**OBJET**

Ce document a pour objectif de décrire le projet scientifique et sa mise en œuvre, les moyens mis à disposition par chacun des acteurs ainsi que les flux de communication nécessaires à la réalisation du projet.

# Résumé

Les écosystèmes aquatiques sont fortement influencés par les changements climatiques [1], les événements climatiques extrêmes [2], la présence de nutriments [3] ou de la structure du réseau trophique [3].

En s’ancrant dans la continuité du projet long-terme réalisé sur le site Planaqua, nous souhaitons étudier les variations du métabolisme de macrocosmes aquatiques expérimentaux en avril 2023.

Ce projet du site Planaqua a été initié en 2014, et les mesures ont commencé en 2019. Le site se structure en 16 lacs, comportant 4 traitements différents (avec pour chaque 4 réplicas) où l’on étudie soit un contrôle bottom-up (par un enrichissement en nutriments) ou top-down (introduction d’un prédateur de haut de chaîne) sur ces écosystèmes expérimentaux :

* Avec prédateurs de haut de chaîne (initialement le brochet, remplacé par la perche suite à son importante mortalité) et ajout de nutriments (azote et phosphore)
* Avec prédateurs de haut de chaîne et sans enrichissement en nutriments
* Sans prédateurs de haut de chaîne et avec enrichissement en nutriments
* Sans prédateurs de haut de chaîne, ni enrichissement en nutriments.

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

Sur ces différents macrocosmes, nous quantifierons le dioxygène dissous, la température, le pH, la chlorophylle totale ainsi que la présence des différents types d’algues, à plusieurs profondeurs. Nous chercherons également à évaluer l’impact de la répartition spatiale des différents réplicas sur les données obtenues.

# Objectifs scientifiques

Objectifs scientifiques du projet

Ce projet vise à étudier les motifs journaliers et au cours du mois d’avril 2023 du métabolisme de macrocosmes aquatiques. On étudie soit un contrôle bottom-up (par un enrichissement en nutriments) ou top-down (introduction d’un prédateur de haut de chaîne) sur ces écosystèmes expérimentaux. On étudie également comment les événements météorologiques extrêmes, en particulier les précipitations et les températures intenses, affectent les procédés biologiques et la structure des écosystèmes.

Hypothèses et principes du projet

L’étude du fonctionnement de l’écosystème aquatique est permise par 16 lacs, comportant 4 traitements différents (avec ou sans perches, prédateur de haut de chaîne, et avec ou sans enrichissement en nutriments). On peut alors comparer le métabolisme et la structure des macrocosmes, à différentes échelles temporelles et à différentes profondeurs, grâce aux mesures de plusieurs paramètres pH, chlorophylle et dioxygène dissous notamment. Il est possible d’évaluer les fluctuations du métabolisme au cours du mois d’avril par des mesures continues du dioxygène dissous, à différentes profondeurs pour chaque lac. On peut également déterminer ponctuellement la communauté phytoplanctonique grâce à une mesure de chlorophylle. L’accès à des données météorologiques permet de corréler ces variations avec les évènements climatiques.

Mots clés

Chaîne trophique, Macrocosmes aquatiques, Évènements météorologiques et climatiques extrêmes

Références

[1] Yvon-Durocher, G., Hulatt, C. J., Woodward, G., & Trimmer, M. (2017). Long-term warming amplifies shifts in the carbon cycle of experimental ponds. *Nature Climate Change*, *7*(3), 209-213.

[2] Ummenhofer, C. C., & Meehl, G. A. (2017). Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *372*(1723), 20160135

[3] Cole, J. J., Pace, M. L., Carpenter, S. R., & Kitchell, J. F. (2000). Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations. *Limnology and oceanography*, *45*(8), 1718-1730.

[4] Long-term experiment on ELP platform (last version of the document: 2021, April 9th)

[5] Site web du projet PLANAQUA <https://www.cereep.bio.ens.psl.eu/spip.php?article7>

# Etapes détaillées du protocole

## Opération / Etape 1 : Mesure mensuelle de la chlorophylle totale

But / objectif : On étudie les fluctuations saisonnières de la concentration d’algues dans chaque lac que l’on met en relation avec celles du dioxygène dissous. L’étude permet également de quantifier les différences de ces concentrations selon les différents traitements et d’étudier les contrôles bottom-up et top-down.

Matériel : - bouteille de prélèvement de 2L

- flacons d’échantillonnages

- appareil de mesure d’absorbances BBE

- glaciaire

Méthode, plan d’expérience (tâches et sous-tâches) : On prélève 3 échantillons de 2L, dans la bouteille de prélèvement, pour chaque lac (0.5m, 1.5m et 2.5m de profondeur). Après mélange de ces 3 volumes, on conserve un échantillon dans une fiole. Ce protocole choisi de ne pas mesurer la chlorophylle présente à chaque profondeur (mélange des eaux prélevées), pour réduire les données à analyser. Les échantillons sont conservés dans une glaciaire, afin d’éviter l’exposition au soleil et l’excitation des photosystèmes, avant analyse. L’analyse des échantillons est permise par des mesures d’absorbance par l’appareil de mesure BBE. On obtient alors les quantités de différentes algues (selon la sensibilité des photosystèmes aux différentes longueurs d’onde) : algues vertes, algues dites « bluegreen » (cyanobactéries), diatomées, cryptophytes etc présentes dans chaque lac.

Documents associés : protocole\_bbe.pdf, BBE\_analysis\_Ostapchuk.R, BBE\_all.txt, mai.csv, Mesures\_BBE\_lacs2023\_update.numbers

Gestion des échantillons (nombres, identification - étiquetage, mode de conservation) : un échantillon par lac, identifié par la numérotation de référence des lacs, conservation avant analyse à l’abri de la lumière (éviter l’excitation des photosystèmes)

Recommandations et contraintes particulières : On veillera à la bonne fermeture de la bouteille de prélèvement aux profondeurs de prélèvement souhaitées, pour obtenir un échantillon représentatif de la totalité des eaux présentes dans le lac.

## Opération / Etape 2 : Mesure mensuelle multi paramétriques

But / objectif : La mesure mensuelle de différents paramètres (notamment pH et chlorophylle) vise à comprendre le métabolisme de chaque lac. On peut ensuite étudier les variations saisonnières du métabolisme pour chaque lac, ainsi que les différences de ces variations pour les 4 traitements. Cette mesure permet également de confirmer la mesure continue du capteur d’O2 et de température.

Matériel : - Sonde multi paramètres (contenant plusieurs électrodes)

- Solutions de calibration du pH

Méthode, plan d’expérience (tâches et sous-tâches) : La sonde multi paramètres permet la mesure du pH (principalement représentative du rapport entre le taux de respiration et de production primaire brute), de la conductivité (régulant l’effet tampon de l’eau), la turbidité, la salinité, la pression et la chlorophylle totale.

Avant d’effectuer les mesures dans chaque lac, on effectue la calibration des électrodes de mesure du pH (étalonné sur deux points entre 7 et 9).

Une fois par mois (participation aux mesures du mois de mai), trois mesures (0.5m, 1.5m, 2.5m de profondeur) par lac sont effectuées. Après stabilisation des données mesurées pour chaque profondeur, on obtient un tableau de données de ces différents paramètres.

Documents associés : protocole\_multip.pdf, lc\_multip\_05.R, multiparametre\_may.txt

Gestion des échantillons (nombres, identification - étiquetage, mode de conservation) : une mesure par profondeur, 3 profondeurs pour chaque lac

Recommandations et contraintes particulières : L’incertitude des données acquises est principalement dû à une mauvaise stabilisation des valeurs mesurées par la sonde.

## Opération / Etape 3 : Prélèvement des données continues de dioxygène dissous

But / objectif : Cette expérience cherche à étudier les variations temporelles du dioxygène dissous en profondeur dans les lacs, et entre les 4 différents traitements. Dans un premier temps, on souhaite analyser les différences des fluctuations temporelles (journalières et saisonnières) entre les 4 traitements. La mise en parallèle avec des paramètres météorologiques cherchera alors à comprendre la répartition en profondeur du dioxygène dissous au cours du temps.

Matériel : -sonde HOBO U26-001 de mesure optique du dioxygène dissous et de la température

-bouchon protecteur de la sonde avec filament de cuivre (afin d’éviter la présence d’algues autour du capteur)

-bac de calibration

Méthode, plan d’expérience (tâches et sous-tâches) : Les sondes sont placées en surface (70 cm en dessous de la surface de l’eau, maintenue par une bouée) et en profondeur (à 30 cm du fond du lac) pour chaque lac. La sonde effectue une mesure toutes les 10 minutes (heure UTC choisie).

Tous les 3 mois, les sondes sont retirées, afin de quantifier la dérive (que l’on suppose linéaire au cours du temps), d’effectuer une nouvelle calibration dans une solution saturée en dioxygène, d’accéder aux données du trimestre (dioxygène dissous et température), de nettoyer les sondes et de vérifier leur bon fonctionnement.

En s’ancrant dans ce protocole de suivi continu sur le long terme du dioxygène dissous et de la température, nous avons effectué un retrait trimestriel des sondes.

Documents associés : protocole\_hobo.pdf, [FM\_extract\_daily\_O2\_fluctuations.R](https://github.com/francoismallard/PlanAqua/blob/main/scripts/FM_extract_daily_O2_fluctuations.R) , [FM\_extract\_daily\_WTR\_fluctuations.R](https://github.com/francoismallard/PlanAqua/blob/main/scripts/FM_extract_daily_WTR_fluctuations.R), [nb\_daily\_fluctuation\_nut\_o2.R](https://github.com/francoismallard/PlanAqua/blob/main/scripts/nb_daily_fluctuation_nut_o2.R), [nb\_daily\_fluctuation\_nut\_wtr.R](https://github.com/francoismallard/PlanAqua/blob/main/scripts/nb_daily_fluctuation_nut_wtr.R), May\_2023\_O2\_data.txt, daily\_fluctuations\_WTR.txt, daily\_fluctuations.txt et daily\_fluctuations\_O2.

Gestion des échantillons (nombres, identification - étiquetage, mode de conservation) : 2 sondes par lac (une en profondeur et une autre en surface)

Recommandations et contraintes particulières : L’attention est principalement portée sur les limites techniques de la sonde (batterie, dérive, biofouling…)

## Opération / Etape 4 : Scoring

But / objectif : Les 4 réplicas de chaque expériences présentent des résultats hétérogènes. Cette expérience cherche donc à établir des hypothèses de cette hétérogénéité. La réalisation du scoring vise à étudier l’influence de la position spatiale des lacs (notamment de la proximité de la forêt) dans les mesures effectuées (sonde multi paramètres, dioxygène, chlorophylle totale). Il est aussi intéressant d’évaluer l’influence du littoral (et de son immersion).

Matériel : Sans objet

Méthode, plan d’expérience (tâches et sous-tâches) : Plusieurs paramètres à recenser sont établis : le niveau de l’eau (reliée à la connexion du lac avec le littoral), la présence d’algues en surface, de déchets biologiques flottants, de poissons (on ne distinguera pas les espèces observées) et de grenouilles.

La plupart des paramètres sont recensés selon la présence (notée 1) ou l’absence (notée 0). Le niveau d’eau dans le lac est évalué selon 5 niveaux (notés 1,2,3,4,5), avec pour référence la base du littoral (notée 3). Ainsi un niveau 5 correspond à un littoral très immergé, et 1 à un bas niveau d’eau (donc pas d’immersion du littoral, pas de connexion avec le bassin).

Chaque observateur recense indépendamment ces 5 paramètres dans les lacs, et la présence de grenouilles (ou têtards ou œufs ) et d’algues dans les canaux reliant les lacs.

Documents associés : protocole\_scoring.pdf, scoring\_03052023.txt, nb\_scoring\_03052023.R

Gestion des échantillons (nombres, identification - étiquetage, mode de conservation) : méthode d’observation , pas d’échantillons prélevés

Recommandations et contraintes particulières : On veillera à définir au préalable strictement les paramètres et leur scores, notamment pour l’évaluation du niveau d’eau, le niveau de la référence variant légèrement autour du lac.

## Opération / Etape 5 : Analyse de données

But / objectif : Analyse de données sur R

Matériel : R, logiciel Rstudio

Méthode, plan d’expérience (tâches et sous-tâches) : Représentation graphique des données, utilisation de tests statistiques

Documents associés : scripts, métadonnées

Gestion des échantillons (nombres, identification - étiquetage, mode de conservation) : données stockées sous format .csv et .txt, et importées sous R

Recommandations et contraintes particulières :

# Pilotage du protocole et acteurs

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Nom Prénom | Tel | @ | Opérations, compétences |
| Coordinateur | Gérard Lacroix |  | [planaqua@bio.ens.psl.eu](mailto:planaqua@bio.ens.psl.eu) | Responsable scientifique du projet PLANAQUA |
| Collaborateurs scientifiques | Sophie Guillon | 01.64.69.47.48 | [sophie.guillon@minesparis.psl.eu](mailto:sophie.guillon@minesparis.psl.eu) | Encadrement, suivi du projet PLANAQUA, fourniture de données |
| Collaborateurs techniques | Alexis Millot | |  |  | | --- | --- | |  | 01.64.28.42.82 | | [alexis.millot@bio.ens.psl.eu](mailto:alexis.millot@bio.ens.psl.eu) | Encadrement, suivi du projet PLANAQUA et fourniture du matériel |
| Stagiaires et autres intervenants | François Mallard  Nelly Bergounhon  Lise Chantelauze  Ivanna Ostapchuk  Mathilde Rocher | 06.44.30.14.40  06.40.32.99.61  06.95.64.82.71  07.82.51.08.62 | [francois.mallard@bio.ens.psl.eu](mailto:francois.mallard@bio.ens.psl.eu)  [nelly.bergounhon@ens.psl.eu](mailto:nelly.bergounhon@ens.psl.eu)  [lise.chantelauze@ens.psl.eu](mailto:lise.chantelauze@ens.psl.eu)  [ivanna.ostapchuk@ens.psl.eu](mailto:ivanna.ostapchuk@ens.psl.eu)  [mathilde.rocher@ens.psl.eu](mailto:mathilde.rocher@ens.psl.eu) | Mesures de terrain et analyse des données |

# Liste des opérations et planification

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Quoi ? | Qui ? | Quand ? | |
| Opérations/Etapes  (Méthodes) | **Responsable**/Acteurs | Date de début | Date de fin |
| 1. Mesure mensuelle de la chlorophylle totale | **Alexis Millot**  Nelly Bergounhon, Lise Chantelauze | 02/05/2023 | 02/05/2023 |
|  |  |  |  |
| 1. Mesures mensuelles multi paramétriques | **Alexis Millot**  Nelly Bergounhon, Lise Chantelauze, Ivanna Ostapchuk, Mathilde Rocher | 02/05/2023 | 03/05/2023 |
| 1. Prélèvement des données continues de dioxygène dissous | **Sophie Guillon / Alexis Millot**  Nelly Bergounhon, Lise Chantelauze, Ivanna Ostapchuk, Mathilde Rocher | 03/05/2023 | 03/05/2023 |
| 1. Scoring | **François Mallard**  Nelly Bergounhon, Lise Chantelauze, Ivanna Ostapchuk, Mathilde Rocher | 03/05/2023 | 03/05/2023 |
| 1. Analyse de données | **François Mallard / Sophie Guillon**  Nelly Bergounhon, Lise Chantelauze, Ivanna Ostapchuk, Mathilde Rocher | 04/05/2023 | 05/05/2023 |

# Evaluation de la faisabilité technique et financière

A cette étape, il s’agit de faire une évaluation des besoins matériels, humains et par conséquent financiers du projet scientifique.

Dispositifs existants mobilisés

* 16 lacs expérimentaux de la plateforme PLANAQUA du CEREEP-Ecotron de 750 .
* Sondes HOBO, multi paramètres, et BBE
* Bouteille d’échantillonnage de 2L
* Flacons d’échantillonnages

Besoins matériels supplémentaires

* Ordinateurs (analyse de données)

Besoins humains supplémentaires