

Année 2017

Suivi de la cyanobactérie ***Planktothrix rubescens***
dans le lac du Bourget

Synthèse n°1

Stéphan JACQUET

INRA CARTEL Thonon-les-Bains

30 juin 2017

Le retour de *P. rubescens* qui avait été constaté à l'automne 2016 s'est confirmé tout au long de l'année 2017.

A la vue de la couleur du prélèvement au filet fin mai (voir photo ci-dessous), puis des comptages INRA qui ont suivi, le CISALB a été informé (les comptages et données sonde ont été fournis sans attendre).



Photographie prise sur le pont du bateau, le 29 mai, après le trait de filets (64 et 212 µm) sur la tranche d'eau 0-50 m

Lac du Bourget - *Planktothrix rubescens*

cellules / ml	2 m	6 m	10 m	15 m	20 m	30 m	50 m
29/05/2017	0	0	0	0	16 402	298	0

La cyanobactérie détectée est bien *P. rubescens*.

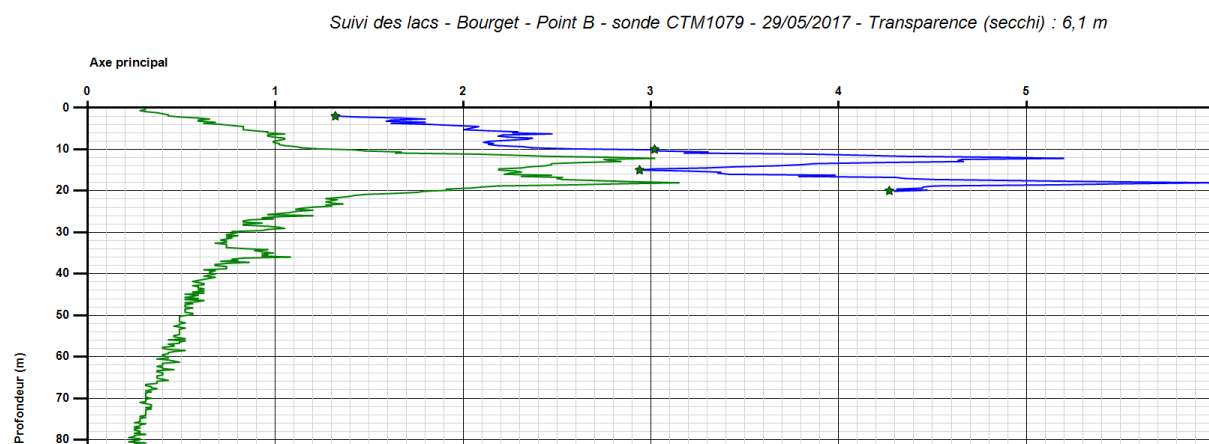
Les concentrations sont élevées mais encore sous le seuil critique des 20 000 cellules/mL.

Les concentrations sont nettement supérieures à celles de l'an dernier à la même date.

CISALB prévenu - vigilance

Le prochain prélèvement devra être associé à une analyse de toxines.

Profil sonde multiparamétrique – pas de BBE disponible



Le prélèvement du 13 juin 2017 était attendu avec impatience et un peu d'inquiétude. Il a révélé un pic de la cyanobactérie vers 22 m, semblant dense, de prime abord (via la BBE).

Les dosages de chlorophylle *a* n'ont pas dépassé 5 µg/L, mais ce n'était pas dans le pic.

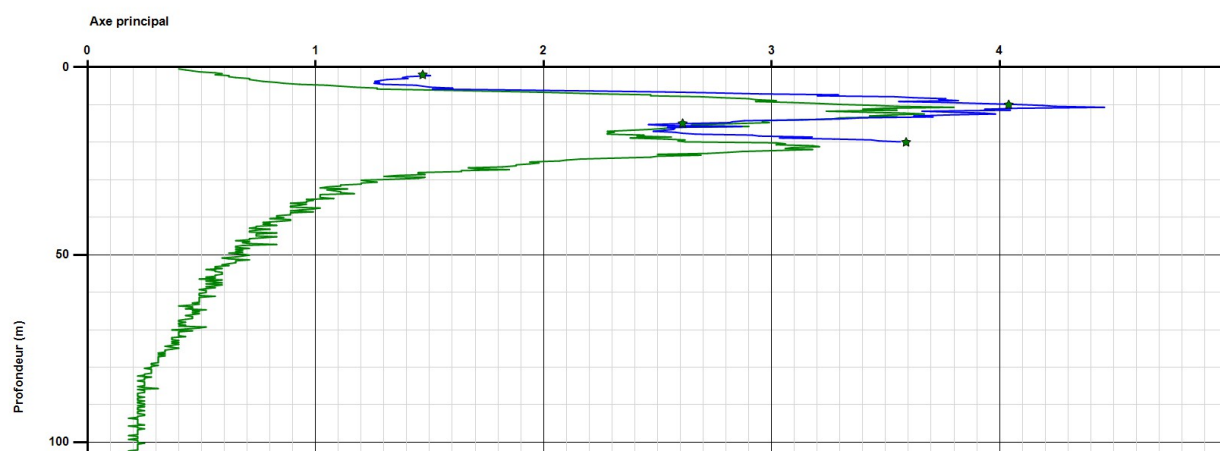
Les nombres de cellules par mL ont effectivement été nettement inférieurs à celles de fin mai, et loin des seuils d'alerte, avec 4920, 1789 et 447 cell/mL à 20, 30 et 50 m. Mais là encore, il ne s'agissait pas de valeurs associées au pic.

Une analyse (comptage de cellules + dosage de microcystines) au niveau du pic (à 22,5 m) a été demandée par le CISALB. Le laboratoire d'analyse agréé (CARSO SLA17-6108) a trouvé 22 400 cell/mL pour le genre *Planktothrix* et 1 µg/L de microcystines totales par méthode ELISA.

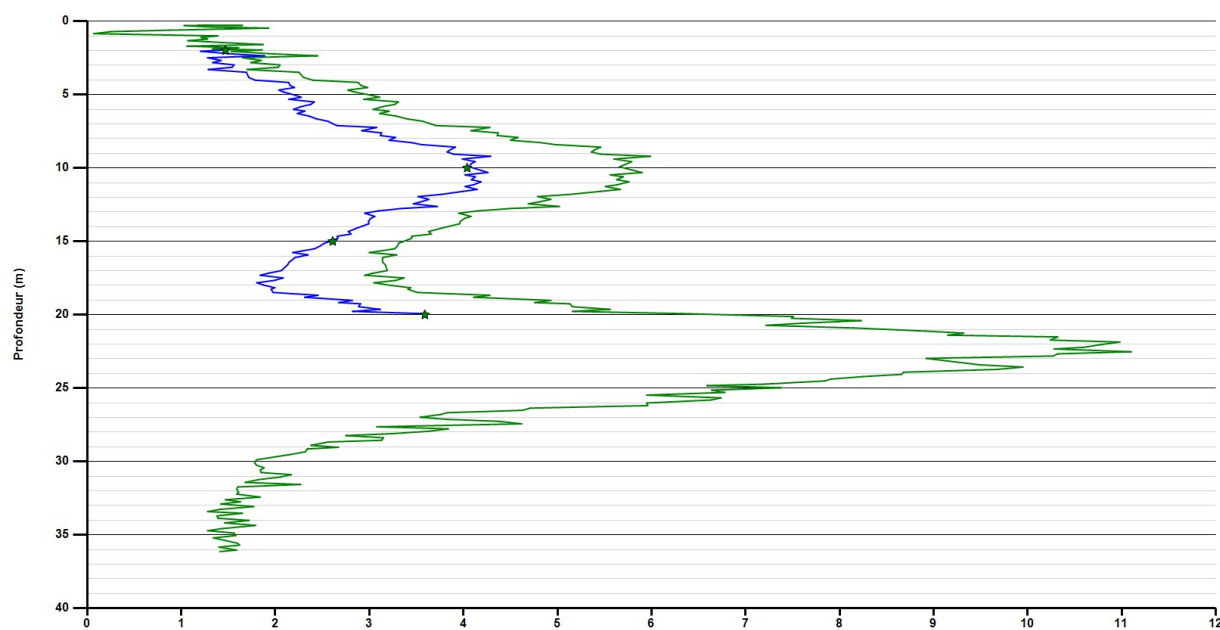
L'ARS a, de son côté, commandé une analyse dans les eaux brutes pompées en baies de Mémard et Tresserve. Ils ont trouvé une concentration en microcystines <0,15 µg/L (limite de détection) pour un nombre de cellules/mL de 1 376 (Mémard, pompage à 35 m) et 14 240 cellules/mL (Tresserve, pompage à 20 m).

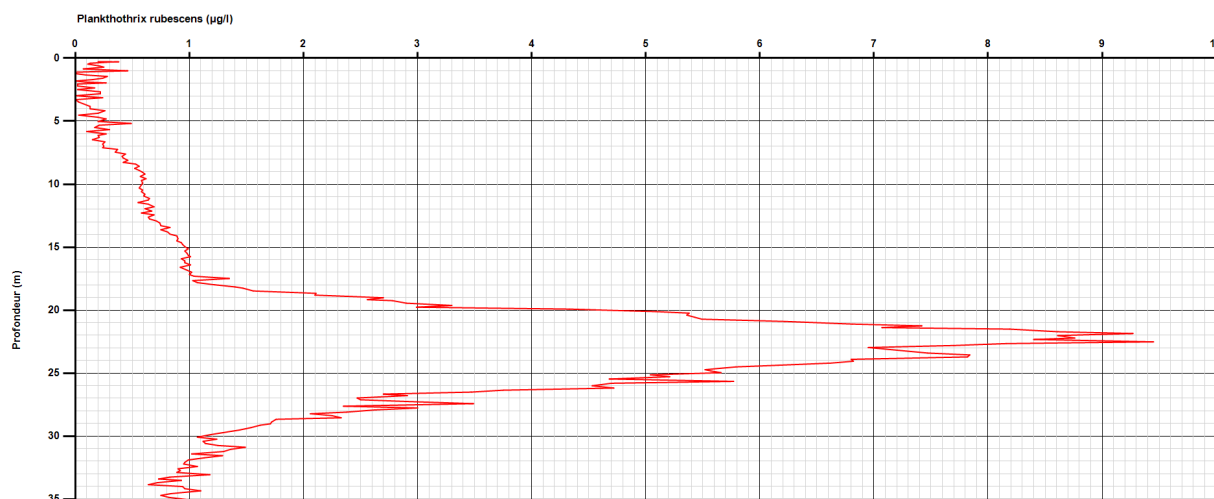
Profils du 13 juin (sondes CTM & BBE)

Suivi des lacs - Bourget - Point B - sonde CTM1079 - 13/06/2017 - Transparence (secchi) : 5,6 m



Suivi des lacs - Bourget - Point B - sonde fluoroprobe BBE - 13/06/2017 - Transparence (secchi) : 5,6 m





Une réunion a été organisée à l'ex CALB (Grand-Lac) le 26 juin 2017 sur la problématique des cyanobactéries.

Il n'y avait pas vraiment d'ordre du jour, je n'en ai pas eu en tout cas.

Cette réunion s'est faite en présence de nombreux représentants (SAUR, Grand-Lac, CISALB, INRA, ARS, personnes invitées, etc...). Au total une vingtaine de personnes était présente.

La discussion a été déclenchée suite à la problématique liée au pompage au lac de la station de Mémard qui a détecté depuis plusieurs mois (11) la présence de *P. rubescens*.

Leur problématique pour l'alimentation en eau de boisson est qu'ils puisent dans le lac ou dans la nappe (puits) mais que cette dernière a une capacité limitée si bien que la question est posée de savoir ce qui va advenir dans les prochains mois (par rapport à la demande) et quelles solutions trouvées si la cyanobactérie reste présente.

Un protocole (de gestion du risque algal) datant de 1998 (que je ne connaissais pas) existe avec une interdiction d'utiliser la ressource à 1 000 cellules/mL. Une question était notamment de savoir si c'est (toujours) pertinent.

J'ai été invité pour parler de la biologie et écologie de la cyanobactérie, de ce qu'il est possible d'attendre eu regard de ce qui est enregistré à ce jour.

Un invité du grand ouest a aussi été invité pour parler de la problématique « cyanobactérie » au sens large, eau de boisson et eau de baignade dans les plans d'eau bretons. En substance, leur étude a révélé ce qui suit :

- Ils raisonnent sur un groupe de cyanobactéries (plus de 10 espèces), pas une seule espèce
- La durée de présence est proportionnelle à leur densité et réciproquement
- Le phosphore est le premier élément nutritif expliquant la présence et les proliférations
- Il existe un seuil de biomasse minimale proposée pour observer une concentration donnée en MCs :
 - $\sim 1 \mu\text{g/L}$ MCs total (dissous + particulaire) = $10^6 \mu\text{m}^3/\text{mL}$ Biovolume cellulaire

- $\sim 13 \mu\text{g/L}$ MCs total (dissous + particulaire) = $10^7 \mu\text{m}^3/\text{mL}$ Biovolume cellulaire
- $\sim 80 \mu\text{g/L}$ MCs total (dissous + particulaire) = $10^8 \mu\text{m}^3/\text{mL}$ Biovolume cellulaire

Une demande est faite par Christophe TOUZEAU (responsable « eau » à Grand-Lac) de fournir les relations connues entre abondances et/ou biomasse de *P. rubescens* et des concentrations en toxines.

Il a été rappelé le prélèvement du lendemain de la réunion et des analyses à faire (comptages et analyses toxines dans le pic – prise en charge demandée à Grand Lac ou ARS).

L'ARS et grand-Lac désirent proposer des seuils d'alerte sur la base de la valeur OMS de $1 \mu\text{g/L}$ (même si celle-ci est fortement discutable – car basé sur un test « souris » avec infection chronique sur plusieurs semaines – avec une seule espèce en culture, *M. aeruginosa*).

J'ai compilé l'ensemble de nos données en termes d'abondances et de mesures de toxines et fournis dès le 29 juin graphiques explications (voir plus loin).

Tous les comptages 2017 ont été faits exceptionnellement et fournis, le même jour (voir plus loin).

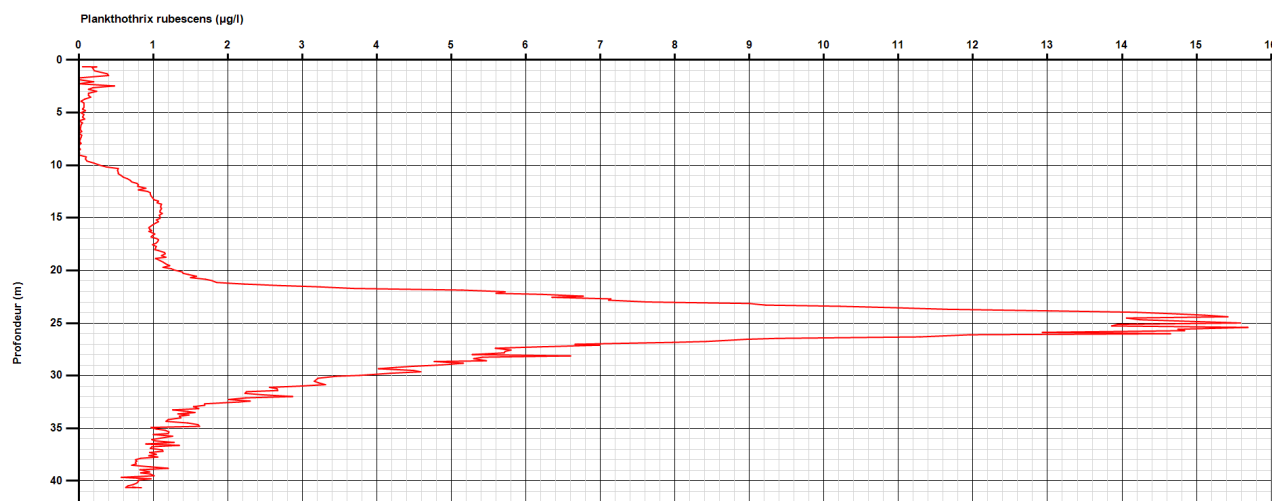
Prélèvement du 27 juin 2017



Photographie prise sur le pont du bateau, le 27 juin, après le trait de filets (64 et 212 μm) sur la tranche d'eau 0-50 m

Profil BBE non corrigé du 27 juin

Suivi des lacs - Bourget - Point B - sonde fluoroprobe BBE - 27/06/2017 - Transparence (secchi) : 8,7 m



Le suivi environnemental du lac du Bourget révèle le 27 juin un pic marqué de la cyanobactérie aux alentours de 15 µg/L à 25 m.

Un flacon de 4 litres dans le pic a été prélevé, donné au CISALB et envoyé au Laboratoire d'analyse pour comptage et mesures des cyanotoxines.

A l'INRA, l'analyse a porté sur un échantillonnage resserré, à savoir des comptages précis aux profondeurs suivantes : 2, 10, 15, 20, 25, 30, 35 et 50 m

Les résultats des comptages pour toute l'année 2017, réalisés par Frédéric RIMET (INRA CARTEL), jusque fin juin sont les suivants :

	<i>Plankthothrix rubescens</i> (nombre de cellules par mL)					
	2 m	10 m	15 m	20 m	30 m	50 m
19/01/2017	4175	2535	3429	4920	4175	1789
22/02/2017	4026	2237	3429	1938	3131	0
09/03/2017	1342	4324	3131	746	447	1044
22/03/2017	0	895	298	1342	1789	1193
11/04/2017	1640	596	2237	3131	1044	596
24/04/2017	0	0	1491	1938	3280	596
10/05/2017	0	447	1044	1938	1640	0
29/05/2017	0	0	0	16402	298	0
13/06/2017	0	0	0	4920	1789	447
27/06/2017	0	0	0	3728	4473	0

Ces valeurs amènent les constats suivants :

- Des abondances relativement élevées sont observés en hiver, constituant un inoculum potentiel pour le reste de l'année (voir plus bas)

- Les abondances en dehors des pics de biomasse ne sont pas élevées et on manque donc potentiellement une information importante (d'où l'intérêt des sondes, de regarder en direct et de prélever en fonction de ce qui est vu)

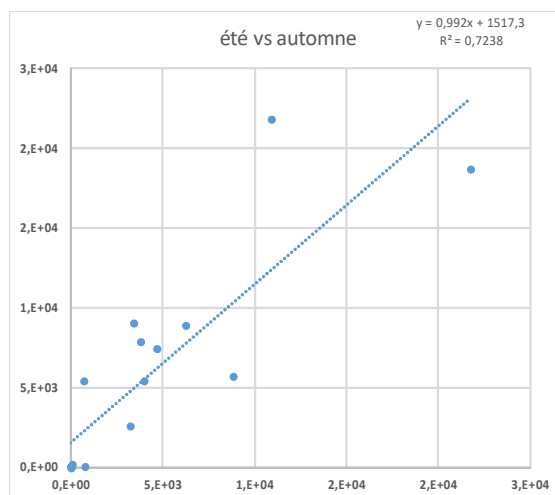
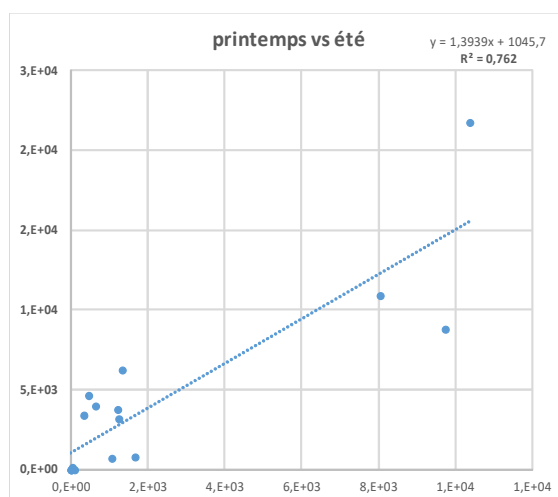
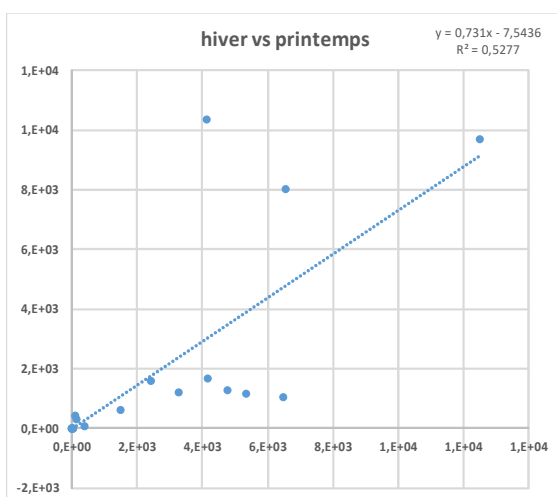
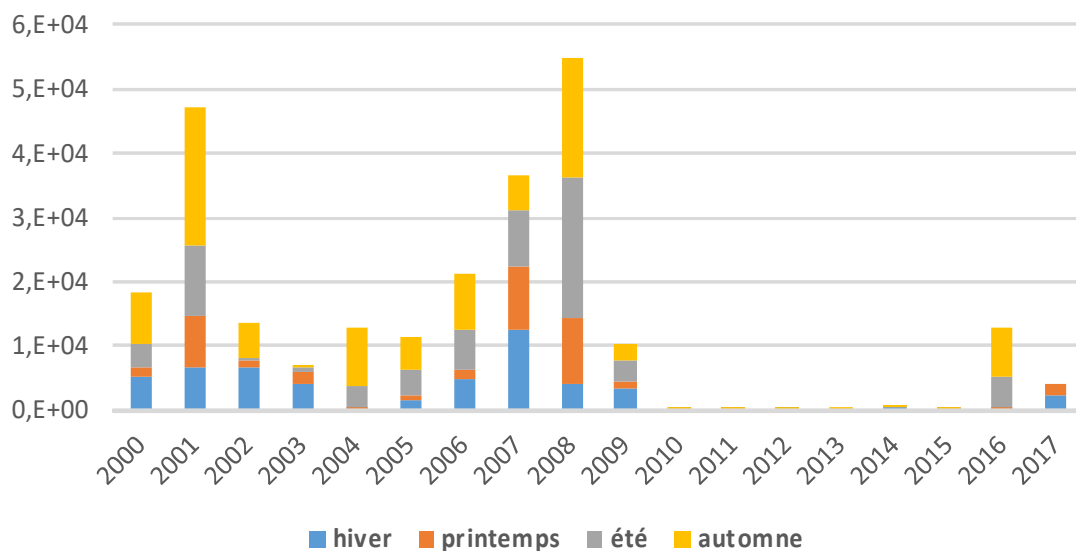
Les valeurs d'abondance (en nombre de cellules par mL) dans le pic au point B ont été les suivantes :

	Profondeur du pic (m)		
	19	22,5	25
29/05/2017	19 000		
13/06/2017		22 400	
27/06/2017			32 000

Comment se situe 2017 vis-à-vis des années précédentes ?

- Les abondances relativement élevées pour l'hiver 2016-2017 rappellent les valeurs observées par le passé ayant conduit pendant de nombreuses années à des blooms printaniers, estivaux et/ou automnaux (voir plus bas)
- Il existe un lien positif significatif entre les abondances enregistrées aux différentes saisons, si bien que les fortes concentrations déjà observés en 2017 peuvent annoncer une efflorescence marquée (ce que les concentrations enregistrées au printemps confirment déjà).
- L'enfoncement du pic de biomasse (plutôt vers 20-25 m alors qu'il était plus dans la zone 15-20 m par le passé) donne encore plus d'avantage compétitif à cette espèce (vis-à-vis de la lumière et des nutriments). Si l'été est chaud avec une forte stabilisation de la masse d'eau, que l'épuisement des ressources en surface est avéré conduisant à une transparence élevée, et que les génotypes sont fortement producteurs de toxines, on peut s'attendre à un fort développement estival/automnal.

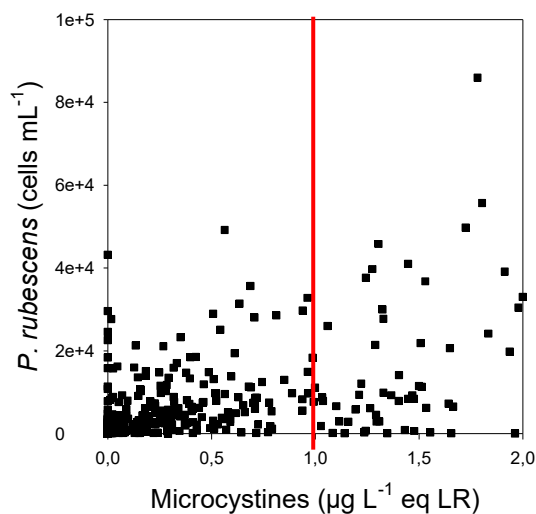
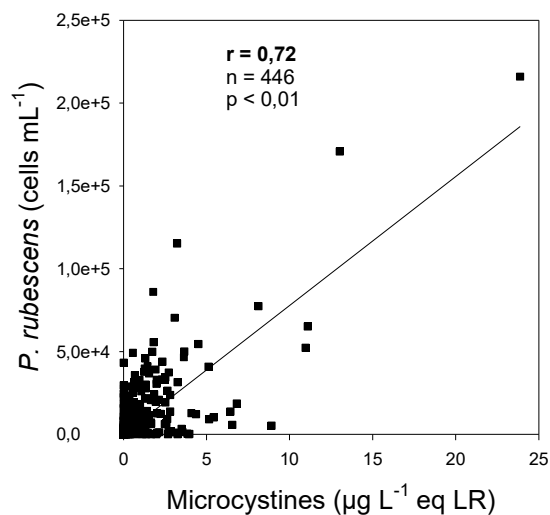
effet des saisons - innoculum



L'analyse de la relation entre abondances et toxines de *P. rubescens* est proposée ci-dessous :

Les figures ci-dessous révèlent, pour une période s'étalant de 2000 à 2010, et pour laquelle plus de 400 comptages et analyses de toxines ont été obtenus, que :

- une corrélation positive significative existe entre les abondances de *P. rubescens* et la concentration en microcystines intracellulaires ;
- Il est toutefois difficile d'établir une alerte précise car pour la valeur seuil de 1µg/L de microcystines, la cyanobactérie peut être représentée par quelques filaments à plusieurs dizaines de milliers. Ceci est sûrement à mettre en lien avec le fait que
 - la production de toxines peut être liée à des génotypes différents, certains produisant les toxines, d'autres non
 - La production de toxines peut être liée aux conditions environnementales et à la physiologie de l'espèce
 - Autre ?



La conclusion est, selon moi, si le principe de précaution s'applique, qu'il faut prélever pour compter le nombre de cellules et y associer de manière systématique le dosage des microcystines totales

Année 2017

Suivi de la cyanobactérie ***Planktothrix rubescens***
dans le lac du Bourget

Synthèse n°2

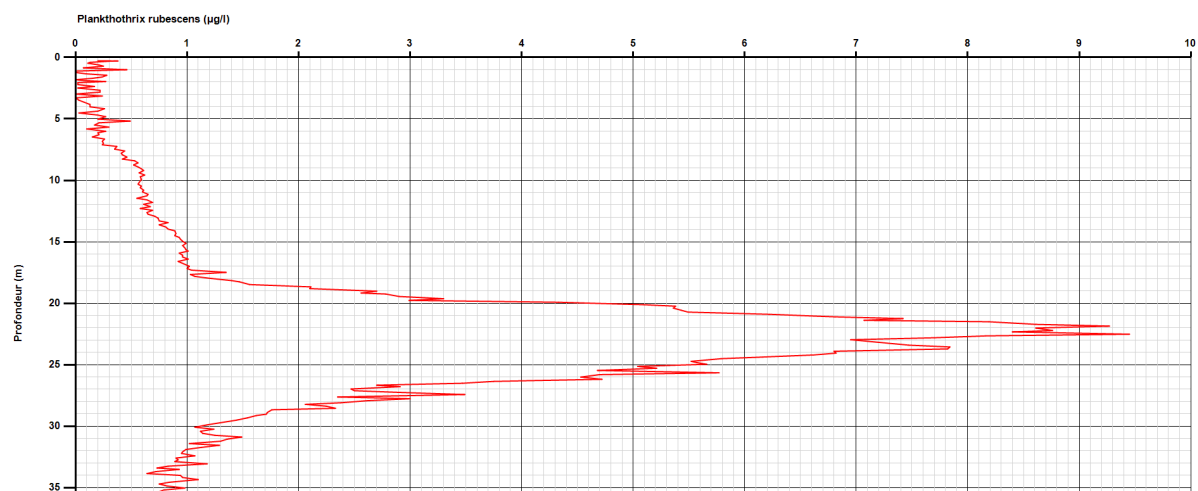
Stéphan JACQUET

INRA CARTEL Thonon-les-Bains

5 octobre 2017

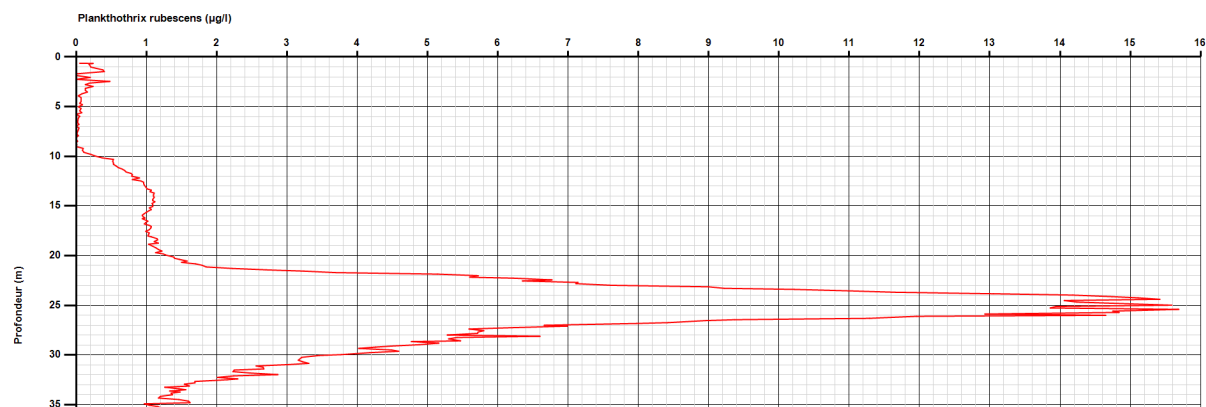
Profil BBE du 13 juin 2017

Suivi des lacs - Bourget - Point B - sonde fluoroprobe BBE - 13/06/2017 - Transparence (secchi) : 5,6 m

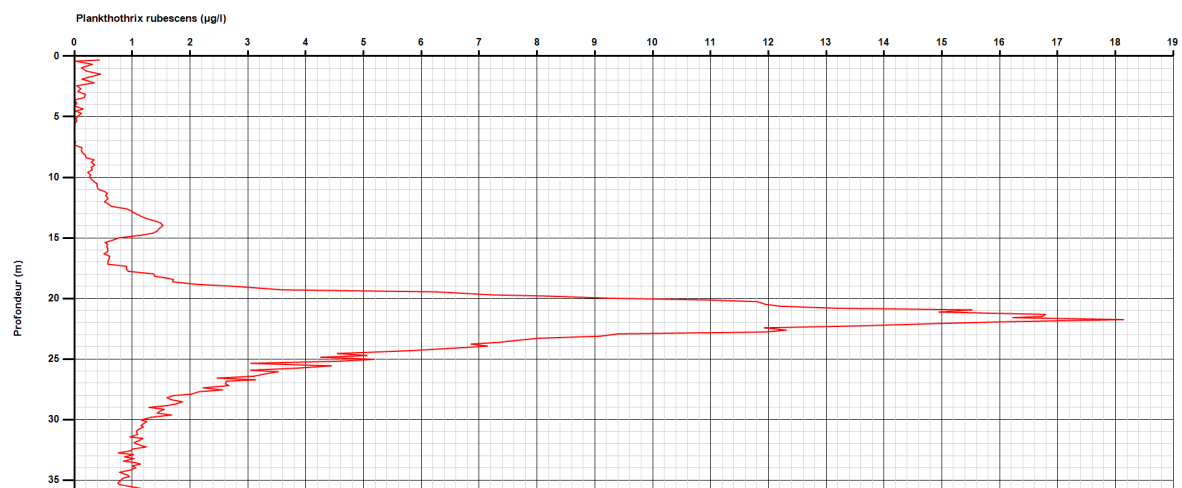


Profil BBE du 27 juin 2017

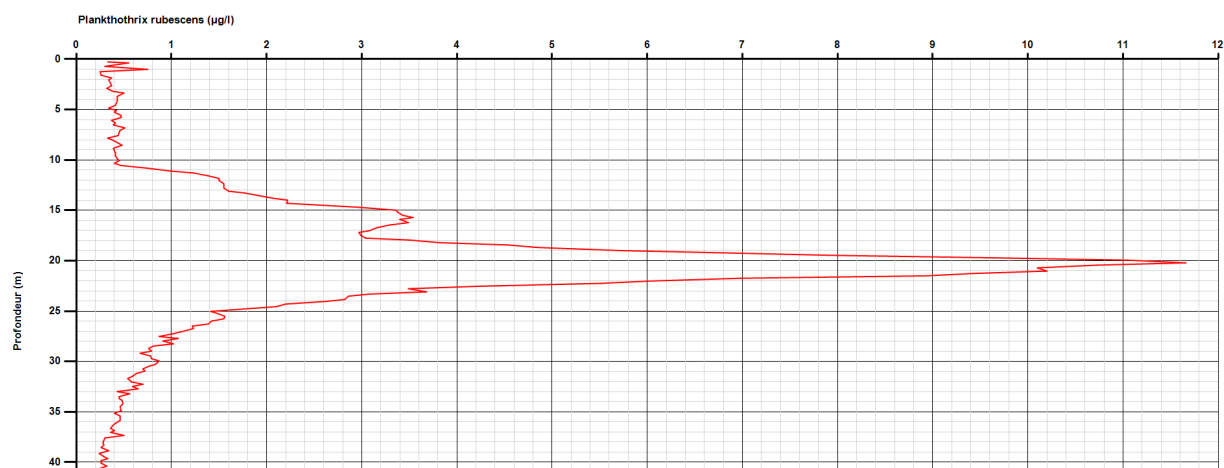
Suivi des lacs - Bourget - Point B - sonde fluoroprobe BBE - 27/06/2017 - Transparence (secchi) : 8,7 m



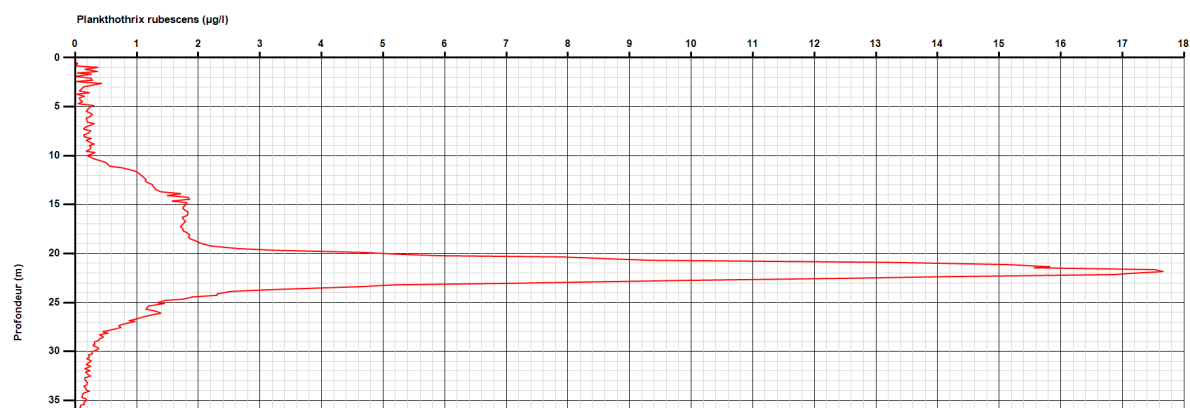
Profil BBE du 10 juillet 2017



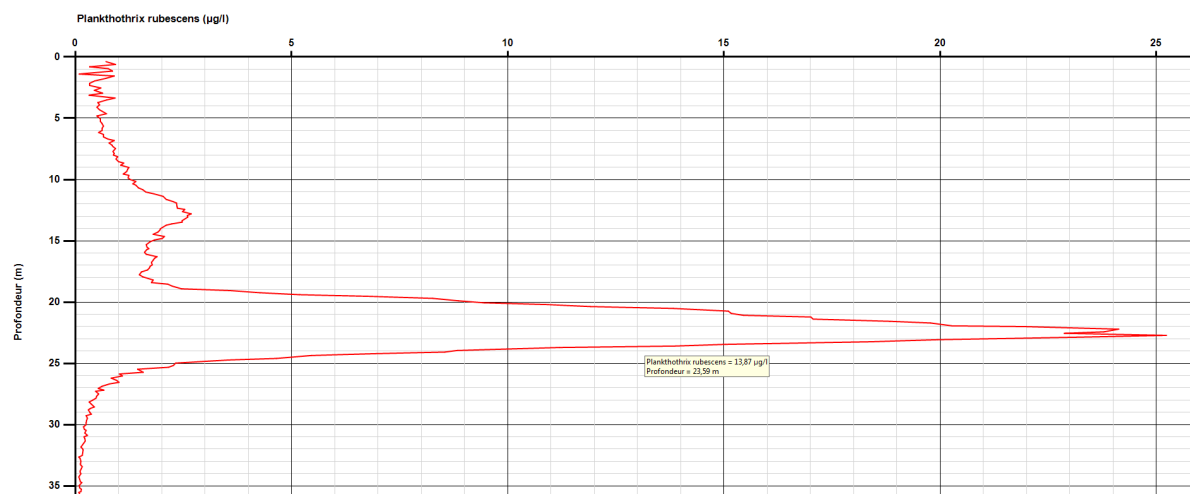
Profil BBE du 26 juillet 2017



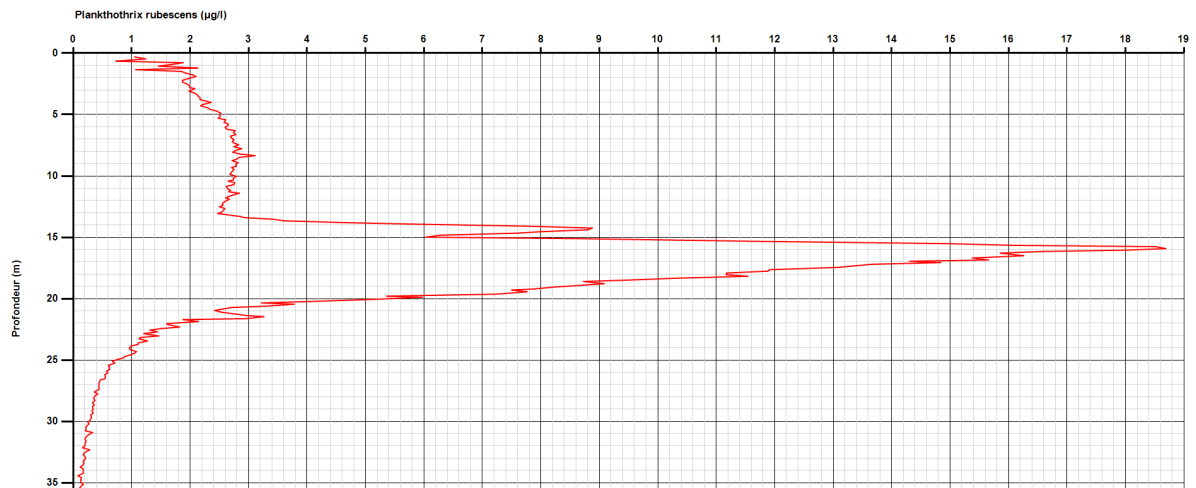
Profil BBE du 16 aout 2017



Profil BBE du 30 aout 2017



Profil BBE du 18 septembre 2017



On constate que le pic de biomasse de *P. rubescens* est généralement situé en dessous des 20 m (exception faite du 18 septembre, au cours de la période estivale).

Cette profondeur du pic, en moyenne vers 21-22 m (de 19,5 à 25 m) est significativement supérieure à celle qui avait été enregistrée au cours de la période 1996-2009 (<20 m), période du bloom annuel récurrent de la cyanobactérie.

Certaines valeurs enregistrées en 2017 sont comparables à celles observées au cours des fortes efflorescences de la période 1996-2009 ; l'année 2017 étant pour l'ensemble de sa période estivale comparable en moyenne par exemple à l'année 2004.

Les comptages (en nombre de cellules par mL) en 2017 sont les suivants :

Date	Profondeurs (mètres) échantillonnées lors du suivi écologique					
	2	10	15	20	30	50
19/01/2017						
22/02/2017	4175	2535	3429	4920	4175	1789
09/03/2017	4026	2237	3429	1938	3131	1000
22/03/2017	1342	4324	3131	746	447	1044
10/04/2017	0	895	298	1342	1789	1193
24/04/2017	1640	596	2237	3131	1044	596
10/05/2017	0	0	1491	1938	3280	596
29/05/2017	0	447	1044	1938	1640	0
13/06/2017	0	0	0	16402	298	0
27/06/2017	0	0	0	4920	1789	447
10/07/2017	0	0	0	3728	4473	0
26/07/2017	0	0	0	28479	3131	596
16/08/2017	0	0	0	4920	298	0
30/08/2017	0	0	0	746	1044	149
18/09/2017	0	0	0	10885	0	0
04/10/2017	1342	149	8946	1789	298	0
16/10/2017	1193	1640	5517	1789	0	0

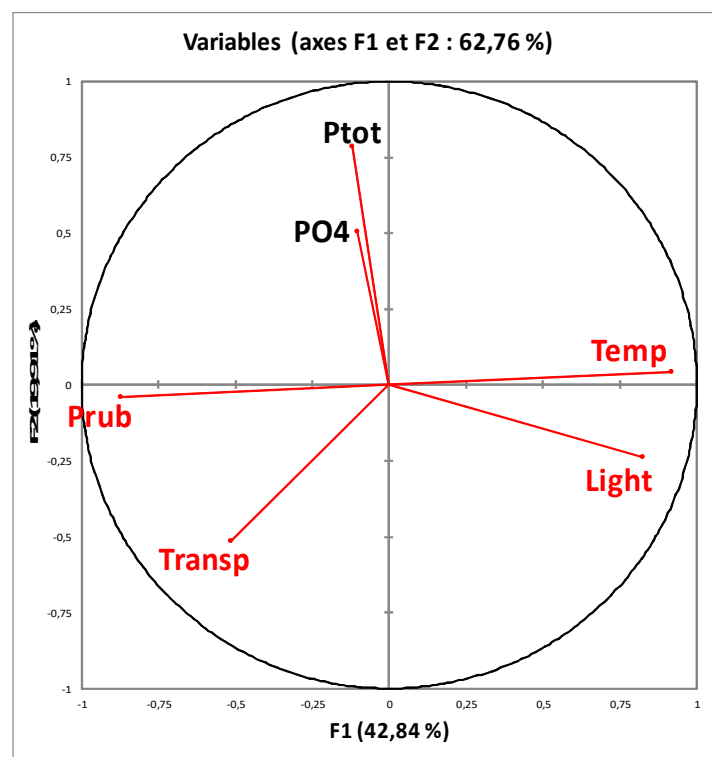
Date	Profondeur (mètre) échantillonnée au pic de <i>P. rubescens</i>					
	16	19	20,5	21,5	22,5	25
29/05/2017						
7		19000				
13/06/2017						
7					22400	
27/06/2017						31909
7						
10/07/2017				46223		
7						
26/07/2017			9245			
7						
16/08/2017				26094		
7						
30/08/2017				27435		
7						
18/09/2017	27734					
7						

Pour commencer à interpréter les facteurs ou processus intervenant dans la distribution de la cyanobactérie, la sortie graphique proposée ci-après, suite à une analyse statistique en composantes

principales (ACP), révèle l'importance de la transparence, de la lumière et de la température. Plus exactement, l'abondance de *P. rubescens* semble corrélée positivement à la transparence et négativement à la lumière. Ceci est bien connu pour cette espèce qui se développe en profondeur, dans une niche écologique où seule la lumière verte est disponible et ne convient pas à la majorité des autres espèces phytoplanctoniques, et dès lors que la transparence des eaux de surface permet à cette lumière de pénétrer un minimum en profondeur.

La relation à la température (corrélation négative) suggère, quant à elle, le fait que la cyanobactérie n'a pas besoin d'eaux « chaudes » pour son développement et il est vrai qu'en moyenne ses pics de biomasse ont été enregistrés dans une strate thermique relativement froide. Ce paramètre de température ne semble donc pas critique outre mesure pour le métabolisme cellulaire de la cyanobactérie mais on sait que la température reste un élément indirect clef pour cette espèce en termes de stratification.

L'absence de relations à la ressource phosphorée est délicate à interpréter car il est clair que la cyanobactérie a besoin d'un minimum de nutriments pour se développer. On peut penser que la ressource est donc non limitante et qu'elle la trouve en quantité suffisante dans la strate où elle prolifère, qui rappelons-le, est supérieure aux années 1996—2009. En moyenne, les valeurs en P ont été dans la zone 20-30 m de 3 et 10 $\mu\text{g/L}$ pour PO_4 et Ptot. Ces valeurs étant relativement faibles, il est possible qu'elles révèlent le fait qu'une partie ait déjà été consommée par la cyanobactérie. Et de rappeler aussi que la cyanobactérie a des capacités physiologiques pour « conserver » la ressource, faire des réserves, et que la boucle microbienne joue peut être aussi un rôle important ici pour remettre à disposition de la ressource localement.



La mesure des toxines de type microcystines, confiée à Savoie Labo, est résumée ci-dessous, après avoir corrigé dans ce Tableau la valeur de profondeur des pics et remis, à titre comparatif, les comptages INRA :

Prélèvement	Profondeur prélev (m) corrigée par l'INRA	Nombre de cellules/mL	Concentration microcystines tot (µg/L)	Concentration microcystines dissoutes (µg/L)	Concentration mesurée par l'INRA au pic cellules/mL
13/06/17	25,0	22 400	1	-	30 909
27/06/17	21, 0	-	-	-	46 223
10/07/17	20,5	20 000	2,6	<0.15	9 245
26/07/17	21,5	11 712	<0,15	-	26 094
16/08/17	21,5	18 116	1,4	<0.15	27 435
18/09/17	16,0				27734

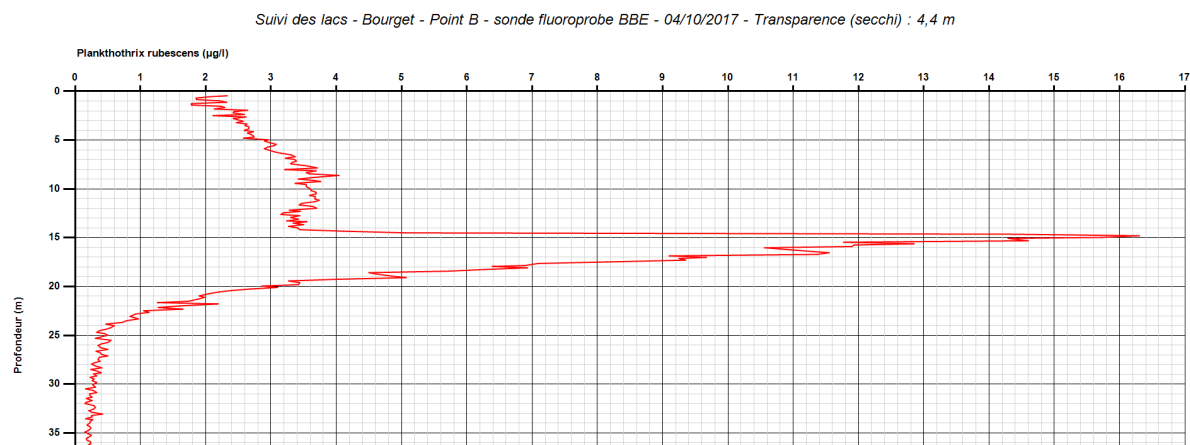
On constate qu'en moyenne les comptages INRA sont supérieurs à ceux fournis par le Bureau d'étude.

La concentration en microcystines dépasse à plusieurs occasions la valeur guide OMS de 1 µg /L.

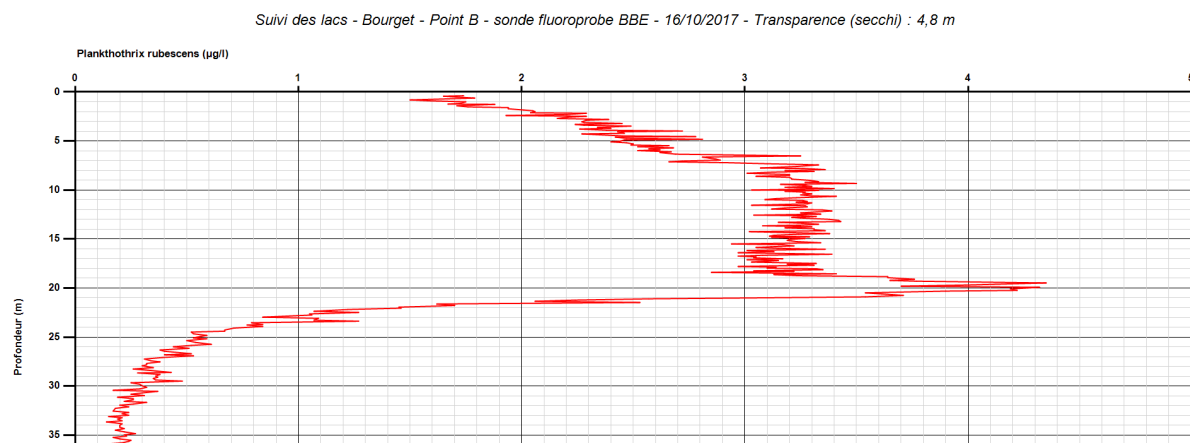
Les microcystines sont principalement dans la biomasse.

Il semble y avoir une relation entre la concentration en cellules et celle en microcystines. A ce sujet, voir la note de synthèse 1 fourni fin juin.

Profil BBE du 4 octobre 2017



Profil BBE du 16 octobre 2017



On observe la déstructuration du pic et une homogénéisation des concentrations entre la surface et 20 mètres de profondeur.

Globalement, depuis mi-septembre, les concentrations moyennes intégrées sur la strate 0-50 m ont diminué significativement.

Année 2017

Suivi de la cyanobactérie ***Planktothrix rubescens***
dans le lac du Bourget

Synthèse n°3 & Conclusions

Stéphan JACQUET

INRA CARTEL Thonon-les-Bains

15 juin 2018

Depuis 18 années, cette cyanobactérie toxique est suivie de manière systématique à plusieurs profondeurs en plus du prélèvement d'eau intégrée.

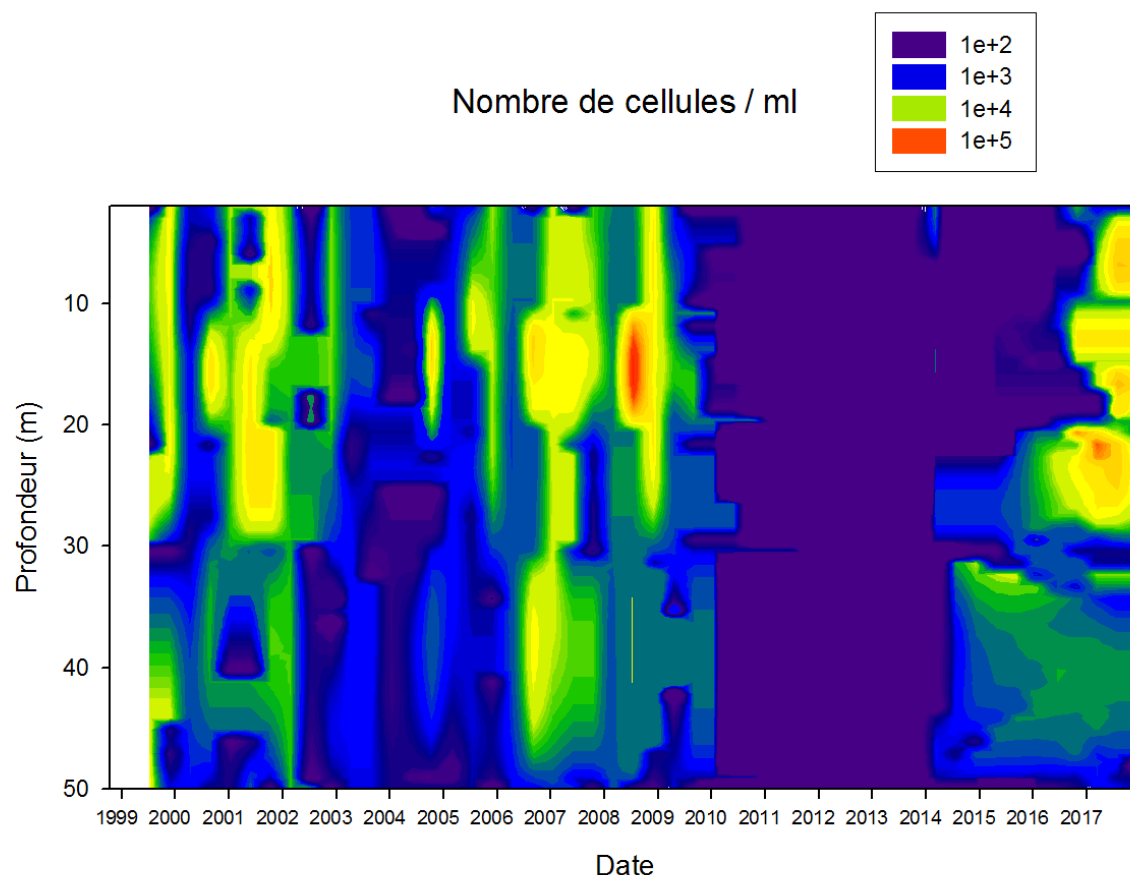
Il a ainsi été constaté des biomasses importantes observées régulièrement à des profondeurs oscillant entre 15 à 20 mètres jusqu'à l'été de l'année 2009. Des biomasses record ont été enregistrées en 2008, avec plus de 170 000 cell mL⁻¹.

Entre l'été 2009 et la fin 2015, les biomasses ont été très faibles (avec un maximum occasionnel enregistré à hauteur de 3800 cell mL⁻¹ en mars 2014) voire nulles la plupart du temps (>70% des 800 comptages réalisés sur la période 2010-2015).

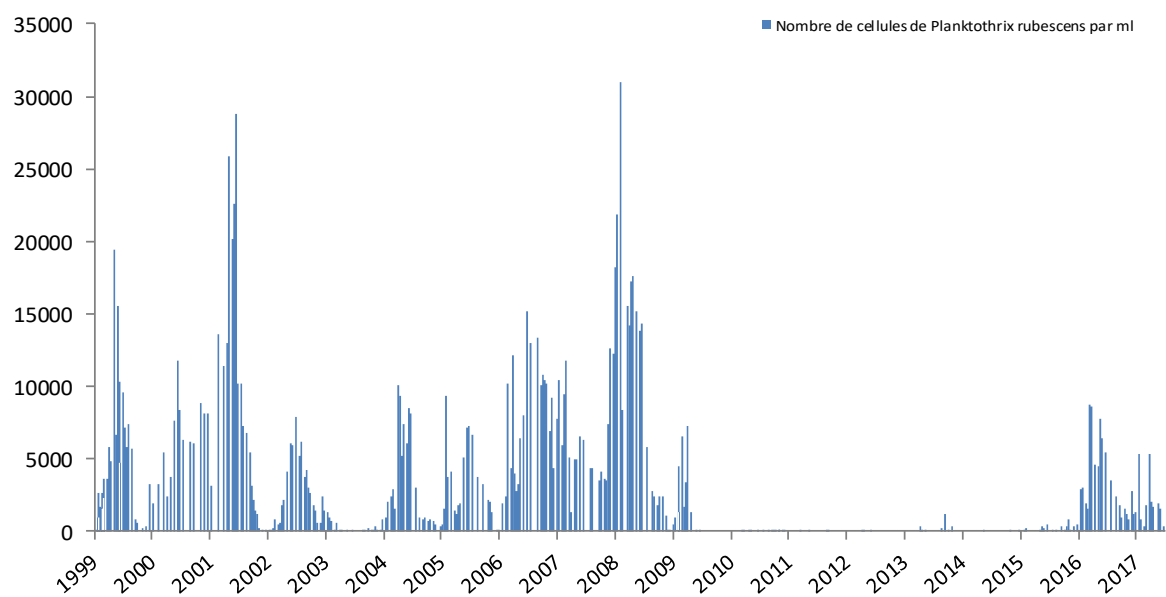
Depuis le printemps 2016, des observations régulières aux différentes profondeurs ont de nouveau été faites et les biomasses ont été à nouveau importantes à partir de l'été de cette même année. Depuis, de fortes abondances ont été enregistrées sur toute la période entre le début de l'été 2016 et la fin de l'été 2017.

Fait notable, les pics d'abondance se sont situés plus profondément, comparativement aux années <2009, au-delà de 20 m de profondeur.

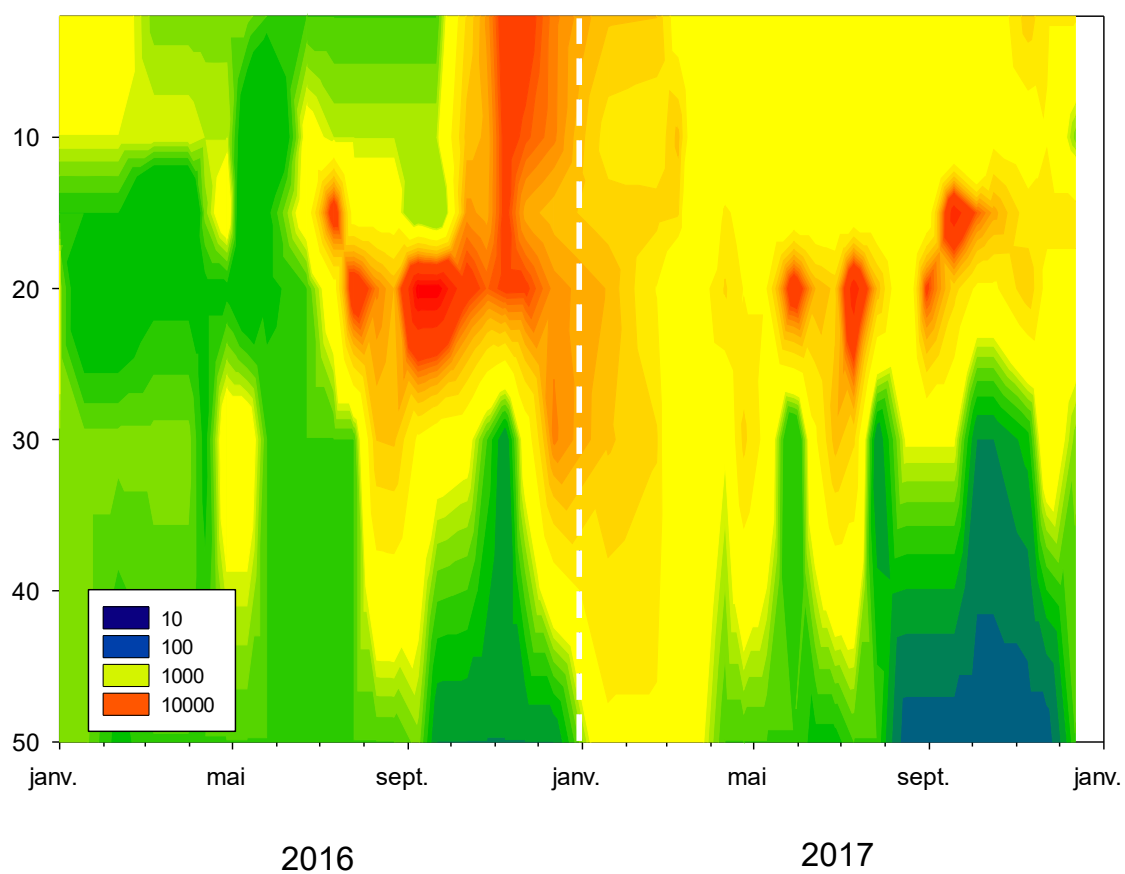
Au cours de l'année 2017, le seuil d'alerte (OMS) de 20 000 cellules a été dépassé plusieurs fois, le 13/06/2017 à 22,5 m de profondeur (avec ~22 000 cell mL⁻¹), le 27/06/2017 à 25 m de profondeur (avec ~32 000 cell mL⁻¹), le 10/07/2017 à 21,5 m de profondeur (avec ~46 000 cell mL⁻¹), le 16/08/2017 à 21,5 m de profondeur (avec ~26 000 cell mL⁻¹), le 30/08/2017 à 21,5 m de profondeur (avec ~27 000 cell mL⁻¹), et le 18/09/2017 à 15,5 m de profondeur (avec ~28 000 cell mL⁻¹).



Evolution de la concentration cellulaire de *P. rubescens* de 1999 à 2017 en fonction de la profondeur



Evolution de la concentration cellulaire moyenne sur la profondeur 2-50 m de *P. rubescens* de 1999 à 2017



Focus sur les années 2016 & 2017

Le risque toxique associé a été estimé en 2017 (données ARS), révélant :

- une forte corrélation ($r=0,88$, $n=55$, $p<0,001$) entre la biomasse cyanobactérienne et le contenu cellulaire en microcystine. Pour des concentrations cellulaires supérieures à 10 000 cell mL⁻¹, la concentration en microcystine est généralement supérieure à 1 µg L⁻¹, la valeur seuil fixée par l'OMS
- l'absence de relation entre la biomasse cyanobactérienne et les concentrations en microcystine dissoute dans le milieu qui reste très faible ($<0,25$ µg L⁻¹)

Plusieurs facteurs/processus peuvent être importants pour expliquer le développement important de cette cyanobactérie : la ressource phosphorée (suffisante), la stabilité de la colonne d'eau (importante), la lumière (variable) et la transparence (relativement importante), les interactions biotiques de type prédation, parasitisme, guerre chimique (qui doivent être faibles), etc...

L'innoculum hivernal

Des abondances encore relativement importantes ont été enregistrées au cours de l'hiver 2016-2017 générant l'innoculum hivernal que l'on sait être important pour expliquer ce qui suit au cours de l'année. Sans surprise, l'année 2017 a été caractérisée par une phase hivernale (début d'année) puis une phase automnale (fin d'année) dominée au niveau de la biomasse phytoplanctonique globale par celle de *Planktothrix rubescens*. Les concentrations cellulaires enregistrées en période estivale ont également été très importantes.

Bien qu'imparfaite (le critère de faire une moyenne sur toutes les profondeurs et mois d'une saison donnée étant assez arbitraire), l'analyse montre toutefois l'existence de relations significatives pouvant être utilisées comme un outil prédictif potentiel. Ainsi, on observe par ordre décroissant des relations (sur la base du coefficient de corrélation r) :

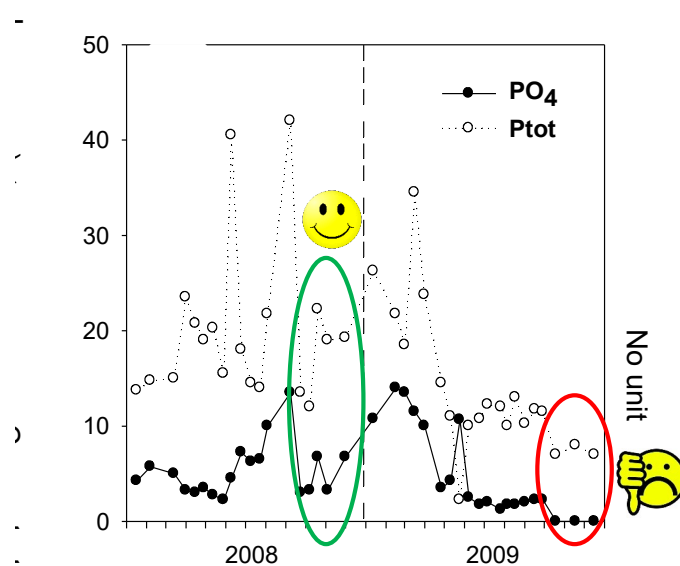
- un lien très fort ($r=0,86$, $n=17$, $p<0,001$) entre les abondances estivales (JAS) et les abondances automnales (OND) ;
- un lien également très fort ($r=0,84$, $n=17$, $p<0,001$) entre les abondances printanières (AMJ) et les abondances estivales (JAS) ;
- un lien toujours fort ($r=0,80$, $n=17$, $p<0,001$) entre les abondances printanières (AMJ) et les abondances automnales (OND) ;
- un lien moins fort mais qui reste significatif ($r=0,73$, $n=17$, $p<0,001$) entre les abondances hivernales (JFM) et les abondances printanières (AMJ) ;
- finalement un lien assez faible ($r=0,45$, $n=17$, $p<0,005$) entre les abondances hivernales (JFM) et les abondances estivales (JAS) ou automnales (OND).

Cette analyse révèle l'importance de l'innoculum hivernal sur le développement à venir de la cyanobactérie au printemps et des chances de succès le reste de l'année si elle rencontre les conditions favorables à son développement.

Pour 2018, l'hiver 2017-2018 a révélé des abondances très faibles à nulles suggérant que l'année 2018 ne sera pas une année à cyanobactéries, du moins pas à *P. rubescens*. Les premiers comptages 2018 réalisés à ce jour, de janvier à avril, ont pour le moment confirmé cette hypothèse.

Le phosphore

Parmi les facteurs et processus étant possiblement intervenus dans le déclin de *P. rubescens* à la fin de l'année 2009 et son non-retour en 2010, la limitation par les nutriments avait été mis en avant (Jacquet *et al.* 2014) avec des concentrations très basses en P_{tot} (<10 µg L⁻¹) et nulles en PO₄ dès la fin septembre et jusqu'à la fin de l'année :



A l'automne et l'hiver 2015, 2016 ou 2017, il y a toujours du phosphore sous ses deux formes dans la strate d'eau 0-50 m, cette ressource n'étant donc pas aussi limitante qu'elle a pu l'être à la fin de l'année 2009, surtout semble-t-il pour le PO₄ :

PO₄

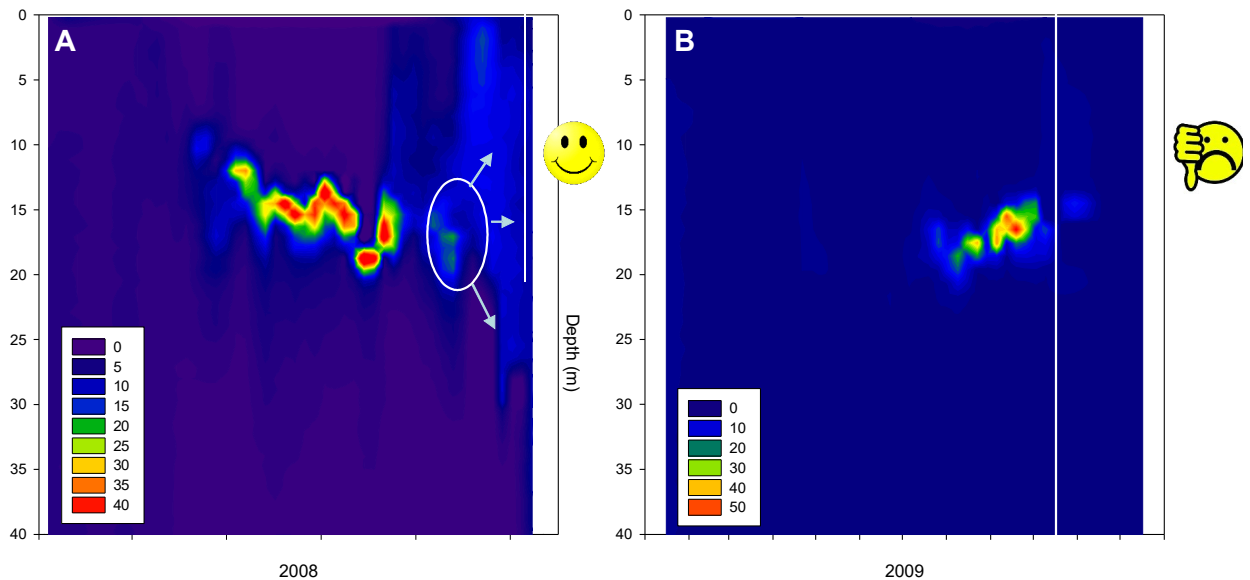
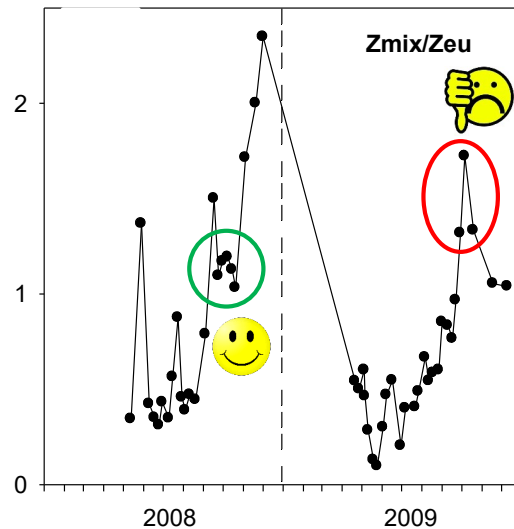
	hiver (JFM)	automne (OND)
2009		0,6
2010	10,4	
2015		3,4
2016	4,8	4,3
2017	3,0	3,0

P_{tot}

	hiver (JFM)	automne (OND)
2009		8,0
2010	14,8	
2015		6,6
2016	7,9	9,5
2017	9,0	7,3

La lumière et le brassage en automne

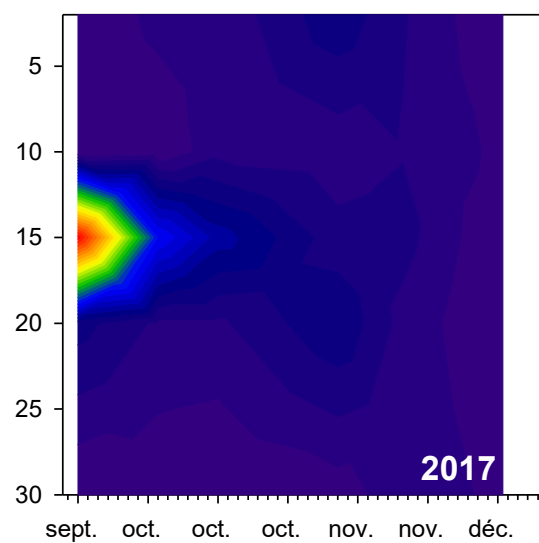
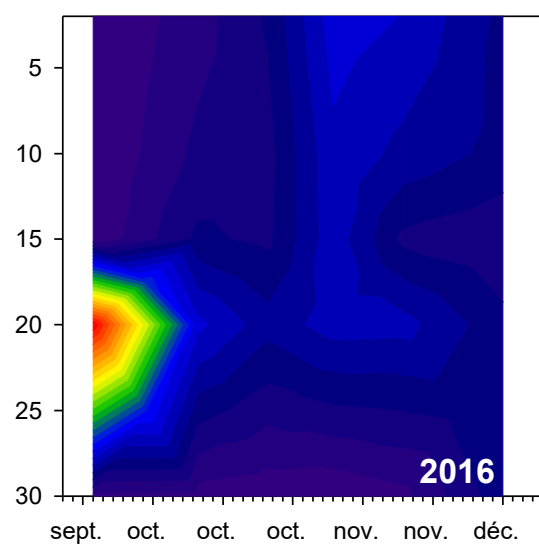
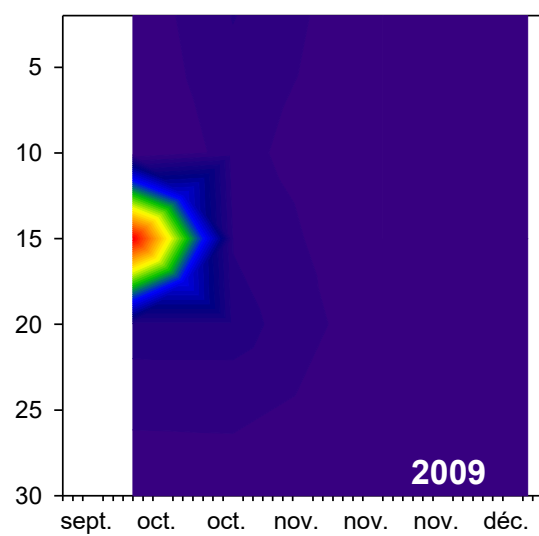
Parmi les facteurs et processus étant possiblement intervenus dans le déclin de *P. rubescens* à la fin de l'année 2009 et son non-retour en 2010, la limitation par la lumière en lien avec l'absence de brassage à l'automne (privant *P. rubescens* de la possibilité de réoccuper les eaux de surface) avaient également été mis en avant (Jacquet *et al.* 2014) :



De la même manière, on peut comparer les abondances et la répartition de *P. rubescens* à la fin des années 2009, 2016 et 2017, à l'automne (de mi-septembre à mi-décembre) entre la surface et 30 m.

On observe très nettement dans la Figure qui suit, en effet, que :

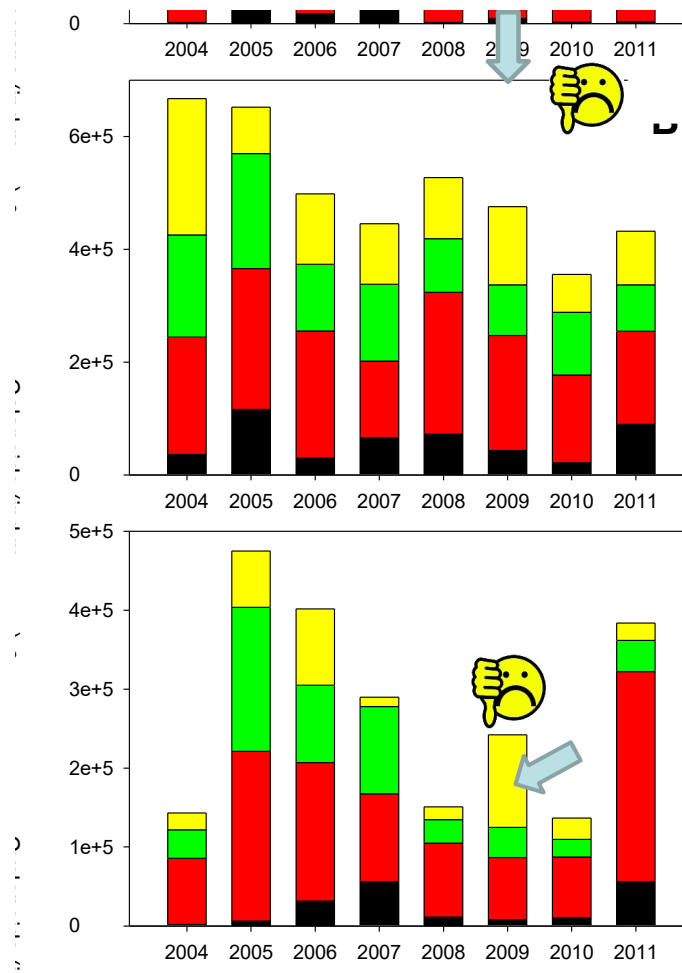
- la biomasse reste « bloquée » en profondeur en 2009 et diminue drastiquement pour *in fine* devenir nulle ;
- la biomasse se répartit tout le long de la colonne d'eau et notamment regagne en partie la surface en 2016 avec une concentration cellulaire moyenne restant à un niveau relativement élevée ($\sim 7\,000\text{ cell mL}^{-1}$) ;
- 2017 semble plus ressembler à 2009 qu'à 2016, laissant penser avec des concentrations presque nulles en décembre que 2018 sera comme 2010, une année sans cyanobactéries. Les premiers comptages hivernaux en 2018 (jusque début avril) n'ont effectivement pas révélé la présence de *P. rubescens*.



Mois

La prédation

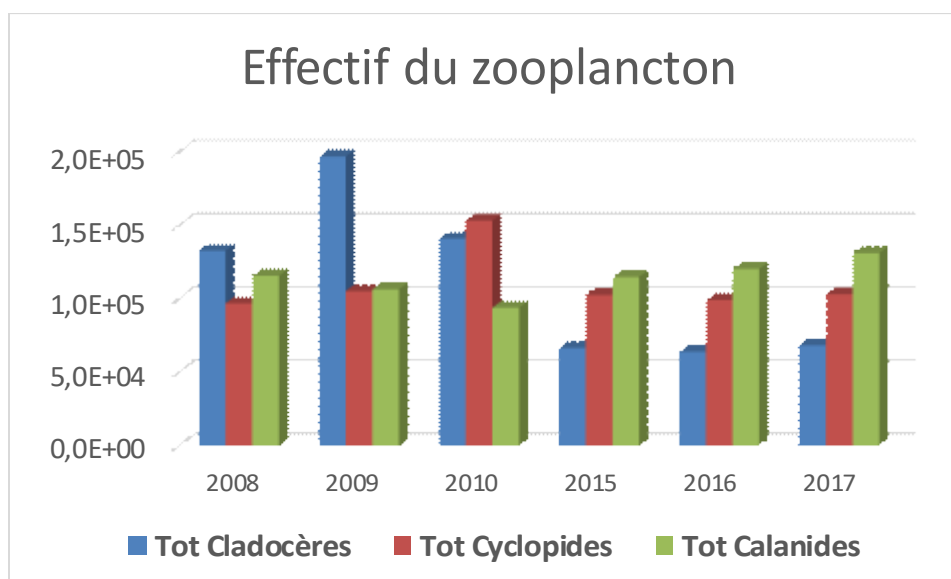
Parmi les facteurs et processus étant possiblement intervenus dans le déclin de *P. rubescens* à la fin de l'année 2009 et son non-retour en 2010, la prédation par le zooplancton métazoaire avait également été mis en avant. En effet, en 2009, plus de zooplancton, et notamment plus de cladocères et de cyclopoides en automne, susceptibles de brouter des filaments rendus plus petits et peu ou pas toxiques en raison de la limitation par le phosphore aurait pu intervenir pour favoriser la diminution de la cyanobactérie (Perga *et al.* 2013, Jacquet *et al.* 2014) :



2016 & 2017 n'ayant rien révélé de particulier pour ce compartiment, il est difficile ici de discuter d'un effet possible ou pas, en termes de prédation.

On peut constater dans la Figure ci-dessous que l'effectif des cladocères est significativement supérieur dans les années <2010 comparativement aux années >2015 et que cela a pu contribuer au déclin de *P. rubescens* fin 2009 et peut être son non-retour après.

Ici des expériences restent indispensables pour voir le type d'impact des micro-crustacés sur la dynamique et la distribution de la cyanobactérie.



Les apports du bassin versant

Le phosphore rapidement disponible pourrait être amené par les tributaires (Leyse et Sierroz) et/ou le relargage interne par les sédiments. *P. rubescens* pourrait bénéficier de ce type d'apport quelque part (générant des îlots ou « hots spots » de développement), se développer et gagner l'ensemble de la zone pélagique. Ceci est une hypothèse plausible mais difficile à vérifier sans travailler à haute fréquence tant du point de vue temporel que spatial.

Il est intéressant de noter que, si les apports ne se sont pas forcément « manifestés » au milieu du lac, les apports ont considérablement évolué entre 2007 et 2017. Les faibles apports d'avant 2011 ont peut-être joué indirectement sur la disparition de la cyanobactérie pour la période 2010-2015 mais, inversement, les forts apports observés entre 2012 et 2015 ont peut-être contribué à son retour.

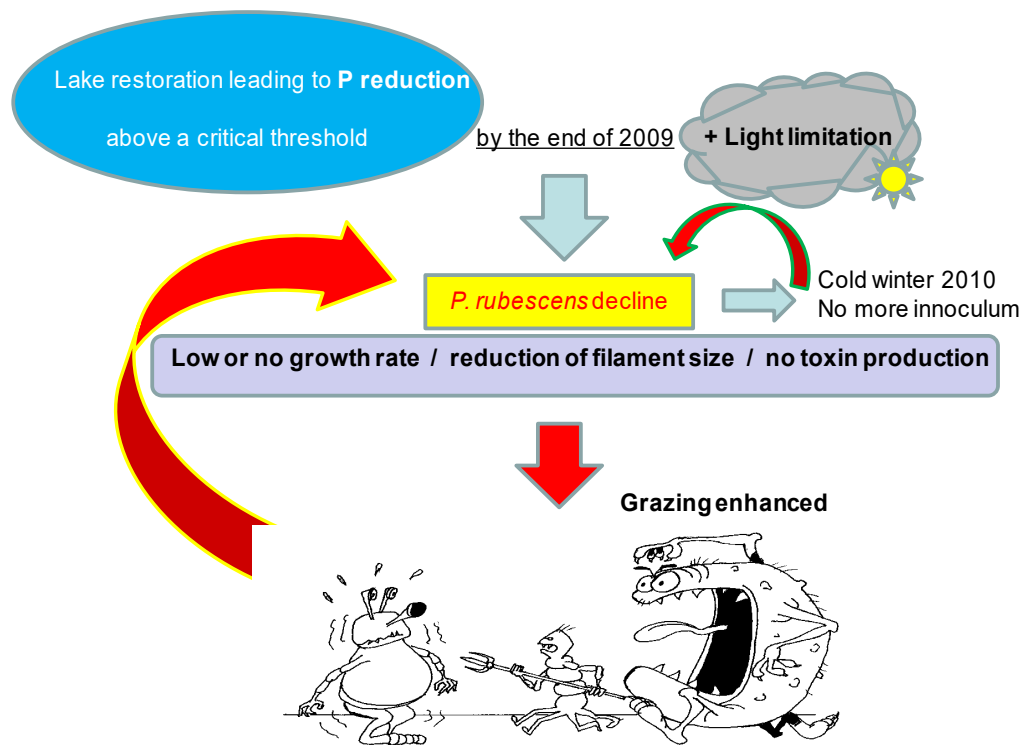
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ptot	18,2	13,7	20,4	26,8	40,3	52,8	42,1	57,1	34,4	28,7
PO ₄	3	1,82	1,89	1,5	3,1	4	4,1	2,53	2,9	2,29

La douceur hivernale pour finir ?

Parmi les facteurs et processus étant possiblement intervenus dans le déclin de *P. rubescens* à la fin de l'année 2009 et son non-retour en 2010, l'hiver particulièrement froid de l'hiver 2010 a été évoqué. Il est en effet connu que des hivers doux et des températures chaudes favorisent au contraire le développement de *P. rubescens* (Jacquet *et al.* 2005, Gallina *et al.* 2014, Jacquet *et al.* 2014, Anneville *et al.* 2015). La comparaison des températures hivernales pour les années 2009,

2010, 2016 et 2017 pour la strate 0-30 m suggère l'importance possible de ce paramètre (non montré).

La disparition de *P. rubescens* fin 2009, début 2010 était résumée comme suit :



Le retour de *P. rubescens* en 2016-2017 pourrait être résumé comme suit :

