

Suivi et modélisation de la dynamique des cyanobactéries au sein de leur bassin versant

RESUME

Les lacs urbains, souvent artificiels, sont complètement intégrés dans le tissu urbain et exercent des fonctions variées, très importantes pour le fonctionnement durable des villes. Ces écosystèmes sont fortement affectés par les activités anthropiques, par l'urbanisation accompagnée du changement de l'occupation du sol et de l'imperméabilisation du bassin versant, à l'origine d'un ruissellement plus important et plus chargé en polluants. En raison de ces pressions anthropiques, de nombreux plans d'eau dans le monde souffrent d'eutrophisation et sont fréquemment touchés par des proliférations de cyanobactéries, dont certaines espèces sont potentiellement toxiques. L'objectif de cette thèse est de contribuer à une meilleure compréhension des facteurs impliqués dans la dynamique des cyanobactéries dans les lacs urbains. Notre recherche a été menée sur deux sites d'études : le lac d'Enghien en France et le lac de Pampulha au Brésil.

Dans le site d'étude français, nous avons bénéficié de nouvelles technologies de suivi du phytoplancton pour modéliser la dynamique des cyanobactéries à courte échelle de temps. Dans le lac brésilien, notre site d'étude principal, la modélisation de la dynamique des cyanobactéries a été réalisée, en prenant en considération l'insertion du lac dans son bassin versant grâce à une modélisation intégrée : le modèle du lac destiné à la simulation des cyanobactéries est couplé à un modèle hydrologique qui simule les débits et la qualité de l'eau des affluents entrant dans le lac. La modélisation s'est basée sur des mesures de terrain recueillies durant un suivi de 21 mois. La performance d'une sonde spectrofluorométrique dans l'estimation de la biomasse phytoplanctonique dans ce lac hypereutrophe a été évaluée. Sur ce site d'étude, nos résultats ont montré que :

- La sonde spectrofluorométrique sous-estime la biomasse cyanobactérienne quand (i) des cyanobactéries de l'ordre *Oscillatoriales* sont présentes car elles ont une fluorescence moindre par unité de chl-a, (ii) des cyanobactéries coloniales représentent plus de 20% de la biomasse cyanobactérienne et (iii) la chlorophylle total spectrofluorométrique est au-dessus de 100 µg chl-a.L-1.
- Le modèle hydrologique montre une bonne performance pour la simulation du débit (coefficient de Nash entre 0.70 et 0.88 pour le calage et 0.72 et 0.78 pour la

validation) et des résultats moyennement satisfaisants pour la simulation des polluants. Le modèle du lac, développé par étapes, présente une bonne capacité explicative de la dynamique des cyanobactéries dans sa version la plus complète (NMAE = 0.26 pour le calage et 0.55 pour la validation).

- Les apports par temps de pluie sont une source importante de matières en suspension, phosphate et nitrates pour le lac de Pampulha. L'ammonium provient surtout des eaux usées rejetées dans les cours d'eau. Les épisodes pluvieux sont responsables des brassages de la colonne d'eau qui perturbent la croissance algale durant la saison humide.
- Les cyanobactéries dans le lac de Pampulha sont limitées par le phosphore pendant la majeure partie de notre suivi. Les épisodes de mélange du lac ont un effet important sur la disponibilité des nutriments dans les couches superficielles.

Le travail mené sur le lac de Pampulha a permis de progresser sur le couplage entre les aspects quantitatifs et qualitatifs du cycle de l'eau en milieu urbain et a fourni un outil qui peut être utilisé dans la simulation des scénarios de changement du bassin versant et leur impact sur le lac. La méthodologie développée dans cette thèse peut être appliquée ailleurs, en profitant des connaissances déjà acquises sur le lac de Pampulha.

Monitoring and modelling of cyanobacteria dynamics within their catchment

ABSTRACT

Urban lakes, often artificial, are fully integrated into the urban environment and perform several roles that are important for the sustainable functioning of cities. These ecosystems are strongly affected by human activities such as urbanization, land use changes and surface imperviousness which raise runoff in volume and speed, causing greater carrying capacity and greater pollutant load to aquatic receptors. Because of these anthropogenic activities, many lakes in the world are eutrophic and frequently affected by cyanobacterial blooms, some species of which are potentially toxic. The objective of this thesis is to contribute to a better understanding of the factors involved in the dynamics of cyanobacteria in urban lakes. Our research was conducted on two study sites: Lake Enghien in France and Lake Pampulha in Brazil.

In the French study site, we benefited from new technologies for monitoring phytoplankton to model the dynamics of cyanobacteria in short-term scale. In the Brazilian lake, our main study site, the modelling of the cyanobacteria dynamics was carried out taking into account the inclusion of the lake in its catchment through and integrated modelling: the model used to simulate lake cyanobacteria is coupled to a hydrological model for simulating the runoff quantity and the quality, which is inputted into the lake. Both models were calibrated and validated using measurements collected during a 21-month monitoring program. The performance of a spectrofluorometric probe in estimating phytoplankton biomass in this hypertrophic lake was evaluated. On this study site, our results showed that:

- The spectrofluorometric probe underestimates the cyanobacterial biomass when (i) *Oscillatoria* cyanobacteria are present because they have a lower fluorescence per unit of chl-a, (ii) colonial cyanobacteria represent more than 20% of the cyanobacterial biomass and (iii) spectrofluorometric total chlorophyll is above $100 \mu\text{g chl-a.L}^{-1}$.
- The hydrological model showed a good performance for runoff simulation (Nash coefficient is between 0.70 and 0.88 in calibration and 0.72 and 0.78 in validation) and moderately satisfactory results for pollutants simulation. The lake model, developed in

steps, showed good predictive ability of the cyanobacteria dynamics in its most complete version, NMAE = 0.26 (calibration) and 0.55(validation).

- Runoff is a major source for suspended solids, phosphate and nitrate influxes into Lake Pampulha. Ammonium comes mainly from wastewater discharged into tributaries. Rainfall events are responsible for the mixing of the water column and disrupting algal growth during the wet season.
- Cyanobacteria in Lake Pampulha were limited by phosphorus during most of our monitoring. Mixing episodes of the lake water column have different effects on the availability of nutrients in the surface layers.

The research carried out in Lake Pampulha allows us to progress on the coupling between the quantitative and qualitative aspects of the water cycle in urban areas and provides a tool that can be used in the simulation of scenarios of the catchment changes and their impact on the lake. The methodology developed in this thesis can be applied elsewhere, taking advantage of existing knowledge on Lake Pampulha.