

Capsule no. 21, mars 2016

Des outils pour détecter les fleurs d'eau d'algues dans les lacs : des solutions claires pour gérer les eaux troubles! a

par Sarah Goubet b

Les « fleurs d'eau » d'algues : un problème important au Québec?

L'expression « fleurs d'eau » associée aux lacs est apparue dans les médias il y a quelques années. Mais de quoi s'agit-il au juste? On parle de « fleurs d'eau », ou bloom en anglais, lorsque la quantité de phytoplancton augmente considérablement jusqu'à former de grandes masses denses affleurant à la surface de l'eau (Figure 1). Bien que la formation de fleurs d'eau d'algues (FEA) soit un phénomène naturel, la pollution des écosystèmes aquatiques continentaux par l'apport de nutriments (azote ou phosphore par exemple), ainsi que le réchauffement climatique, accentuent ce phénomène à l'échelle planétaire. Au Québec, depuis 1999, les directions régionales du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) ont établi un Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL) qui consiste à sensibiliser et former la population sur les propriétés des FEA et leurs risques. Les volontaires apprennent à reconnaître les fleurs d'eau, ce qui est parfois difficile, et peuvent ainsi prévenir le Ministère qui tient une base de données sur le nombre de lacs touchés. Depuis 2003, des FEA ont été signalées sur environ 210 plans d'eau, un nombre qui ne cesse d'augmenter.

Plusieurs espèces d'algues peuvent former une FEA, mais celles qui sont les plus préoccupantes sont les FEA dominées par les cyanobactéries, en particulier lorsqu'elles peuvent produire des toxines. Depuis la fin du XIX^e siècle, plusieurs cas de problèmes médicaux survenus suite à une exposition aux cyanotoxines ont été répertoriés, le plus souvent des irritations cutanées. À forte exposition, les cyanotoxines peuvent affecter le système respiratoire ou nerveux, voire entrainer la mort; par exemple, les épisodes de FEA sont associés à une hausse de la mortalité chez les animaux. Le problème affecte négativement la perception du public quant à la qualité de l'eau des



Figure 1: Fleurs d'eau d'algues à la surface du lac Champlain.

^a Cette capsule est disponible en ligne à l'adresse suivante : www.ete.inrs.ca/ete/publications#CapsulesINRSciences

^b Étudiante au doctorat au Centre Eau Terre Environnement de l'INRS sous la directiond'Isabelle Laurion et la codirection de Karem Chokmani. Contact: sarah.goubet@ete.inrs.ca



lacs, pouvant engendrer des pertes économiques lorsque ces lacs sont urbanisés et touristiques.

Qu'est-ce qu'une cyanobactérie?

Les cyanobactéries font partie d'un groupe ancien de microorganismes qui date de plus de deux milliards d'années. Elles ont notamment contribué à la production d'oxygène dans l'atmosphère de la Terre. Il est important de noter que les cyanobactéries constituent un groupe particulier d'organismes puisqu'elles peuvent faire la photosynthèse tout comme les algues, et en même temps, elles possèdent les caractéristiques des bactéries. Ainsi, les cyanobactéries ne sont pas des algues à proprement parler, bien qu'elles soient aussi connues sous le nom «d'algues bleu-vert». Seul l'échantillonnage d'eau suivi d'analyses en laboratoire (extraction de la chlorophylle, identification des espèces de phytoplancton, dosage des toxines, etc.) permet de statuer si une FEA est constituée de cyanobactéries ou non, et si elles sont toxiques. Or, ces missions d'échantillonnage et analyses en laboratoire sont des activités très dispendieuses pour le Ministère, surtout pour un territoire vaste comme le Québec possédant une grande quantité de plans d'eau. Il est donc impératif de développer des moyens de détection rapide à moindre coût! Les outils optiques répondent bien à ces critères et sont une des pistes de solutions explorées.

Sur quels principes physicochimiques se base la détection optique?

Les algues possèdent des pigments dits « photosynthétiques » leur permettant de synthétiser de l'énergie (sucres) en transformant le dioxyde de carbone (CO₂) en oxygène (O₂) grâce à la lumière. Dans ce processus, une partie de l'énergie lumineuse est émise sous forme de fluorescence qu'il est possible de détecter (Figure 2).

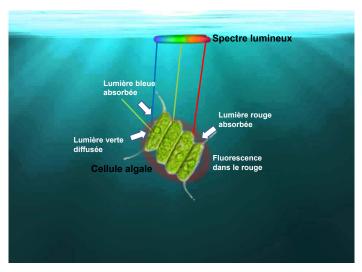


Figure 2 : Principe d'émission de fluorescence par une cellule algale.

Il existe plusieurs types de pigments photosynthétiques qui absorbent et réfléchissent la lumière naturelle de façons différentes.

De plus, chaque groupe d'espèces d'algues possède un ensemble de pigments colorés qui le caractérise. Toutes les algues possèdent de la chlorophylle-a. Les algues vertes contiennent en plus de la chlorophylle-b, les cyanobactéries de la phycocyanine qui leur donne une couleur turquoise, alors que les diatomées renferment des xanthophylles et de la fucoxanthine leur procurant une couleur brun-rouge. Donc chaque groupe taxonomique est « optiquement unique », car il possède une signature spectrale qui lui est propre (Figure 3).

Une méthodologie unique développée à l'INRS

Trois outils optiques sont utilisés dans ce projet : la télédétection, les sondes de fluorescence et les caméras hyperspectrales (Figure 4). Le principe est le même pour les trois : utiliser les caractéristiques bio-optiques de chacun des groupes d'algues (par exemple leurs ensembles pigmentaires) pour mieux les détecter et les identifier.



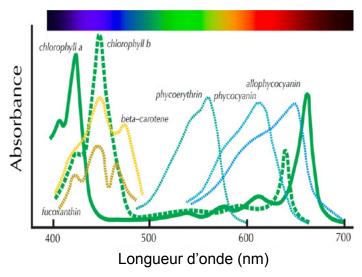
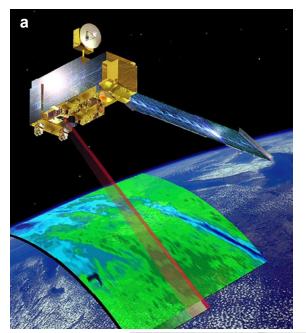


Figure 3 : Spectre d'absorption de certains pigments photosynthétiques (source : <u>allyouneedisbiology.worpress.com</u>).

La télédétection par satellite est un outil intéressant fournissant la couverture spatiale et la fréquence temporelle nécessaires pour suivre l'évolution des FEA, et ainsi réduire l'effort d'échantillonnage et les coûts associés. La détection satellitaire des fleurs d'eau d'algues et de cyanobactéries est possible grâce à l'activité bio-optique de leur pigment principal, la chlorophylle-a, qui est caractérisé par une faible réflectance dans le rouge (625-780 nm) par rapport à une forte réflectance dans le proche infrarouge (780-3000 nm) du spectre électromagnétique. C'est grâce à ce contraste qu'il est possible d'estimer la concentration de chlorophylle-a à l'aide de modèles biooptiques. L'imagerie satellitaire permet donc de



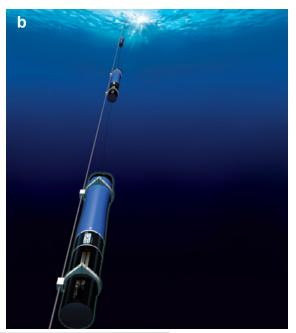




Figure 4 : a) Représentation du satellite MODIS (source : <u>podaac.jpl.nasa.gov</u>); b) sonde de fluorescence EXO (source : <u>exowater.com</u>); c) drone qui sera utilisé pour aéroporter les caméras hyperspectrales.



détecter la biomasse des FEA avec une précision relativement satisfaisante lorsque les concentrations sont supérieures à 10 µg de chlorophylle-a par litre d'eau. Cependant, la résolution de 250 m de cet outil le rend inefficace pour analyser les lacs de petite taille. De plus, il est pour le moment impossible de distinguer les différents groupes phytoplanctoniques à l'aide de cet outil, car le pigment de chlorophylle-a est présent dans tous les types d'algues.

La sonde EXO (compagnie YSI) possède un capteur de fluorescence qui génère deux faisceaux lumineux indépendants : un faisceau bleu qui excite directement la molécule de chlorophylle-a présente dans toutes les cellules photosynthétiques, et un faisceau orange qui excite le pigment accessoire (phycocyanine) que l'on retrouve dans les algues bleu-vert (cyanobactéries). Il est alors possible de distinguer en temps réel si une fleur d'eau est composée de cyanobactéries ou d'autres cellules phytoplanctoniques, et surtout d'estimer leur biomasse. De plus, la sonde permet de mesurer les caractéristiques physicochimiques de l'eau telles que turbidité, conductivité, température et concentrations en matière organique dissoute et en oxygène.

Enfin, la nouvelle technologie du drone hyperspectral (drone pouvant porter des caméras hyperspectrales) devrait permettre d'évaluer la distribution spatiale des FEA, mais aussi de distinguer les différents groupes d'algues. En effet, alors qu'un satellite possède de trois à six bandes spectrales pour détecter des cellules phytoplanctoniques, les caméras hyperspectrales en possèdent des centaines (Figure 5). Cette multiplicité de bandes spectrales devrait permettre de quantifier la biomasse respective des différents groupes phytoplanctoniques, et au minimum celle des cyanobactéries.

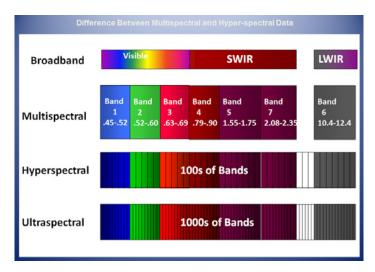


Figure 5 : L'imagerie hyperspectrale possède le plus grand nombre de bandes spectrales (source : <u>altigator.com</u>).

La méthodologie unique développée à l'INRS se base donc sur la combinaison de ces trois outils de détection, ce qui, à terme, permettra de détecter et d'identifier les FEA sur les lacs, et ce, à haute résolution spatiale, temporelle et spectrale.

Le projet de doctorat en cours

Le premier objectif est de déterminer la précision des estimations de biomasse algale par les différents outils optiques (fluorescence in vivo et données hyperspectrales) en présence de facteurs d'interférence. D'une part, la matière organique dissoute est colorée (elle possède sa propre signature dont il faut tenir compte) et les particules inorganiques en suspension rendent l'eau turbide, ce qui réduit le signal de réflectance et notre capacité de quantifier avec précision la biomasse. D'autre part, les cyanobactéries se divisent en plusieurs groupes, unicellulaires, colonies ou filaments de différentes tailles, dont la forme peut influencer la capacité des outils optiques à estimer la biomasse lors d'un épisode de FEA. Ainsi, la présence de colonies et l'aspect des cellules (taille et forme) peuvent interférer avec l'estimation de la biomasse et alors réduire



la performance des algorithmes de quantification développés. De plus, les cyanobactéries peuvent se retrouver en surface (ayant migré verticalement dans la colonne d'eau), elles sont ensuite poussées par les vents, ce qui peut générer un patron spatial complexe. Il n'est donc pas simple de prévoir la formation d'une FEA, car elles sont grandement influencées par les conditions environnementales changeantes.

Le second objectif du projet de doctorat est de générer une banque de signatures spectrales des différents groupes d'algues et autres composantes actives sur le plan optique et de développer un modèle de déconvolution (correction des distorsions optiques) pour une meilleure estimation de la biomasse. Le troisième objectif est de valider ce modèle sur le terrain (caméras portées sur un drone) et de cartographier une FEA à haute résolution spatiale. Enfin, le dernier objectif est de déterminer l'influence des conditions météorologiques sur les variations temporelles dans la composition de la biomasse algale au lac Saint-Charles (qui est le réservoir d'eau potable de la Ville de Québec).

Le projet a commencé en 2014, deux saisons estivales d'échantillonnage d'eau ont été réalisées depuis sur un ensemble de lacs du Québec méridional, dont les lacs Saint-Augustin et Saint-Charles, dans la région de Québec, et les lacs Brome et Champlain en Estrie. Pour chaque mission, des profils verticaux ont été effectués avec la sonde EXO de fluorescence *in vivo*. De plus, afin d'obtenir une base de données à très haute

résolution temporelle, une deuxième sonde a été placée dans une bouée dans une baie du lac Saint-Charles mesurant toutes les 15 minutes sept paramètres physicochimiques (dont la concentration en chlorophylle-a) durant deux étés. Les concentrations en chlorophylle-a ont été déterminées et les espèces présentes dans les échantillons d'eau seront identifiées dans le but de valider les résultats obtenus par la fluorescence in vivo. La seconde partie du travail en cours consiste à utiliser des cultures pures de différents groupes phytoplanctoniques et d'effectuer ces mêmes analyses avec la sonde EXO et la caméra hyperspectrale. À terme, ce projet de doctorat vise à augmenter la rapidité de détection et la précision de localisation des FEA afin de mieux prévoir les risques phytosanitaires dans les lacs. Il vise aussi à mieux comprendre les facteurs environnementaux qui modulent l'apparition des FEA.

La littérature scientifique contient de nombreux travaux utilisant la télédétection satellitaire et les sondes de fluorescence *in vivo* pour la détection des algues en milieu marin. Certaines études en milieu marin exploitent également l'imagerie hyperspectrale, mais elles sont beaucoup moins fréquentes en raison de la nouveauté de cette approche. Le défi du présent projet est d'adapter ces méthodes au milieu lacustre, dont la dynamique des conditions écologiques est extrêmement variable. La détection des FEA à l'échelle locale en temps quasi réel, et à des stades précoces de leur formation, est devenu crucial pour le Québec. Ainsi, ce projet de doctorat contribuera à mener à bien cet objectif.



Pour en savoir plus...

Cyanobactéries

https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria

Site du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC)

Algues bleu-vert

www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/algues.htm

Fleurs d'eau de cyanobactéries

www.mddelcc.gouv.qc.ca/EAU/eco aqua/cyanobacteries/index.htm

Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL) www.mddelcc.gouv.gc.ca/EAU/rsvl/index.htm

Cas de certains lacs

Lacs Saint-Charles et Saint-Augustin, région de Québec

www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/diagnostic/section-1-problematiques-associees-a-la-qualite-de-leau/1-3-presence-de-fleur-deau-de-cyanobacteries

Lac Champlain, Estrie

Blais, S. 2001. La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi. *Agrosol*, 13, 103-110.

www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco aqua/cyanobacteries/articlesb.pdf

Imagerie hyperspectrale (en anglais)

https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperspectral_imaging

Projet de doctorat en cours

Affiche présentée au congrès étudiant INRS-ETE en novembre 2015 : Développement d'outils de détection des fleurs d'eau d'algues sur les lacs du Québec méridional.

www.congresetudiant.ete.inrs.ca/wp-content/uploads/J3_PA1_Goubet_etal_2015_CongresINRSETE_06112015_diffusion_OK.pdf

Drone de l'INRS

www.ete.inrs.ca/ete-recherche/infrastructures-equipements/teledetection-geomatique