

Développement d'outils de détection des fleurs d'eau de cyanobactéries dans les lacs

S. Goubet¹, I. Laurion¹, K. Chokmani¹, W.F. Vincent²

¹INRS-ETE, Québec; ²Dépt. de Biologie, Université Laval, Québec



Introduction

L'occurrence des fleurs d'eau d'algues (FEA) est devenue une préoccupation croissante pour la société, surtout lorsqu'elles sont dominées par les cyanobactéries toxiques. L'eutrophication des plans d'eau favorise la prolifération des FEA de cyanobactéries. Les impacts sont d'ordre esthétique, socio-économique et de santé publique. Notre groupe de recherche utilise différentes approches pour étudier la dynamique spatio-temporelle des FEA. L'objectif est de développer des outils de détection des FEA pour cartographier leur ampleur dans les lacs du Québec méridional et mieux comprendre leur lien avec les facteurs hydrométéorologiques et morphologiques des bassins versants.

Les objectifs spécifiques de mon projet de doctorat sont de développer les outils de détection qui exploitent la fluorescence et la réflectance hyperspectrale des algues, et rendre les outils de détection satellitaire plus performants.

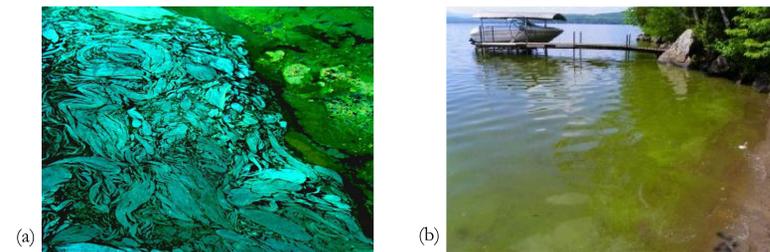


Figure 1. (a) FEA de cyanobactéries à Big Stone Lake, USA. Photographie de M. Koeth-Baker (b) FEA de cyanobactéries au Lac Brome, Québec, Canada. Source Association Renaissance Lac Brome

Téledétection des FEA: Approche APPEL (1) et Modèle Adaptatif (2)

La téledétection constitue un outil d'observation prometteur des FEA, en particulier avec l'avènement des capteurs de haute résolution spatiale et spectrale, et performant par comparaison à l'échantillonnage classique, coûteux et chronophage, qui ne génère qu'une faible couverture spatiale et temporelle. Il existe plusieurs senseurs pouvant détecter les fleurs d'eau (AVHRR, SeaWiFS, SeaWIFS) mais leur résolution spatiale est plus adaptée au milieu marin. Le satellite MODIS fournit quotidiennement et gratuitement des images satellitaires permettant de représenter la distribution et l'intensité des FEA sur les milieux lacustres, avec une résolution de 250 m² (après application d'une méthode de régionalisation développée à l'INRS). Ce capteur ne permet toutefois pas de distinguer les cyanobactéries des autres algues. Le Modèle Adaptatif (2) permet d'obtenir des résultats satisfaisants pour des FEA de moyennes à fortes concentrations en chlorophylle-a (> 10 mg Chl-a m⁻³).

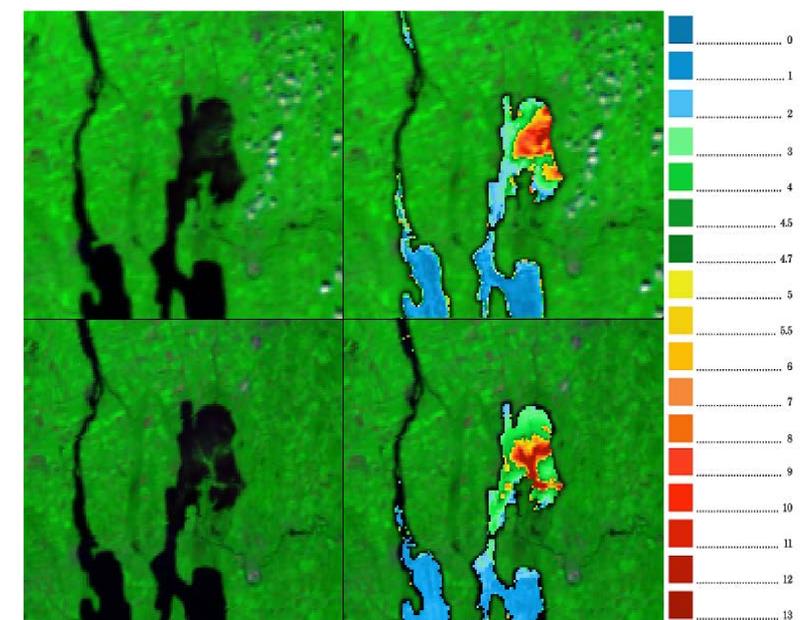
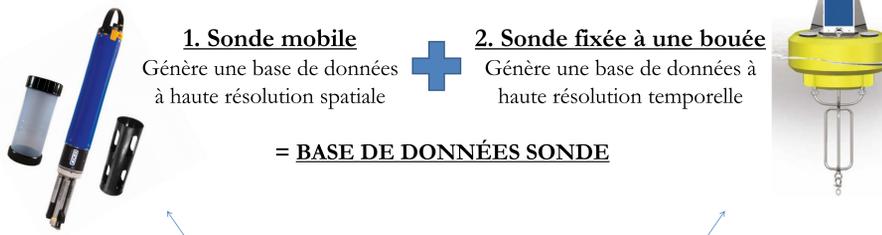


Figure 2. Détection de FEA de cyanobactéries dans la Baie de Missisquoi en septembre 2014. La légende correspond à un gradient du logarithme en base 10 des concentrations en Chl-a. Image générée par Claudie Ratté-Fortin selon la méthode développée à l'INRS par El-Alem et al.

Méthodes



BUT ULTIME
Développement de modèles statistiques d'estimation des facteurs environnementaux régissant l'apparition des FEA de cyanobactéries

5. Fluorométrie par amplitude modulée (PAM)

Les déficits en nutriments et autres facteurs de stress influencent les assemblages phytoplanctoniques et leur fluorescence (3). L'utilisation de la fluorométrie PAM nous permettra d'évaluer l'état de santé des algues (et des différents groupes d'algues avec le Phyto-PAM) au moment de l'acquisition des données.

4. Drones hyperspectraux

La nouvelle technologie des drones hyperspectraux sera utilisée pour définir spatialement les FEA et distinguer les différents groupes d'algues. Cette technologie novatrice permettra de faire le pont avec la nouvelle génération de capteurs satellitaires de plus haute résolution spatiale et spectrale. Une banque de signatures spectrales sera d'abord générée en laboratoire à l'aide de cultures d'algues. Le drone survolera ensuite une série de lacs présentant différentes caractéristiques bio-optiques. Une déconvolution du spectre tenant compte de la réflexion spéculaire permettra d'estimer la biomasse des différents groupes d'algues.

Pour valider les résultats obtenus à partir d'images satellitaires, des sondes à fluorescence manufacturées par YSI (modèle EXO) sont utilisées pour estimer la biomasse du phytoplancton et des cyanobactéries grâce à l'exploitation de la fluorescence naturelle émise par la chlorophylle-a et la phycocyanine. Ces sondes multiparamétriques mesurent également l'oxygène dissous, la température, la conductivité, la turbidité et la matière organique dissoute, ces deux derniers pouvant interférer sur les estimations de la biomasse. Deux sondes sont utilisées: une sonde mobile et une stationnaire. La première permet de surveiller l'évolution des FEA sur un ensemble de lacs, même ceux trop petits pour être suivis par le satellite MODIS. La seconde sonde est fixée à une bouée afin de recueillir des données à haute fréquence temporelle et suivre les variations saisonnières.

3. Échantillonnage in situ

Validation des résultats et développement de modèles empiriques. Extraction de la Chl-a et identification taxonomique des espèces phytoplanctoniques.

= BASE DE DONNÉES LABO

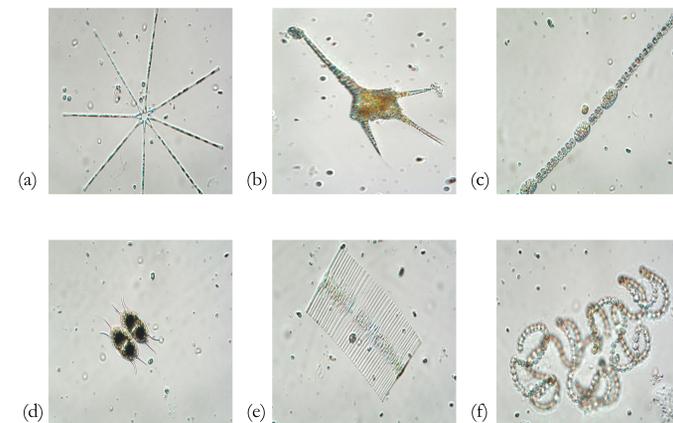


Figure 3. Photographies d'organismes phytoplanctoniques retrouvés au lac Brome en septembre 2014. (a) *Asterionella formosa*, (b) *Ceratium* sp., (c) *Anabeana planctonica*, (d) *Xanthidium* sp., (e) *Fragilaria* sp., (f) *Anabeana crassa*.

Résultats préliminaires

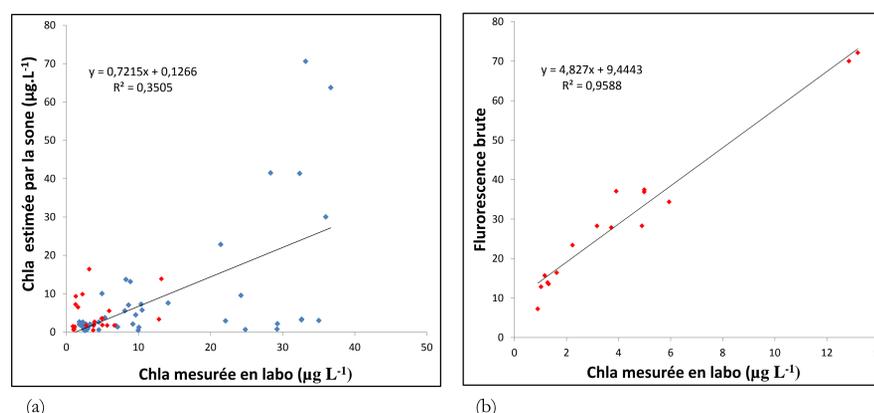


Figure 4. Résultats issus de la campagne d'échantillonnage de juillet à octobre 2014 sur 9 lacs possédant différents assemblages floristiques et concentrations en matière organique dissoute. Les concentrations en Chl-a estimées par la sonde EXO sont données en fonction des valeurs mesurées en laboratoire pour l'ensemble des données (a). Ce jeu de données inclut des valeurs récoltées en surface et à une ou deux profondeurs à chaque station d'échantillonnage, suivant les pics de Chl-a détectés par la sonde EXO. Le coefficient de régression est faible malgré que la relation soit significative. La régression s'améliore grandement lorsque les valeurs de fluorescence brute sont utilisées pour un lac donné, ici le lac Saint-Charles (b), mais ça n'est pas toujours le cas (lac Brome ou Saint-Augustin). Ces résultats indiquent que la calibration du manufacturier n'est pas utile et que la validation doit être effectuée sur davantage de points.

Perspectives

Les résultats des sondes de fluorescence indiquent qu'il est nécessaire de développer nos propres fonctions de calibration pour chaque lac à l'étude, et qu'une équation universelle, tel qu'avancé par le manufacturier, n'est pas valide. Cependant, il nous reste à explorer si une correction pour l'interférence par la turbidité ou la matière organique dissoute améliorerait la régression.

Le sujet de thèse ici présenté s'inscrit au sein d'un projet constitué de deux autres thèses effectuées à l'INRS :

- Thèse 1 (Claudie Ratté-Fortin): Développement d'un modèle de la variabilité spatio-temporelle des FEA en relation avec les paramètres structuraux et les caractéristiques climatiques du bassin versant (aléas structurel)
- Thèse 2 (Rabaa Ben Aïcha): Définition de la relation entre les conditions météorologiques ambiantes et les FEA (aléas conjoncturel)

L'ensemble des 3 sujets de thèses permettra d'aboutir à l'élaboration de modèles statistiques d'estimation des facteurs environnementaux régissant les FEA avec une haute résolution spatiale et temporelle.

La dynamique des cyanobactéries, la biooptique des algues et les facteurs influant sur la détection de ces micro-organismes sont des sujets encore non maîtrisés par la communauté scientifique. Le contexte socio-économique et sanitaire lié aux FEA de cyanobactéries requiert le développement d'outils plus performants permettant de cartographier leur étendue, mais aussi de prévoir leur augmentation future en réponse aux changements environnementaux et structurels.

Références

- (1) El-Alem A, Chokmani K, Laurion I, El-Adlouni SE 2012. Comparative analysis of four models to estimate Chlorophyll-a concentration in case-2 waters using MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) imagery. Remote Sensing 4: 2373-2400.
- (2) El-Alem A, Chokmani K, Laurion I, El-Adlouni SE 2014. An Adaptive Model to Monitor Chlorophyll-a in Inland Waters in Southern Quebec using downscaled MODIS Imagery. Remote Sensing 6: 6446-6471.
- (3) Majarreis JM, Watson SB and Smith REH 2014. Nutrient status and its assessment by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry of phytoplankton at sites in Lakes Erie and Ontario. Can. J. Fish Aquat. Sciences 71: 1840-1851.