

Les fleurs d'eau du Québec: leur composition, toxicité, et distribution spatiale et temporelle

David Bird UQAM, Montréal

Nathalie Fortin, Charles Greer

Institut de recherche en biotechnologie, NRC, Montréal

Remerciements

Comité

FQRNT

MDDEP

MDEIE (équipements)

BRI-NRC

Org. et corpo. des bassins versants

Riverains généreux

Collaborateurs des autres projets

surtout Benoit Lévesque et l'axe 2

et aussi Michèle Prévost et les gens du Poly

Problématique et objectifs

Les modèles actuels ne s'appliquent qu'aux stations centrales des lacs, et les eaux « pélagiques ». Leurs prédictions sous-estiment le risque associé aux accumulations littorales

Peut-on formuler un modèle prédictif des risques littoraux?

Problématique et objectifs

Ces modèles considèrent le risque potentiel général; ils ne touchent pas aux variations temporelles et ponctuelles

Peut-on identifier des conditions qui haussent le risque d'une fleur d'eau?

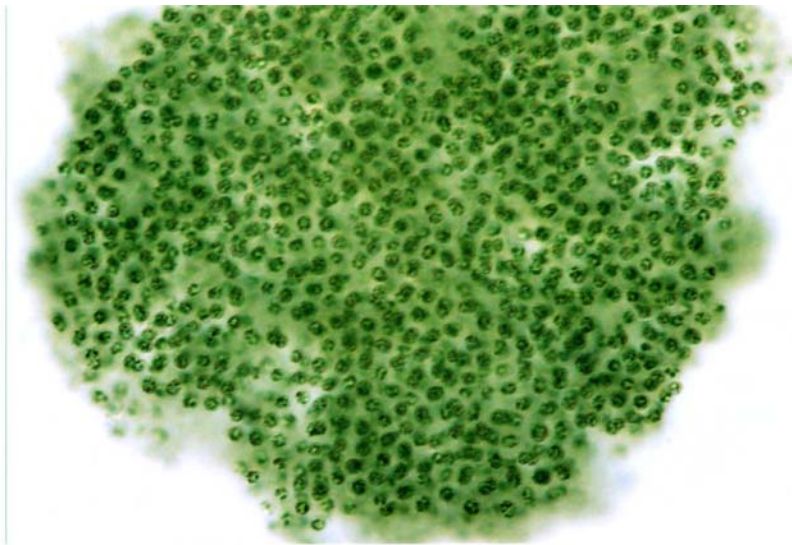
Dans les lacs peu profonds; dans les lacs profonds

Peut-on les modéliser?

Peut-on développer un système de détection préemptive?

Problématique et objectifs

Les modèles actuels sont basées sur des comptes microscopiques, pourtant l'identification visuelle des souches n'est pas possible.



A. Giani

Microcystis sp.



Anabaena spiroides

Problématique et objectifs

Objectif: Réduire l'incertitude par des techniques de la biologie moléculaire (PCR quantitative)

Volets: détection de risque; prévision des fleurs d'eau; dépistage des risques avant qu'une fleur arrive

Bonus : identification des souches compétentes pour la production de toxines de différentes sortes (hépatotoxiques et neurotoxiques)

Méthodes 1. Échantillonnage

2008:

5 lacs: Choinière, Roxton, Champlain, Vert,
Memphrémagog

Taxonomie, microcystin, P, N, 2-3 stns
par lac (centre, littorale)

139 stations

3 lacs intensifs

Choinière 12 dates

Roxton 12 dates

Champlain 24 dates

Méthodes 1. Échantillonnage

2010:

15 lacs

Taxonomie, microcystin, P, N, etc.

2 stns par lac (centre, littorale)

2 lacs intensifs

Roxton 15 dates

Champlain 24 dates

2009

Collaboration intensive

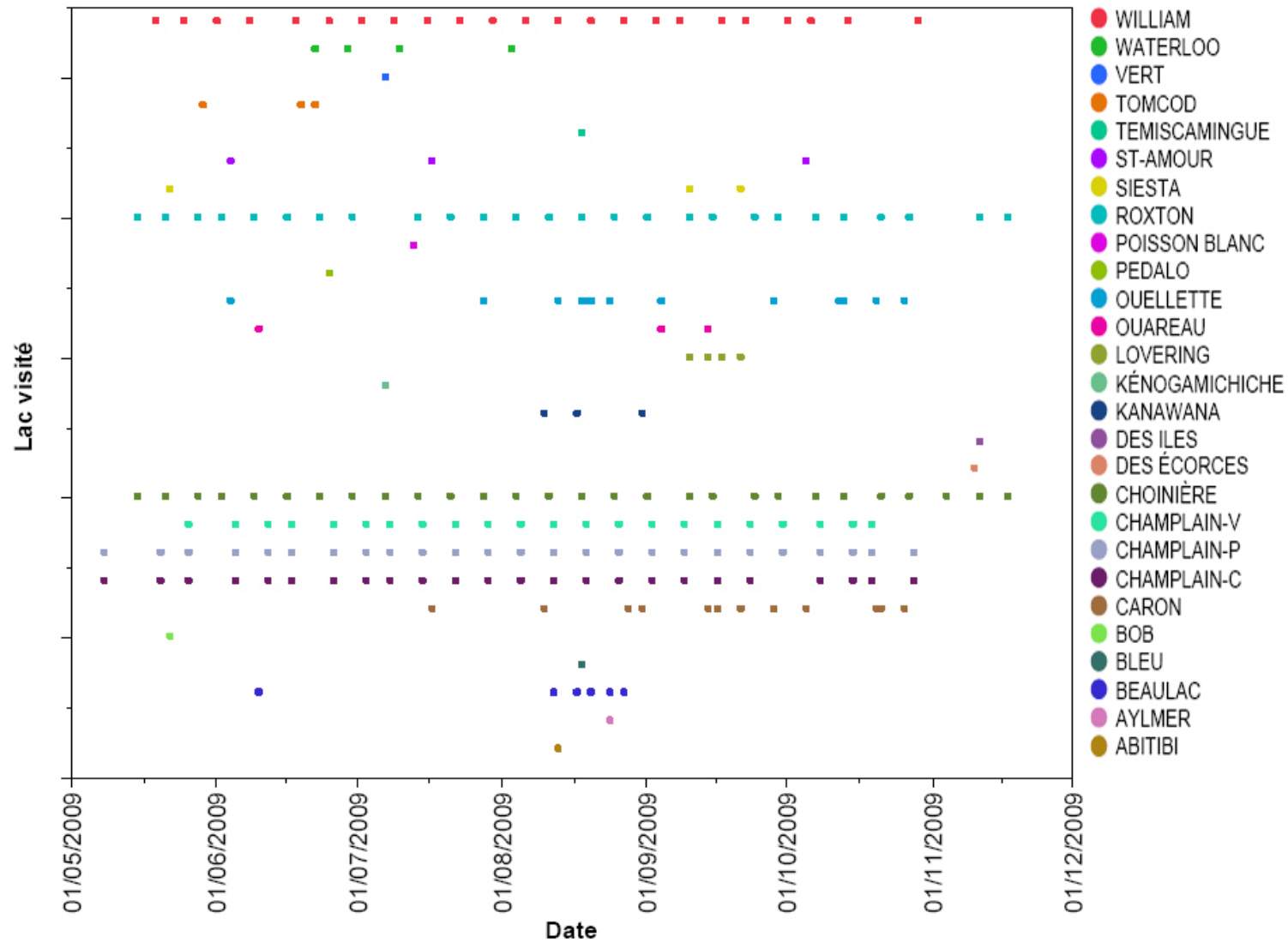
Échantillons reçus des riverains, des associations de lac, et du MDDEP

Collaboration intensive avec l'axe 2

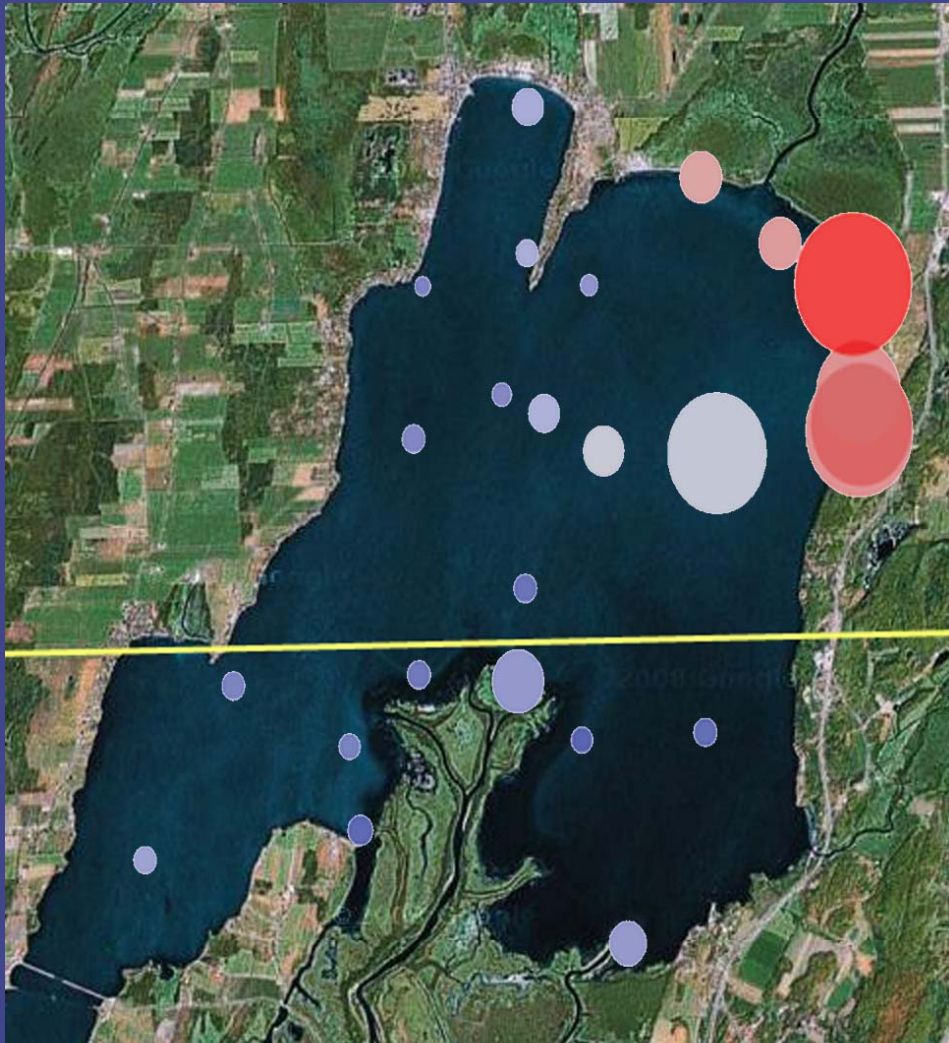
éch. ~ journalier du 20 juin au 22
août

Échantillonnage comparatif des zones pélagiques
et littorales, 27 lacs signalés par MDDEP

Méthodes 1. Échantillonnage, 2009



Accumulation par le vent modifie la communauté du phytoplancton et change la chimie de l'eau (2007)



Diamètre de cercle
 \propto biomasse bleues

Couleur est reliée
au pH

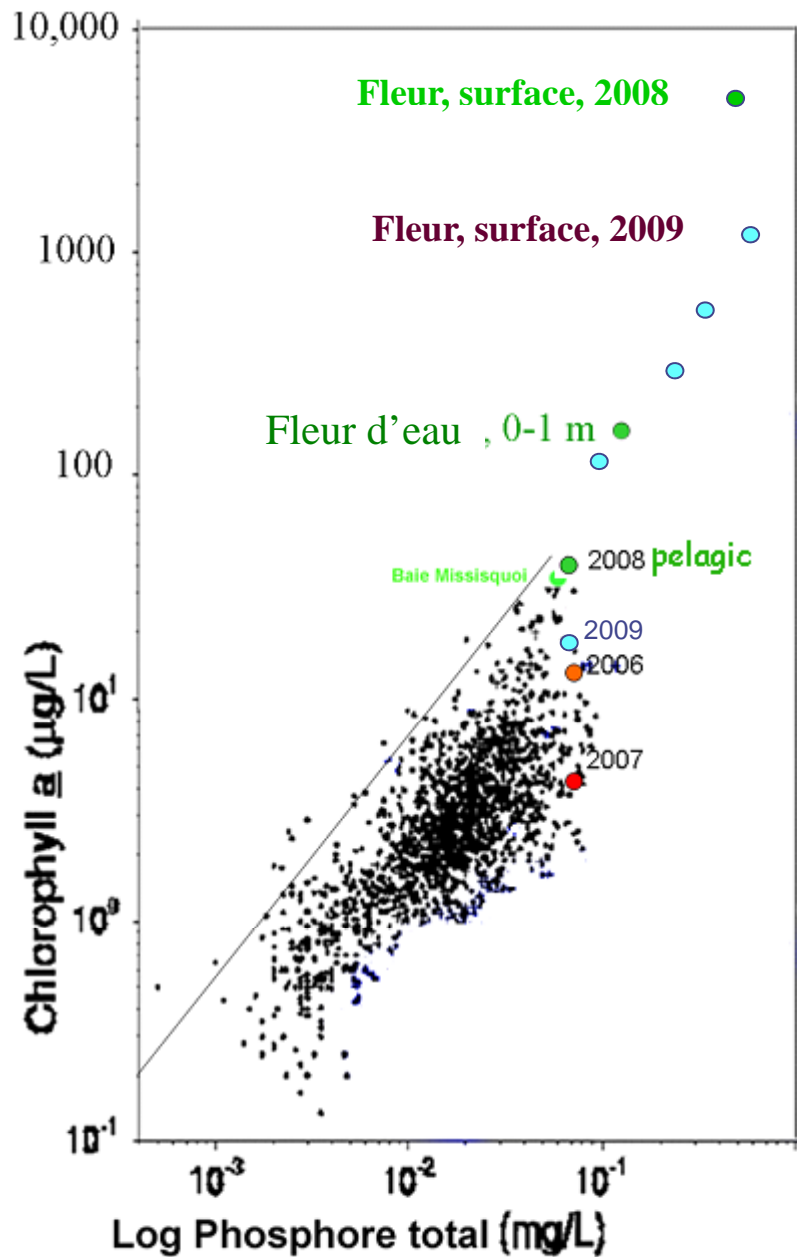
bleu = neutre

rouge = pH ~

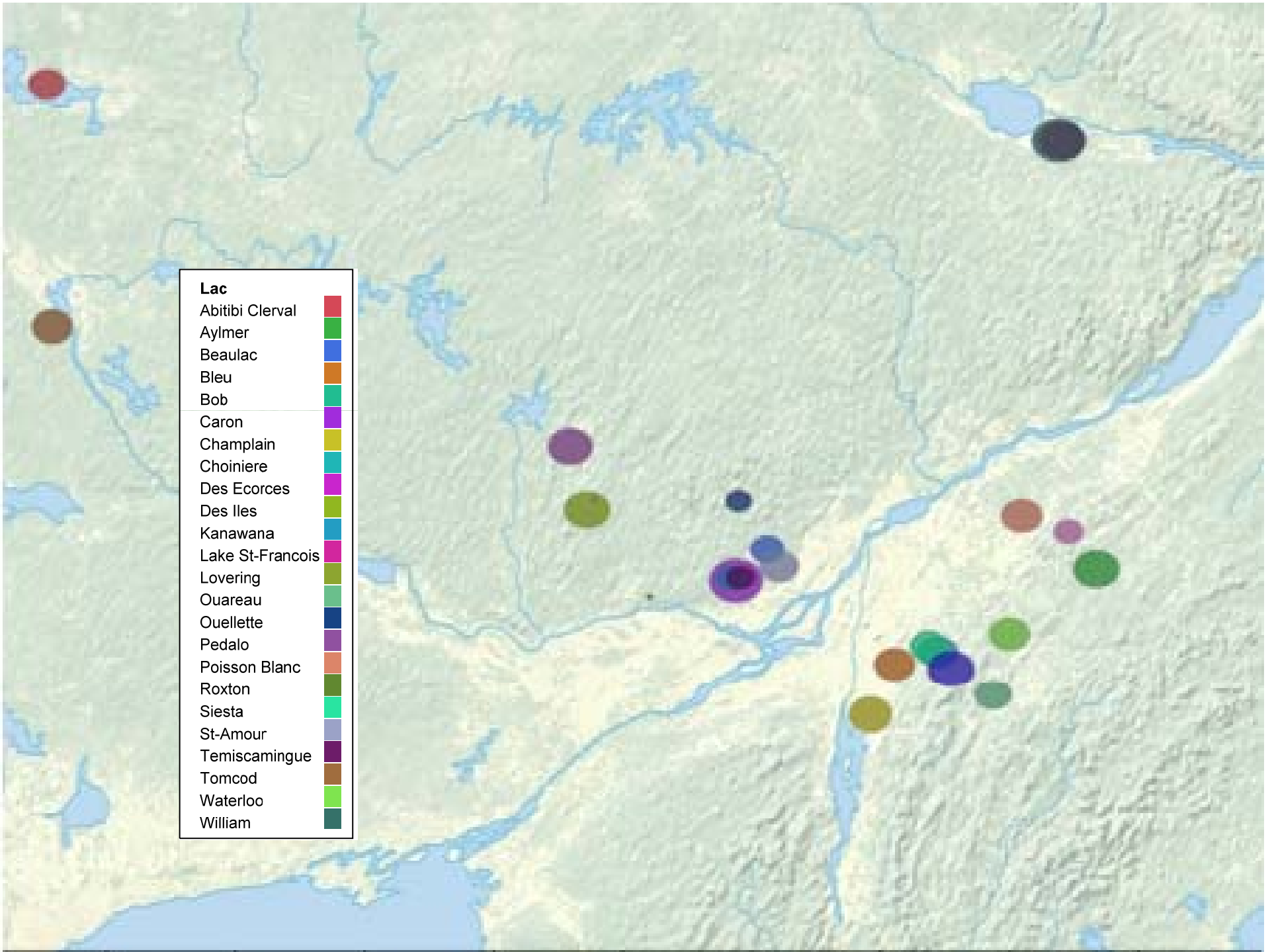
9 à 10

Au-delà de la station centrale

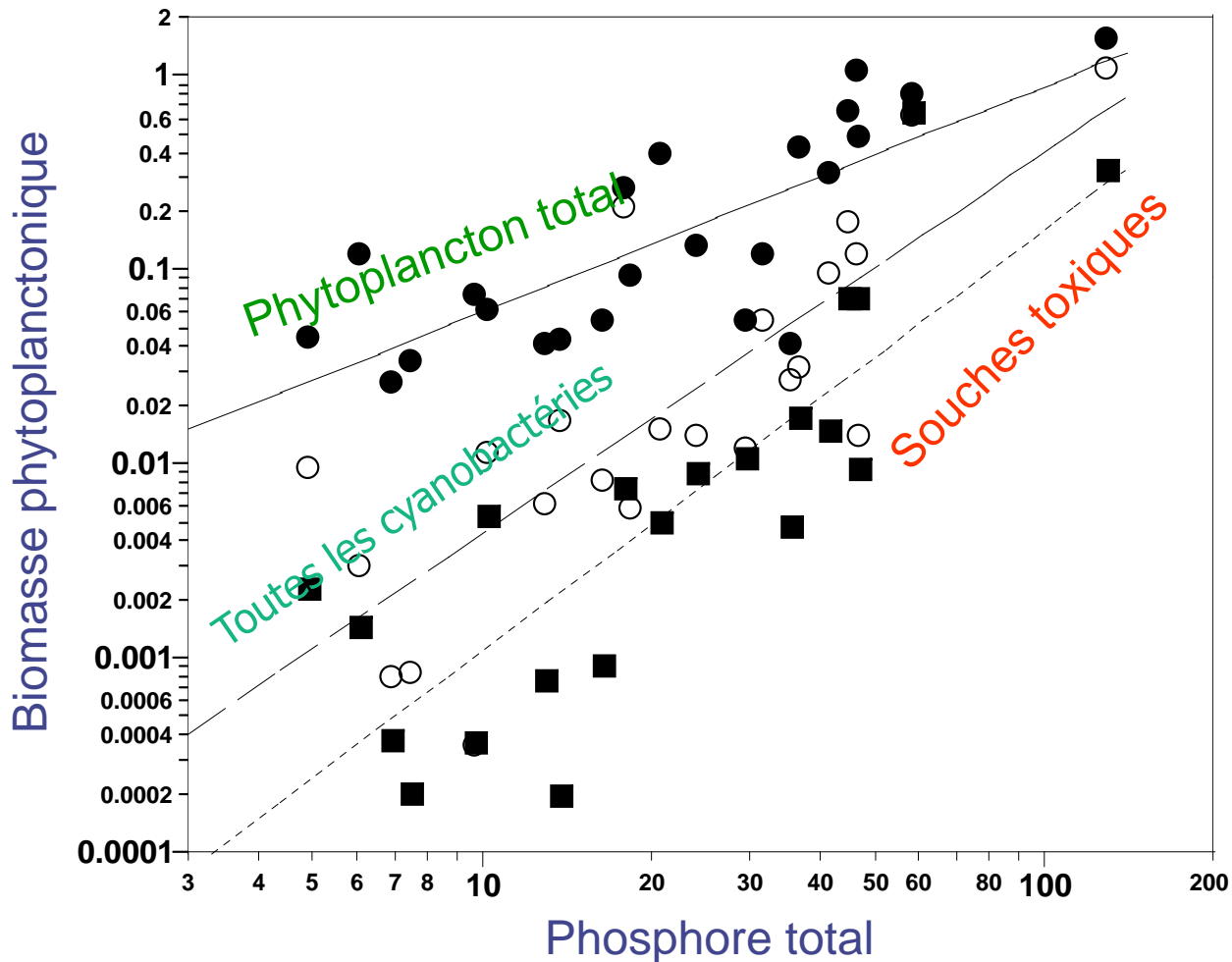
Exploitation stratégique de l'accumulation physique permet aux algues bleues de pouvoir échapper au contrôle des éléments nutritifs





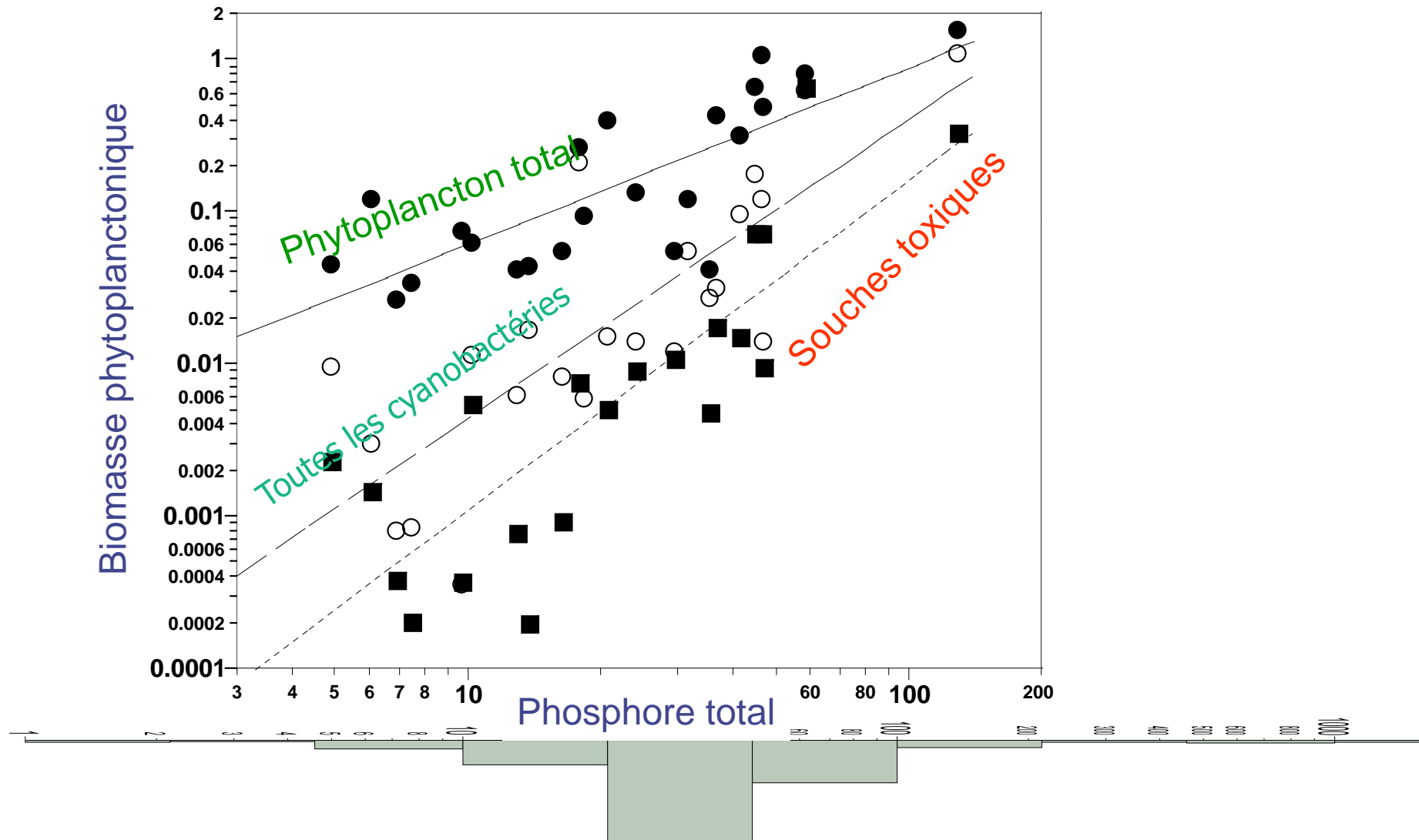


La présence des cyanobactéries toxiques dans les lacs du Québec s'accroît avec l'augmentation du P

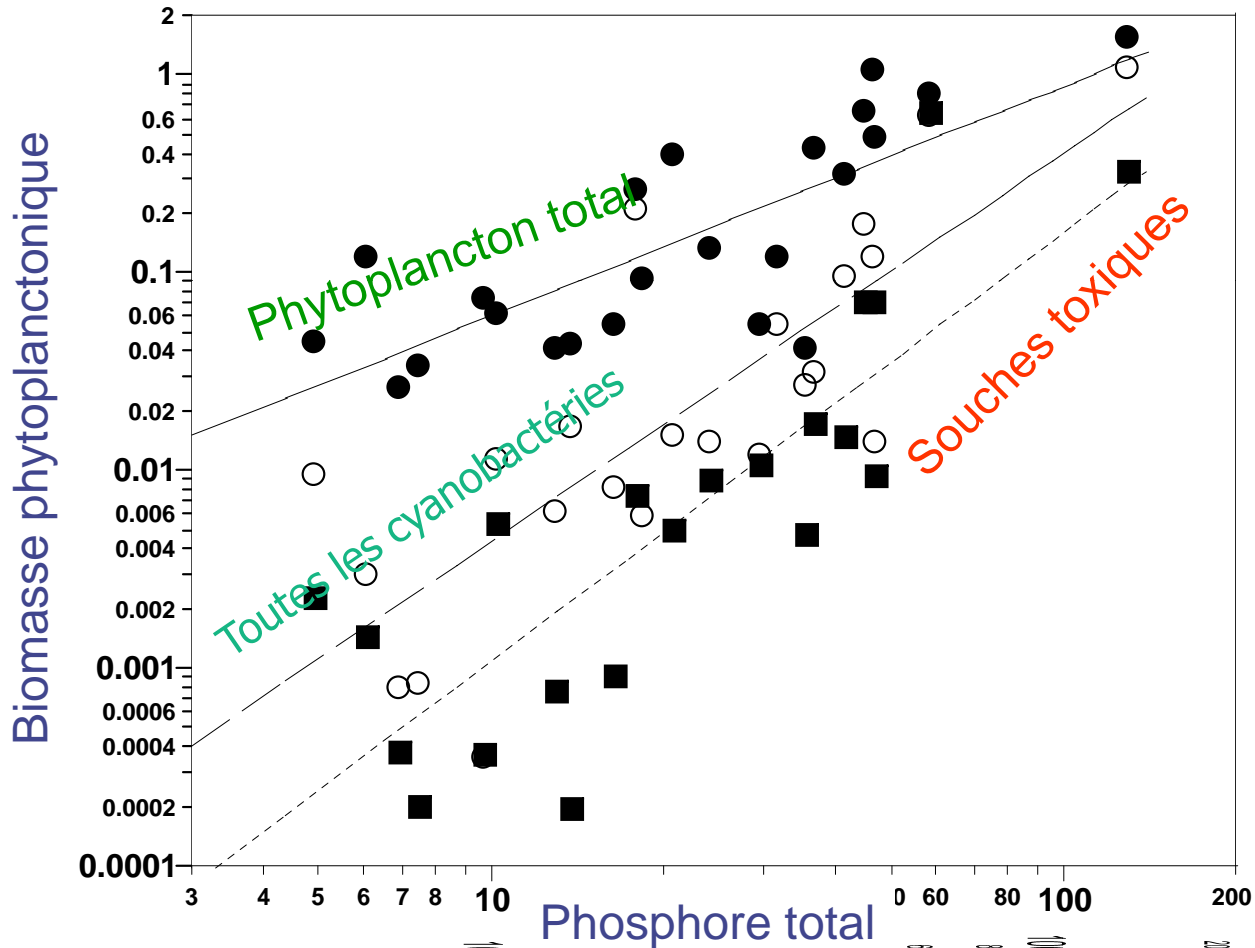


Giani, A., Bird, D., Prairie, Y., Lawrence, J. 2005. Empirical study of cyanobacterial toxicity along a trophic gradient of lakes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62: 1-10

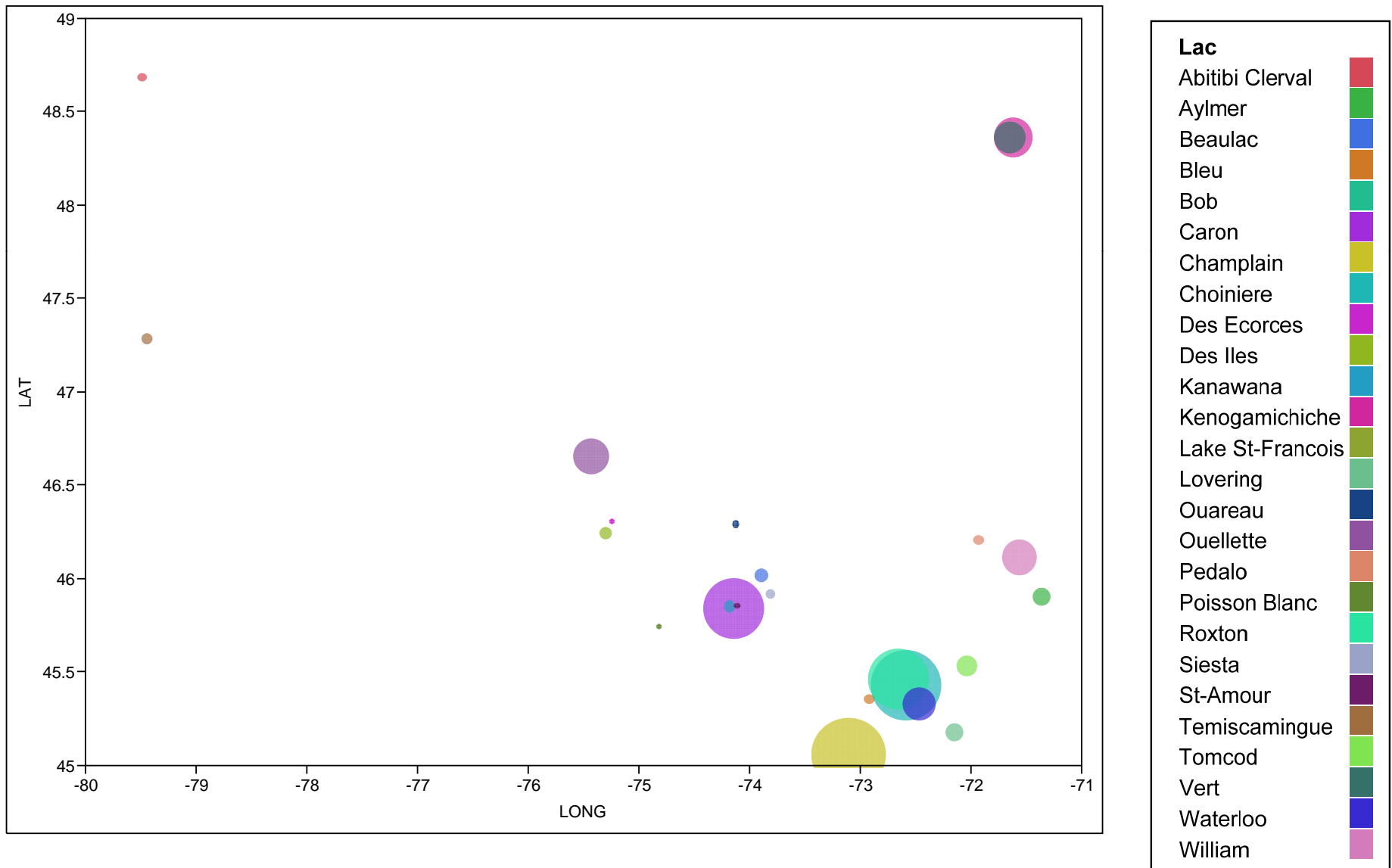
Notre étude s'est concentrée sur les lacs peu profonds



Nous avons étudié les mésotrophes et eutrophes

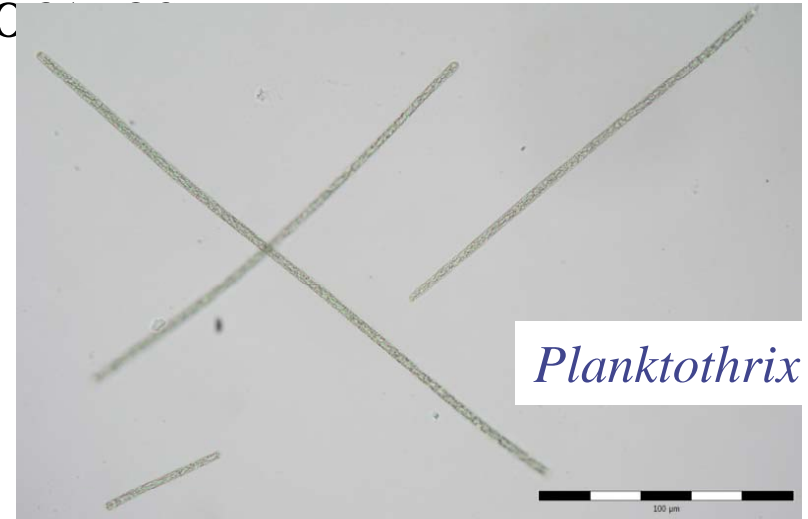


Lacs à incidence des microcystines (somme de l'été, échelle log): quelques lacs sortent plus problématiques



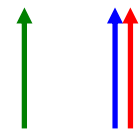
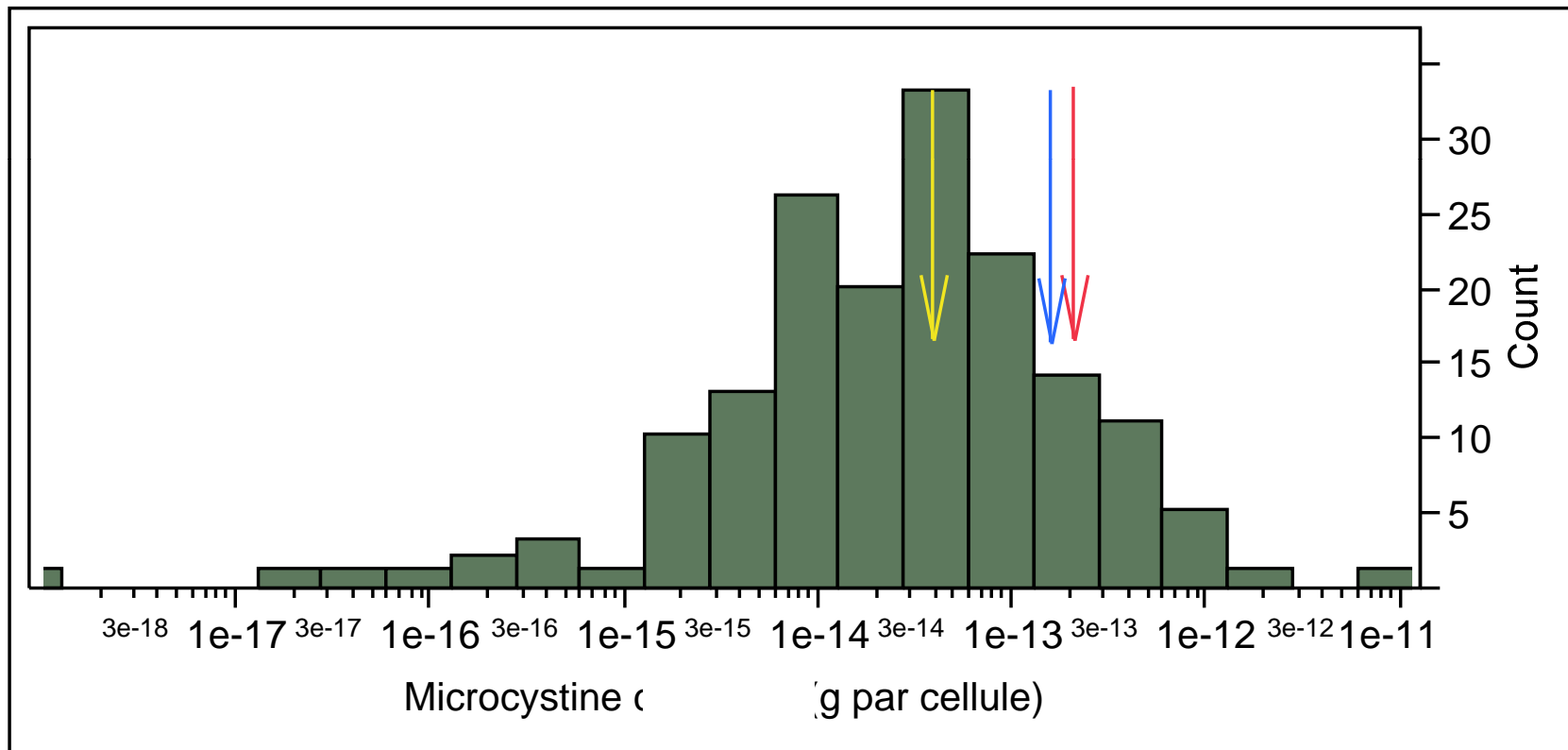
Les espèces nocives, et non nocives

*Il n'y avait que trois
fortement toxiques*

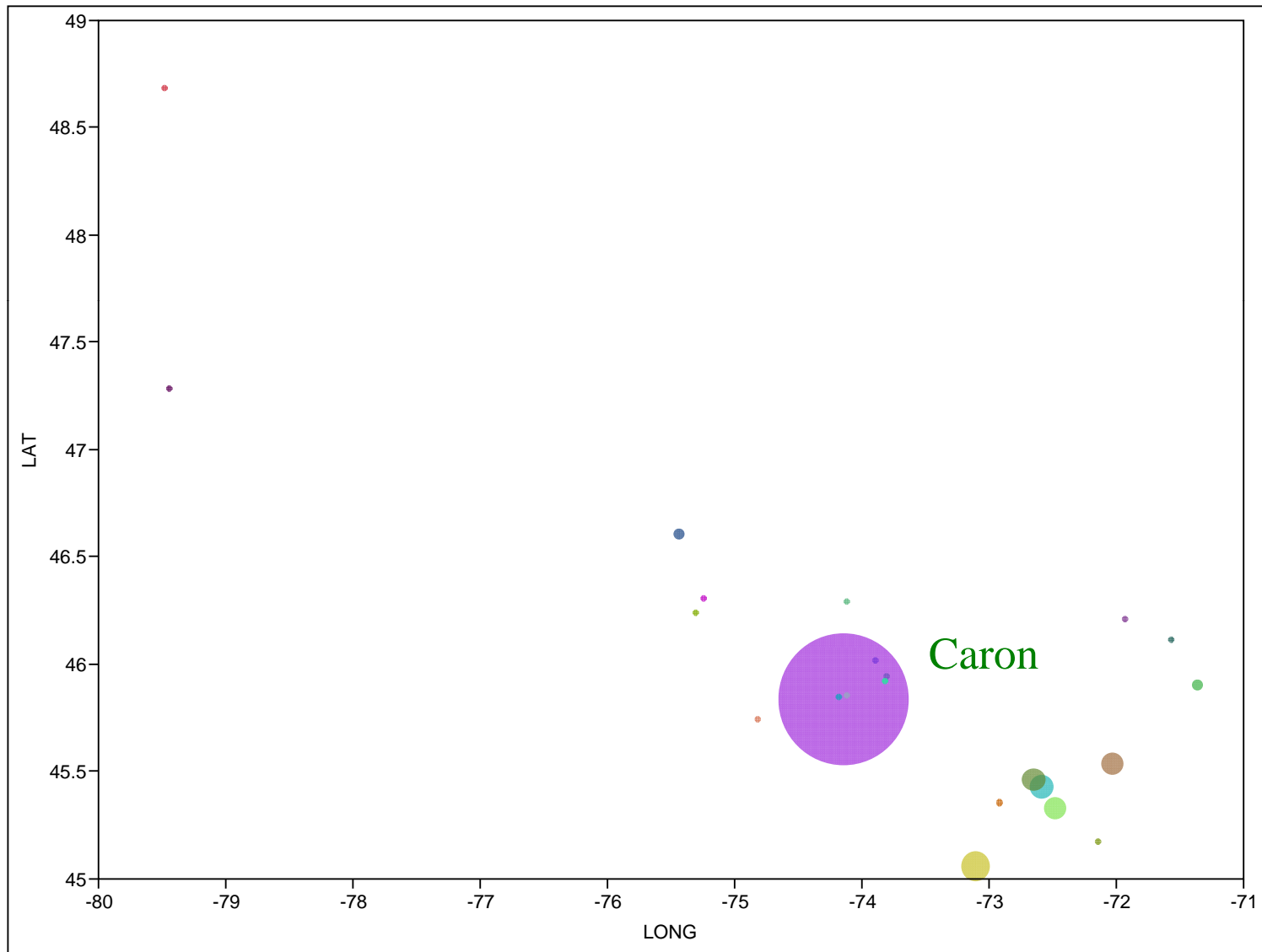


*(et tres rarement une 4^e,
Anabaena flos-aquae)*

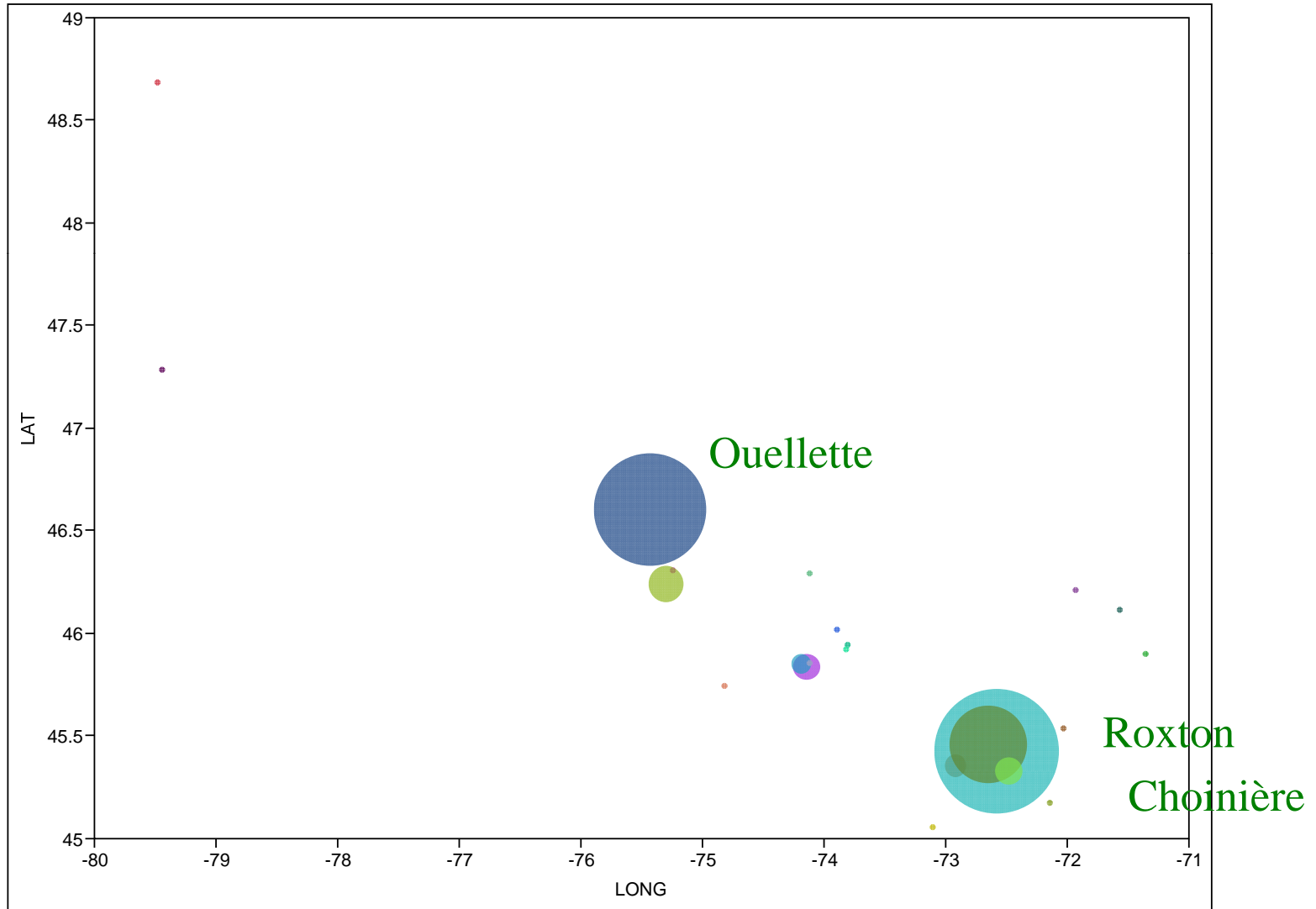
La plus nocive: *Microcystis aeruginosa* est aussi toxique qu'ailleurs dans le monde



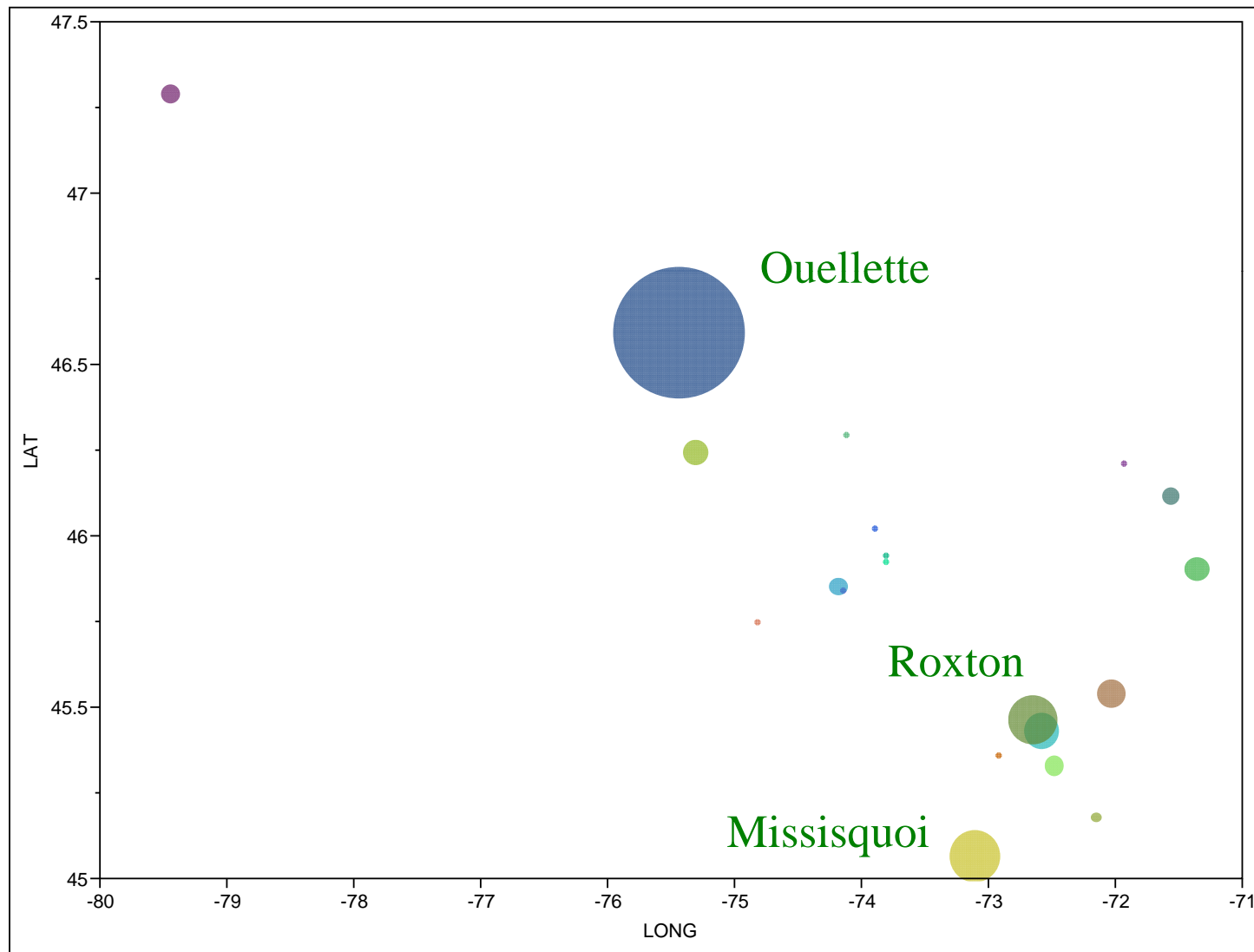
Lacs à incidence de *Microcystis aeruginosa*



Lacs à incidence de *Woronichinia*



Lacs à incidence de toutes les *Anabaena*



Quels facteurs sont associés à la toxicité du plancton?

$$\begin{aligned} \text{Log Microcystines } (\mu\text{g par L}) &= -2.76 \\ &+ 3.62 \log \text{ NT} \\ &- 0.36 \log \text{ NO}_3 \\ &- 0.70 \log \text{ Secchi} \\ &- 0.83 \log \text{ ND} \\ &+ 0.03 \text{ Température de l'eau} \\ n &= 174, R^2 = 0.55 \end{aligned}$$

Ici, c'est l'azote total (positive) et la nitrate (négative) qui sont les plus importants.

Quelles espèces sont les plus problématiques
(Planktothrix exclue)?

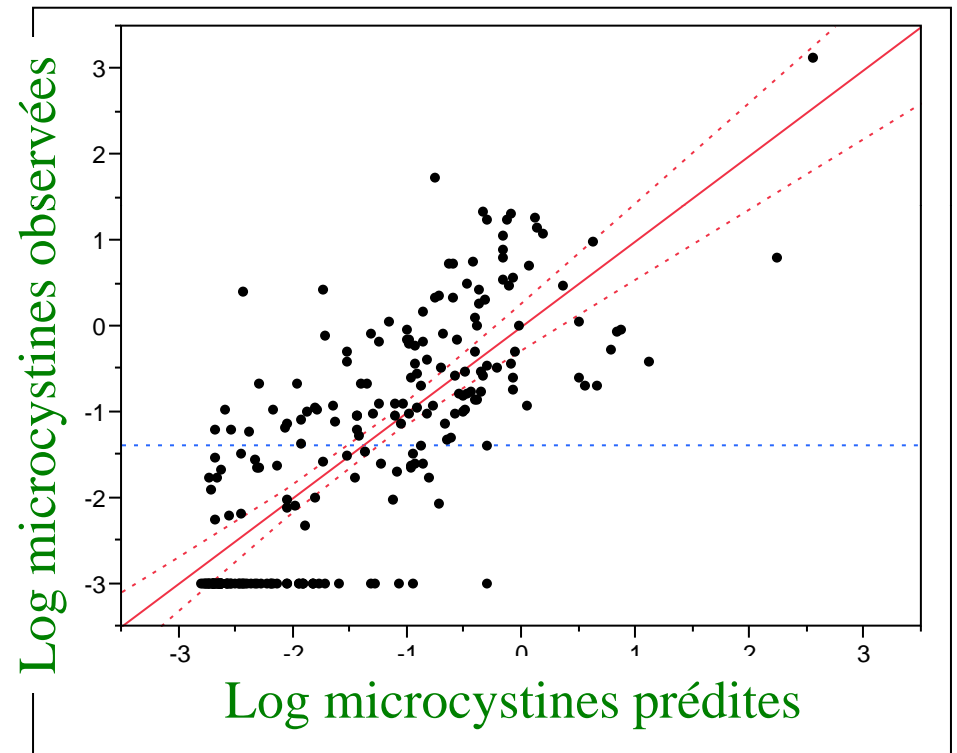
$$\begin{aligned} \text{Log Microcystines } (\mu\text{g par L}) &= 2.72 \\ &+ 0.162 \log [\textit{Microcystis aeruginosa}] \\ &+ 0.041 \log [\text{autres espèces de } \textit{Microcystis}] \\ &+ 0.029 \log [\textit{Anabaena flos-aquae}] \\ &+ 0.023 \log [\textit{Woronichinia}] \\ &n = 366, R^2 = 0.60 \end{aligned}$$

Essentiellement toute la toxicité est due à
Microcystis.

Meilleur modèle, taxonomie et chimie ensembles

Log Microcystines ($\mu\text{g par L}$)
= 0.13
+ 0.089 log [*Microcystis aeruginosa*]
+ 2.33 log NT
- 0.29 log NO₃
+ 0.062 log [*Planktothrix*]
- 0.029 log ND
n = 228, R² = 0.61

Par ordre d'importance

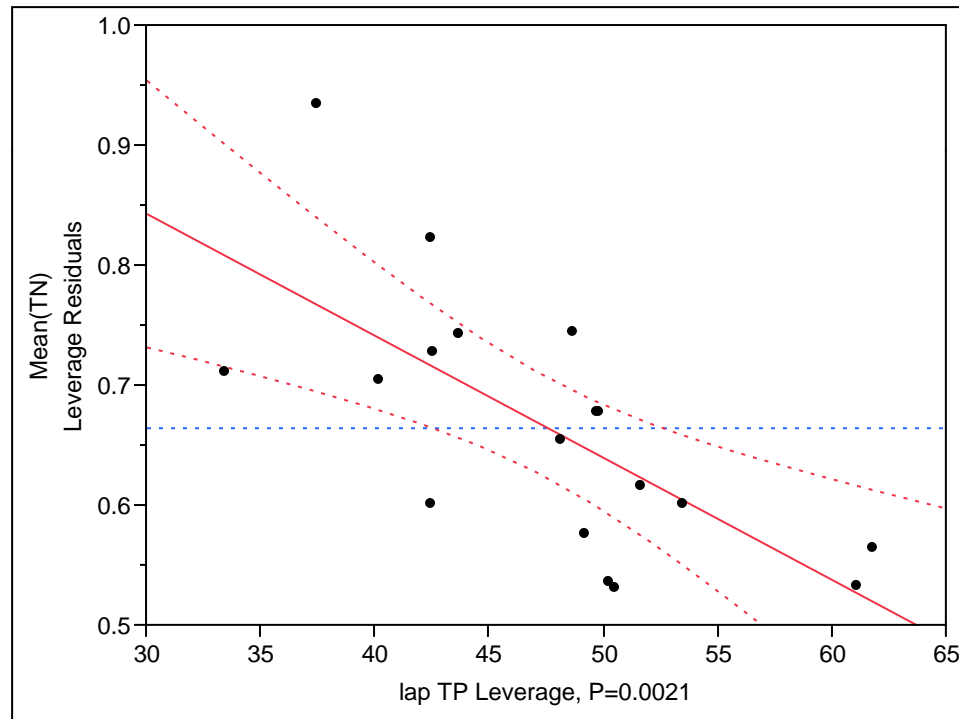


Pourquoi N ?

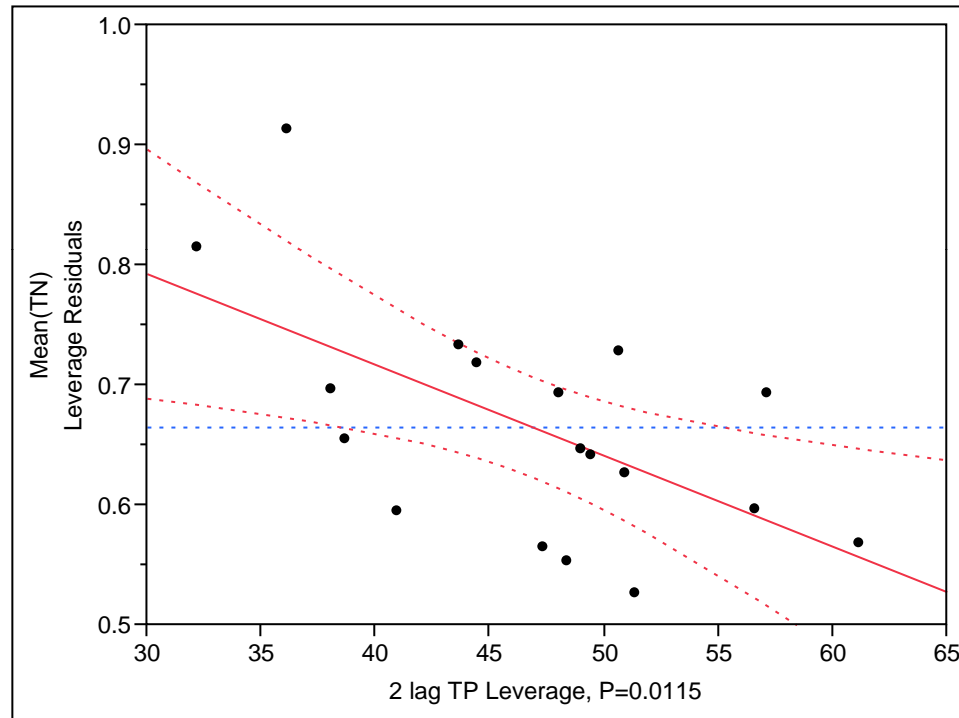
1. N est très corrélé avec le P
2. Mais il est critique pour les algues bleues car :
 1. leurs bulles de flottabilité (aérotopes) sont constituées de protéines
 2. leurs toxines contiennent plein d'azote
3. La biomasse au large est prédite par le P; la biomasse littorale par le N

Si c'est l'azote qui importe, qu'est-ce qui contrôle l'azote?

Une découverte étonnante: La concentration de l'azote total est corrélée à la concentration du phosphore totale de l'année précédente



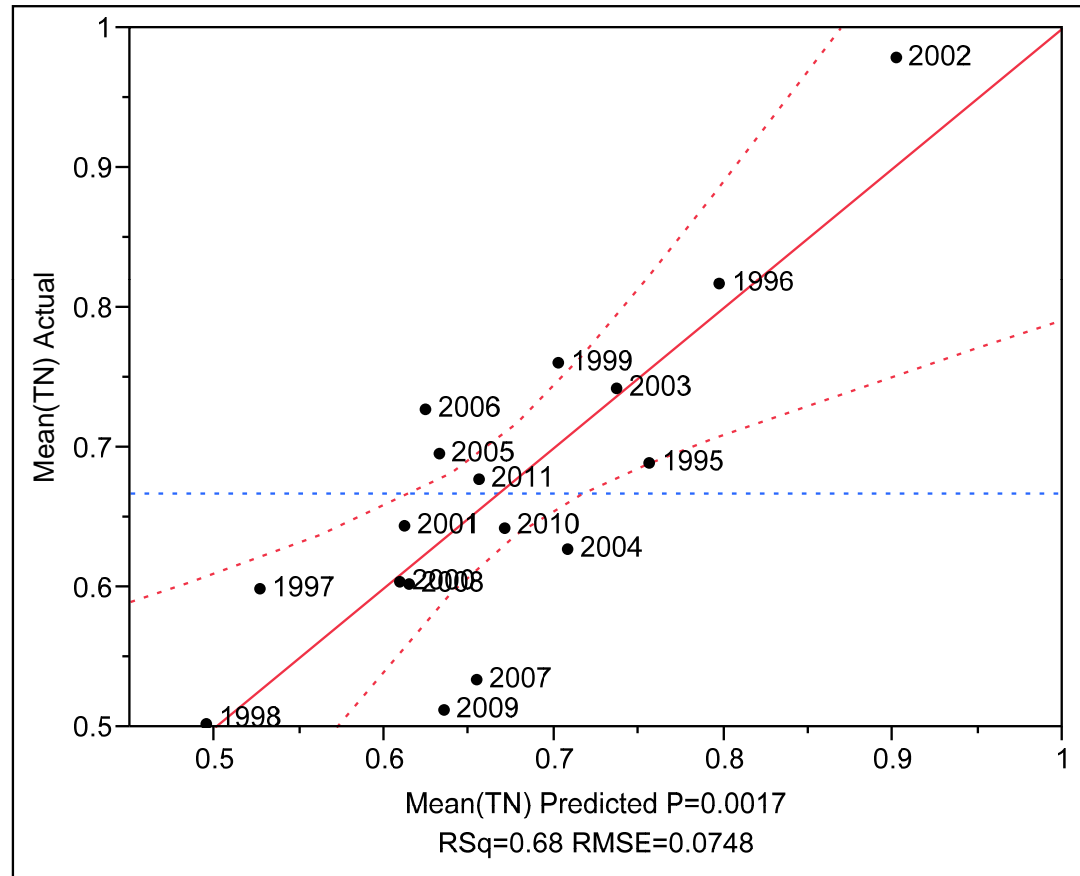
...et même du PT d'il y a deux ans antérieur



$$[\text{Azote total, mg/L}] = 1.50 - 0.0101 [\text{PT, } \mu\text{g/L}]\{-1 \text{ an}\} - 0.0076 [\text{PT}]\{-2 \text{ ans}\}$$

$$R^2 = 0.54$$

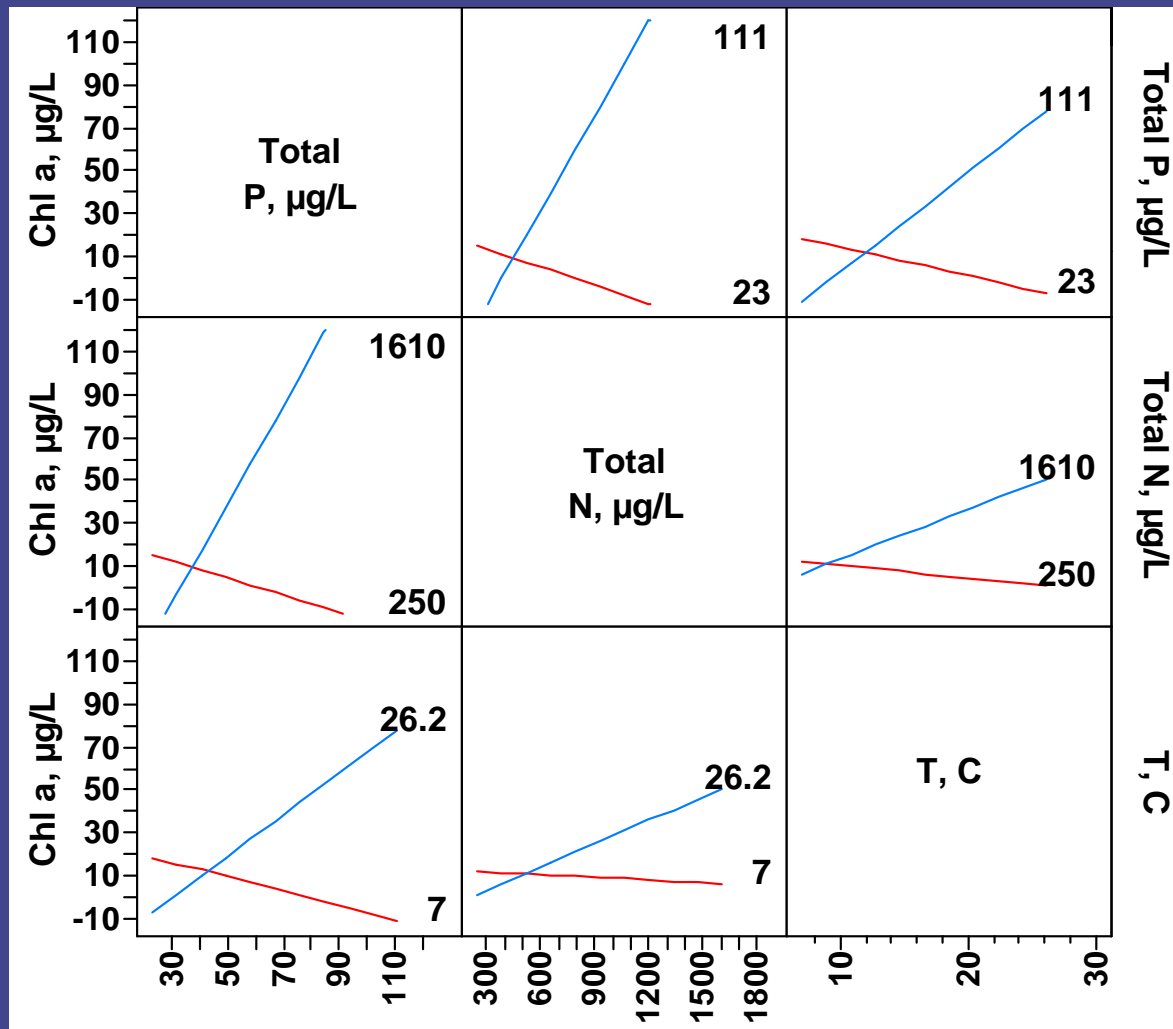
... et même il y a 3 ans



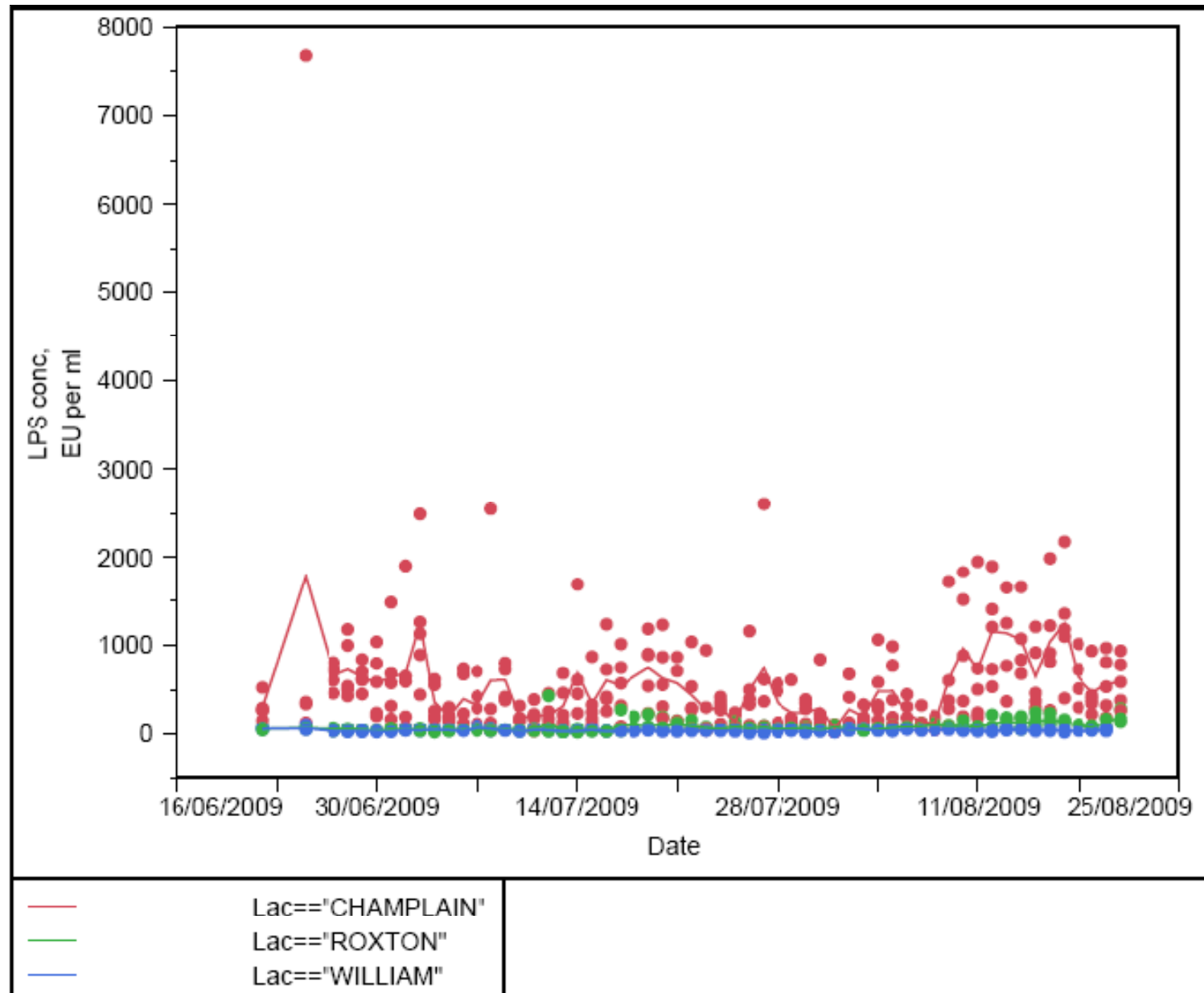
[Azote moyen annuel] = $1.285 - 0.011 PT_1 - 0.0071 PT_2 + 0.0051 PT_3$
 $R^2 = 0.68$... PT dans la même année n'est pas significatif dans le modèle

Les conditions nécessaires pour une floraison: Modélisation de 20 ans de données historiques de la baie Missisquoi (VT-DEC) montre que la prolifération a besoin de 3 choses: assez de P, N, et une T élevée

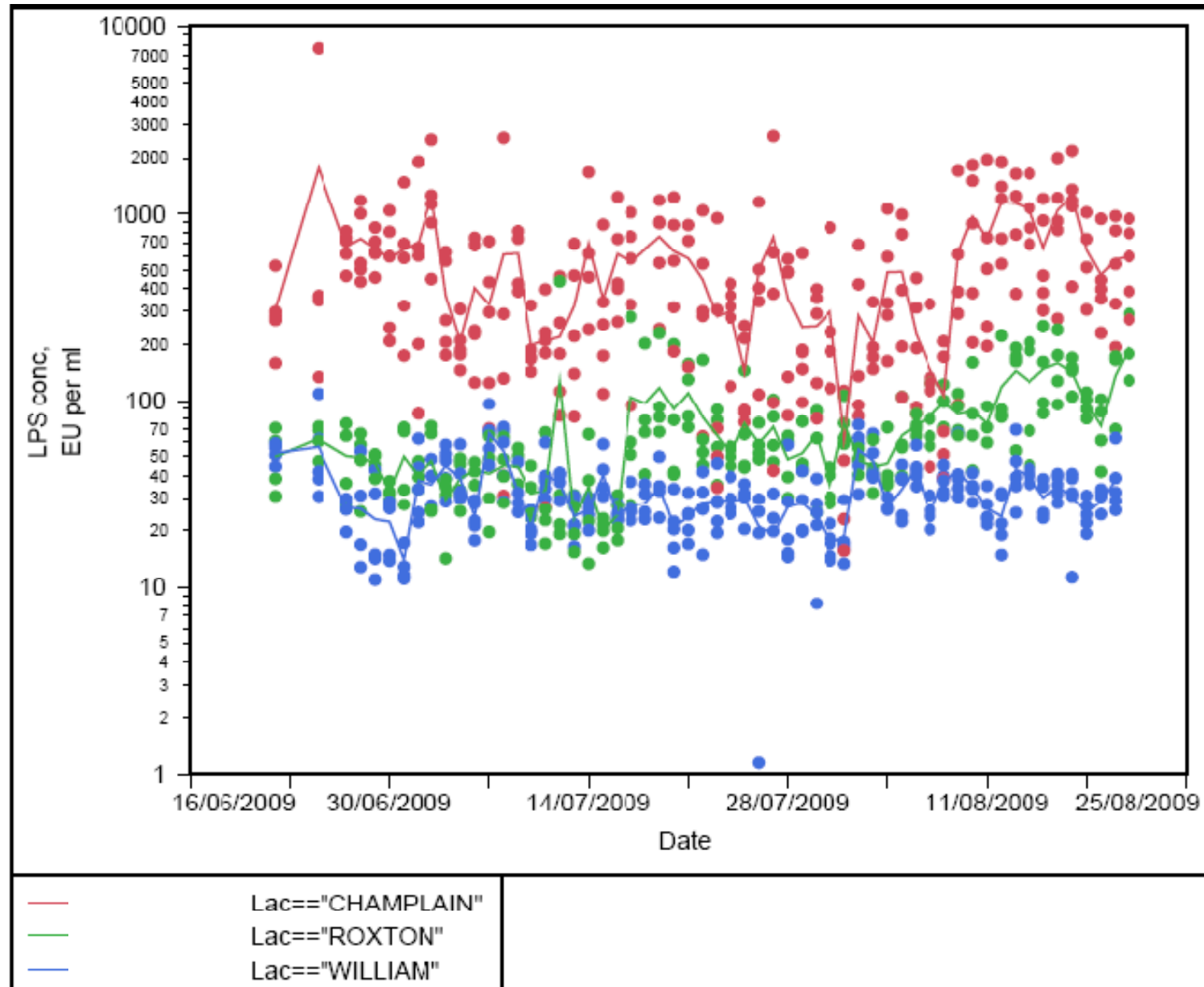
Diagrammes d'interaction entre P, N, et T °C



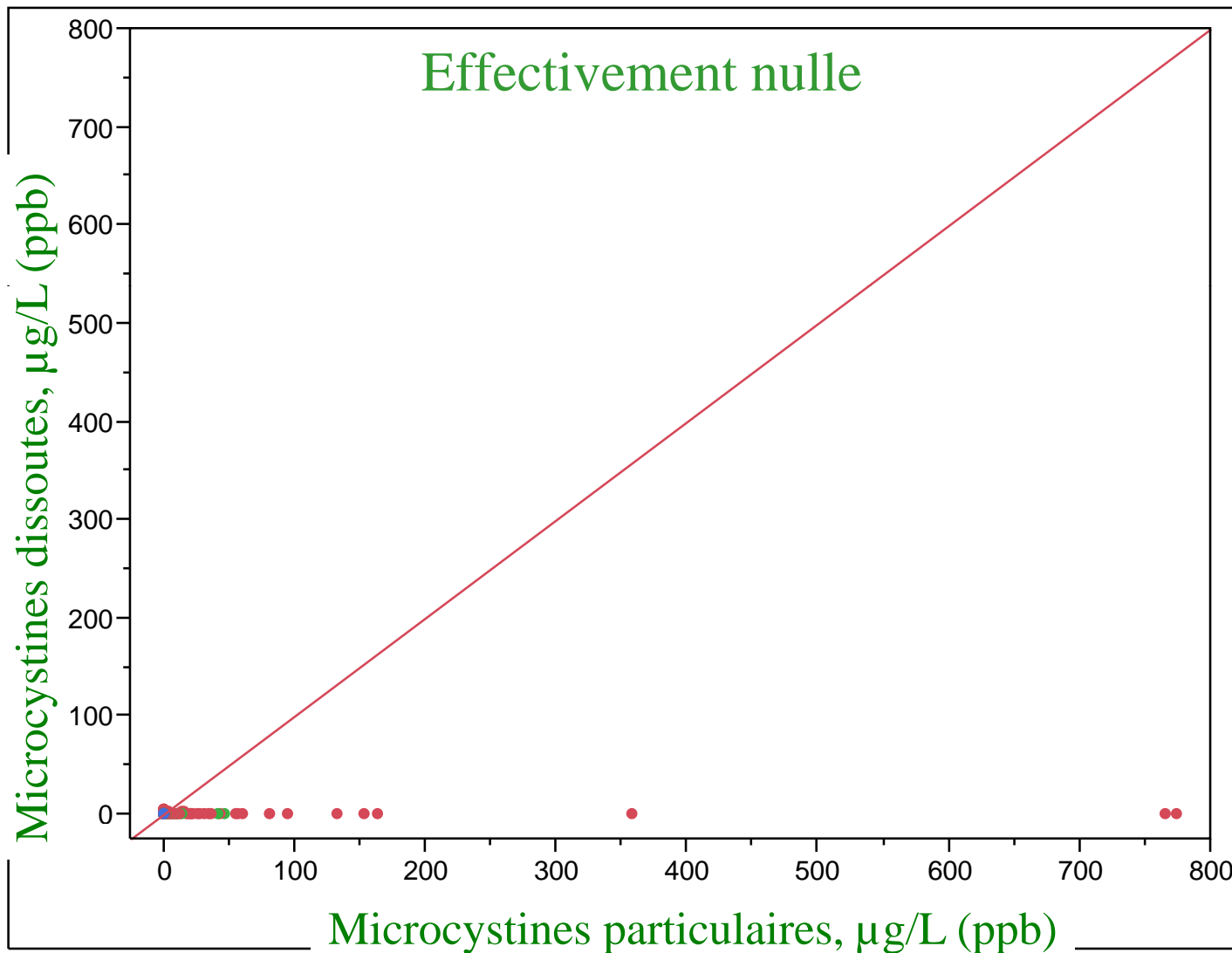
Les endotoxines : un manteau à l'extérieur des cellules bactériennes qui excite le système immunitaire



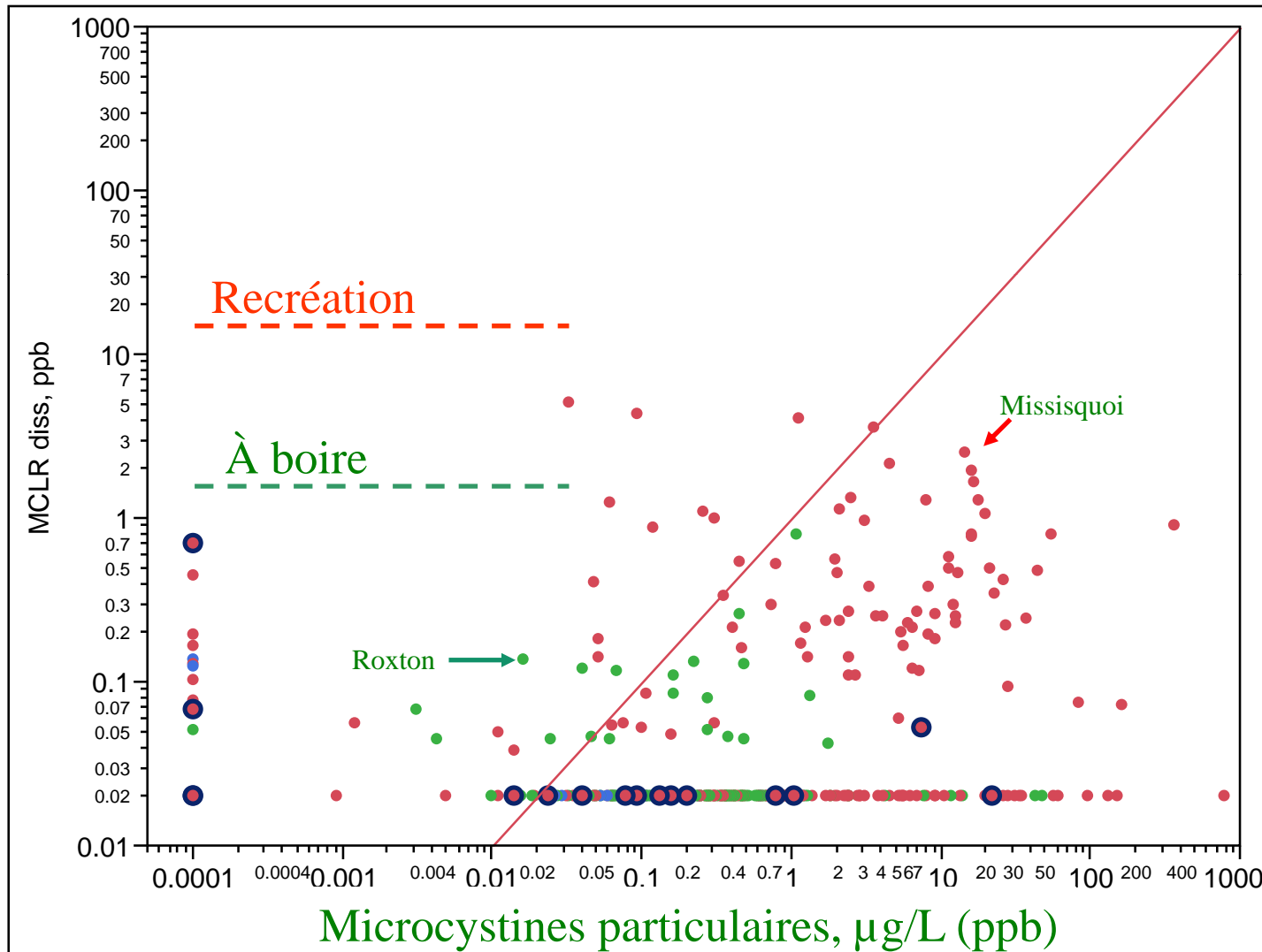
Les endotoxines suivent le niveau trophique ; elles sont associées largement aux bactéries hétérotrophes et pas aux algues bleues



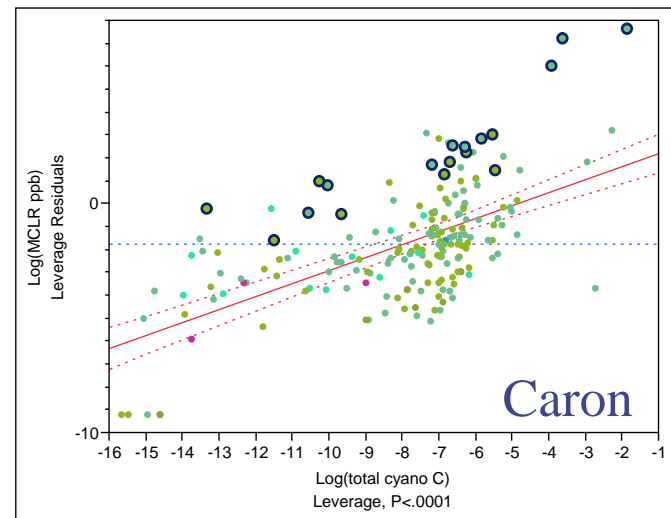
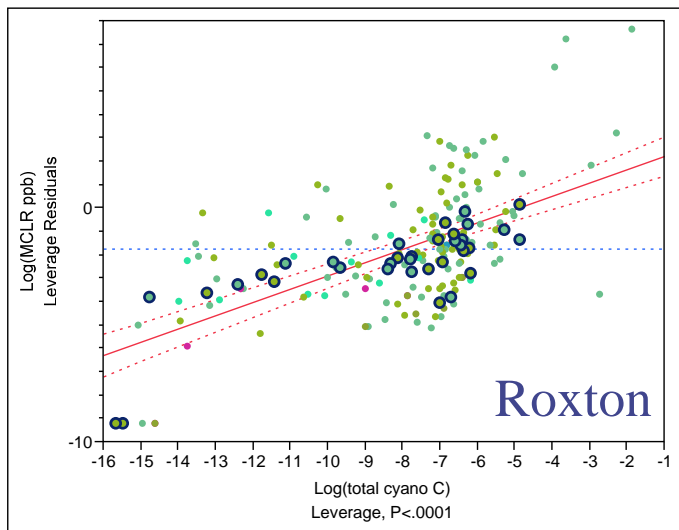
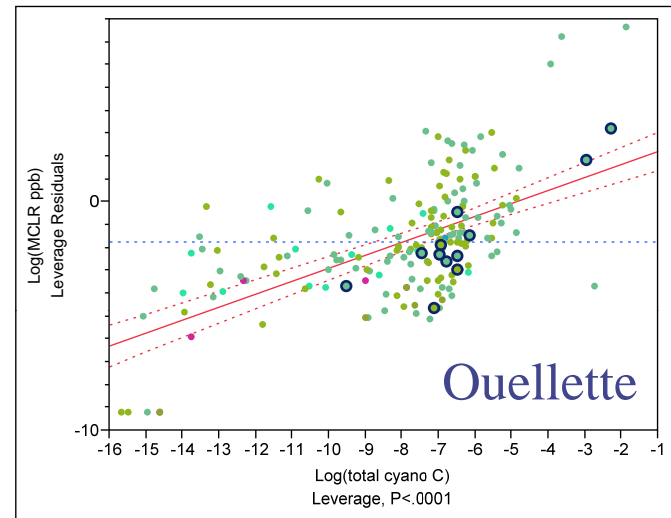
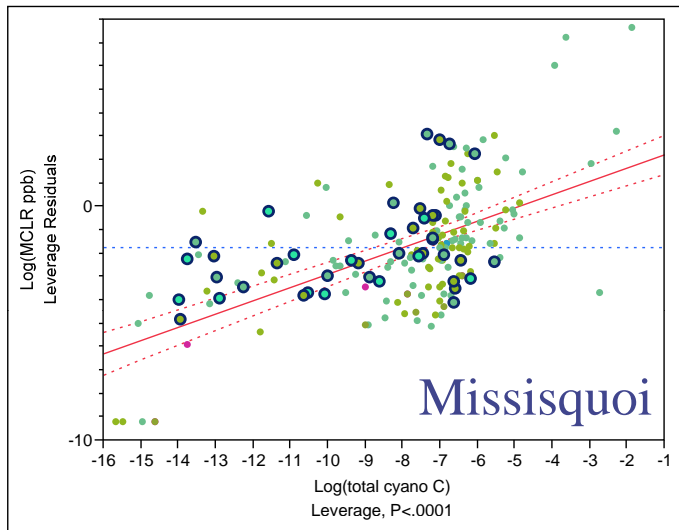
Séries temporelles journalières : quelle est l'incidence des microcystines dissoutes?



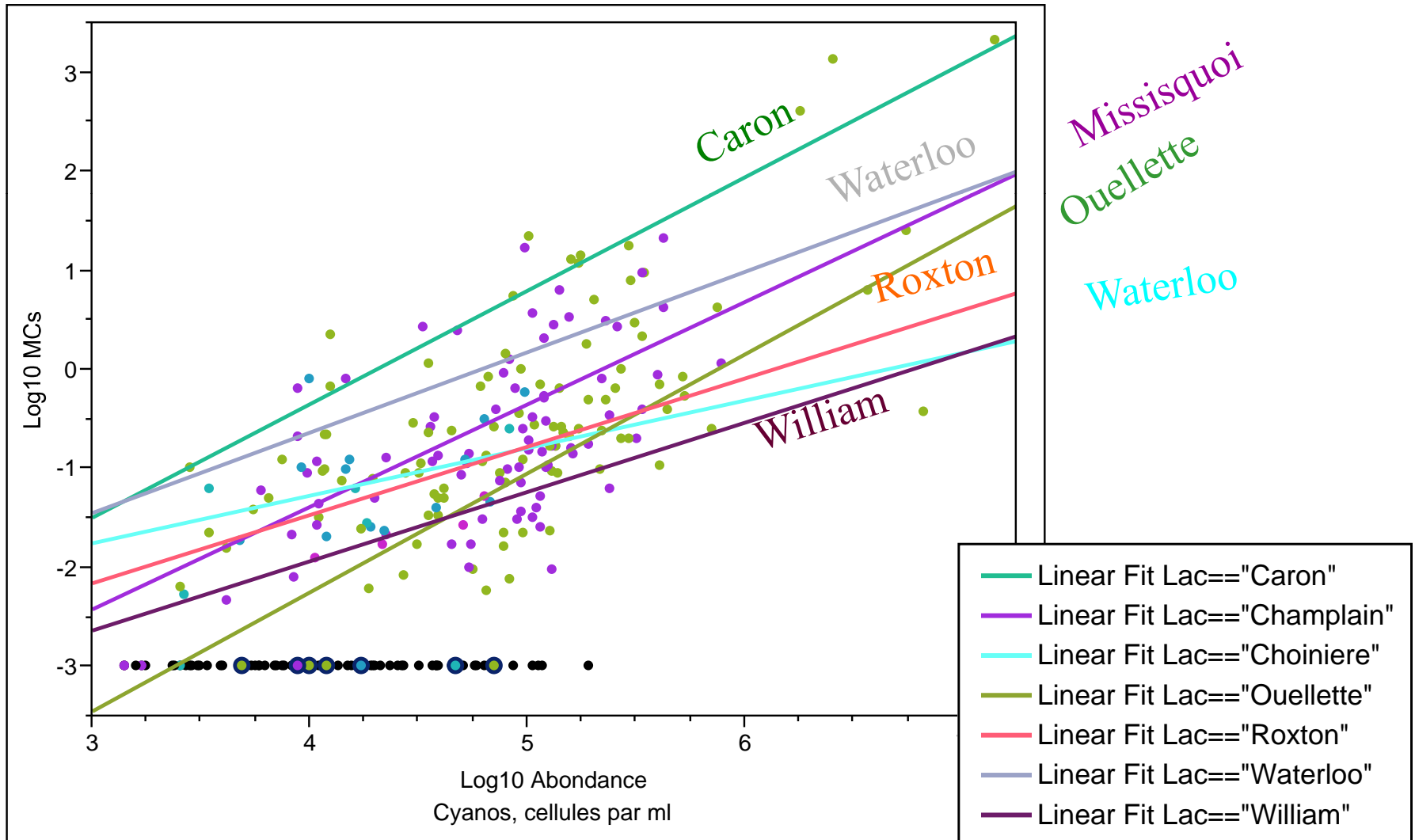
Échelle logarithmique pour mieux voir qu'elles ne sont pas un risque



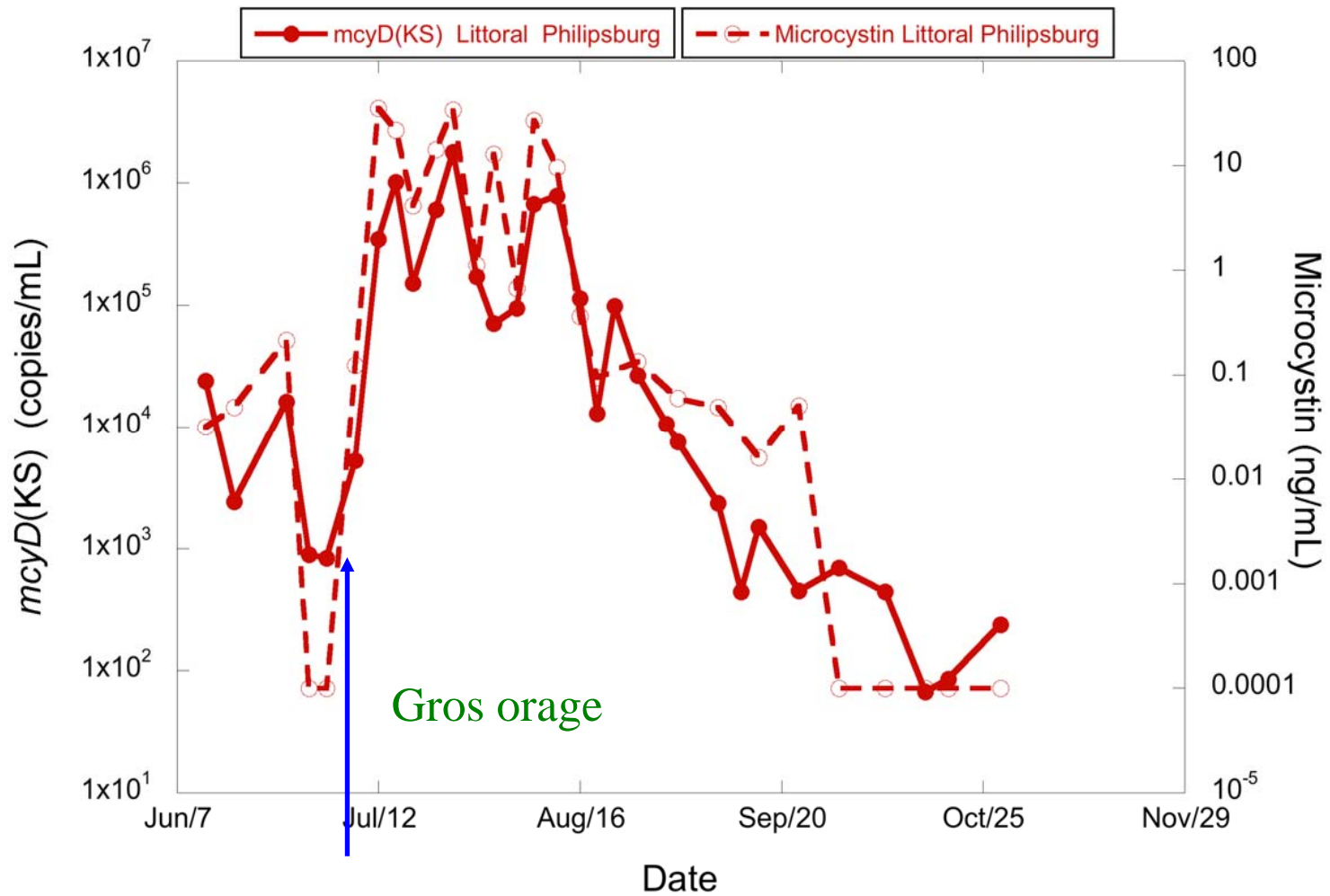
Le contenu en microcystines par unité de biomasse des cyanobactéries varie entre lacs



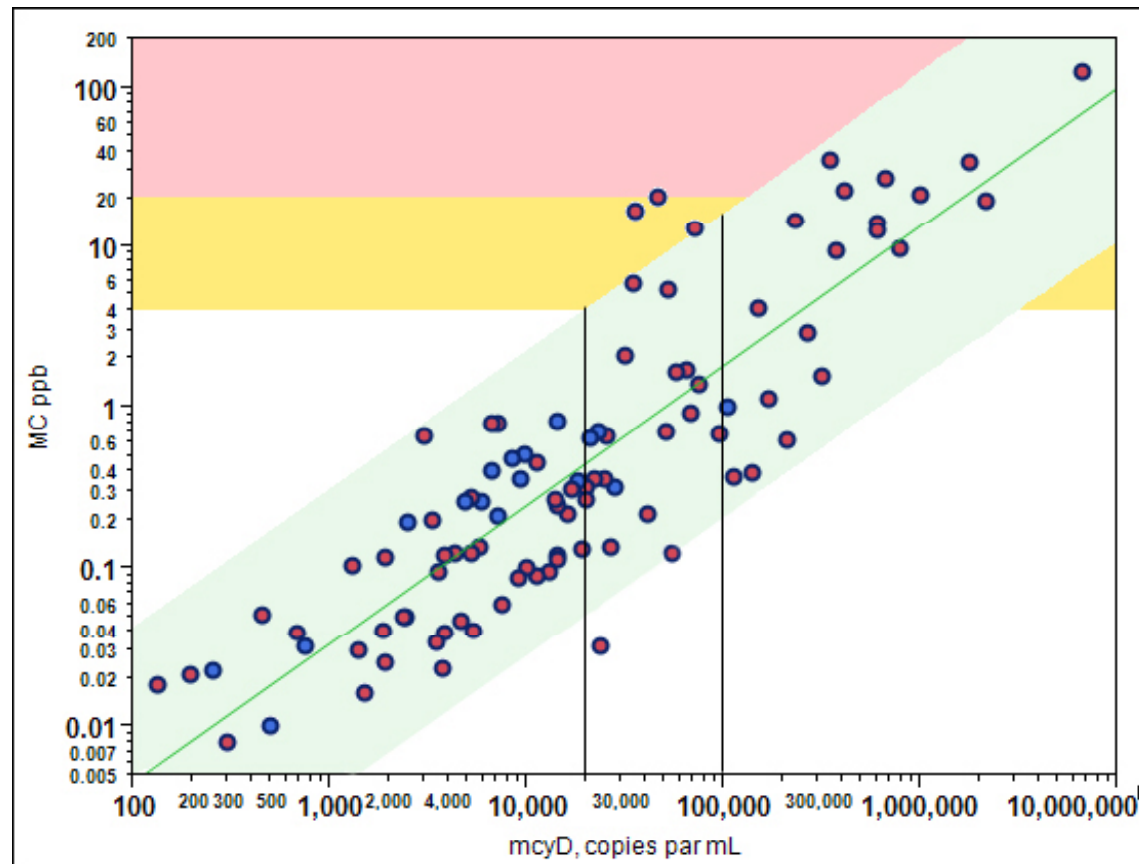
La variation importante entre lacs en la toxicité par cellule par microscopie implique un traitement de cas par cas. Et ceci diminue l'utilite des comptes microscopiques



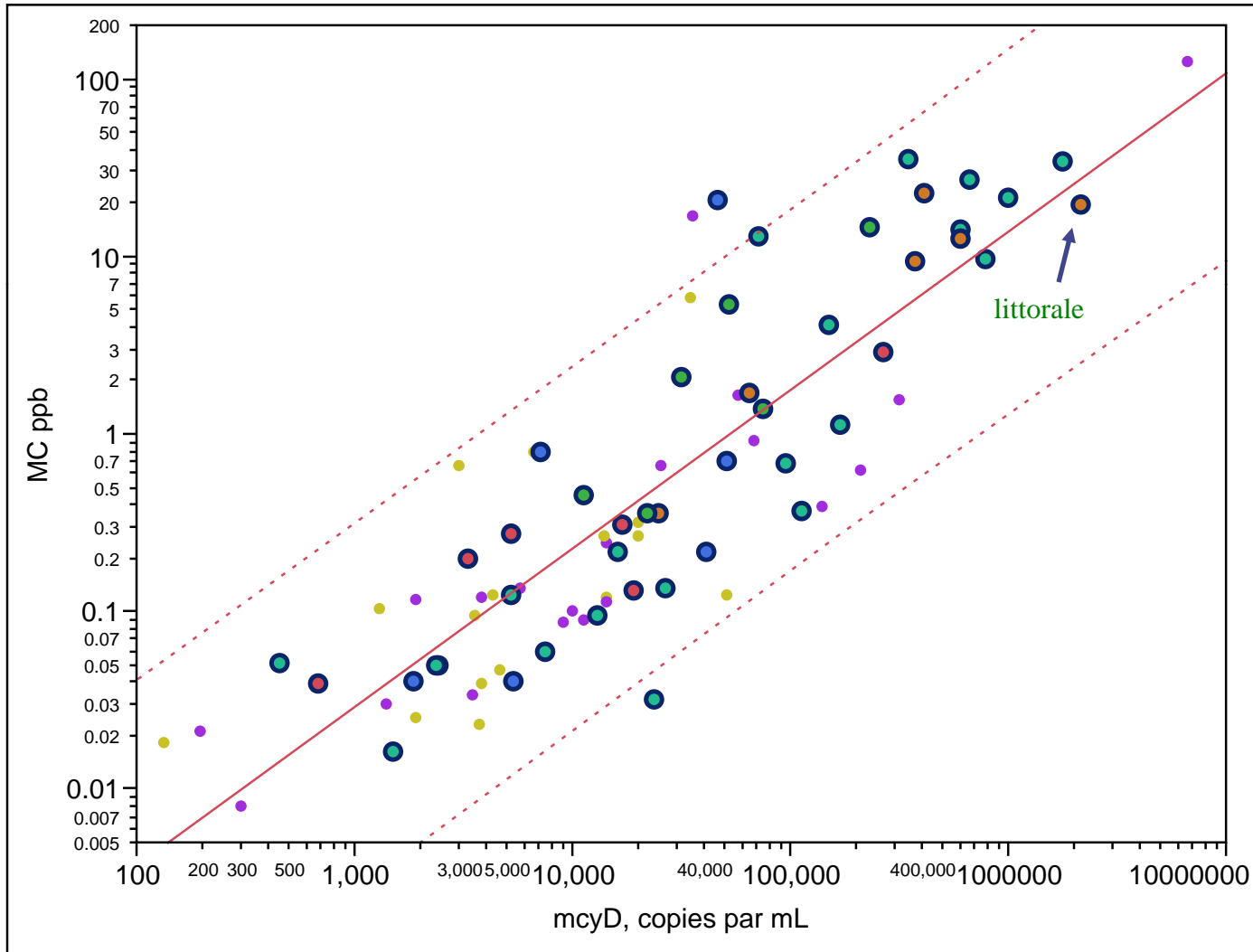
Une solution possible: la PCR en temps réel



Le nombre de copies du gène pour la microcystine permet un dépistage fiable en présence de plusieurs espèces anonymes

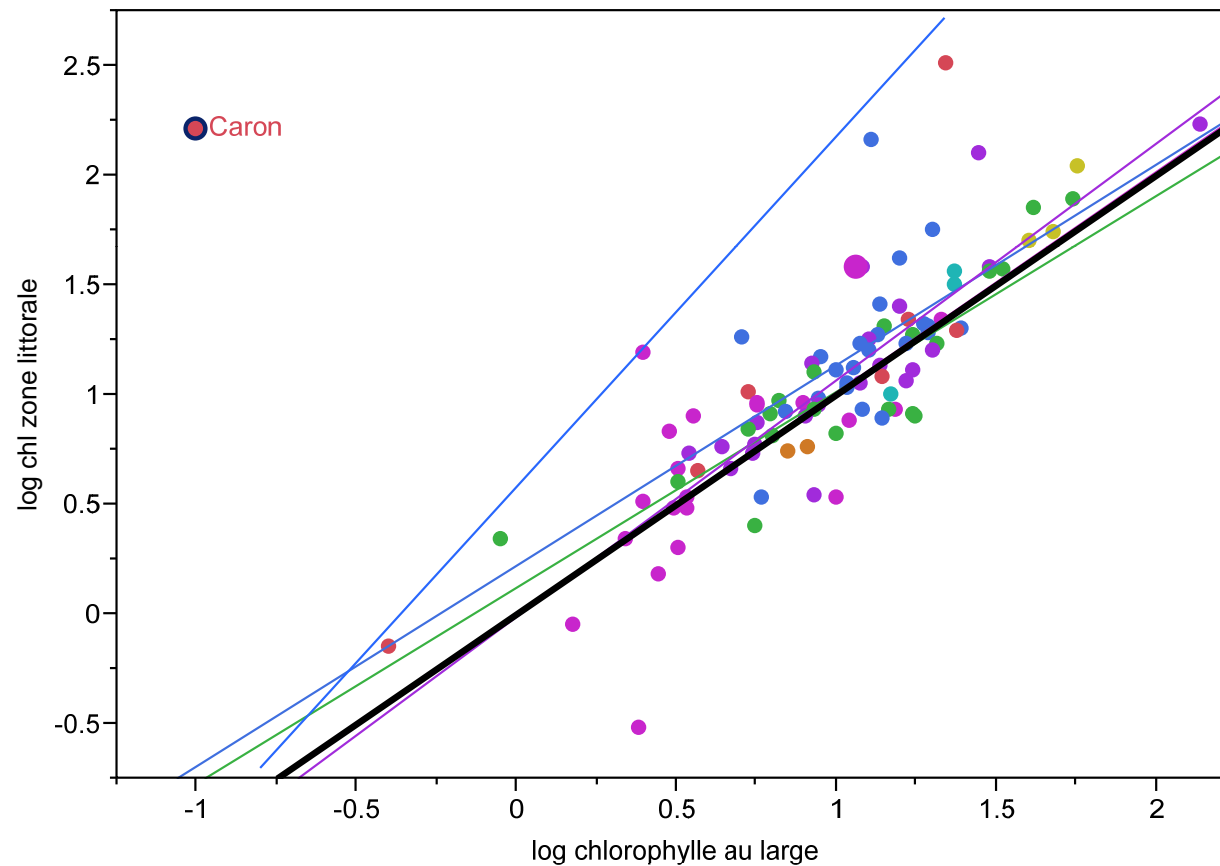


A forte densité, dans les fleurs d'eau dans les stations littorales, les cellules sont ~5 fois plus toxiques en moyenne



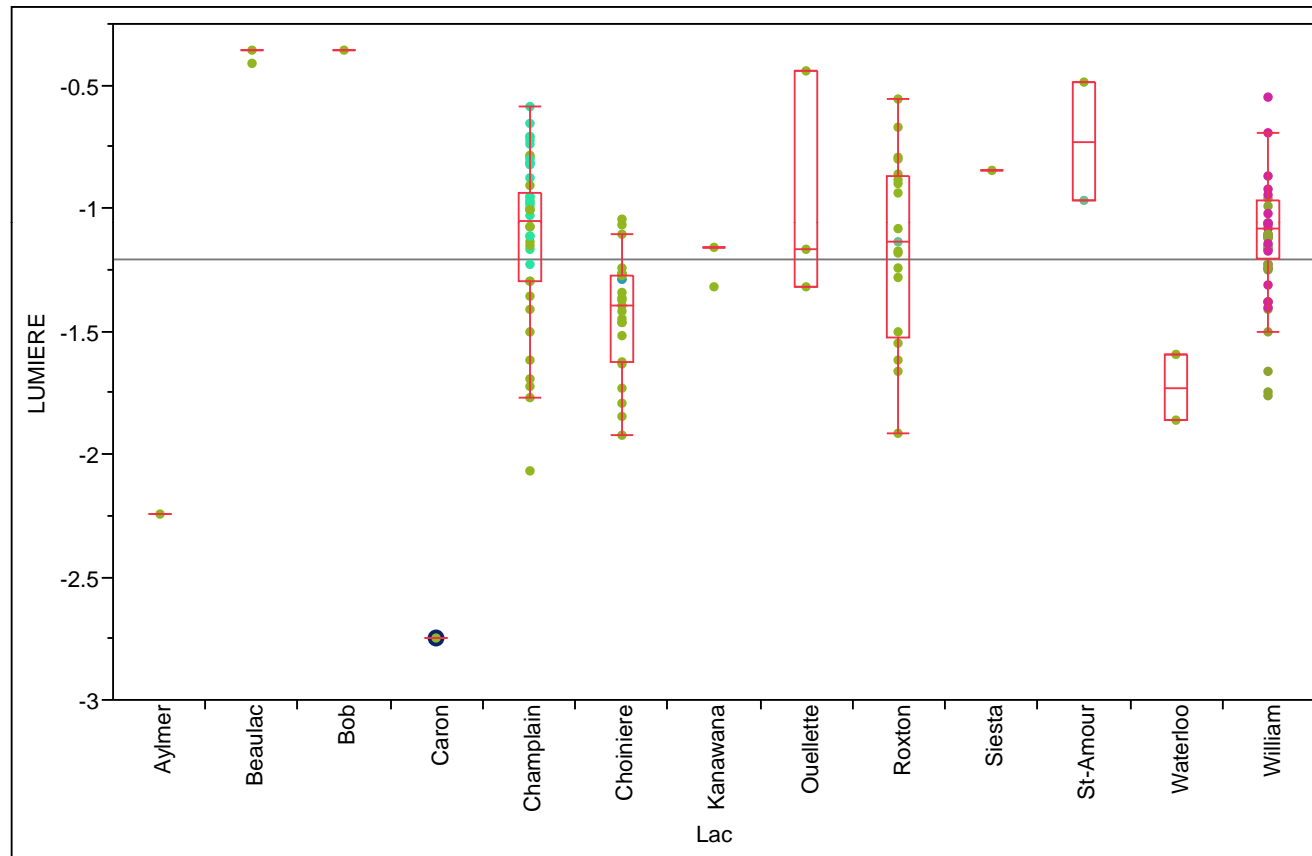
Est-ce qu'un modèle existe pour prédire la densité maximale des fleurs d'eau?

Non; à Caron, une fois, essentiellement toute la biomasse se trouvait dans la zone littorale.

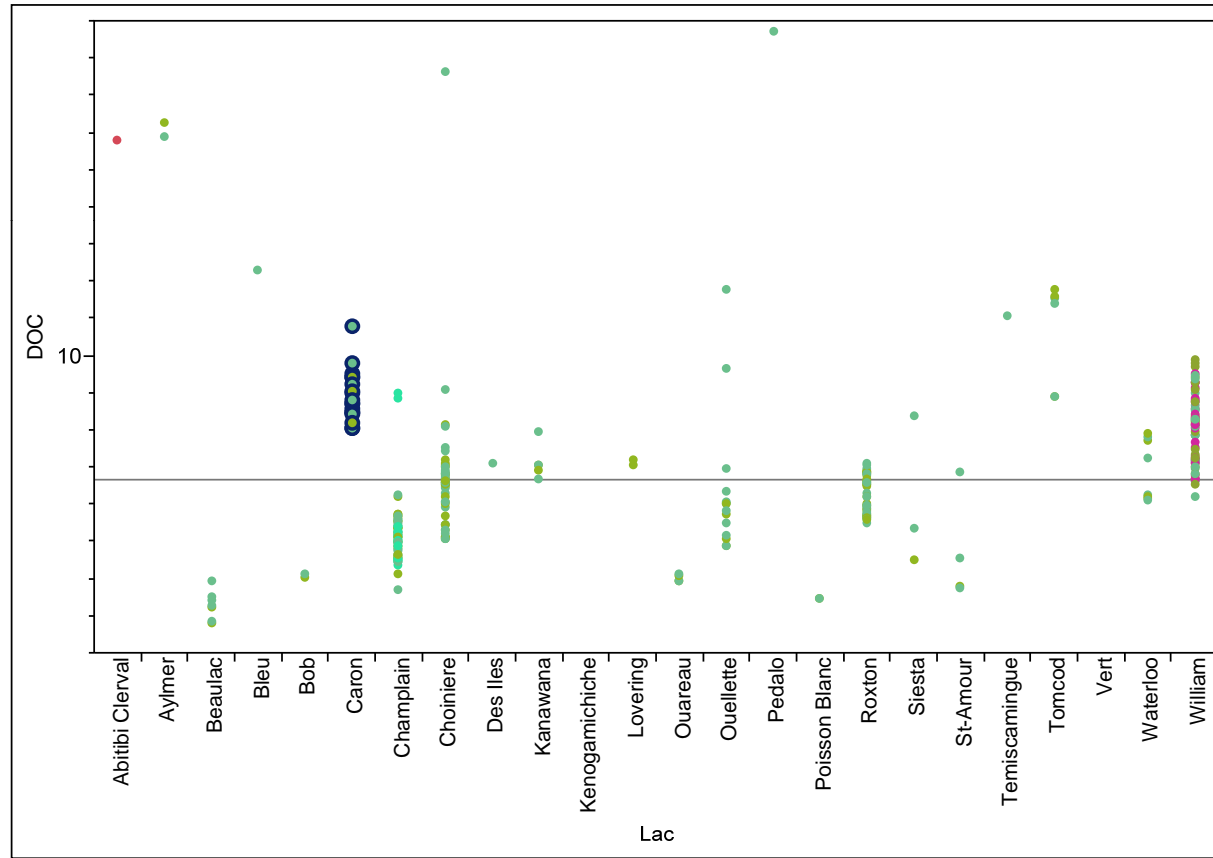


La plus importante la biomasse, la plus la densité littorale pourrait être amplifiée.

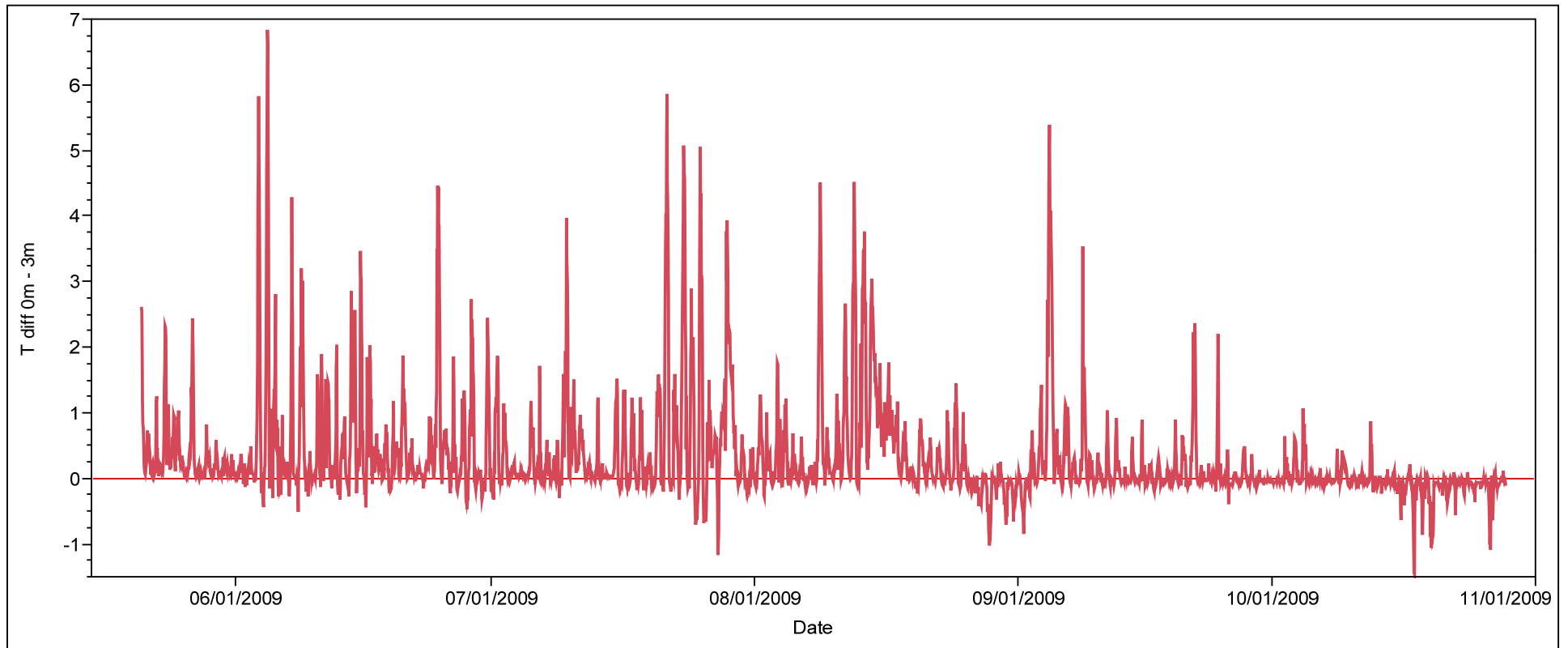
Pourquoi Caron : peu profond, mais sombre



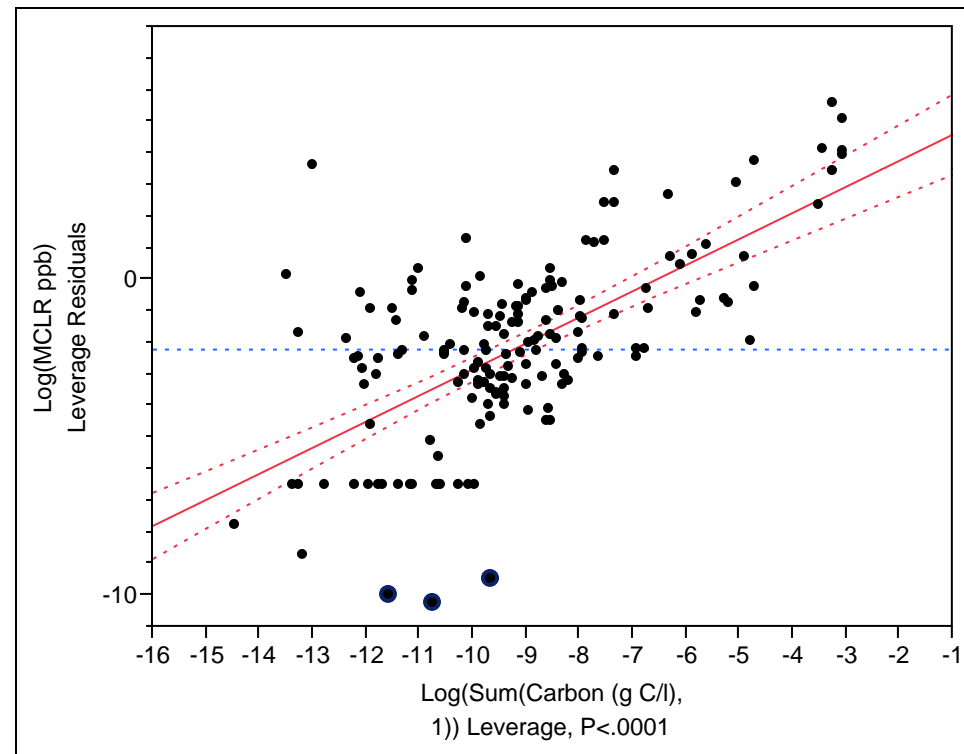
Pourquoi Caron : plein de matière en décomposition



Le recrutement des cyanobactéries est étroitement relié à leur vie sur les sédiments, la chimie des sédiments, et des événements météorologiques



Microcystines prédites par la biomasse totale des cyanobactéries



Qu'est-ce qui explique une forte concentration de microcystine (autre que la présence des algues bleues)

Fortement corrélée avec la concentration de P dans la zone pélagique, au large

Fortement corrélée à la concentration de N dans la zone littorale, à la rive

Nous proposons qu'une forte concentration de N dans les cellules permet la production des aérotopes (bulles de flottation protéiques) et en même temps les microcystines (protéiques aussi)

Ceci expliquerait en même temps pourquoi il y a plus de microcystine par gène dans la zone littorale

Conclusions

La biomasse du phytoplancton est contrôlée par le phosphore

La composition du phytoplancton et surtout la toxicité est contrôlée par de l'azote

Disponibilité de l'azote dépend de l'héritage de la biomasse de l'année précédente (en plus de la charge annuelle!)

La microcystine dissoute ne se présente à des niveaux préoccupants (corollaire – la décomposition des toxines dissoutes est très rapide)

La morphologie de la cuvette est critique car les cyanobactéries savent profiter des sédiments

Conclusions

Espèces toxigéniques et non toxigéniques identifiées et plusieurs mises en culture

a surveiller en tout temps: *Microcystis aeruginosa*

et dans certains lacs connus: *Woronichinia* et *Planktothrix*

Les accumulations modérées dans les lacs autrement propres ne constituent pas un risque important pour la récréation

Les « endotoxines » sont associées aux accumulations de biomasse et non nécessairement aux algues bleues elles-mêmes