

Rapport de recherche Planaqua

Nelly Bergounhon¹, Lise Chantelauze¹, Ivanna Ostapchuk², and Mathilde Rocher²

¹ENS-PSL département de Géosciences

²ENS-PSL département de Biologie

Introduction

Les expériences du site Planaqua visent à comprendre les patterns du métabolisme dans des macrocosmes aquatiques à ciel ouvert, sur le long terme et à différentes échelles de temps, ainsi que la stabilité du métabolisme face à des événements météorologiques extrêmes.

Le site se structure en 16 lacs, comportant 4 traitements différents (avec 4 réplicas) où l'on étudie un contrôle bottom-up (par un enrichissement en nutriments) et/ou top-down (introduction d'un prédateur de haut de chaîne) sur ces écosystèmes expérimentaux.

Sur ces macrocosmes, grâce à différents capteurs, des mesures continues d'oxygène dissous (DO) ainsi que des mesures mensuelles de chlorophylle totale et de température, pH, ... (sonde multiparamétrique) ont été effectuées. Dans ce rapport, nous analyserons certaines de ces données obtenues pour le mois d'avril 2023. Nous chercherons également à évaluer l'impact de la répartition spatiale des différents réplicas sur les données obtenues grâce à un scoring.

1 Mesure de la chlorophylle totale et concentration en phytoplanctons

1.1 Résultats

Pour analyser les différences de concentration totale en chlorophylle des lacs en fonction du traitement nous utilisons une ANOVA avec la méthode de Tukey. Nous montrons qu'il n'y a aucune différence significative entre les traitements (p-value supérieure à 0.05) ??p.5.

Nous analysons la composition des communautés phytoplanctoniques en fonction du traitement (ici algues bleues-vertes 2 et 1, les autres classes spectrales montrant des dynamiques semblables). Il n'y a pas de clusters de points par traitements, nous en concluons qu'il n'y a pas de différence entre les traitements sur le mois d'avril et donc que les traitements n'ont pas d'influence sur la composition phytoplanctonique des lacs (du moins sur le mois d'avril). Il semble (ce n'est pas significatif) qu'il y ait un moins de variations dans la concentration d'algues de chaque classe spectrale dans les traitements sans perches. Nous supposons que les perches impliquent un contrôle top-down, qui déséquilibre l'écosystème par rapport aux autres traitements.

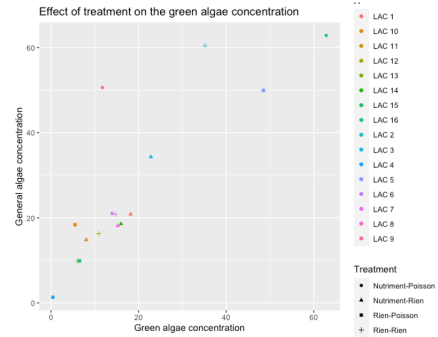


FIGURE 1 – Composition en algues vertes de la communauté phytoplanctonique en fonction du traitement

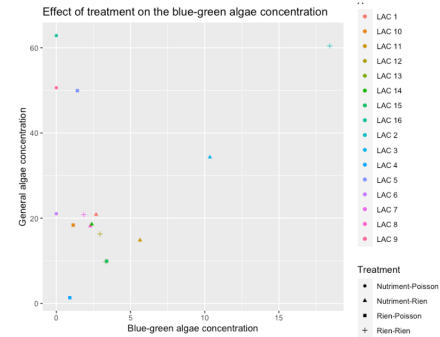


FIGURE 2 – Composition en algues bleu-vertes de la communauté phytoplanctonique en fonction du traitement

1.2 Discussion

En avril, nous sommes au tout début de la reprise de l'activité photosynthétique. Nous supposons que plus tard dans la saison l'apport de nutriments va permettre d'empêcher la limitation de la croissance du phytoplancton par N et P et donc qu'il y aura une différence significative entre les traitements.

2 Mesures multi paramétriques

2.1 Résultats

Nous analysons les données de pH fournies par la sonde multi paramètres, indices du métabolisme du milieu, selon les traitements et profondeurs des lacs 4.

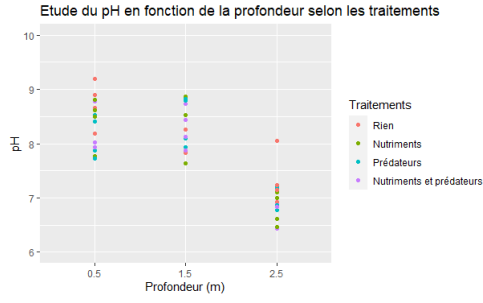


FIGURE 3 – Etude du pH en fonction de la profondeur selon les traitements des lacs

Nous effectuons un test de Tukey pour comparer les valeurs de pH en fonction des traitements (hypothèse nulle "les moyennes sont égales"). Nous obtenons de grandes p-value donc nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle ??.

Nous effectuons un test de Tukey pour comparer les valeurs de pH en fonction de la profondeur (hypothèse nulle "les moyennes sont égales"). Nous observons une p-value inférieure à 0.0001 entre les données à profondeur 1.5m et 2.5m, et de 0.0002 entre 0.5m et 2.5m. Nous rejetons donc l'hypothèse nulle. Ainsi, il y a un gradient fort de pH en profondeur, à partir de 1.5m, contrairement aux valeurs obtenues à 0.5m et 1.5m qui n'étaient pas statistiquement différentes 2a. Nous supposons alors que la respiration est nettement plus élevée au fond du lac en avril, abaissant le pH. En surface et à moyenne profondeur, le métabolisme semble homogène.

2.2 Discussion

Il serait intéressant de corrélérer les valeurs de pH avec celles du dioxygène dissous, afin de pouvoir évaluer les variations du métabolisme de l'écosystème, et notamment ces variations sur le mois d'avril/mai (observation d'un bloom potentiel).

2.3 Résultats concernant la turbidité

Nous analysons les données de turbidité obtenues à différentes profondeurs.

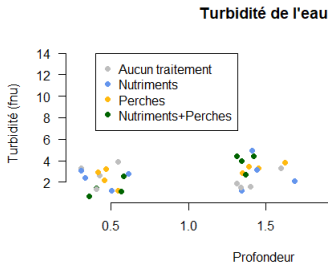


FIGURE 4 – Etude du pH en fonction de la profondeur selon les traitements des lacs

A 2.5m, les valeurs de turbidité semblent diverger entre les 4 traitements. Nous réalisons alors un modèle linéaire des données à cette profondeur, qui indique une différence significative entre les traitements avec ou sans perches.

Il est intéressant de séparer les effets d'ajout de perches et de nutriments. Nous souhaitons étudier l'interaction entre ces

2 effets. Le modèle linéaire permet de tester la corrélation des deux effets, il indique une valeur de $r^2 = 0.64$, et une p-value de 0.2. L'interaction entre les 2 effets n'est donc pas significative, ils sont donc indépendants sur les valeurs de turbidités. Nous pouvons donc étudier indépendamment ces 2 effets sur les valeurs de turbidités. Nous réalisons donc un modèle linéaire de comparaison, avec un test de Tukey pour estimer l'effet des perches et nutriments sur les valeurs de turbidités en profondeur (hypothèse nulle : "même valeur moyenne de turbidité avec ou sans perches"). L'ajout ou le retrait de perches, avec ou sans ajout de nutriments, présente une p-value de 0.0016 ou 0.002. Ainsi, l'hypothèse nulle est fautive. La présence de perches augmente d'environ 5 fmu la turbidité en profondeur.

Ainsi, les lacs avec perches présentent une stratification importante de la turbidité (forte en profondeur). Par l'effet de prédation, il y a moins de gardons présents dans les lacs, et donc moins de mélange des masses d'eau.

2.4 Discussion

L'étude de l'effet des perches est réalisée uniquement sur le dernier mois (avril 2023), il serait donc intéressant de poursuivre cette analyse sur les données sur plus long terme. Afin de comprendre les causes des variations de turbidité, il serait également intéressant d'étudier la corrélation entre la turbidité et l'activité (saisonnière ou non) des gardons.

3 Scoring visuel des lacs

3.1 Résultats

A partir des données du scoring nous réalisons une analyse en composantes principales. Puisque les composantes principales 1, 2 et 3 expliquent des parts beaucoup plus grandes de la variance que les autres, on se limite à leur étude.

La composante principale 1 est principalement expliquée par le niveau d'eau (poids de 0,95333897 ??p.5) ; la deuxième composante par la présence d'algues (poids de 0,88287163 ??p.5), la troisième par la présence de poissons (poids de 0,89175304 ??p.5). On suppose donc que le paramètre *présence de poissons* est indépendant des paramètres *hauteur d'eau* et *algues*.

Afin de tester l'hypothèse nulle "les paramètres sont indépendants", on réalise des tests de Fisher sous R. Pour les paramètres poissons et algues on obtient une p-value de 0.6084, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle. Pour les paramètres *poissons* et *hauteur d'eau*, on obtient une p-value de 0.2199, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle. Pour les paramètres *hauteur d'eau* et *algues*, on obtient une p-value de 0.6503 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle.

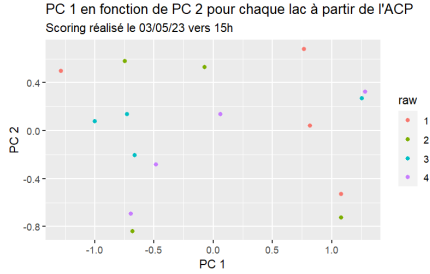
Nous traçons sous R les PC 1 et PC 2 5.

Nous faisons apparaître les lacs appartenant à la même ligne dans la même couleur. Nous n'identifions pas clairement de pattern dans la répartition des lacs en fonction de PC 1 et PC 2.

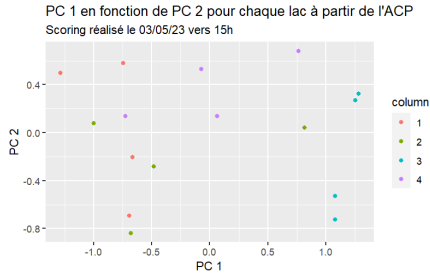
Nous faisons apparaître les lacs appartenant à la même colonne dans la même couleur. PC 1 différencie nettement les colonnes. Le niveau d'eau d'un lac est donc corrélé à sa colonne dans le dispositif expérimental. Puisque les lacs ont été rempli à l'identique au début de l'expérience avec des canaux entre les lacs initialement vides qui sont maintenant pleins, nous

doutons alors de l'étanchéité des passes entre les lacs et les canaux (diffusion des nutriments et des communautés planctoniques pour une même rangée). PC 2 différencie également les colonnes. La présence d'algue dans un lac est donc corrélée à sa colonne dans le dispositif expérimental.

Nous effectuons un test de Fisher sous R avec l'hypothèse nulle suivante : le paramètre *algues* est indépendant du paramètre *ajout de nutriments*. Nous obtenons une p-value de 1. La répartition des algues en suspension (visibles à l'œil nu) est donc indépendante de l'apport de N et de P.



(a) La couleur correspond à la ligne à laquelle appartient le lac.



(b) La couleur correspond à la colonne à laquelle appartient le lac.

FIGURE 5 – P-value des tests de Tukey pour le Ph en fonction de la profondeur de mesure et du traitement

3.2 Discussion

Lorsque nous avons fait le scoring, un groupe de chercheurs faisait des prélèvements d'eau au fond du lac, nous supposons que l'importante présence humaine et les perturbations dans l'eau ont fait fuir les grenouilles (à propos desquelles nous n'analysons alors pas nos résultats).

Nous avons fait le scoring vers 15h. Nous pensons qu'il serait intéressant de réaliser le scoring à plusieurs heures de la journée car nous avons remarqué que la présence et la densité de la population de grenouille (déduites des chants) varient dans la journée.

Cette expérience est inédite sur le site, il serait donc intéressant de la réaliser tous les ans afin d'identifier des patterns, par exemple confirmer une corrélation entre la présence d'algues et la position du lac dans le dispositif expérimental, ou encore comprendre l'hétérogénéité entre les répliques. Il serait aussi possible de confirmer si la hauteur d'eau des lacs dépend de la colonne à laquelle ils appartiennent. Si c'est le cas, alors on pourra effectivement douter de l'étanchéité des séparations. Le niveau de l'eau des lacs n'est pas monitoré, il semble important d'installer un capteur de niveau d'eau (par analyse plus précise des valeurs de pression obtenues avec la

sonde multi paramètres par exemple) afin de suivre les variations pour chaque lac et d'homogénéiser le niveau d'eau. Nous avons en effet l'intuition que c'est un paramètre essentiel dans l'évolution des lacs.

Puisque c'est la première fois que cette expérience est réalisée, les paramètres et les niveaux de scoring étaient assez mal définis.

4 Suivi continu de la température

4.1 Résultats concernant les fluctuations journalières

Nous décomposons le signal de la température sous R, nous obtenons une fluctuation journalière, une variation non journalière et une variation aléatoire 6. Nous réalisons un modèle linéaire avec pour valeur observée l'écart-type des fluctuations de température pour chaque lac en profondeur ou en surface et avec pour facteurs explicatifs les algues, les nutriments et le niveau d'eau.

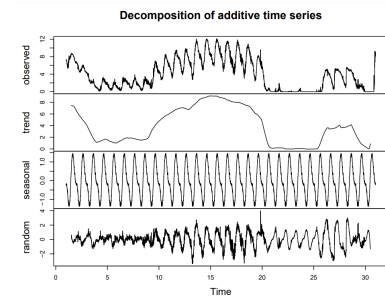


FIGURE 6 – Etude du pH en fonction de la profondeur selon les traitements des lacs

En surface, la présence de nutriment est significativement liée à l'écart-type des fluctuations de température (p-value de 0.0457) mais pas le niveau d'eau ni la présence d'algues (respectivement p-value de 0.8938 et 0.8532). La présence de nutriments augmente la variabilité de la température de surface (coefficient de 0.047070). figure 7.

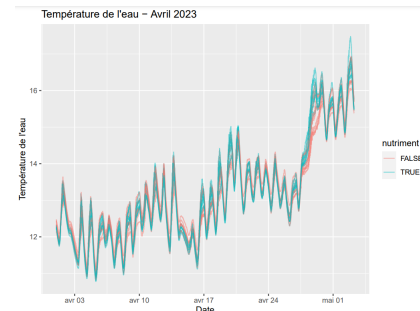


FIGURE 7 – Température de l'eau de surface au mois d'avril des lacs. En rouge, les lacs sans nutriments, en bleu les lacs avec nutriments.

Au fond, la présence d'algues est significativement liée à l'écart-type des fluctuations de la température (respectivement p-value de 0.000139 et de 0.035237), mais pas au niveau de l'eau. La présence de nutriments diminue la variabilité de

la température de surface (coefficient de -0.0118648). Nous supposons que l'apport de nutriments augmente la concentration de phytoplanctons qui tamponnerait les variations de température. La présence d'algues augmente la variabilité de la température de surface (coefficient de 0.0289033).

4.2 Discussion

Nous ne savons pas expliquer la corrélation entre les variations de la température de surface, l'apport de nutriment et d'algues. Nous pourrions vérifier si cette relation est une conséquence de l'activité photosynthétique en comparant des périodes avec des fluctuations de température semblables mais des ensoleillements différents. Si c'est le cas, cela n'expliquerait pas les variations de température au fond, qui est aphotique.

5 Suivi continu de l'oxygène dissous

5.1 Résultats concernant les fluctuations journalières

Nous utilisons la même méthode de décomposition et de modèle linéaire pour le signal du capteur de DO sous R.

En surface, l'observation d'algues est significativement liée à l'écart-type des fluctuations de DO (p-value de 0.035474) mais pas le niveau d'eau ni l'apport de nutriments (respectivement p-value de 0.511765 et 0.098628). La présence d'algues diminue la variabilité de DO de surface (coefficient de -0.08802). Nous supposons que les algues à la surface de l'eau photosynthétisent dans l'air et puisque qu'elles recouvrent une surface parfois importante, empêchent la photosynthèse au-dessous.

Au fond, l'écart-type des fluctuations de DO n'est pas significativement lié à la présence d'algues, de nutriments et au niveau d'eau.

5.2 Discussion

Nous avons remarqué que le niveau d'eau des lacs n'est pas le même partout. Il est très positif pour l'expérience que le DO en soit indépendant pour pouvoir comparer les réplicats.

5.3 Résultats concernant les fluctuations sur le mois d'avril

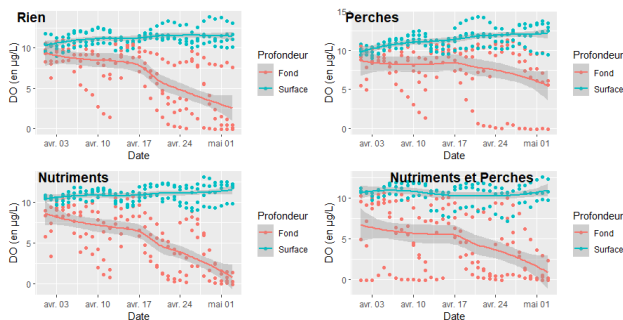


FIGURE 8 – Moyenne journalière de la DO des lacs (sur le mois d'avril) en profondeur et en surface

On observe pour tous les traitements une différence d'évolution de la DO entre les mesures de fond (des lacs) et les

mesures de surfaces 9 : la DO de surface évolue peu au cours du mois d'avril (augmentation légère), tandis que la DO de fond, après un début du mois d'avril assez stable, diminue plus ou moins rapidement aux alentours du 17 avril. Les données météo attestent de précipitations tous les jours entre le début du mois d'avril et le 17 avril. Après cette date, les épisodes de précipitations sont beaucoup plus rares. Ainsi, la diminution de la DO à partir de cette date pourrait s'expliquer par le fait qu'avant le 17 avril les précipitations ont permis de tamponner les changements de température interne aux lacs (dû à l'activité biologique aquatique) puis une fois ce long épisode de pluie terminé cet effet tampon a disparu.

On remarque que pour les 2 traitements sans perches, les variations de DO sont semblables et semblent plus importantes qu'avec perches. Ainsi, on pourrait émettre l'hypothèse que la présence de perches aurait un effet stabilisateur de la DO.

Par ailleurs, pour le traitement avec nutriments et perches, on observe une diminution de la DO de fond moins forte que celle des traitements sans perches, mais plus importante que celle du traitement avec perches seules. On pourrait donc émettre l'hypothèse que la présence des nutriments limite l'effet stabilisateur des perches.

5.4 Discussion

Nous avons commencé à tester si ces hypothèses étaient significatives avec un modèle linéaire. Nous comparons les pentes de DO en fonction du traitement perches/pas perches ou nutriments/pas nutriments. Les premiers résultats tendent à montrer que les différences ne sont pas significatives.

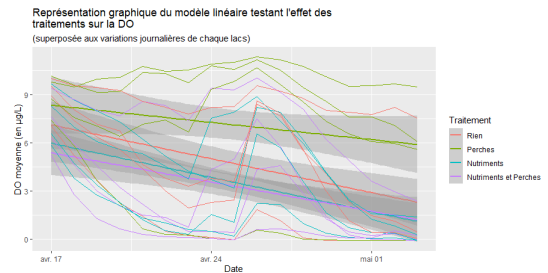


FIGURE 9 – Représentation graphique du modèle linéaire testant l'effet des traitements sur la DO en profondeur (superposée à la représentations des variations journalières moyenne de DO pour chaque lacs). Panel 1 : sans Nutriments ni Perches Panel 2 : Perches, sans Nutriments Panel 3 : Nutriments, sans Perches Panel 4 : Nutriments + Perches

Conclusion

Nous espérons voir un effet de l'apport de nutriments sur la concentration en chlorophylle des lacs plus tard dans la saison. Le contrôle top-down des perches a un effet déstabilisateur sur les écosystèmes et limite le mélange des masses d'eau par les gardons. La hauteur d'eau dans les lacs est corrélée à sa position spatiale et doit être monitorée. L'apport de nutriment augmente les variations de température en surface des lacs.

6 Annexe

TABLE 1 – Résultats de l'analyse en composantes principales réalisée sur le scoring du 03/04/23 vers 15h

	Nutriments seuls	Perches seules	Nutriments et perches
Rien	0.9692	0.9489	0.5919
Nutriments seuls		0.9994	0.3431
Perches seules			0.3310

	1.5m	2.5m
0.5m	0.7472	0.0002
1.5m		<0.0001

(a) profondeur

	Nutriments seuls	Perches seules	Nutriments et perches
Rien	0.9573	0.2059	0.1624
Nutriments seuls		0.4497	0.3769
Perches seules			0.9992

(b) traitement

TABLE 2 – P-value pour le test de Tukey en fonction du traitement du lac dont le pH est mesuré ou en fonction de la profondeur de mesure du pH

TABLE 3 – Résultats de l'analyse en composantes principales réalisée sur le scoring du 03/04/23 vers 15h

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC5
Proportion de la variance	0.6261	0.1880	0.1207	0.04926	0.01593
Poissons	-0.06833907	0.59081595	-0.78771680	0.15152310	0.05300267
Grenouilles	-0.06857204	-0.19861908	-0.33012358	-0.84597816	-0.36219844
Algues	0.04887338	-0.77924928	-0.51742857	0.32426931	0.13228397
Déchets biologiques	0.12894039	0.01023052	-0.01831419	-0.39502980	0.90933259
Niveau d'eau	-0.98570453	-0.06444276	0.04952717	0.01275062	0.14703128