. Les microcystines font partie des substances les mieux étudiées et peuvent être produites en différentes variantes par l'algue sang des Bourguignons [5].

² Zone intermédiaire dans un lac stratifié entre couche supérieure et inférieure présentant un gradient de la température de l'eau très fortement décroissant avec la profondeur.



Première multiplication de masse en 2016

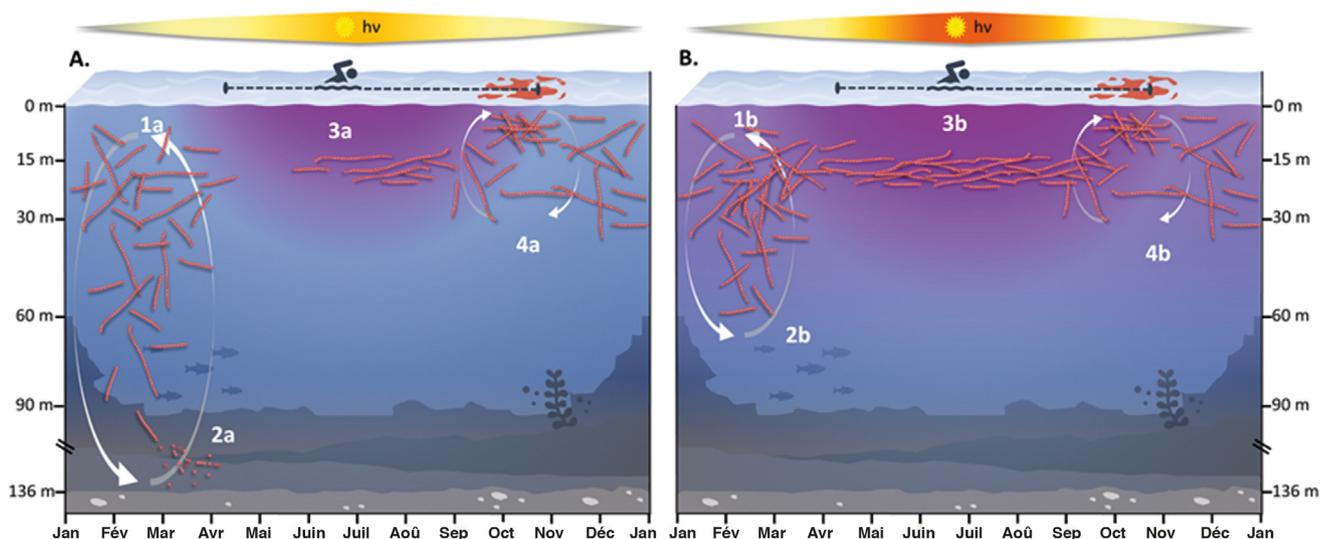
L'algue sang des Bourguignons a été observée en masse pour la première fois de l'automne 2016 au printemps 2017 dans l'eau libre de la partie supérieure du lac de Constance, elle n'est plus détectable qu'en faible quantité depuis 2017 jusqu'à présent. Les conditions nutritives du lac de Constance ont fortement évolué en faveur de l'algue sang des Bourguignons depuis la phase d'eutrophisation. Tandis que la concentration en phosphore n'a cessé de diminuer depuis 1980, la teneur en azote sous forme de nitrate est restée pratiquement inchangée. Des analyses effectuées de 2015 à 2018 ne montrent aucuns changements abrupts des concentrations de phosphore et d'azote dans le lac de Constance qui pourrait expliquer sa présence en masse en 2016. Toutefois, on constate un brassage extrêmement faible au printemps des années 2013 à 2017. La raison pour laquelle cette série de faible brassage a pu être favorable s'explique par le modèle de croissance typique de l'algue sang des Bourguignons dans d'autres eaux comme le lac de Zurich (CH) [4].



Le brassage joue un rôle décisif

Sur la base d'études à long terme de la station limnologique de Kilchberg (Université de Zurich), il a pu être démontré pour le lac de Zurich que la dynamique de croissance de l'algue sang des Bourguignons est étroitement liée au brassage saisonnier et à la stratification thermique d'un lac [8].

Dans des conditions de stratification stables, l'algue sang des Bourguignons se positionne de préférence dans la couche de rupture grâce à ses vésicules gazeuses (ill. 2 [3a]). Une couche de rupture stable avec les conditions lumineuses appropriées est décisive pour le développement d'une population. Des intensités lumineuses trop élevées peuvent stopper la croissance ou même provoquer la mort des filaments cellulaires. Avec la diminution de l'exposition à la lumière et l'augmentation du brassage en surface, l'algue sang des Bourguignons est forcée de rejoindre l'eau de surface (ill. 2 [4a]) et forme, en cas de présence massive, un film rougeâtre à la surface (ill. 3). Apparaît alors le phénomène «sang des Bourguignons».



ILL. 2: Le modèle de croissance de l'algue sang des Bourguignons pendant un brassage complet (A) et pendant un brassage faible (B) de la colonne d'eau du lac. (1a-3a) Un brassage complet provoque un effondrement des vésicules gazeuses et la mort d'une grande partie de la population car il n'est plus possible de remonter à la surface. Une très faible densité de population au début de l'été en est la conséquence. (1b-3b) Si le brassage est faible, une majeure partie de la population survit et les densités de populations sont très élevées au printemps. (4a, 4b) Aussi bien lors d'un brassage complet que faible, des brassages superficiels ont lieu en automne et un film rougeâtre peut se former en surface. (graphique: Knopp & Posch 2021).



ILL. 3: Le phénomène «sang des Bourguignons»: l'algue sang des Bourguignons forme un film rougeâtre à la surface de l'eau.
Photo: Station limnologique de Kilchberg, Université de Zurich.

Lors d'un brassage complet du lac, les vésicules gazeuses sont détruites par la pression hydrostatique croissante de la colonne d'eau (ill. 2 [1a-2a]). Les vésicules gazeuses les plus fortes connues à ce jour [1] résistent à la pression de l'eau jusqu'à une profondeur d'environ 100 mètres (profondeur maximale de la partie supérieure du lac de Constance: 251 mètres). À cette profondeur, les

filaments cellulaires ne peuvent plus rejoindre les zones baignées de lumière et meurent avec le temps. Les toxines libérées sont inoffensives en raison de la grande profondeur et de la dilution dans la masse d'eau. Ainsi, la population diminue fortement [6] et les densités de populations d'algue sang des Bourguignons atteignent un niveau observable avec des méthodes de terrain et en laboratoire seulement à la fin de l'été.

Lors d'un faible brassage, la probabilité de survie de l'algue sang des Bourguignons est nettement plus élevée. Si une grande partie de la population survit à la phase de brassage du printemps, les densités de populations dans la couche de rupture seront élevées au début de l'été (ill. 2 [1b-4b]).

Comme le lac de Zurich, le lac de Constance est monomictique, c'est-à-dire qu'il suit en général un cycle saisonnier au cours duquel l'eau est chaque année entièrement brassée verticalement au printemps et stratifiée thermiquement en été et en automne. On peut par conséquent supposer que l'algue sang des Bourguignons suit un modèle de croissance similaire dans le lac de Constance.



Conséquences d'une présence de masse pour l'écosystème

Concernant la biomasse, l'algue sang des Bourguignons présente le potentiel de devenir une espèce dominante dans un écosystème lacustre. À cause des toxines contenues dans les cellules et de la forme des filaments cellulaires, elle ne constitue pas une source de nourriture pour le zooplancton[5] et n'a donc aucun prédateur naturel. L'accumulation des toxines le long de la chaîne alimentaire est donc très improbable et n'a pas pu être prouvée jusqu'à ce jour dans des conditions proches de l'état naturel. Mais elle peut devenir un puits pour les nutriments tels que le phosphore ou l'azote qui restent piégés dans sa biomasse, ce qui peut entraîner un appauvrissement des différents échelons alimentaires dans le réseau trophique. Dans de nombreux lacs stratifiés, le brassage est essentiel pour le transport des nutriments des profondeurs jusqu'aux couches supérieures de l'eau [9]. Si le brassage est insuffisant, trop peu de nutriments sont transportés vers le haut. En même temps, des proportions plus élevées de la population d'algue sang des Bourguignons survivent et entrent en concurrence directe avec d'autres producteurs primaires³ pour le peu de phosphore disponible. Dans le lac de Zurich par exemple, un recul majeur de diatomées centriques, d'algues dorées et de chrysophycées a été observé pendant l'efflorescence du printemps [9].

³ Organismes qui produisent de la biomasse à partir du carbone et de l'eau à l'aide de la lumière du soleil.



Conséquences d'une présence de masse pour l'utilisation d'un lac

Se baigner dans le lac

Pendant une stratification thermique, il y a une séparation claire entre le milieu naturel de l'algue sang des Bourguignons et la zone de baignade. En cette saison, elle est en général positionnée entre 12 et 15 mètres, il n'y a donc aucun risque direct d'exposition. Mais si elle est poussée à la surface de l'eau à cause d'un manque de lumière dans la couche de rupture, de conditions de température et de vagues internes, il y a alors un risque que l'homme et l'animal entrent en contact direct avec les toxines. [3]. Le contact avec la peau peut avoir des conséquences sur la santé (irritations). Il faut alors absolument éviter de boire l'eau du lac non traitée. Les situations critiques se multiplient en raison de la hausse des températures dues au changement climatique qui, en de nombreux endroits, prolonge la saison de la baignade jusqu'à la fin de l'automne. La probabilité d'un

chevauchement de la saison balnéaire et de la période à risque des efflorescences de *Planktothrix* à la surface de l'eau augmente aussi considérablement le risque de contact direct avec la toxine.

Utilisation d'eau potable

En Allemagne, en Autriche et en Suisse, le processus d'ozonation est souvent utilisé pour le traitement de l'eau de surface. En outre, les particules sont éliminées par des filtres placés en aval et l'eau est désinfectée par du chlore, du dioxyde de chlore ou des rayons UV. Ce «système multi-barrières» garantit la rétention totale des toxines de l'algue sang des Bourguignons. Il n'y a plus aucune trace d'effet toxique dans l'eau potable traitée.



L'algue sang des Bourguignons peut-elle s'implanter comme un organisme dominant?

La formation de grandes densités de populations de *Planktothrix rubescens* dans un lac dépend de nombreux facteurs. Nombre de ces facteurs sont liés aux changements climatiques dans les grands lacs de la zone alpine [6, 8, 9]. Certaines de ces conséquences sont aussi observées dans le lac de Constance:

- Le réchauffement du lac de Constance dû au changement climatique et la stratification thermique plus précoce, plus longue et plus stable qui y est liée, ainsi que la réduction de la profondeur de brassage, devraient avoir un effet favorable sur le développement de l'algue sang des Bourguignons.
- Des mesures sous-marines de la lumière effectuées en 2018 montrent que l'algue sang des Bourguignons peut parfois trouver des conditions de lumière favorables dans la couche de rupture.
- Le lac de Constance dispose de concentrations en nitrate suffisamment élevées pour servir de source d'azote à l'algue sang des Bourguignons. Toutefois, le lac de Constance présente aussi des caractéristiques qui rendent plus difficile la formation d'efflorescences de l'algue sang des Bourguignons:
- Malgré un faible brassage de 2013 à 2017, celui-ci s'est quand même effectué jusqu'à une profondeur de plus de 100 mètres. La pression de l'eau à cette profondeur détruit ses vésicules gazeuses et décime une bonne partie de la population.
- Comparée à celle du lac de Zurich, la couche de rupture semble être moins compacte et moins stable, ce qui complique le positionnement stable de l'algue sang des Bourguignons dans la colonne d'eau.

- Sur la base des mesures de lumière effectuées en 2018, des variations de pénétration de la lumière allant jusqu'à 10 mètres ont été observées en deux semaines. L'algue sang des Bourguignons ne peut modifier sa position verticale que lentement et aurait des difficultés à suivre les variations de ses conditions lumineuses de prédilection.
- Dans le lac de Constance, l'algue sang des Bourguignons est probablement limitée en phosphore. Les concentrations de phosphore dans ce lac sont en effet très faibles jusqu'à de grandes profondeurs. Même avec un faible brassage (ex. jusqu'à 100 mètres), elle n'atteint pas les zones où les concentrations de phosphore sont élevées.

Certains secteurs de la partie supérieure du lac de Constance, comme la baie de Bregenz ou les cours d'eau reliés au bassin principal comme le lac d'Überlingen ou de Gnadon, offrent à l'algue sang des Bourguignons un milieu potentiellement favorable. La faible profondeur de brassage, la disponibilité en phosphore et des conditions de stratification et de lumière appropriées pourraient favoriser le développement de masse. Elles peuvent ainsi constituer le point de départ d'une colonisation de la partie supérieure du lac de Constance.

Dans la partie supérieure du lac de Constance, les apports impromptus de nutriments, par exemple par les crues, peuvent permettre à l'algue sang des Bourguignons de contourner brièvement la limitation en phosphore. Si les conditions de lumière et de stratification adéquates sont réunies pendant ou juste après ce type d'événement, un développement de masse soudain peut avoir lieu. Beaucoup d'éléments indiquent une nouvelle hausse des températures de l'air et de l'eau avec des répercussions sur l'intensité du brassage et les flux de substances dans le lac de Constance. Il peut en résulter une multiplication des variations considérables de la productivité avec des évolutions de masse imprévisibles des producteurs primaires. Si l'algue sang des Bourguignons rencontre une couche de rupture stable et des conditions de lumière appropriées, elle pourrait proliférer. Toutefois, les modifications induites par le changement climatique rendent les prévisions sur les dynamiques saisonnières de plus en plus difficiles.

Il y a des arguments en faveur et d'autres contre la poursuite du développement de masse de l'algue sang des Bourguignons dans la partie supérieure du lac de Constance. Actuellement, les chercheurs de SeeWandel estiment peu probable que l'algue sang des Bourguignons s'établisse durablement dans l'eau libre de cette partie du lac. Il ne sera probablement pas possible d'estimer de manière définitive si l'algue sang des Bourguignons s'établira comme un organisme dominant dans le lac de Constance, car même dans les écosystèmes lacustres très bien étudiés, il n'est guère possible de prévoir les changements liés au climat.



Gestion et mesures

Si les changements climatiques et leurs effets sur les cours d'eau continuent de s'amplifier, cela peut engendrer des changements drastiques de la stratification thermique et de la répartition des nutriments. Cela engendre de nouveaux problèmes pour la gestion des cours d'eau. Afin de déceler à temps les effets du changement climatique et de pouvoir les contrecarrer, il est souhaitable de développer un programme de monitoring complet.

Monitoring des paramètres physiques et chimiques:

L'analyse complète des données de température, de concentrations en oxygène et en phosphore est la base pour pouvoir déterminer si l'algue sang des Bourguignons rencontre des conditions favorables.

Monitoring de l'algue sang des Bourguignons:

- Des profils de mesure à haute résolution sont nécessaires pour déterminer exactement la dynamique saisonnière et la diffusion verticale. Par exemple avec des étapes de mesure tous les 50 cm. Parfois, l'algue sang des Bourguignons ne se trouve que dans un secteur d'un mètre en cas de stratification thermique. Si cette couche n'est pas testée lors de l'échantillonnage des profondeurs standard, l'algue sang des Bourguignons peut passer inaperçue.
- Il est également judicieux de prendre en compte la profondeur de visibilité du lac. Le lac de Constance est très clair, la lumière pénètre profondément dans l'eau. Cela a aussi une influence sur la profondeur à laquelle l'algue sang des Bourguignons trouve des conditions lumineuses favorables. Il est donc recommandé pour le lac de Constance de procéder à un monitoring jusqu'à une profondeur d'au moins 30 mètres.
- Il est en outre recommandé d'utiliser des sondes de mesure avec un étalonnage pour détecter les algues sang des Bourguignons car sans étalonnage approprié, l'algue peut être attribuée par erreur à d'autres groupes d'algues (généralement les chrysophycées).
- Dans les secteurs du lac de Constance où l'algue sang des Bourguignons trouve potentiellement un milieu plus favorable (ex. Baie de Bregenz, lac d'Überlingen, lac de Gnadon), l'observation de leur développement est particulièrement important pour pouvoir estimer à l'avance l'apparition d'efflorescences dans le bassin principal.

Mesures de la lumière:

Des mesures à haute résolution temporelle (au moins toutes les deux semaines) du rayonnement sous-marin permettent d'estimer à partir de quand l'algue sang des Bourguignons remontera de la couche de rupture vers la masse d'eau superficielle. Lorsque ces données sont disponibles, il est possible de prédire quand se formeront les films rougeâtres à la surface du lac.

Sensibilisation du public:

Afin de ne courir aucun risque, il est nécessaire d'agir vite lorsque des masses d'algue sang des Bourguignons apparaissent. Il est donc très important de délivrer une information officielle à la population sur des panneaux d'information professionnels des autorités placés principalement aux lieux de baignade. Les expériences faites au lac de Zurich en 2020 montrent que les avertissements de dernière minute adressés à la population ne sont que partiellement pris en compte et représentent un défi. Il est recommandé de définir au préalable les voies de communication et de disposer de matériel d'information. Il est également utile d'informer la population locale et les représentants des institutions locales sur la présence d'organismes toxiques dans le lac et de définir suffisamment tôt les interlocuteurs.



Mention légales

Dans le cadre du projet de recherche SeeWandel «P6: Raisons de la croissance de *Planktothrix rubescens* dans le lac de Zurich et de Constance – comparaison des données sur le long terme, approches expérimentales et analyses génétiques», la question étudiée est de savoir si l'algue sang des Bourguignons peut s'établir comme un organisme dominant dans le réseau trophique du lac de Constance. Les premières conclusions tirées du projet de recherche constituent la base de la fiche d'information SeeWandel #1: «L'algue sang des Bourguignons dans le lac de Constance – Occupant dominant ou hôte rare?». De plus amples informations sont disponibles sur: www.seewandel.org.

«SeeWandel: Vivre dans le lac de Constance - hier, aujourd'hui et demain» étudie l'influence de la diminution des nutriments, du changement climatique, des espèces exotiques sur l'écosystème du lac de Constance, sa biodiversité et son fonctionnement, ainsi que l'utilisation humaine du lac.

Éditeur

SeeWandel
PD Dr. Piet Spaak
Überlandstrasse 133
CH-8600 Dübendorf
E-mail: seewandel@seewandel.org

Renseignement et contact

Universität de Zurich, Station de limnologie, Institut de
phytologie et de microbiologie
Prof. Dr. Thomas Posch
Seestrasse 187 | CH-8802 Kilchberg
E-mail: posch@limnol.uzh.ch

Autrices et auteurs

- Deborah Knapp, Station limnologique, Université de Zurich
- Gaëlle Pauquet, Office de l'eau et de l'énergie de St-Gall
- Thomas Posch, Station limnologique, Université de Zurich

Avec le soutien de

- Josephine Alexander, SeeWandel
- Roland Schick, Association pour l'approvisionnement en eau du lac de Constance
- Christine Schranz, Office fédéral bavarois de l'environnement
- Piet Spaak, SeeWandel
- Lukas Taxböck, Office de l'eau et de l'énergie de St-Gall

Les fiches d'information SeeWandel défendent les appréciations des autrices et auteurs et de l'éditeur. Elles ne sont pas forcément les mêmes que celles d'autres partenaires du projet SeeWandel.



Bibliographie

- [1] Bright DI, Walsby AE (1999) The relationship between critical pressure and width of gas vesicles in isolates of *Planktothrix rubescens* from Lake Zürich. *Microbiology* 145(10):2769-2775
- [2] Dittmann E, Fewer DP, Neilan BA (2013) Cyanobacterial toxins: biosynthetic routes and evolutionary roots. *FEMS Microbiology Reviews* 37(1):23-43
- [3] Fromme H (2006) Gesundheitliche Bedeutung von Cyanobakterientoxinen in Badegewässern. In: Toxinbildende Cyanobakterien (Blualgen) in Bayerischen Gewässern. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Materialienband Nr. 125, 27-44
- [4] Knapp D, Posch T (2021) Die Burgunderblutalge im Zürichsee. Populationsdynamik und Einfluss des Klimawandels. *Aqua & Gas* N°4 | 2021: 14-21
- [5] Kurmayer R, Deng L, Entfellner E (2016) Role of toxic and bioactive secondary metabolites in colonization and bloom formation by filamentous cyanobacteria *Planktothrix*. *Harmful Algae* 54:69-86
- [6] Posch T, Köster O, Salcher MM, Pernthaler J (2012) Harmful filamentous cyanobacteria favoured by reduced water turnover with lake warming. *Nature Climate Change* 2(11):809-813
- [7] von Gunten U (2003) Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Research* 37:1443-1467
- [8] Yankova Y, Villiger J, Pernthaler J, Schanz F, Posch T (2016) Prolongation, deepening and warming of the metalimnion change habitat conditions of the harmful filamentous cyanobacterium *Planktothrix rubescens* in a prealpine lake. *Hydrobiologia* 776(1):125-138
- [9] Yankova Y, Neuenschwander S, Köster O, Posch T (2017) Abrupt stop of deep water turnover with lake warming: Drastic consequences for algal primary producers. *Scientific Reports* 7(1):13770

Cette fiche d'information est une traduction de la fiche d'information SeeWandel #1 «Die Burgunderblutalge im Bodensee – dominierende Bewohnerin oder seltener Gast?» (version originale allemande), qui a été publiée en septembre 2021. La traduction a été financée par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Nous vous remercions de votre soutien.

