



ÉCOLE  
**POLYTECHNIQUE**  
M O N T R É A L



**CHAIRE**  
**INDUSTRIELLE CRSNG**  
**EN EAU POTABLE**



**Problématique des fleurs d'eau  
de cyanobactéries dans les  
clarificateurs des stations d'eau  
potable**

**Arash Zamyadi, Ph.D.**  
**Michèle Prévost, Ph.D.**

*FRQNT FORUM DE TRANSFERT SUR LES CYANOBACTÉRIES*

*9 février 2012*

# Plan de la présentation

- Rappel d'un événement en 2010
- Projet 2011
- Percée & accumulation des cyanobactéries dans 3 usines au Québec
- Conclusions
- Suite du projet et pistes de solutions





# Rappel d'un événement en 2010

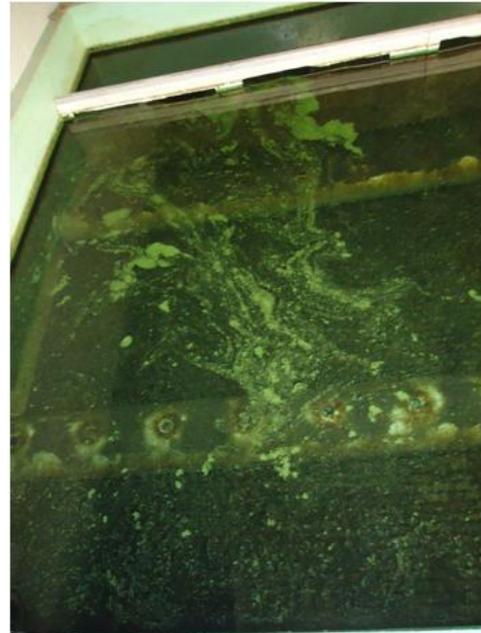
## Percée des cyanobactéries dans une usine de filtration au Québec



**Eau surface de la prise d'eau**  
(3 jours avant la détection du bloom dans l'usine)



**Eau surface de la prise d'eau**  
(le jour même de la détection du bloom dans l'usine)



**Écume en surface du décanteur**

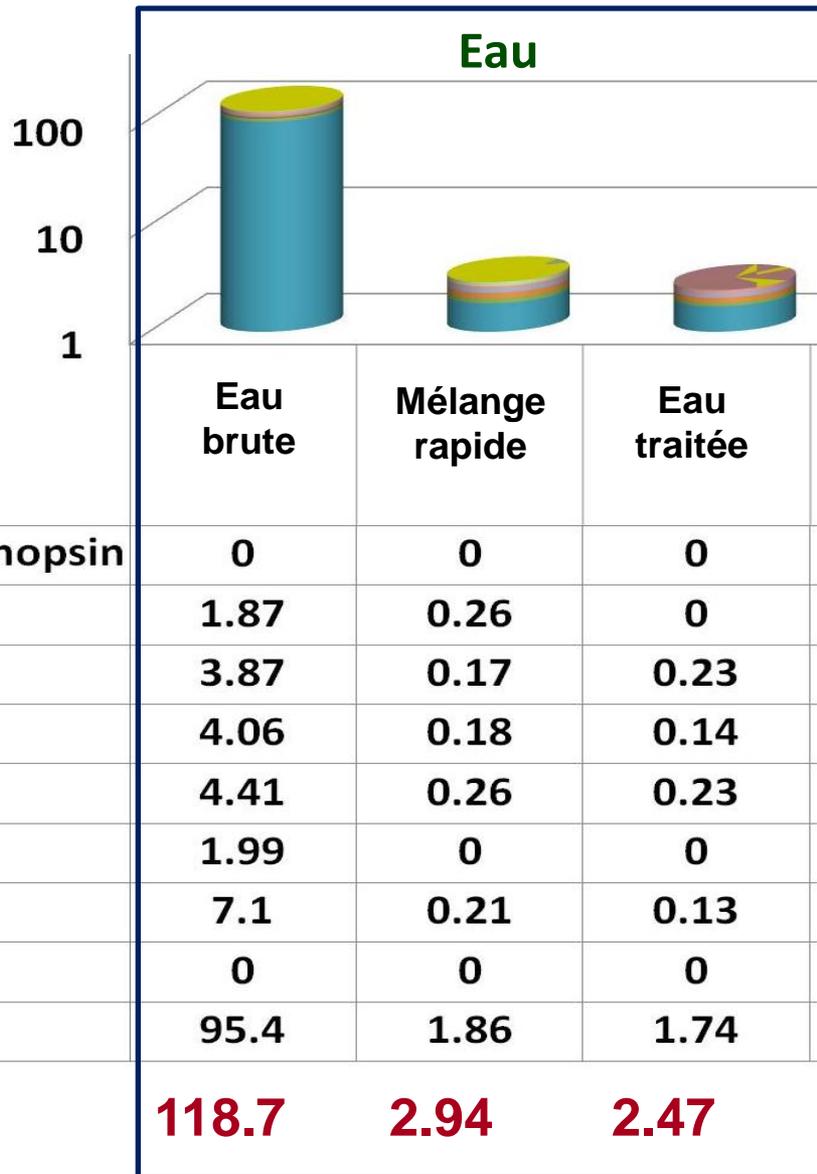


**Surface du filtre**



# Percée des cyanotoxines dans une usine de filtration au Québec (2010)

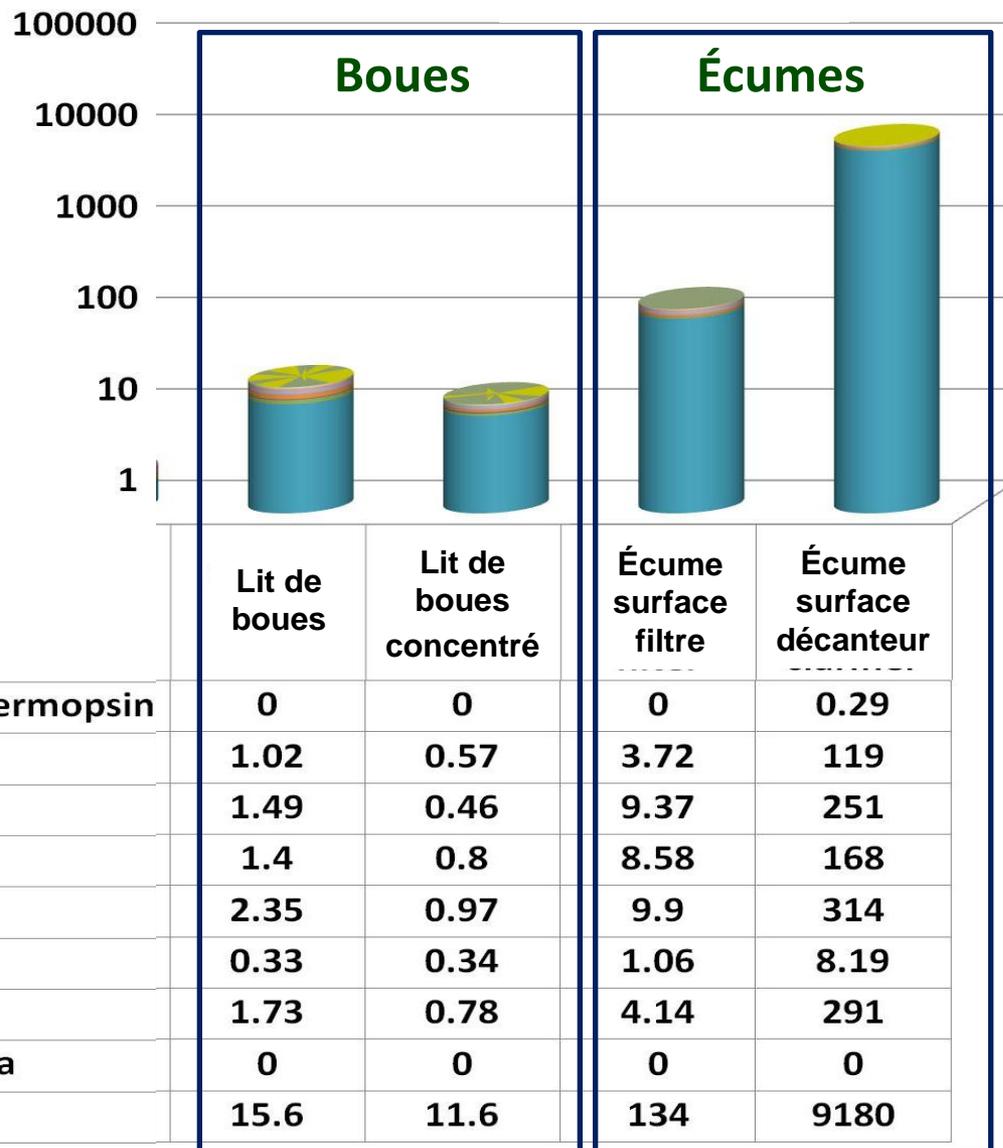
Toxines (µg/L)





# Accumulation des cyanotoxines dans une usine de filtration au Québec (2010)

Toxines (µg/L)



<span style="color: yellow;">■</span> Cylindrospermopsin	0	0	0	0.29
<span style="color: lightgreen;">■</span> MC-LF	1.02	0.57	3.72	119
<span style="color: lightcoral;">■</span> MC-LW	1.49	0.46	9.37	251
<span style="color: lightblue;">■</span> MC-LY	1.4	0.8	8.58	168
<span style="color: orange;">■</span> dm-MC-LR	2.35	0.97	9.9	314
<span style="color: purple;">■</span> MC-YR	0.33	0.34	1.06	8.19
<span style="color: olive;">■</span> MC-RR	1.73	0.78	4.14	291
<span style="color: darkred;">■</span> Anatoxine-a	0	0	0	0
<span style="color: teal;">■</span> MC-LR	15.6	11.6	134	9180



# Gestions de percées et accumulation des CB et de leurs toxines dans les usines de traitement

## Passage à travers la filière de traitement si:

- La filière de traitement est insuffisante ou fonctionne mal
- Les concentrations à l'affluent dépassent les capacités de traitement
- Les cellules s'accumulent dans un procédé



### Water Research

Volume 46, Issue 5, 1 April 2012, Pages 1511–1523

Cyanobacteria: Impacts of climate change on occurrence, toxicity and water quality management



## Toxic cyanobacterial breakthrough and accumulation in a drinking water plant: A monitoring and treatment challenge

Arash Zamyadi<sup>a</sup>, Sherri L. MacLeod<sup>b</sup>, Yan Fan<sup>a</sup>, Natasha McQuaid<sup>a</sup>, Sarah Dorner<sup>a</sup>, Sébastien Sauvé<sup>c</sup>, Michèle Prévost<sup>a</sup>

<sup>a</sup> École Polytechnique de Montreal, Civil, Mineral and Mining Engineering Department, P.O. Box 6079, Station Centre-ville, Montreal, Quebec, Canada H3C 3A7

<sup>b</sup> Environment Canada, 10 Wellington Street, Gatineau, QC, Canada K1A 0H3

<sup>c</sup> Department of Chemistry, Université de Montréal, C.P. 6128, Centre-ville, Montréal, QC, Canada H3C 3J7



## **Gestions de percées et accumulation des CB et de leurs toxines dans les usines de traitement**

### **Les observations de 2010 ont mis en évidence:**

- **la vulnérabilité potentielle d'autres prises d'eau et l'intérêt d'effectuer un suivi plus intensif dans des sites considérés à risque**
- **l'absence d'informations sur la durée et la fréquence des événements de pointes de cyanobactéries et de cyanotoxines à l'eau brute, leur intensité et les répercussions subséquentes au long de la filière de traitement**
- **Les résultats contradictoires sur la capacité des procédés de traitement par décantation (temps de rétention hydraulique et temps de rétention des solides)**



## Projet 2011

# Problématique de fleurs d'eau de cyanobactéries dans 3 usines de traitement d'eau potable au Québec

**Objectif global : Développer les connaissances sur l'occurrence et la gestion des épisodes de prolifération des cyanobactéries dans les usines d'eau potable**

**Objectifs spécifiques :**

- (1) compléter une revue critique des informations disponibles sur la surveillance et le traitement des cyanobactéries et leurs toxines pour la production d'eau potable;**
- (2) effectuer un suivi systématique de la présence des cyanobactéries et de leurs toxines;**
- (3) enquêter sur l'état des connaissances des exploitants sur l'existence des guides d'interventions actuels et des seuils d'alarme chez les exploitants;**
- (4) adapter les solutions scientifiques et techniques et les seuils d'alarme aux besoins locaux.**

**Équipe: École Polytechnique, Université de Montréal et MDDEP**



# Projet 2011: Problématique de fleurs d'eau de cyanobactéries dans les clarificateurs de 3 usines de traitement d'eau potable au Québec

**Surveillance en continu avec les multisondes YSI dans l'usine à l'eau brute, à l'eau en surface du clarificateur, à l'eau filtrée et l'eau traitée.**



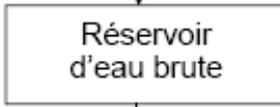
- Appel téléphonique quotidien à l'usine de traitement
- Échantillonnage par événement:
  - jusqu'à 5 jours consécutifs lorsque CB élevées
  - EAUX brute, décantée, filtrée et traitée
  - ÉCUMES : surface de clarificateur et de filtre; lit de boues du décanteur et boues concentrées à l'extracteur.

# Filière de traitement

1ère & 2ème usines: sans préozonation mais avec charbon activé  
3ème usine: avec préozonation, mais sans charbon activé

## Pré-traitements

Eau brute



- Enlèvement des toxines dissoutes
- Lyse cellulaire et risque très élevé d'augmentation des niveaux de toxine dissoute

Pré-ozonation/  
charbon activé

- Pas d'enlèvement des cellules intactes et des toxines intracellulaires
- Enlèvement des toxines dissoutes

## Traitements conventionnels

- Enlèvement des cellules intactes et des toxines intracellulaires
- Pas d'impact sur les toxines dissoutes

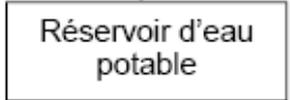


Ajustement de pH

Désinfection (post-chloration)

## Désinfection

- Enlèvement des toxines dissoutes
- Lyse cellulaire et risque très élevé d'augmentation des toxines dissoutes

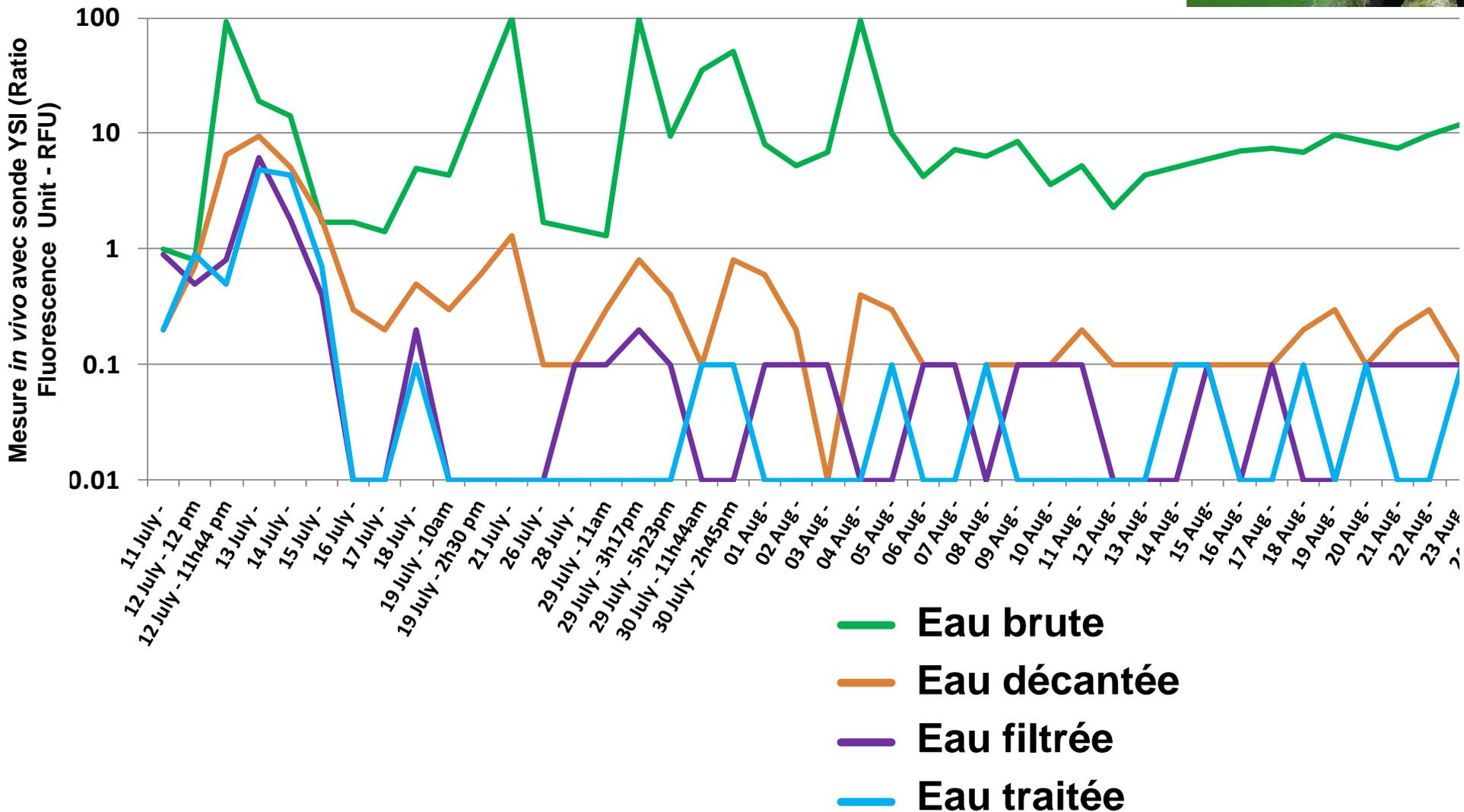


Réseau de distribution



# Projet 2011 – Usine de filtration #1

## Mesures *in vivo* avec sonde d'YSI



# Projet 2011 – Usine de filtration #1

Mesures *in vivo* avec sonde d'YSI



Mesure *in vivo* avec sonde YSI (Ratio  
Fluorescence Unit - RFU)

100  
10  
1  
0.1  
0.01

11 July -  
12 July - 12 pm  
12 July - 11h44 pm  
13 July -  
14 July -  
15 July -  
16 July -  
17 -

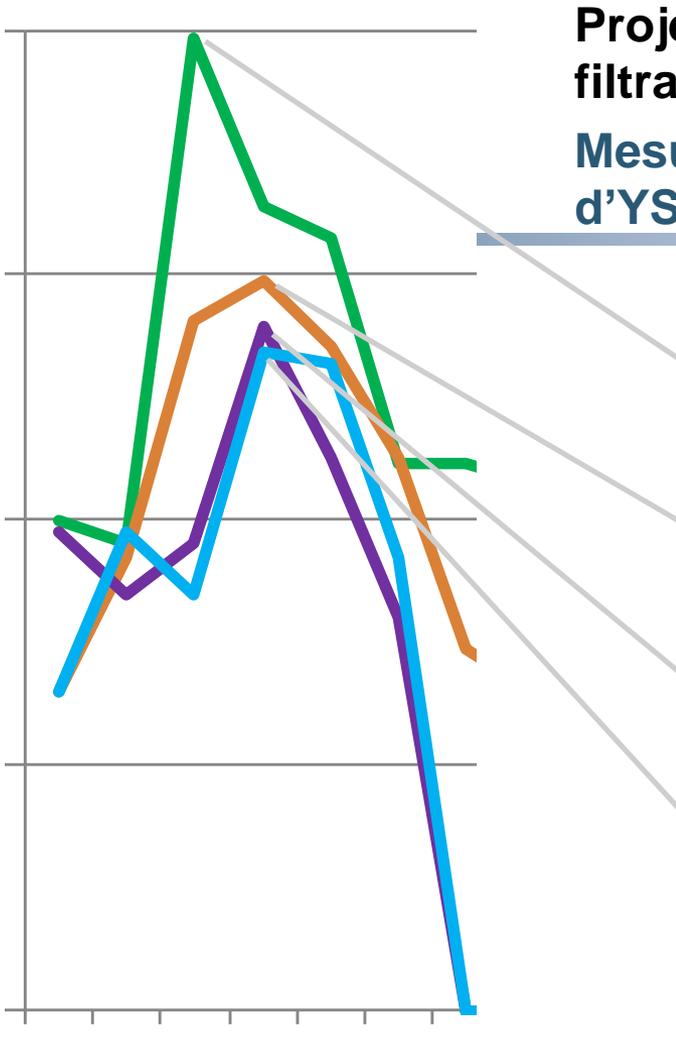
692 000 cellules/mL

23 000 cellules/mL

8 800 cellules/mL

3 700 cellules/mL

- Eau brute
- Eau décantée
- Eau filtrée
- Eau traitée





# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1: 12 juillet 2011

**12 juillet  
midi**



**Surface de l'eau**

**Turbidité à l'eau brute dans l'usine: 11.5 UTN**

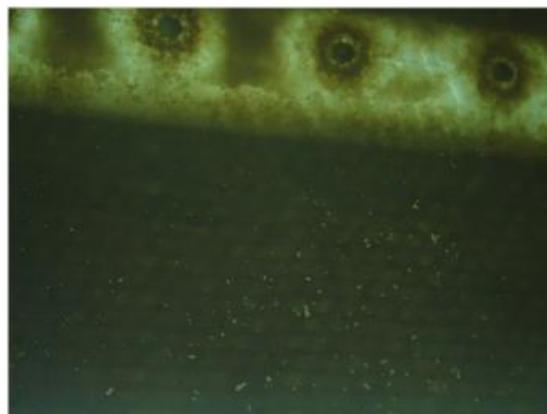
**12 juillet  
minuit**



**Surface de mélangeur rapide**

**Turbidité à l'eau brute dans l'usine: 42.5 UTN**

**12 juillet  
minuit**



**Post-décantation  
(Surface du décanteur)**

**Turbidité normale de sortie de décanteur : 0,4-0,2 UTN**

**Turbidité de sortie de décanteur : 2.3 UTN**

**12 juillet  
minuit**



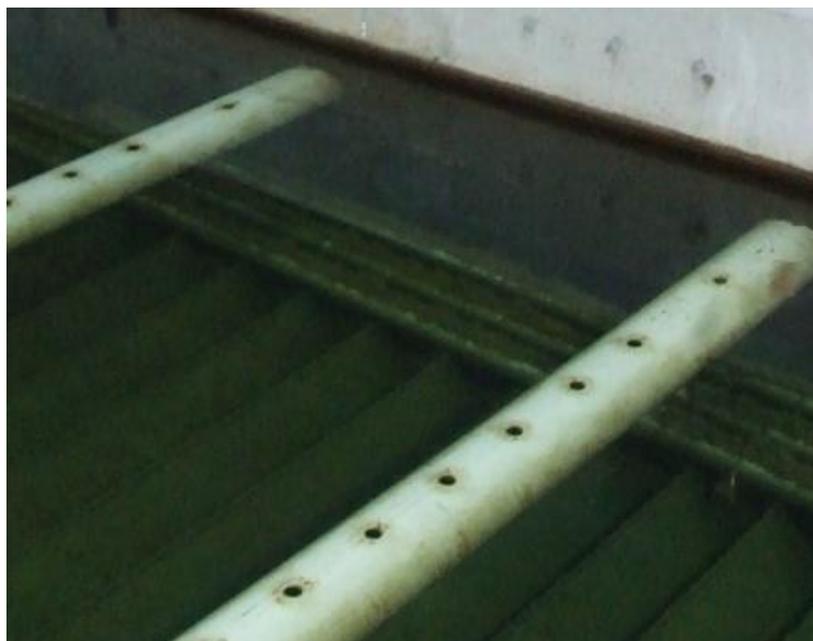
**Surface du filtre**

**Turbidité normale de sortie de filtre: 0,07-0,04 UTN**

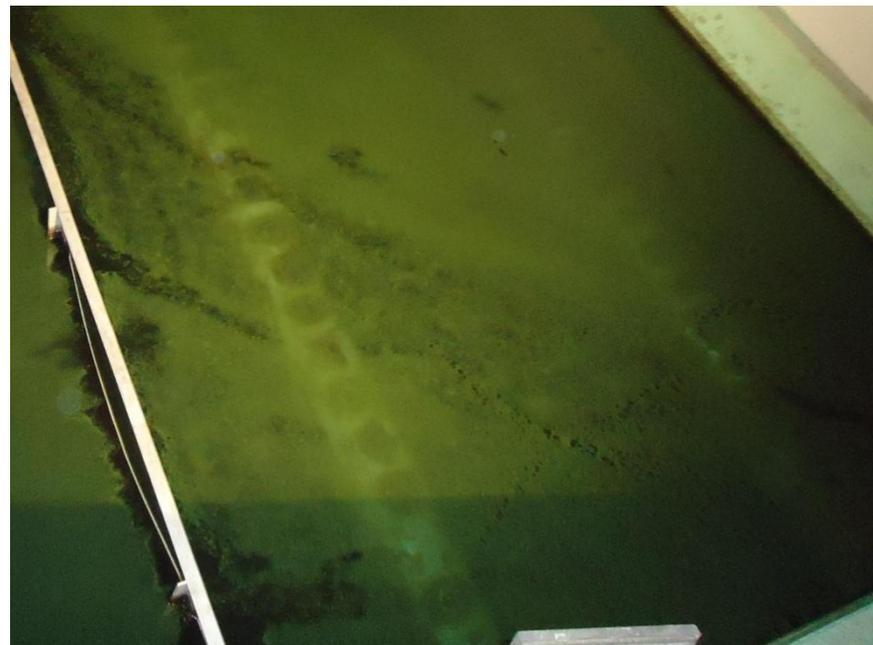
**Turbidité de sortie de filtre: 0,5-0,7 UTN**



# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1: 13 & 14 juillet 2011



**Post-décantation normale**  
(Surface du décanteur)



**13 juillet: Post-décantation**  
(Surface du décanteur)

**Turbidité normale de sortie de filtre: 0,07-0,04 UTN**

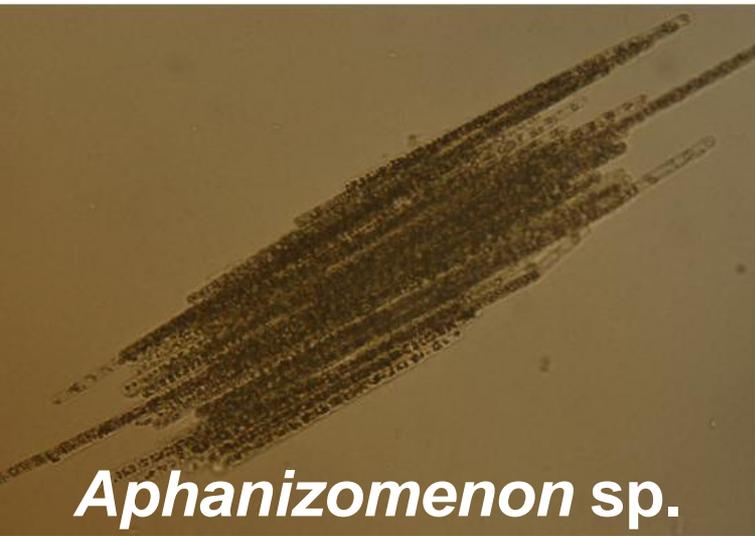
**13 juillet: turbidité de sortie de filtre: 1,37-0,90 UTN**

**14 juillet: turbidité de sortie de filtre: 0,42-0,30 UTN**



# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1: Impact des espèces sur l'efficacité des réactifs ajoutés

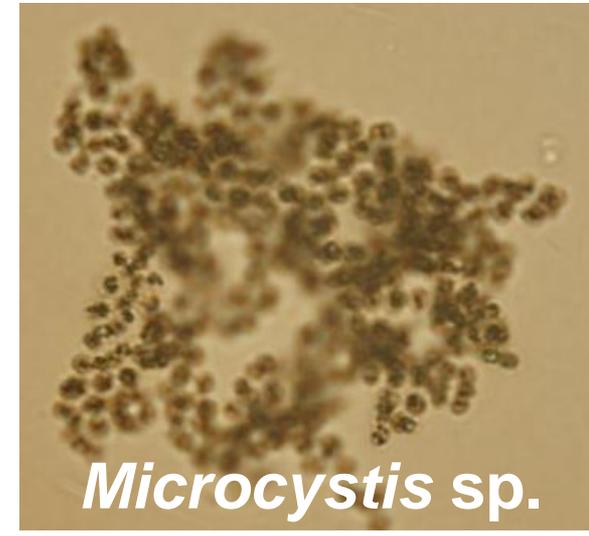
Les espèces de cyanobactéries identifiées lors de ces événements:



*Aphanizomenon* sp.



*Anabaena* sp.



*Microcystis* sp.

**Espèce dominante**

**Moins efficace**

Coagulant de 12 juillet: PAX-XL6  
Polyaluminium Chloride  
Al conc.:5.4% ; Avec Sulfate ;  
Moins de basicité

**Moins efficace**

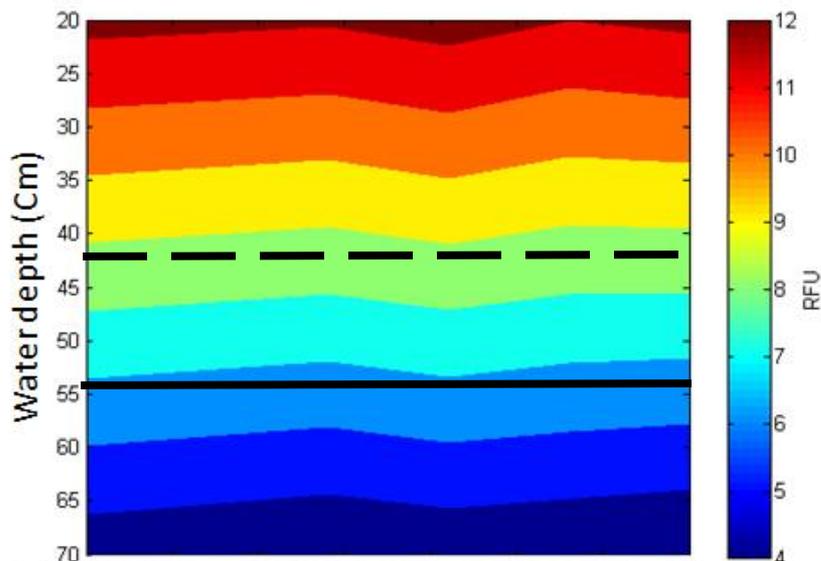
Coagulant de test: PAX-18  
Polyaluminium Chloride  
Al conc.:9.0% ; Pas de Sulfate ;  
Plus de basicité



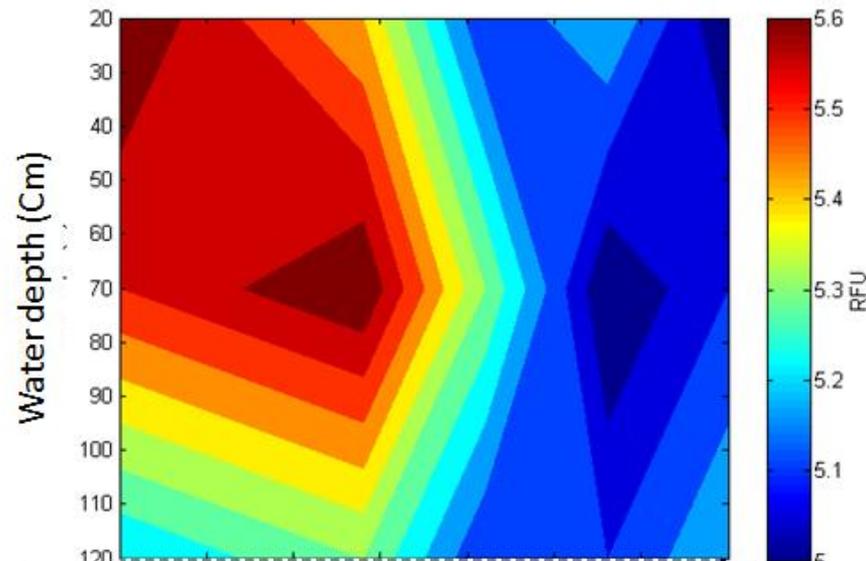
# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1

mesure *in vivo* de PC le 12 juillet 2011, 23h50

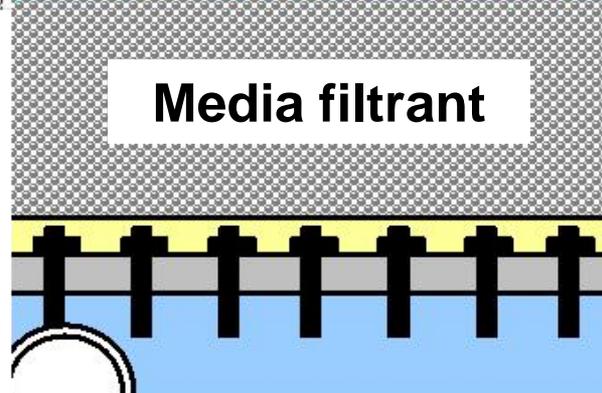
## Décanteur



## Filtre



Media filtrant

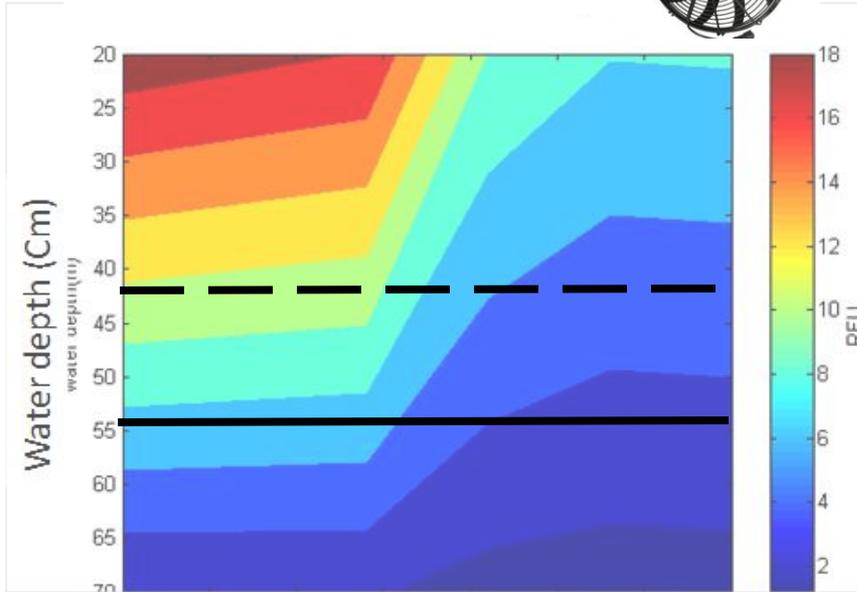




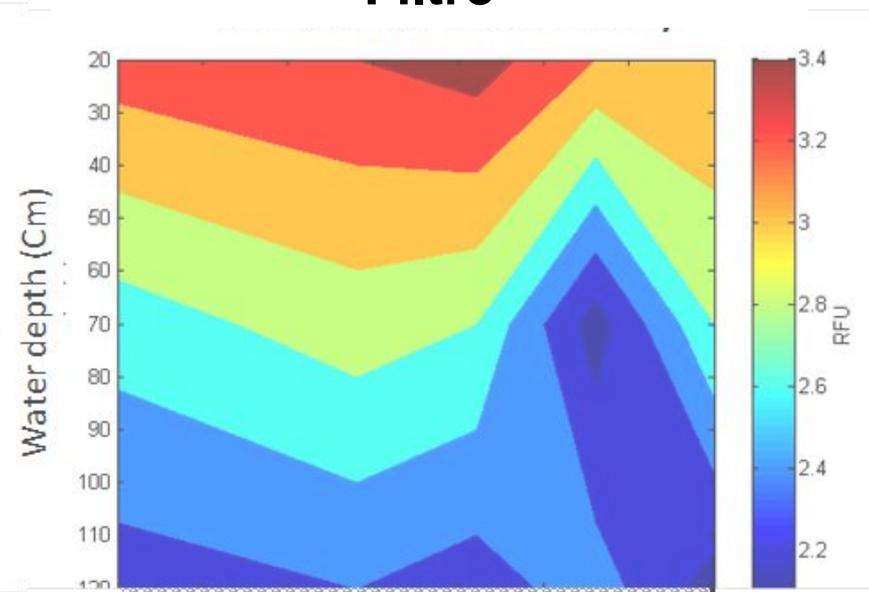
# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1

## mesure *in vivo* de PC le 14 juillet 2011

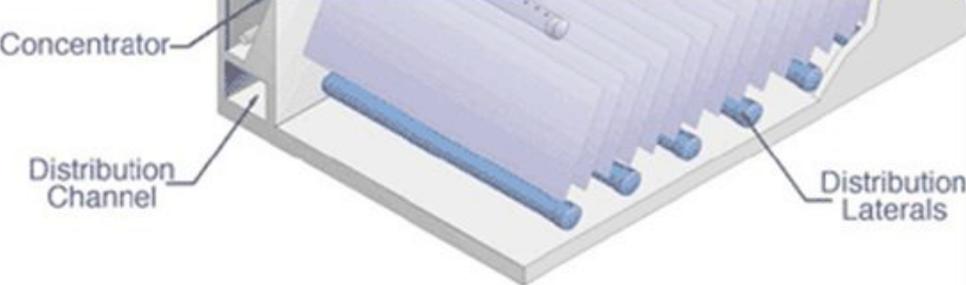
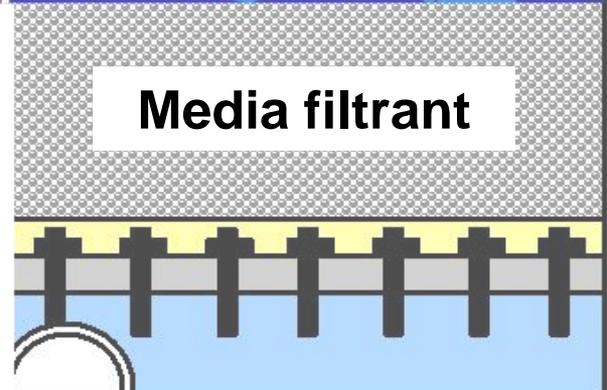
### Décanteur



### Filtre



### Media filtrant

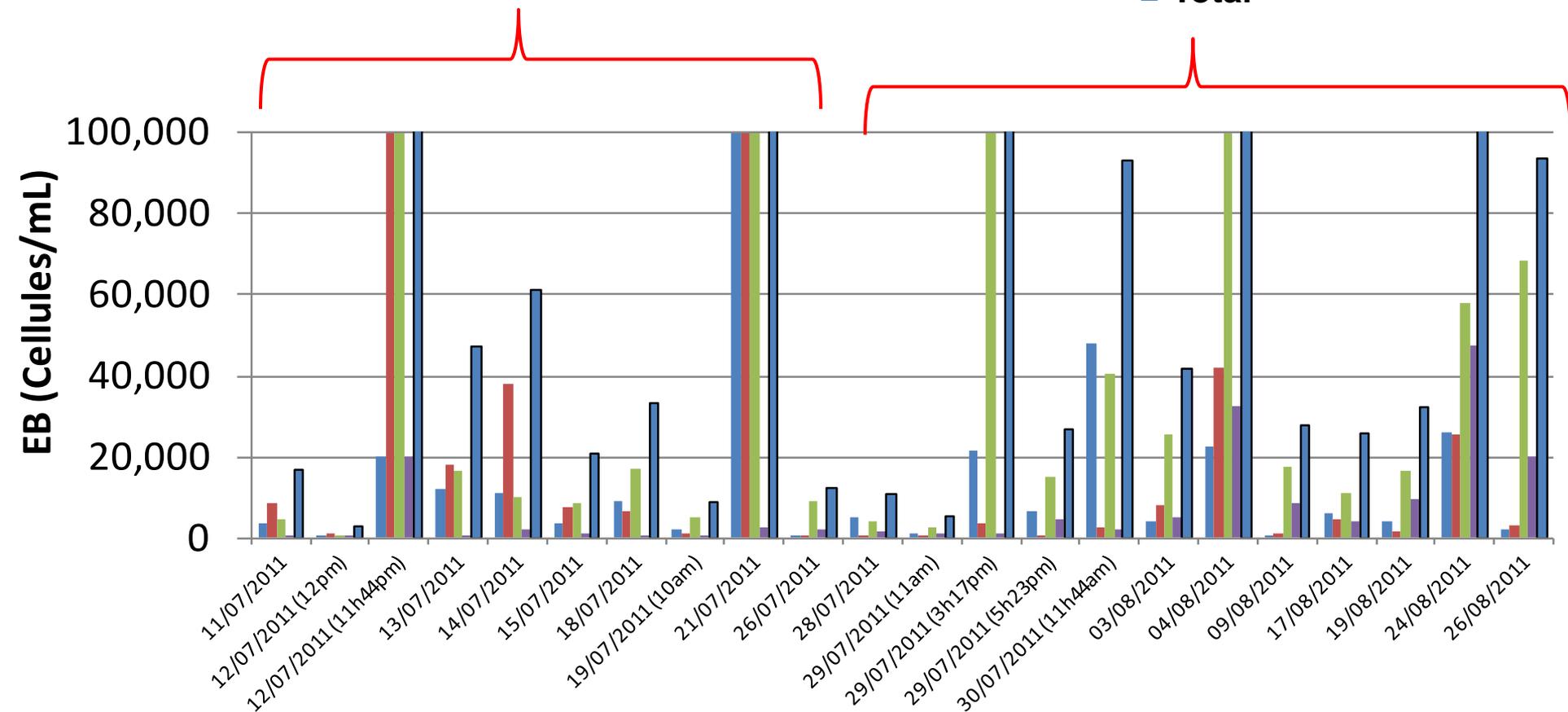




# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1:

## Nombre de cellules/mL à l'eau brute

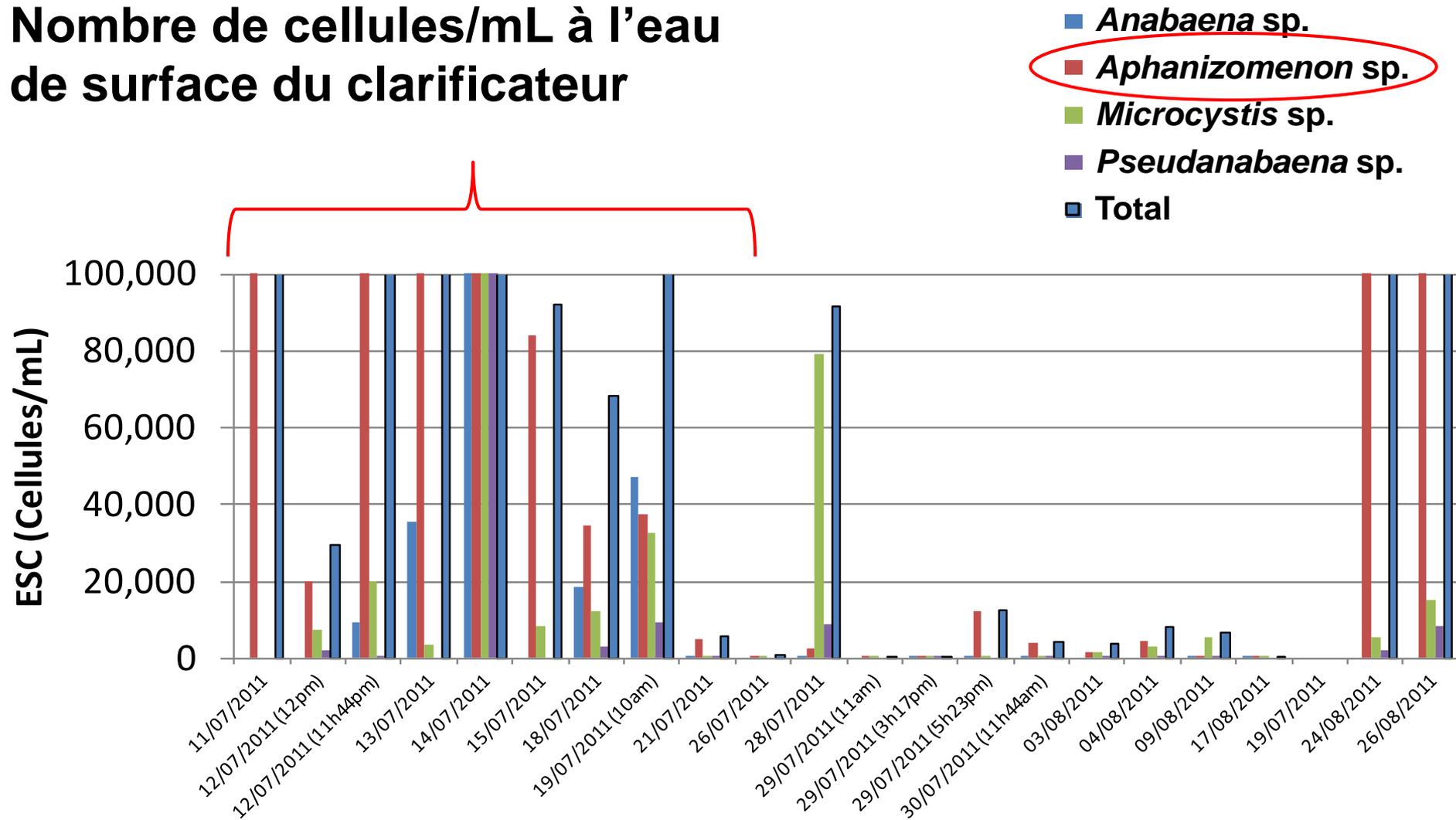
- Anabaena sp.**
- Aphanizomenon sp.**
- Microcystis sp.**
- Pseudanabaena sp.**
- Total**





# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1:

## Nombre de cellules/mL à l'eau de surface du clarificateur

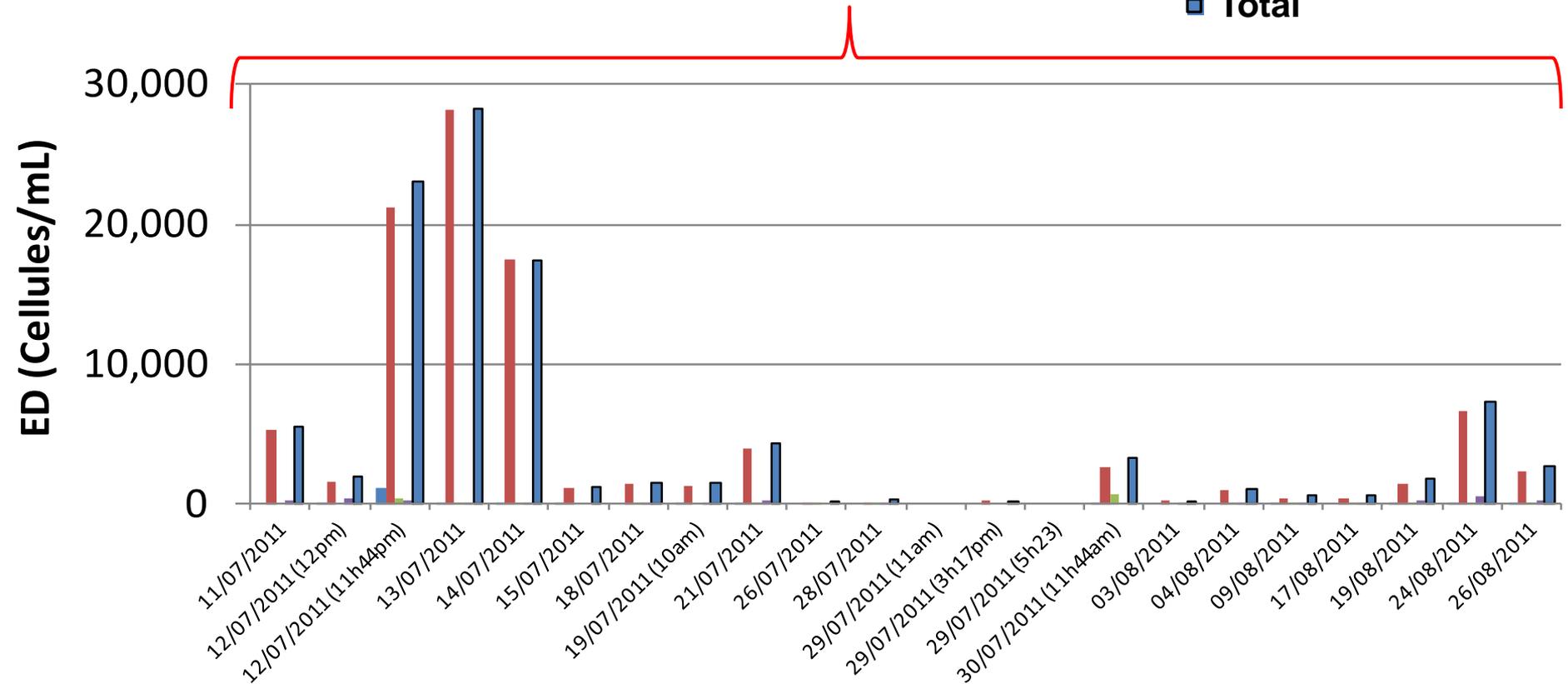




# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1:

## Nombre de cellules/mL à l'eau décantée

- Anabaena sp.**
- Aphanizomenon sp.**
- Microcystis sp.**
- Pseudanabaena sp.**
- Total**

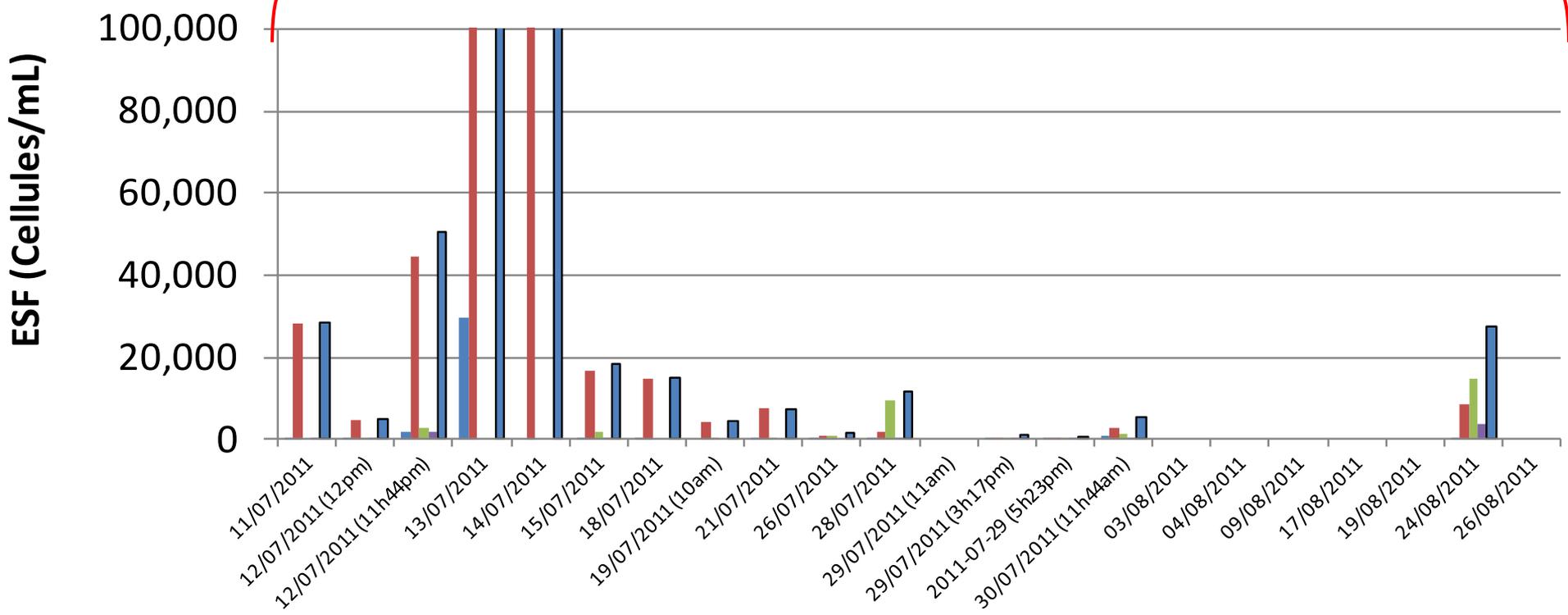




# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1:

## Nombre de cellules/mL à l'eau de surface du filtre

- *Anabaena* sp.
- *Aphanizomenon* sp.
- *Microcystis* sp.
- *Pseudanabaena* sp.
- Total

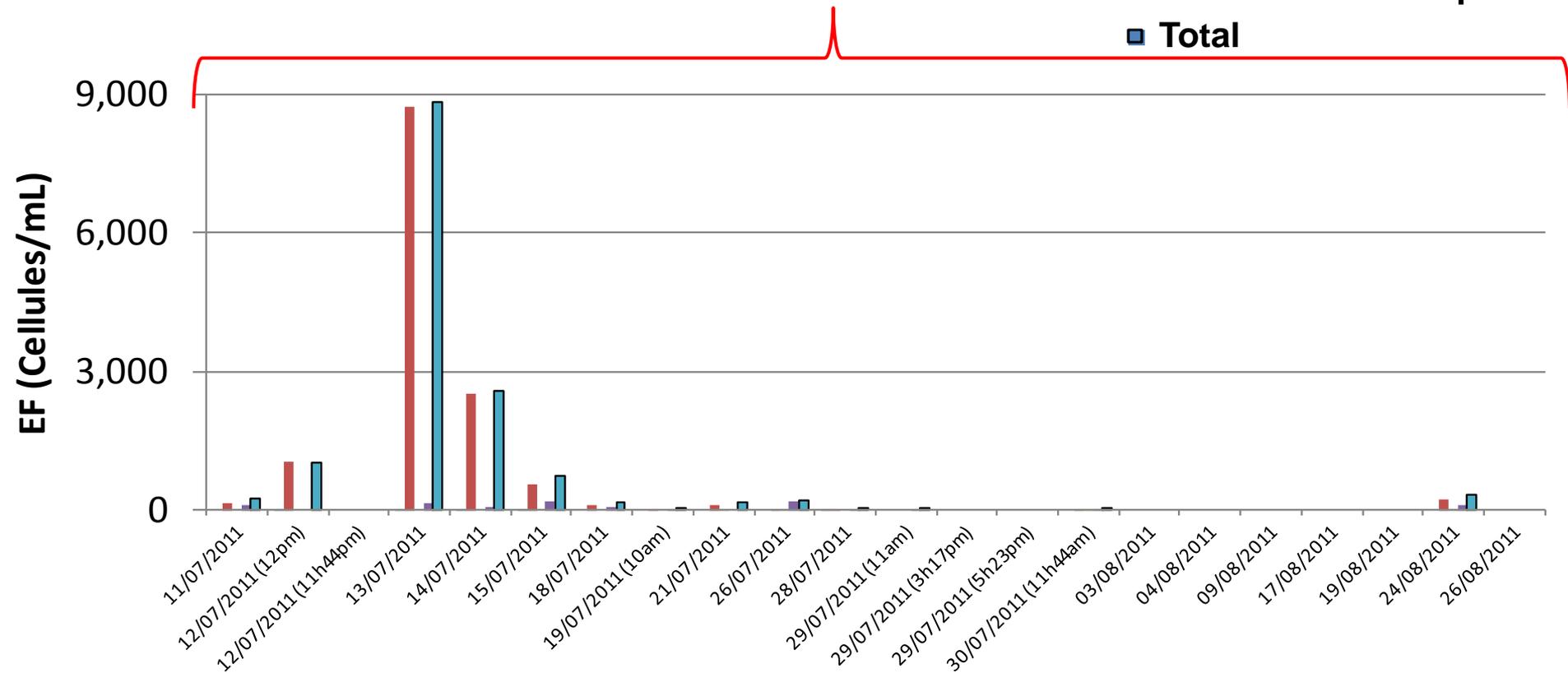




# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1:

## Nombre de cellules/mL à l'eau filtrée

- Anabaena sp.**
- Aphanizomenon sp.**
- Microcystis sp.**
- Pseudanabaena sp.**
- Total**

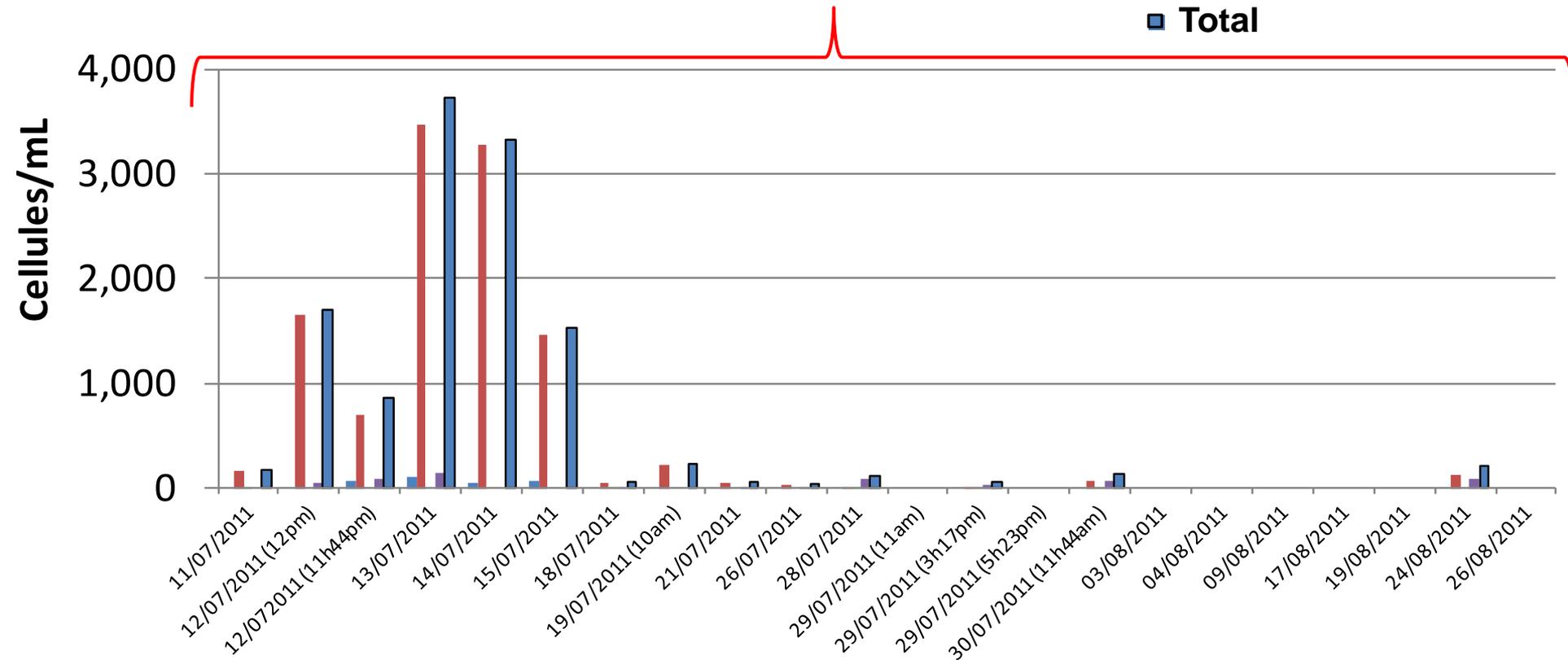




# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1:

## Nombre de cellules/mL à l'eau traitée

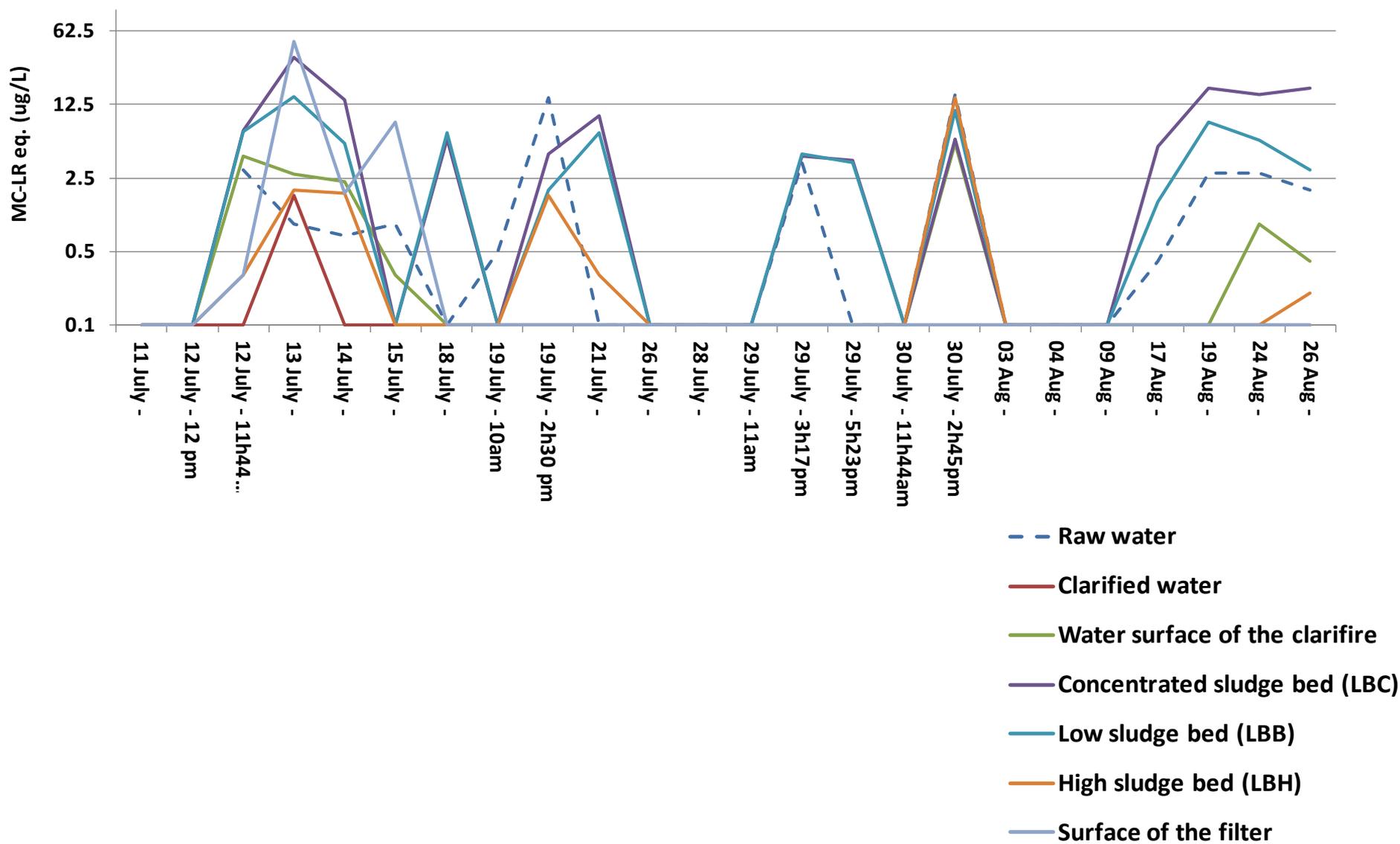
- Anabaena sp.**
- Aphanizomenon sp.**
- Microcystis sp.**
- Pseudanabaena sp.**
- Total**





# Percée des cyanobactéries dans l'usine de filtration #1:

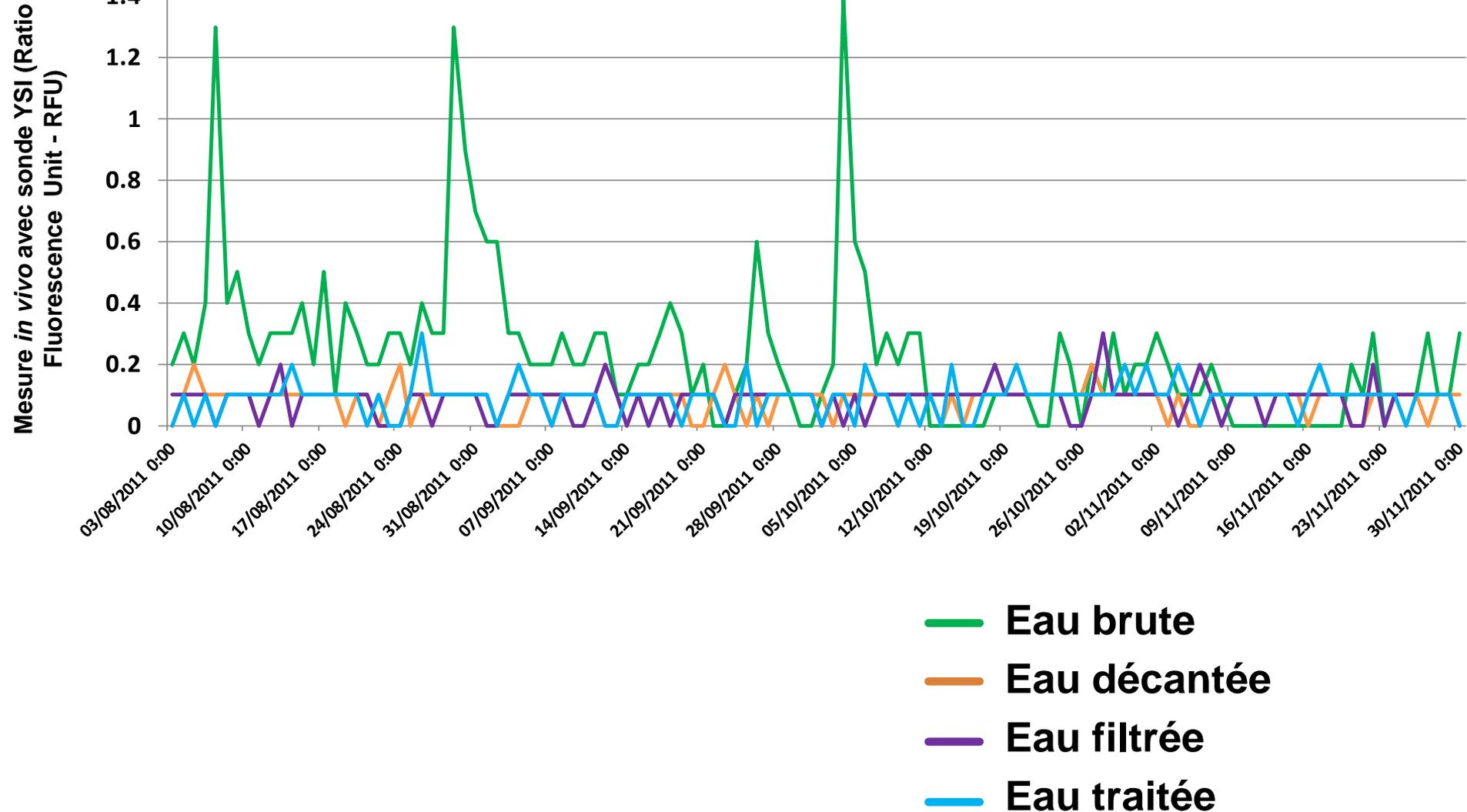
## Concentrations de MC-LR eq. par kit ELISA





# Projet 2011 – Usine de filtration #2

## Mesures *in vivo* avec sonde d'YSI





# Projet 2011 – Usine de filtration #2

## Mesures *in vivo* avec sonde d'YSI

Genres \ ESC	19/08/2011	20/08/2011	22/08/2011	30/08/2011	14/09/2011
<i>Anabaena</i>	15,970	28	269	4	
<i>Aphanizomenon</i>	11,700	1,753	652	352	435
<i>Microcystis</i>	1,088,450	1,750	209	1,198	22,294
<i>Pseudanabaena</i>	80,690				2,342
<i>Gloetrichia</i>	253,497	2,400	1,950	8,400	2,250
<b>Total</b>	<b>1,434,337</b>	<b>5,903</b>	<b>2,811</b>	<b>9,950</b>	<b>27,321</b>

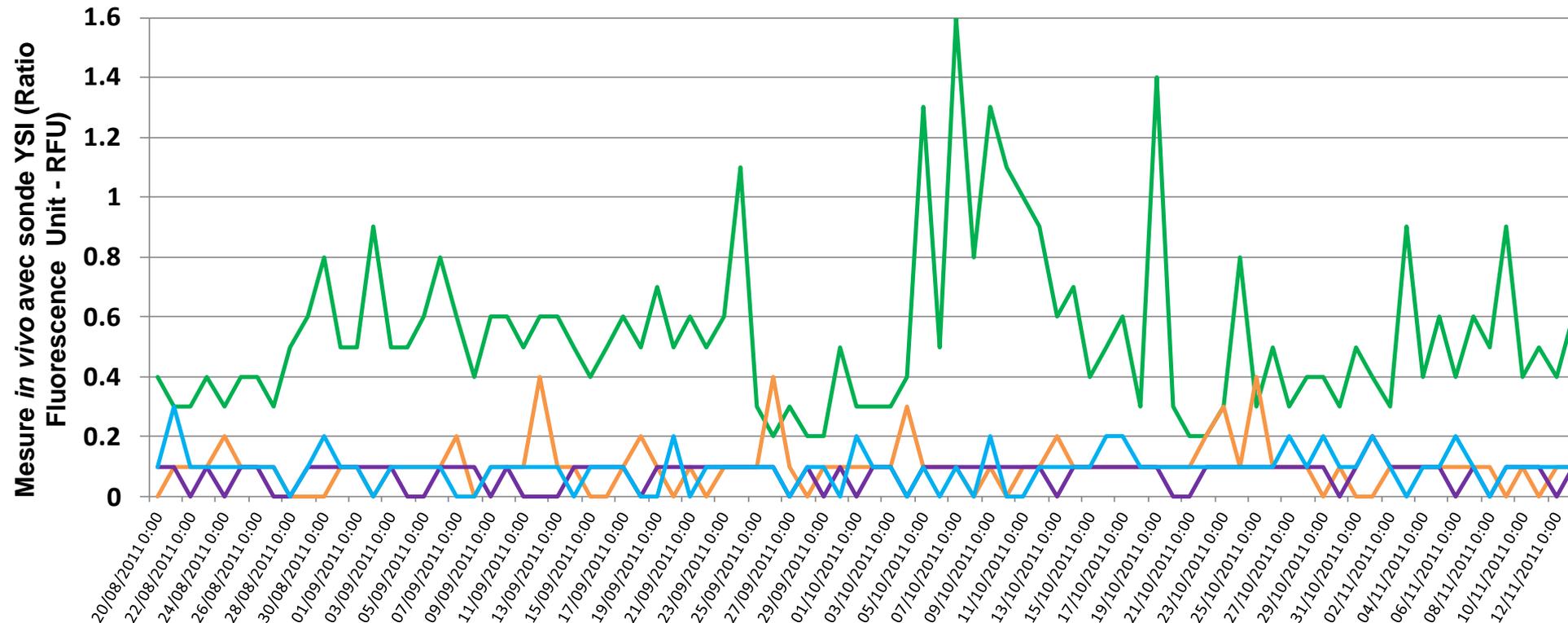
**Rien à l'eau décantée**





# Projet 2011 – Usine de filtration #3

## Mesures *in vivo* avec sonde d'YSI



- Eau brute
- Eau décantée
- Eau filtrée
- Eau traitée

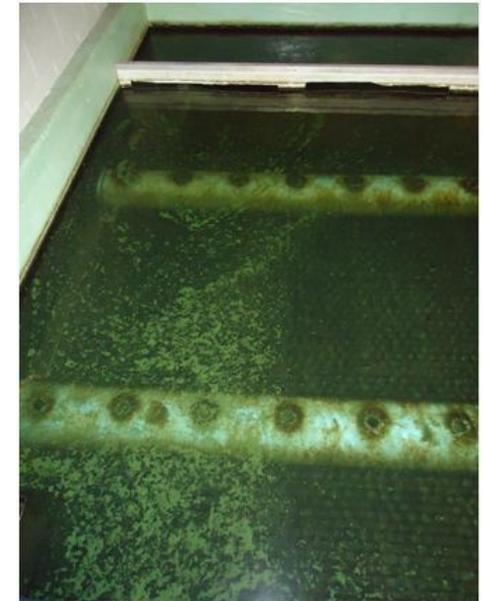


# Projet 2011 – Usine de filtration #3

## Mesures *in vivo* avec sonde d'YSI

ESC	04/08/2011	09/08/2011	19/08/2011	22/08/2011	23/08/2011	31/08/2011	14/09/2011	27/10/2011
<b>Genres</b>								
<i>Anabaena</i>	54	3	15	174				
<i>Aphanizomenon</i>	1,275	83	77	83	122	112	119	742
<i>Microcystis</i>	40,188	7,582	683	21,430	2,336	12,409	34,238	69,645
<i>Pseudanabaena</i>	257	147		1,028		183	1,169	10,244
<i>Cuspidothrix</i>			51					
<i>Gloeotrichia</i>	1,500	1,200	900	10,091		900		
<b>Total</b>	<b>43,274</b>	<b>9,015</b>	<b>1,726</b>	<b>32,806</b>	<b>2,458</b>	<b>13,604</b>	<b>35,526</b>	<b>80,631</b>

**Rien à l'eau décantée**





# Conclusions

- Les CBs et toxines entrent dans l'usine et sont relativement bien enlevées par le traitement mais peuvent passer à l'eau traitée
- Des concentrations extrêmes de cyanobactéries peuvent entrer dans l'usine pendant des périodes prolongées (>24H)
- Les variations de CB à l'eau brute peuvent être très rapides (facteur de 100X en moins de 24 h) : **besoin de mesures en temps réel**
- Les détections *in vivo* avec les sondes de PC et Chla permettent aux opérateurs d'ajuster leur traitement en se basant sur le suivi de la percée des CBs dans l'usine
- Les CBs perturbent le traitement au point où la filtration n'est plus efficace pour enlever la turbidité et ne respecte pas les obligations réglementaires (crédits CT)



# Conclusions

- **Les espèces présentes ont un impact sur les performances de la coagulation et la décantation**
  - **La sonde n'est pas capable de distinguer les espèces présentes ou de choisir le meilleur type de coagulant en fonction des espèces présentes**
- **Les CBs et leurs toxines s'accumulent dans le lit de boues et forment des écumes au-dessus des décanteurs et des filtres**
  - **Le décanteur n'est pas un milieu de croissance mais un site d'accumulation**
- **Les sondes sont un outil idéal pour le suivi des CB à la prise d'eau, dans le plan d'eau à proximité de la prise d'eau et dans l'usine de traitement**



# Suite du projet

- **Compiler et analyser**
  - le nombre et les espèces de cyanobactérie dans les boues
- **Compléter l'enquête auprès des municipalités**
- **Identifier les pistes de solution pour la surveillance, le traitement et la gestion des écumes**
- **Déposer le rapport final (mars 2012)**

## *A la Chaire CRSNG*

- **Travaux en cours sur la préozonation des cellules et toxines (L. Coral)**



# Pistes de solutions

- **A court terme**
  - Surveillance *in vivo* à l'eau brute et filtrée
  - Plan d'intervention d'ajustement du traitement
    - coagulants, CAP, CAG, pré-oxydation, etc.
  - Écumage de surface des décanteurs et des filtres
  - Fermeture temporaire de la prise d'eau
  - Traitement des boues et des eaux de lavage
  - Traitement des cyanobactéries dans la source
    - Ultrasons, etc.
- **A moyen terme**
  - Déplacer la prise d'eau
  - Modifier l'usine (ajout de microtamis, membranes, ozone)
- **A long terme**
  - La protection de la source
  - La restauration d'un plan d'eau



# Remerciements

- MDDEP – Service Eaux Municipales et Région Estrie
- 3 usines de filtration au Québec
- Chaire industrielle CRSNG en eau potable
- Centre d'expertise en analyses environnementales du Québec
- Fonds de recherche - nature et technologies

**JOHN MEUNIER**  **VEOLIA**  
WATER

 **ÉCOLE**  
**POLYTECHNIQUE**  
M O N T R É A L

  
**CHAIRE**  
**INDUSTRIELLE CRSNG**  
**EN EAU POTABLE**

 Natural Sciences and Engineering  
Research Council of Canada

Conseil de recherches en sciences  
naturelles et en génie du Canada

**Montréal** 

 **LAV****AL**

*Ministère du*  
*Développement durable,*  
*de l'Environnement*  
*et des Parcs*

**Québec** 

*Fonds de recherche*  
*Nature et*  
*technologies*

**Québec** 



**CHAIRE  
INDUSTRIELLE CRSNG  
EN EAU POTABLE**

[arash.zamyadi@polymtl.ca](mailto:arash.zamyadi@polymtl.ca)

[www.arashzamyadi.com](http://www.arashzamyadi.com)