



Une diversité sous-estimée des substances toxiques produites par les cyanobactéries

17 octobre 2023 | Ori Schipper

Catégories: Écosystèmes | Polluants | Société

Seules quatre substances produites par les cyanobactéries sont répertoriées dans les directives de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). C'est une part infime de tous les produits métaboliques susceptibles d'avoir des effets négatifs au niveau écotoxicologique – et sur les larves du poisson zèbre.

Elles ont plus de trois milliards d'années. Ce sont les premiers êtres vivants sur Terre à avoir utilisé la lumière du soleil comme source d'énergie, et donc à avoir quasiment inventé la photosynthèse. «Les cyanobactéries survivent aussi dans les cours d'eau pauvres en nutriments et sont présentes partout dans le monde», explique Elisabeth Janssen, responsable de groupe de recherche au département Chimie de l'environnement de l'Institut de recherche sur l'eau Eawag.

Un incident tragique

La science sait depuis longtemps que ces êtres minuscules, appelés aussi algues bleues, produisent des substances toxiques. Depuis près de vingt ans, l'intérêt politico-sociétal pour les cyanobactéries se renforce. Lorsqu'elles se reproduisent brusquement dans un cours d'eau, comme l'algue sang des Bourguignons (*Planktothrix rubescens*) et produisent une efflorescence, il est absolument déconseillé de se baigner. Et les chiens qui boivent de l'eau trouble contenant certaines cyanobactéries peuvent même en mourir.

Jusqu'à présent, les toxicologues ont concentré leur attention sur une classe précise de toxines appelées microcystines. «C'est à cause d'un incident tragique particulièrement grave survenu en 1996 dans la ville brésilienne de Caruaru», écrivent les chercheuses et chercheurs qui travaillent avec

Elisabeth Janssen dans un article qui vient de paraître. Cette année-là, l'approvisionnement en eau local a fait défaut et on a acheminé par camion de l'eau puisée dans un réservoir à proximité pour l'hôpital. On s'est alors rendu compte que cette eau contenait des microcystines après le décès de 60 patients et patientes en dialyse.

Une palette entière de produits métaboliques

À la suite de cette tragédie, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a promulgué des directives concernant les microcystines. En 2021, trois autres substances toxiques produites par les cyanobactéries ont été ajoutées. Mais cela ne réglemente qu'une partie infime des substances car, comme le précise Elisabeth Janssen: «Les cyanobactéries produisent toute une palette de métabolites secondaires.» Les risques écotoxicologiques de cette diversité de substances sont encore largement méconnus. Désormais, les résultats d'essais réalisés sur les larves de poissons zèbres par l'équipe de Mmes Janssen et Colette vom Berg apportent un peu plus de clarté.



Elles ont étudié les effets des toxines des algues bleues sur les poissons: Colette vom Berg (à gauche) et Elisabeth Janssen (à droite), responsables du groupe de recherche de l'Eawag, et Mariana de Almeida Torres (au centre), boursière du programme de partenariat de l'Eawag (Photo: Eawag, Peter Penicka).

«Nous avons utilisé des extraits de cellules de deux souches de cyanobactéries différentes du genre *Microcystis* provenant du Brésil», explique Mariana de Almeida Torres, autrice principale de la publication scientifique et boursière du programme de partenariat de l'Eawag avec les pays en développement (cf. encadré). Une souche a été isolée dans une réserve naturelle de la forêt tropicale d'Amazonie. Elle produit des microcystines, contrairement à l'autre souche isolée dans une station d'épuration de Rio de Janeiro.

Œdèmes cardiaques

La souche produisant des microcystines s'avère effectivement deux fois plus toxique. Un

demi-microgramme de biomasse extraite de cyanobactéries par millimètre suffit à tuer la moitié des larves de poissons zèbres en une journée. «On en trouve aussi une telle concentration pendant la multiplication massive de cyanobactéries, ce que l'on appelle les efflorescences», explique Elisabeth Janssen. Bien que l'autre souche ne contienne aucune des substances nocives mentionnées dans les directives de l'OMS, ces cyanobactéries étaient néanmoins elles aussi toxiques: elles ont provoqué la mort de la moitié des larves de poissons zèbres à une concentration d'un microgramme de biomasse par millimètre. En répartissant les extraits en différentes fractions chimiques, les chercheuses et chercheurs ont constaté que de nombreuses substances apportaient leur contribution à la toxicité. Et si elles ne provoquaient pas immédiatement la mort des larves, elles perturbaient gravement leur développement, en causant notamment des œdèmes cardiaques.

Tout comme les microcystines, ces autres classes de toxines portent des noms exotiques. Elles se nomment cyanopeptolines, nostoginines, microginines ou encore micropeptines et appartiennent toutes à l'univers chimique des produits métaboliques de cyanobactéries que la science commence seulement à découvrir. «Nous avons saisi jusqu'à présent plus de 2400 substances dans une banque de données consultable par le public», précise Elisabeth Janssen, qui coordonne le [projet CyanoMetDB](#). «Et 100 nouvelles entrées sont ajoutées chaque année.»

La problématique s'intensifie avec le réchauffement climatique

Mais pourquoi les cyanobactéries produisent-elles des substances toxiques? «Elles doivent bien en tirer un avantage ou un autre, car la production de ces substances leur coûte beaucoup d'énergie», explique Elisabeth Janssen. La nature de cet avantage n'est toutefois pas encore expliquée, même s'il existe de nombreuses théories à ce sujet. Par exemple, ces êtres minuscules utiliseraient ces substances comme des molécules de signalisation pour communiquer chimiquement entre elles. Ou bien elles leur serviraient à se protéger des prédateurs.

Quoi qu'il en soit, le sujet va gagner en importance à l'avenir. En effet, les efflorescences de cyanobactéries deviendront probablement plus fréquentes à cause du réchauffement climatique. C'est la raison pour laquelle Elisabeth Janssen tient à sensibiliser davantage à cette problématique. À cela s'ajoute un autre facteur pour la chimiste de l'environnement: «Comparées à celles produites par l'industrie, les substances toxiques des cyanobactéries sont plus difficiles à contenir. En effet, ce sont des produits métaboliques d'organismes vivants; ils s'accumulent lorsque ceux-ci se reproduisent et on ne peut pas arrêter la source si facilement.»

Programme de partenariat de l'Eawag

Le [programme de partenariat de l'Eawag \(EPP\)](#) vise à renforcer la capacité scientifique dans les pays aux infrastructures limitées. Il offre aux doctorantes et doctorants qui travaillent sur des sujets environnementaux comme la pénurie d'eau, la pollution de l'environnement ou la perte de biodiversité l'opportunité de se former scientifiquement et d'échanger lors d'un court séjour de recherche à l'Eawag.


```

height:20px;color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center pre{background-color:transparent;margin:
0;padding:0;border:0;word-wrap:break-word;color:#999}.extbase-debugger-center .extbase-
debug-string{color:#ce9178;white-space:normal}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
type{color:#569CD6;padding-right:4px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
unregistered{background-color:#dce1e8}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered,.extbase-debugger-center .extbase-debug-proxy,.extbase-debugger-center .extbase-
debug-ptype,.extbase-debugger-center .extbase-debug-visibility,.extbase-debugger-center
.extbase-debug-scope{color:#fff;font-size:10px;line-height:12px;padding:2px 4px;margin-
right:2px;position:relative;top:-1px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
scope{background-color:#497AA2}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
ptype{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
visibility{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
dirty{background-color:#FFFFB6}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered{background-color:#4F4F4F}.extbase-debugger-center .extbase-debug-seeabove{text-
decoration:none;font-style:italic}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
property{color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
closure{color:#9BA223;}Extbase Variable Dumparray(3 items) publications => '31895,22310'
(11 chars) libraryUrl => '' (0 chars) layout => '0' (1 chars) Extbase Variable Dumparray(2
items) 0 => Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity
(uid=31895, pid=124) originalId => protected31895 (integer) authors => protected'de Almeida
Torres,&nbsp;M.; Jones,&nbsp;M.&nbsp;R.; vom Berg,&nbsp;C.; Pinto
,&nbsp;E.; Janssen,&nbsp;E.&nbsp;M. -L.' (120 chars) title => protected'Lethal
and sublethal effects towards zebrafish larvae of microcystins and ot
her cyanopeptides produced by cyanobacteria' (119 chars) journal => protected'Aquatic
Toxicology' (18 chars) year => protected2023 (integer) volume => protected263 (integer)
issue => protected'' (0 chars) startpage => protected'106689 (11 pp.)' (15 chars) otherpage =>
protected'' (0 chars) categories => protected'cyanobacterial metabolites; fish toxicity;
cardiotoxicity; locomotor behavio
ur; cyanopeptolin; microginin' (105 chars) description => protected'Cyanobacterial
blooms affect aquatic ecosystems across the globe and one maj
or concern relates to their toxins such as microcystins (MC). Yet, the ecoto
xicological risks, particularly non-lethal effects, associated with other co
-produced secondary metabolites remain mostly unknown. Here, we assessed sur
vival, morphological alterations, swimming behaviour and cardiovascular func
tions of zebrafish (<em>Danio rerio</em>) upon exposure to cyanobacterial ex
tracts of two Brazilian <em>Microcystis</em> strains. We verified that only
MIRS-04 produced MCs and identified other co-produced cyanopeptides also for
the MC non-producer NPCD-01 by LC-HRMS/MS analysis. Both cyanobacterial ext
racts, from the MC-producer and non-producer, caused acute toxicity in zebra
fish with LC<sub>50</sub> values of 0.49 and 0.98 mg<sub>dw_biomass</sub>/mL
, respectively. After exposure to MC-producer extract, additional decreased
locomotor activity was observed. The cyanopeptolin (micropeptin K139) contri
buted 52% of the overall mortality and caused oedemas of the pericardial reg
ion. Oedemas of the pericardial area and prevented hatching were also observ
ed upon exposure to the fraction with high abundance of a microginin (Nostog
inin BN741) in the extract of the MC non-producer. Our results further add t
o the yet sparse understanding of lethal and sublethal effects caused by cya
nobacterial metabolites other than MCs and the need to better understand the

```

underlying mechanisms of the toxicity. We emphasize the importance of considering mixture toxicity of co-produced metabolites in the ecotoxicological risk assessment of cyanobacterial bloom events, given the importance for predicting adverse outcomes in fish and other organisms.' (1724 chars) serialnumber => protected'0166-445X' (9 chars) doi => protected'10.1016/j.aquatox.2023.106689' (29 chars) uid => protected31895 (integer) _localizedUid => protected31895 (integer) modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected31895 (integer) modified pid => protected124 (integer) 1 => Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=22310, pid=124) originalId => protected22310 (integer) authors => protected'Jones, M. R.; Pinto, E.; Torres, M. A.; Dörr, F.; Mazur-Marzec, H.; Szubert, K.; Tartaglione, L.; Dell'Aversano, C.; Miles, C. O.; Beach, D. G.; McCarron, P.; Sivonen, K.; Fewer, D. P.; Jokela, J.; Janssen, E. M. -L.' (327 chars) title => protected'CyanoMetDB, a comprehensive public database of secondary metabolites from cyanobacteria' (87 chars) journal => protected'Water Research' (14 chars) year => protected2021 (integer) volume => protected196 (integer) issue => protected'' (0 chars) startpage => protected'117017 (12 pp.)' (15 chars) otherpage => protected'' (0 chars) categories => protected'cyanobacteria; secondary metabolite; database; toxin; cyanopeptide; CyanoMet DB' (78 chars) description => protected'Harmful cyanobacterial blooms, which frequently contain toxic secondary metabolites, are reported in aquatic environments around the world. More than two thousand cyanobacterial secondary metabolites have been reported from diverse sources over the past fifty years. A comprehensive, publically-accessible database detailing these secondary metabolites would facilitate research into their occurrence, functions and toxicological risks. To address this need we created CyanoMetDB, a highly curated, flat-file, openly-accessible database of cyanobacterial secondary metabolites collated from 850 peer-reviewed articles published between 1967 and 2020. CyanoMetDB contains 2010 cyanobacterial metabolites and 99 structurally related compounds. This has nearly doubled the number of entries with complete literature metadata and structural composition information compared to previously available open access databases. The dataset includes microcystins, cyanopeptolins, other depsipeptides, anabaenopeptins, microginins, aeruginosins, cyclamides, cryptophycins, saxitoxins, spumigins, microviridins, and anatoxins among other metabolite classes. A comprehensive database dedicated to cyanobacterial secondary metabolites facilitates: (1) the detection and dereplication of known cyanobacterial toxins and secondary metabolites; (2) the identification of novel natural products from cyanobacteria; (3) research on biosynthesis of cyanobacterial secondary metabolites, including substructure searches; and (4) the investigation of their abundance, persistence, and toxicity in natural environments.' (1594 chars) serialnumber => protected'0043-1354' (9 chars) doi => protected'10.1016/j.watres.2021.117017' (28 chars) uid => protected22310 (integer) _localizedUid => protected22310 (integer) modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected22310 (integer) modified pid => protected124 (integer) de Almeida Torres, M.; Jones, M. R.; vom Berg, C.; Pinto, E.; Janssen, E. M. -L. (2023) Lethal and

sublethal effects towards zebrafish larvae of microcystins and other cyanopeptides produced by cyanobacteria, *Aquatic Toxicology*, 263, 106689 (11 pp.), [doi:10.1016/j.aquatox.2023.106689](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106689), [Institutional Repository](#)

Jones, M. R.; Pinto, E.; Torres, M. A.; Dörr, F.; Mazur-Marzec, H.; Szubert, K.; Tartaglione, L.; Dell'Aversano, C.; Miles, C. O.; Beach, D. G.; McCarron, P.; Sivonen, K.; Fewer, D. P.; Jokela, J.; Janssen, E. M. -L. (2021) CyanoMetDB, a comprehensive public database of secondary metabolites from cyanobacteria, *Water Research*, 196, 117017 (12 pp.), [doi:10.1016/j.watres.2021.117017](https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117017), [Institutional Repository](#)

Financement / Coopération

Eawag School of Pharmaceutical Sciences, Universität São Paulo, Brasilien

Links

Groupe de recherche «Chimie environnementale des biomolécules

Les algues bleues en lumière

Contact



Elisabeth Janssen

Chef adjoint de département

Tel. +41 58 765 5428

elisabeth.janssen@eawag.ch



Colette vom Berg

Chef de département

Tel. +41 58 765 5535

colette.vomberg@eawag.ch



Annette Ryser

Rédactrice scientifique

Tel. +41 58 765 6711

annette.ryser@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/fr/portail/dinfo/actualites/news-archives/detail-de-larchive/une-diversite-sous-estimee-des-substances-toxiques-produites-par-les-cyanobacteries>