Tapis de cyanobactéries benthiques toxiques dans le Léman et ses environs

Jade Barbaste[1], Flavie Couturrier-Pétrasson[1], Yiruo Xia[2], Valentin Vasselon[3], Stéphan Jacquet[1], Bas Ibelings[2], Anna Carratala[2], Nicolas Tromas[1]

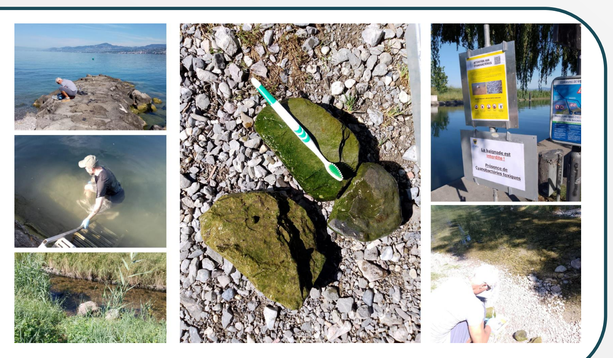
[1]USMB · INRAE · UMR CARRTEL, Thonon [2]Université de Genève [3]Scimabio Interface

Les efflorescences nuisibles de cyanobactéries (cyanoHABs) constituent une menace croissante pour les écosystèmes aquatiques et la santé publique. Pourtant, les cyanobactéries benthiques toxiques demeurent encore peu étudiées. Ces organismes peuvent former sur les substrats immergés des biofilms susceptibles de se détacher, de s'accumuler à la surface de l'eau et de libérer des neurotoxines telles que l'anatoxine-a. Dans le Léman, leur distribution ainsi que leur potentiel de toxicité demeuraient jusqu'à présent largement méconnus.

Deux projets ALGA (2024–2027) & CyanoBenToxOmic (2025–2027).

Trois questions Qui est là ? · En quelle proportion ? · Quel risque toxigène ?

Hypothèse Les tapis se développent dans les affluents, se détachent et s'accumulent aux embouchures.



Contexte

- Cyanobactéries benthiques = bactéries photosynthétiques vivant sur un substrat au fond des milieux aquatiques.
- Moins étudiées que les cyanobactéries planctoniques [1].
- Développement des tapis en trois étapes [2, 3] :
  - initiation : les bactéries colonisent un substrat (roches, bois…) ;
  - expansion de la biomasse et maturation ;
  - détachement partiel ou complet des tapis.
- La prolifération des cyanobactéries benthiques pourrait être influencée par les activités humaines et le changement climatique.
- Plusieurs genres peuvent produire des toxines [4, 5] : anatoxines et saxitoxines (neurotoxines), microcystines et cylindrospermopsines (hépatotoxines) → effets sur la santé humaine et mortalités animales [6].
- **La croissance et le détachement des tapis dépendent de facteurs** physiques (hydrologie, substrat, dynamique sédimentaire), chimiques (nutriments P/N, température, lumière, pH), biologiques (compétition, prédation, dispersion) et externes (saisonnalité, pression humaine).

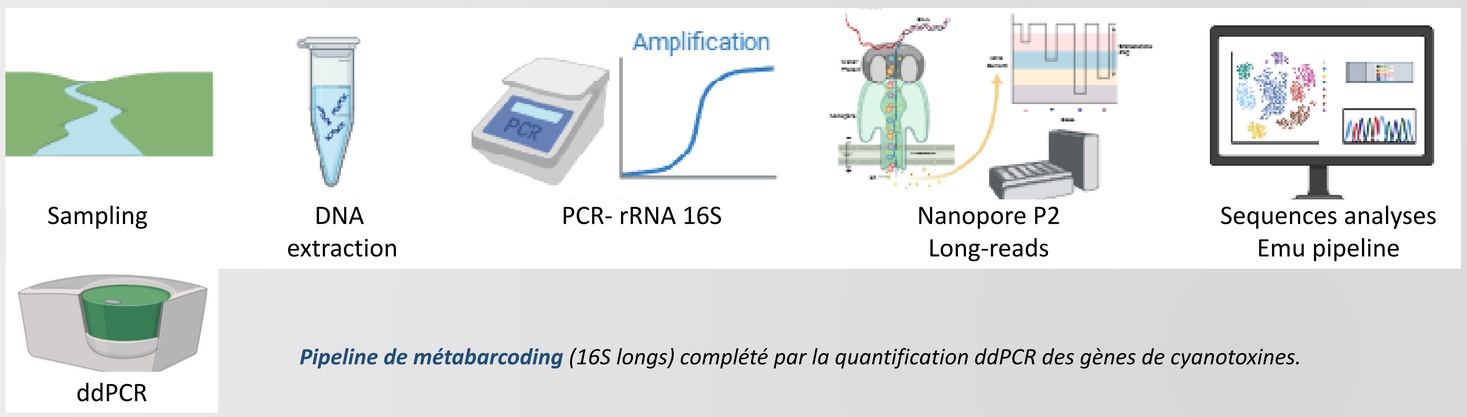
Méthodes

Sites d'étude & échantillonnage

- 76 stations — rivières & littoral, plan d'échantillonnage centré sur les confluences (ALGA / ZABR 2025).
- Tubes Falcon 50 mL · carboglace · −20 °C au laboratoire.

Approches basées sur l'ADN

- 16S short reads (Illumina V3–V4) → structure des communautés.
- 16S long reads (Nanopore) → résolution à l'espèce.
- ddPCR → gènes de toxines *mcyE*, *anaC*, *saxAB* = potentiel toxigène.



Pipeline de métabarcoding *(16S longs) complété par la quantification ddPCR des gènes de cyanotoxines.*

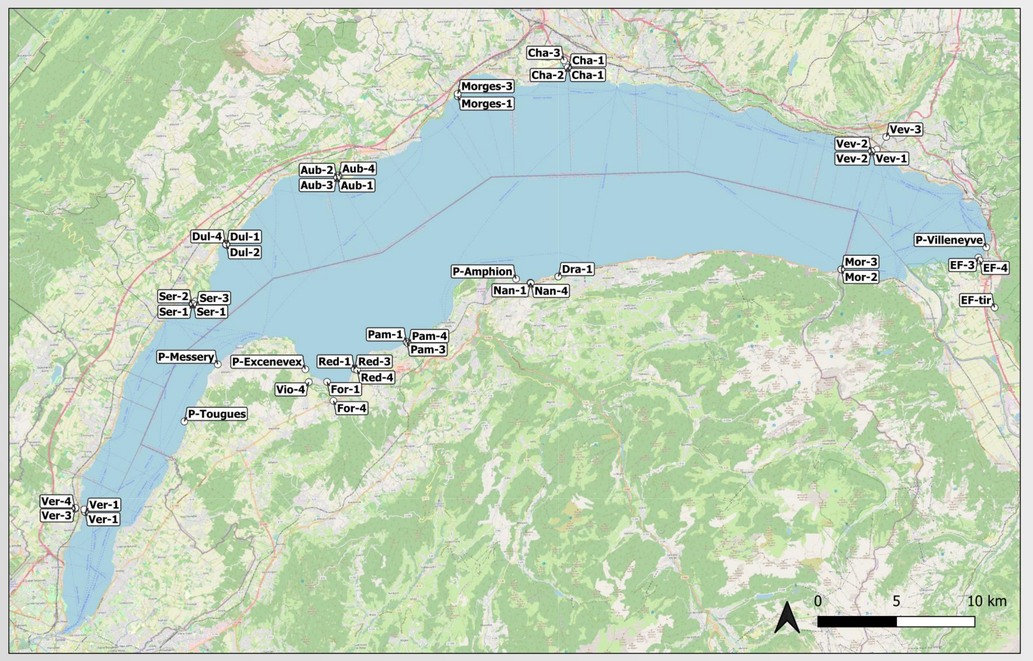


Fig. 1. Réseau d'échantillonnage — 76 stations (crédit : E. Duval).

Résultats

Message clé Les cyanobactéries benthiques toxigènes sont présentes dans tout le Léman. Le risque reste localisé car il dépend du détachement des tapis et de la présence de cyanotoxines.

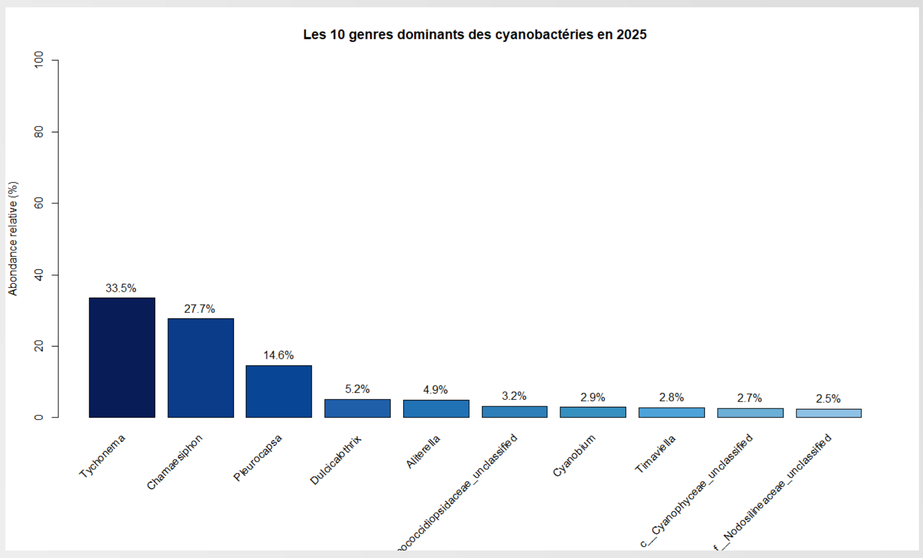


Fig. 2. Un genre domine tous les biofilms en 2025 (*Tychonema*, 33,5 %) — un changement majeur depuis 2017.

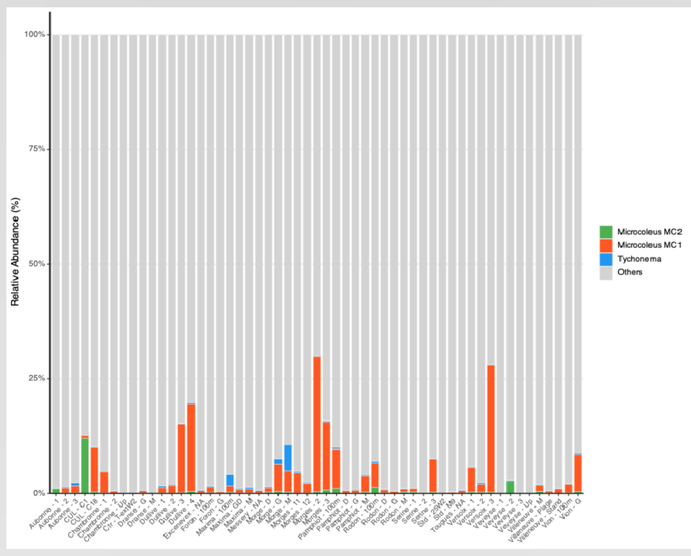


Fig. 3. 16S longs : le « *Tychonema* » dominant est en réalité *Microcoleus*, avec deux clades — MC1 (non toxigène, dominant) et MC2 (toxigène).

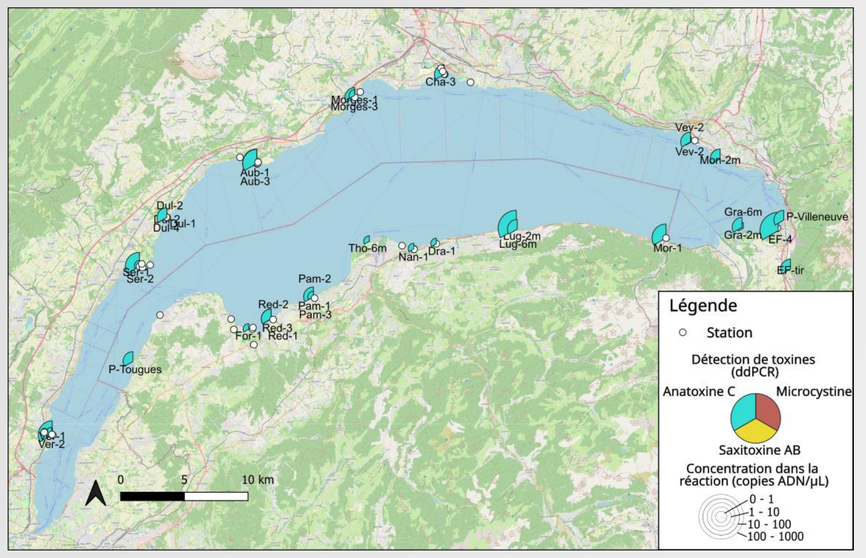


Fig. 4. ddPCR : le gène de l'anatoxine (*anaC*) est détecté dans tout le lac ; site à haut risque « Eau Froide » (mort d'un chien, 2024).

Deux clades de *Microcoleus* ont été identifiés. Le clade non toxigène (MC1) domine, mais le clade toxigène — porteur du cluster de gènes de l'anatoxine — est présent presque partout. Prochaine étape : déterminer quels facteurs favorisent le clade toxigène et dans quelles conditions les tapis se détachent.

Conclusion & perspectives

- Les outils génétiques développés ici caractérisent efficacement les cyanobactéries benthiques et lèvent l'ambiguïté *Tychonema* → *Microcoleus* ; *Microcoleus* avait déjà été signalé dans le lac de Neuchâtel et l'Areuse [7].
- Des taxons toxigènes et non toxigènes coexistent naturellement dans les biofilms du Léman — la présence d'un gène de toxine n'implique pas, à elle seule, un problème de santé publique.
- Le risque dépend de la production de toxines et de la probabilité de rencontre (détachement des tapis). Aucun seuil réglementaire n'existe encore pour les cyanobactéries benthiques ; les outils d'aide à la gestion restent à calibrer.
- **Perspectives** — un effort régional multi-acteurs (recherche, décideurs, gestionnaires) : dynamique temporelle fine, nouveaux outils multi-omiques et aide à la décision pour l'évaluation, l'anticipation et l'atténuation du risque (baignade, eau potable, santé animale).

Références

[1] Wood S.A. et al. (2020) Toxic benthic freshwater cyanobacterial proliferations: challenges and solutions for enhancing knowledge and improving monitoring and mitigation. *Freshwater Biology* 65(10), 1824–1842.

[2] Echenique-Subiabre I. et al. (2018) Multiple processes acting from local to large geographical scales shape bacterial communities associated with *Phormidium* (Cyanobacteria) biofilms in French and New Zealand rivers. *Scientific Reports* 8, 14416.

[3] McAllister T.G., Wood S.A., Hawes I. (2016) The rise of toxic benthic *Phormidium* proliferations: a review of their taxonomy, distribution, toxin content and factors regulating prevalence and increased severity. *Harmful Algae* 55, 282–294.

[4] Bouma-Gregson K. et al. (2018) Widespread anatoxin-a in benthic cyanobacterial mats throughout a river network. *PLoS ONE* 13(5), e0197669.

[5] Bauer F. et al. (2022) Benthic anatoxin-a-producing *Tychonema* sp. in the River Lech, Germany. *Toxins* 14(5), 357.

[6] McCarron P. et al. (2023) Anatoxins from benthic cyanobacteria responsible for dog mortalities, New Brunswick, Canada. *Toxicon* 227, 107086.

[7] Junier P. et al. (2024) A cohesive *Microcoleus* strain cluster causes benthic cyanotoxic blooms in rivers worldwide. *Water Research X* 24, 100252.