



HAL
open science

Caractérisation des sites de reproduction de l’Omble chevalier (Salvelinus umbla)

Clément Rautureau, Quentin Godeaux, Chloé Goulon, Allan Raffard, Jean-Claude Raymond, Aurélie Rubin, Jean-François Rubin, Jean Guillard

► **To cite this version:**

Clément Rautureau, Quentin Godeaux, Chloé Goulon, Allan Raffard, Jean-Claude Raymond, et al.. Caractérisation des sites de reproduction de l’Omble chevalier (Salvelinus umbla). UMR CARTELE INRAE & USMB. 2025. <hal-05012340>

HAL Id: hal-05012340

<https://hal.science/hal-05012340v1>

Submitted on 31 Mar 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License



Caractérisation des sites de reproduction de l'Omble chevalier (*Salvelinus umbla*)

Partie 1 : Faisabilité de la caractérisation des sites de reproduction de l'Omble chevalier à l'aide d'un ROV – Frayère du Bouveret (Léman)

Partie 2 : Analyse de la corrélation entre la fréquentation de l'Omble chevalier et la température de l'eau sur l'omblière d'Yvoire sur le Léman

Clément Rautureau^{1,2}

Quentin Godeaux^{1,2}

Chloé Goulon^{1,2}

Allan Raffard^{1,2}

Jean-Claude Raymond^{2,3}

Aurélie Rubin⁴

Jean-François Rubin⁴

Jean Guillard^{1,2}

¹ Université Savoie Mont Blanc, INRAE, CARRTEL, 74200 Thonon-les-Bains, France

² Pôle R&D ÉCLA (OFB, INRAE, USMB), 74200 Thonon-les-Bains, France

³ Office Français de la Biodiversité, 74200 Thonon-les-Bains, France

⁴ Maison de la Rivière, CH-1131 Tolochenaz, Suisse

03/2025

CITATION DU RAPPORT

Rautureau C., Godeaux Q., Goulon C., Raffard A., Raymond J-C., Rubin A., Rubin J-F., Guillard J., 2025. Caractérisation des sites de reproduction de l’Omble chevalier (*Salvelinus umbla*) Partie 1 : Faisabilité de la caractérisation des sites de reproduction de l’Omble chevalier à l’aide d’un ROV – Frayère du Bouveret (Léman), Partie 2 : Analyse de la corrélation entre la fréquentation de l’Omble chevalier et la température de l’eau sur l’omblière d’Yvoire sur le Léman. Rapport du pôle ECLA, pp 22.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 5 |
| Partie 1 : Faisabilité de la caractérisation des sites de reproduction de l’Omble chevalier à l’aide d’un ROV – Frayère du Bouveret (Leman) | 6 |
| I. Matériels & Méthodes | 6 |
| I.1 Site d’Etude | 6 |
| I.2 Dispositif expérimental – design de l’étude..... | 7 |
| I.3 Suivi de paramètres physico-chimiques (Température, O ₂) | 11 |
| II. Résultats | 12 |
| II.1 Taux de survie..... | 12 |
| II.2 Variation des conditions de température et d’oxygène en fonction de la profondeur | 13 |
| Température..... | 13 |
| Oxygène | 14 |
| II.3 Relation entre taux de survie et variables environnementales | 15 |
| Température..... | 15 |
| Oxygène | 16 |
| III. Conclusion | 17 |
| Partie 2 : Analyse de la corrélation entre la fréquentation de l’Omble chevalier et la température de l’eau sur l’omblière d’Yvoire sur le Léman | 18 |
| IV. Matériels & Méthodes | 18 |
| V. Résultats | 19 |
| VI. Conclusion | 21 |
| VII. Références | 22 |

Table des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Résultats du taux de survie..... | 12 |
| Tableau 2 : Ecart type des résidus de température..... | 14 |
| Tableau 3 : Ecart type des résidus de l'oxygène..... | 15 |
| Tableau 4: Dates des campagnes de pêches et effort d'échantillonnage réalisé dans le cadre du suivi de l'omblière d'Yvoire. (Desforet L. & Raymond J-C., 2017)..... | 19 |

Table des illustrations

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Investigation 2024. Plongées au ROV sur un échantillon de sites recensés en 1992. | 6 |
| Figure 2 : A) schéma du complexe du Bouveret (Rubin J-F. & Buttiker B. (1992), B) localisation et caractéristiques physiques précises de la frayère, relevées en juillet 2024 (Rubin A et al, 2024)..... | 7 |
| Figure 3 : Illustration des étapes de fécondation et installation des œufs dans les frayères artificielles (photos : © Jean A. Luque)..... | 8 |
| Figure 4 : Design expérimental d'installation des dispositifs expérimentaux sur l'omblière..... | 9 |
| Figure 5 : Photos des ROV utilisés pour la mise en place et la relève des dispositifs expérimentaux. | 10 |
| Figure 6 : Mise en place des frayères artificielles (photos : © Jean A. Luque)..... | 11 |
| Figure 7 : miniDOT Logger ©PME..... | 12 |
| Figure 8 : Evolution de la température, sur la période d'incubation des œufs pour chaque profondeur..... | 13 |
| Figure 9 : Evolution des résidus de température par profondeur..... | 14 |
| Figure 10 : Evolution de l'oxygène, sur la période d'incubation des œufs pour chaque profondeur.... | 14 |
| Figure 11 : Relation entre la survie et la température moyenne..... | 15 |
| Figure 12 : Relation entre la survie et la concentration moyenne en oxygène..... | 16 |
| Figure 13: Localisation de l'omblière d'Yvoire sur le lac Léman (Desforet L. & Raymond J-C.,2017) . | 18 |
| Figure 14 : Comparaison des données de température avec la capture quotidienne de l'omble chevalier. (A) Résultats pour l'année 2013 : La température est représentée par la courbe rouge pour les deux premiers jours d'échantillonnage, tandis que les barres bleues indiquent les valeurs de capture quotidienne. (B) Résultats pour l'année 2014 : Les mesures de température sont disponibles pour les trois jours d'échantillonnage. (C) Résultats pour l'année 2015. (D) Résultats pour l'année 2016..... | 20 |
| Figure 15 : Corrélation entre le nombre d'individus capturés et la température selon le test de Pearson..... | 21 |

Introduction

L'omble chevalier (*Salvelinus umbla*) est une espèce de poisson d'eau froide qui occupe un rôle écologique important dans les lacs et les eaux profondes des régions arctiques et subarctiques. Il est un indicateur clé de la santé des écosystèmes lacustres en raison de sa sensibilité aux changements environnementaux. On le trouve principalement dans les lacs en Europe du Nord, en Russie, au Canada et en Alaska. En raison de sa distribution géographique étendue, il existe plusieurs populations distinctes, souvent adaptées à des conditions locales spécifiques. Toutefois, le réchauffement climatique et les pressions anthropiques menacent les populations existantes. Son rôle dans les systèmes économiques et culturels de plusieurs pays européens, (Eriksson et al., 2006 ; Caudron et al., 2014 ; Winfield et al., 2019) rend sa surveillance essentielle pour garantir la pérennité de cette ressource, ainsi que pour maintenir l'équilibre écologique.

L'omble est une des espèces emblématiques du Léman, il est bien adapté aux eaux profondes et froides du lac, se reproduisant sur des sites spécifiques appelés « omblières », situées généralement, dans le Léman, entre 30 et 120 mètres. Comme sur les autres grands lacs, la population du Léman est exploitée par la pêche amateur et professionnelle et est sujette à des facteurs environnementaux comme le réchauffement climatique. Ces phénomènes cumulés ont entraîné une baisse du stock de poissons, qui reste aussi très dépendant du repeuplement (Caudron et al., 2014). Malgré une amélioration de la qualité des eaux du Léman depuis plusieurs années, la situation des populations d'omble reste incertaine et soumise à de nombreuses pressions (température, pêche, micropolluants, fonctionnalité des frayères, compétitions, diversité intraspécifique, etc.).

De nombreux travaux sont menés par ailleurs sur ce poisson et ont fait l'objet d'une synthèse (Lubin et al., 2024 : cette action OFB du Pole ECLA avait deux buts complémentaires :

- La première partie du projet concernait la faisabilité méthodologique de caractériser les omblières via l'installation de dispositifs expérimentaux à l'aide du ROV. Le dispositif est constitué d'un panier rempli de graviers dans lequel est déposé des cages contenant des œufs et des graviers. Chaque panier dispose également d'un capteur de température et d'oxygène. En effet, la connaissance des conditions physico-chimiques des zones de reproduction est un prérequis pour étudier les dynamiques de population. Ces conditions seront également mises en relief avec le taux de survie d'œufs. Les grandes profondeurs de ces zones empêchent des déploiements simples. Un test, grandeur nature, de la pose de capteurs d'oxygène et de température sera réalisé avec le ROV actuel pour vérifier la faisabilité à plus grande échelle. Ce projet a fait l'objet d'un partenariat avec la Maison de la Rivière (Suisse).
- L'objectif de la deuxième partie de l'étude était d'examiner la corrélation entre la présence des ombles sur l'ombrière d'Yvoire et les variations de température. Cette analyse faisait partie d'un suivi mis en place dans le cadre d'une mesure de compensation, initiée par l'Office Française de la Biodiversité et l'entreprise Sagradanse, afin de renouveler leur autorisation d'exploitation. Selon la littérature (Rubin J-F. & Buttiker B., 1992), l'ombrière était autrefois désertée par les ombles pendant leur période de reproduction. Cette mesure visait donc, à améliorer les conditions de l'ombrière et à favoriser le retour des individus matures. Le suivi de la température, un facteur essentiel pour la reproduction et le développement des œufs (Gillet C., 1991), a été réalisé à l'aide de capteurs installés sur les filets d'échantillonnage, afin d'étudier cette relation.

Partie 1 : Faisabilité de la caractérisation des sites de reproduction de l’Omble chevalier à l’aide d’un ROV – Frayère du Bouveret (Leman)

I. Matériels & Méthodes

I.1 Site d’Etude

Durant l’été et l’automne 2024, la Maison de la Rivière a conduit des investigations avec plusieurs plongées afin de vérifier l’état des omblières par rapport aux observations de Rubin J-F. & Buttiker B. (1992).

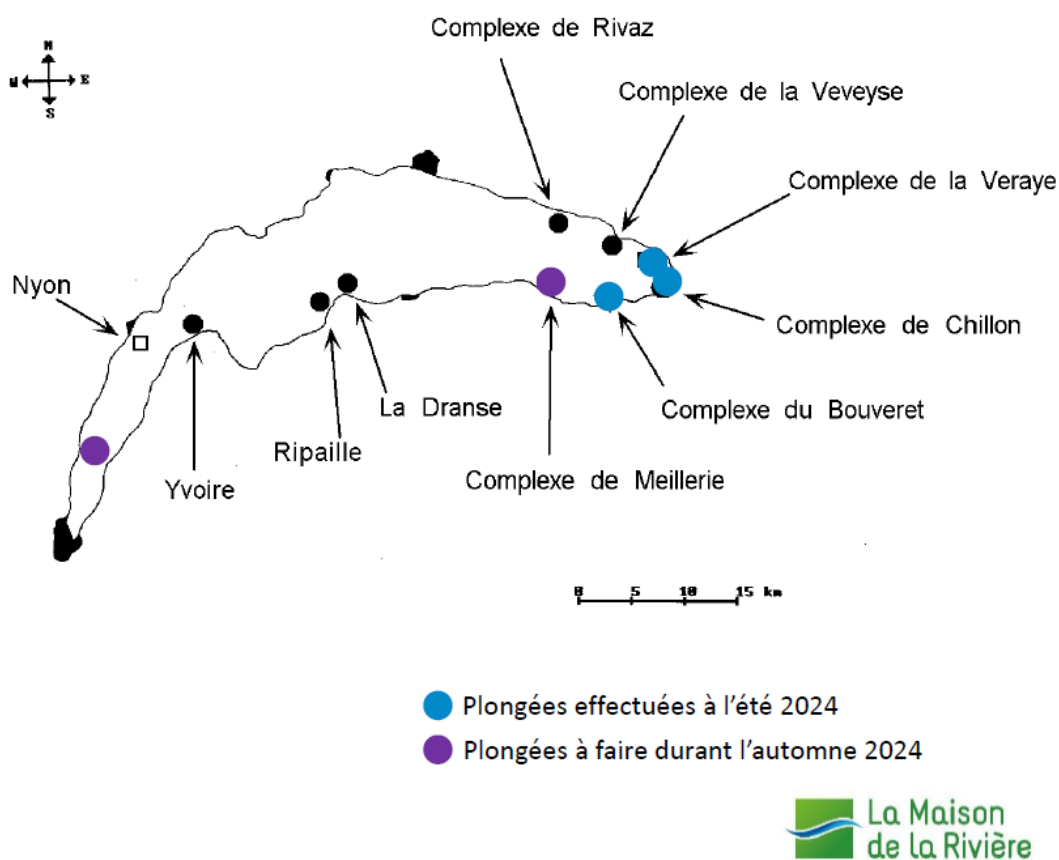


Figure 1 : Investigation 2024. Plongées au ROV sur un échantillon de sites recensés en 1992.

Ces plongées ont permis d’identifier le complexe du Bouveret comme site d’étude pour cette première année de faisabilité. Cette omblière, située à proximité du port de Saint-Gingolph, a été sélectionnée pour : i) une granulométrie adéquate, faiblement colmatée par des fines et avec une faible présence de moule quagga ; ii) la présence avérée de géniteurs ; iii) des caractéristiques physiques (pente, largeur) facilitant la mise en place et la récupération des paniers à l’aide d’un ROV. En effet, ce dernier critère nous semblait important dans le cadre de cette étude de faisabilité de déploiement *in-situ* des dispositifs expérimentaux (paniers) équipés de capteurs à l’aide d’un drone aquatique télé-opéré. Le partenariat avec les collègues suisses a permis de réaliser les expérimentations avec un ROV de plus gros gabarit et du matériel pour la création des dispositifs expérimentaux.

Cette omblière a fait l'objet d'un déversement régulier de graviers, dont 150 m³ le 7 octobre 2022, organisé par le Canton du Valais. Les observations de 2024, au ROV, confirment la présence d'une granulométrie adéquate et ont permis de redéfinir les dimensions du site.

La frayère s'étend de 25 m jusqu'à 70 m de profondeur avec une largeur constante d'environ 20 m.



Figure 2 : A) schéma du complexe du Bouveret (Rubin J-F. & Buttiker B. (1992), B) localisation et caractéristiques physiques précises de la frayère, relevées en juillet 2024 (Rubin A et al, 2024)

I.2 Dispositif expérimental – design de l'étude

Le projet a débuté le 12 décembre avec le prélèvement des géniteurs sur la frayère, grâce à l'aide précieuse d'un pêcheur valaisan. Suite à la pose des filets la veille au soir, ceux-ci ont été remontés tôt le matin afin d'effectuer le stripage des géniteurs et la fécondation des œufs. Pour cela, les gamètes issus de 7 femelles ont été regroupés puis fécondés avec la laitance de 4 mâles.



Figure 3 : Illustration des étapes de fécondation et installation des œufs dans les frayères artificielles (photos : © Jean A. Luque)

Moins de 2h après la fécondation, les œufs sont déposés par lot de 100 dans des cages remplies de graviers. Ces cages ont été initialement développées par La Maison de la Rivière et Hepia (modèle ETF-Kit) pour le suivi de la survie des œufs de truites en rivière, mais sont ici appliquées pour les ombles chevaliers. Elles ont un diamètre de 7cm pour 21 cm de long et une maille de 1mm. Les cages sont installées verticalement sur un lit de gravier et partiellement recouvertes. Le tout est installé dans un panier constituant « le dispositif expérimental ». Pour sécuriser le système, un grillage est fixé en surface, maintenant le substrat et les cages dans le panier pour prévenir tout renversement.

Afin d'avoir une vision globale des conditions au sein de l'ombrière, trois profondeurs ont été suivies (35, 50 et 65 m). Pour chaque profondeur, trois dispositifs expérimentaux ont été installés, chacune avec trois cages de 100 œufs, afin d'obtenir des triplicats.

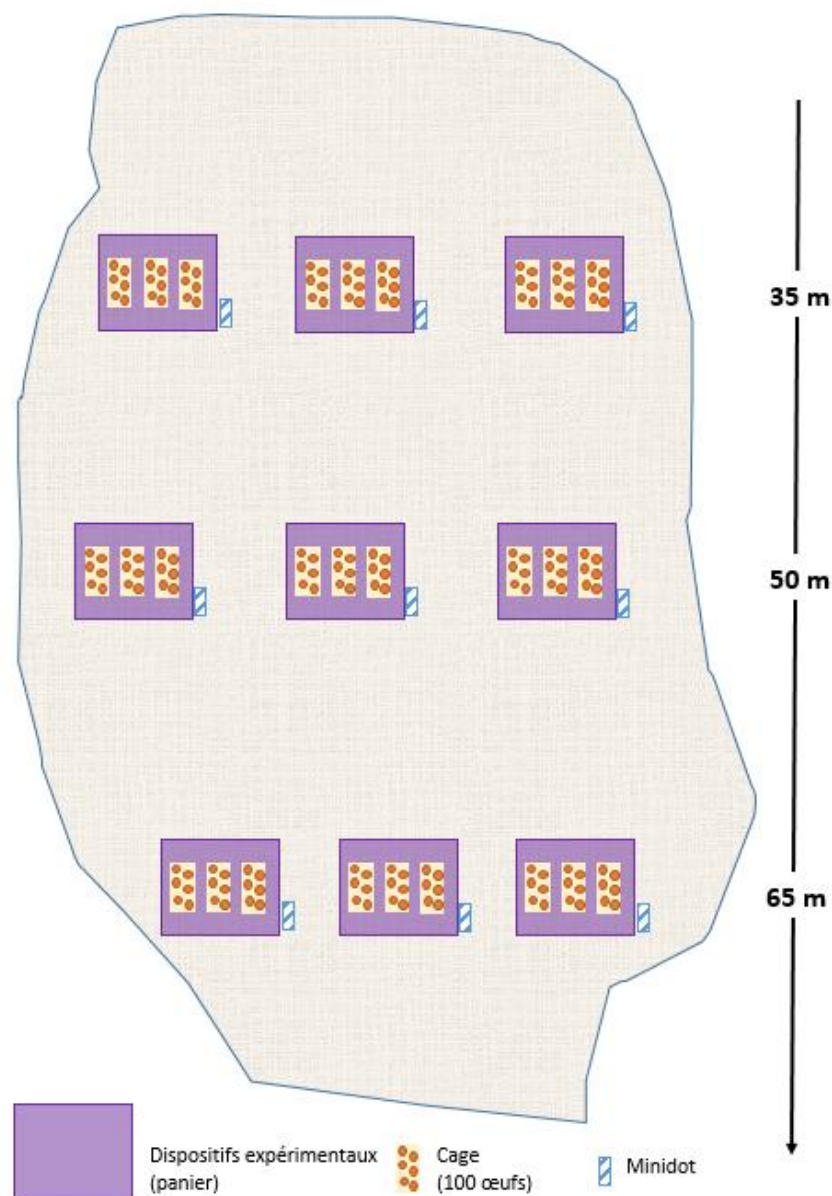


Figure 4 : Design expérimental d'installation des dispositifs expérimentaux sur l'ombrière

La pose des paniers sur l'ombrière a nécessité 6 personnes :

- 1 pilote de bateau
- 1 pilote de drone
- 2 personnes pour préparer la mise en place des œufs dans les cages et leur installation dans les paniers
- 1 personne pour gérer le câble du drone
- 1 personne pour descendre les paniers à l'aide d'une corde.

Pour cette étude nous avons utilisé 2 ROV

- BlueROV 2 (maison de la rivière)
- Chasing M2 Pro (INRAE)



Figure 5 : Photos des ROV utilisés pour la mise en place et la relève des dispositifs expérimentaux

L'installation des dispositifs expérimentaux (paniers) s'est déroulée comme suit :

- Le pilote du bateau se maintient en position fixe à la profondeur souhaitée, indiquée par le sondeur du bateau. L'angle d'ouverture du sondeur et les fortes pentes ne permettent pas un niveau élevé de précision. Ainsi, une première plongée est effectuée en drone pour, d'une part, vérifier la profondeur et, d'autre part, s'assurer que le secteur correspond bien à celui de la frayère (granulométrie).
- Si nécessaire, le pilote du bateau se repositionne à la verticale du ROV (perception du ROV dans le cône du sondeur).
- Préparation de la frayère artificielle.
- Remontée du ROV en surface et mise à l'eau de la frayère, soutenue par une corde.
- Descente de la frayère jusqu'au fond avec un contact visuel permanent du ROV.
- Si nécessaire, le ROV ajuste la position de la frayère et libère le crochet de la corde.
- Prise de waypoints sur le GPS du bateau et le GPS à main.

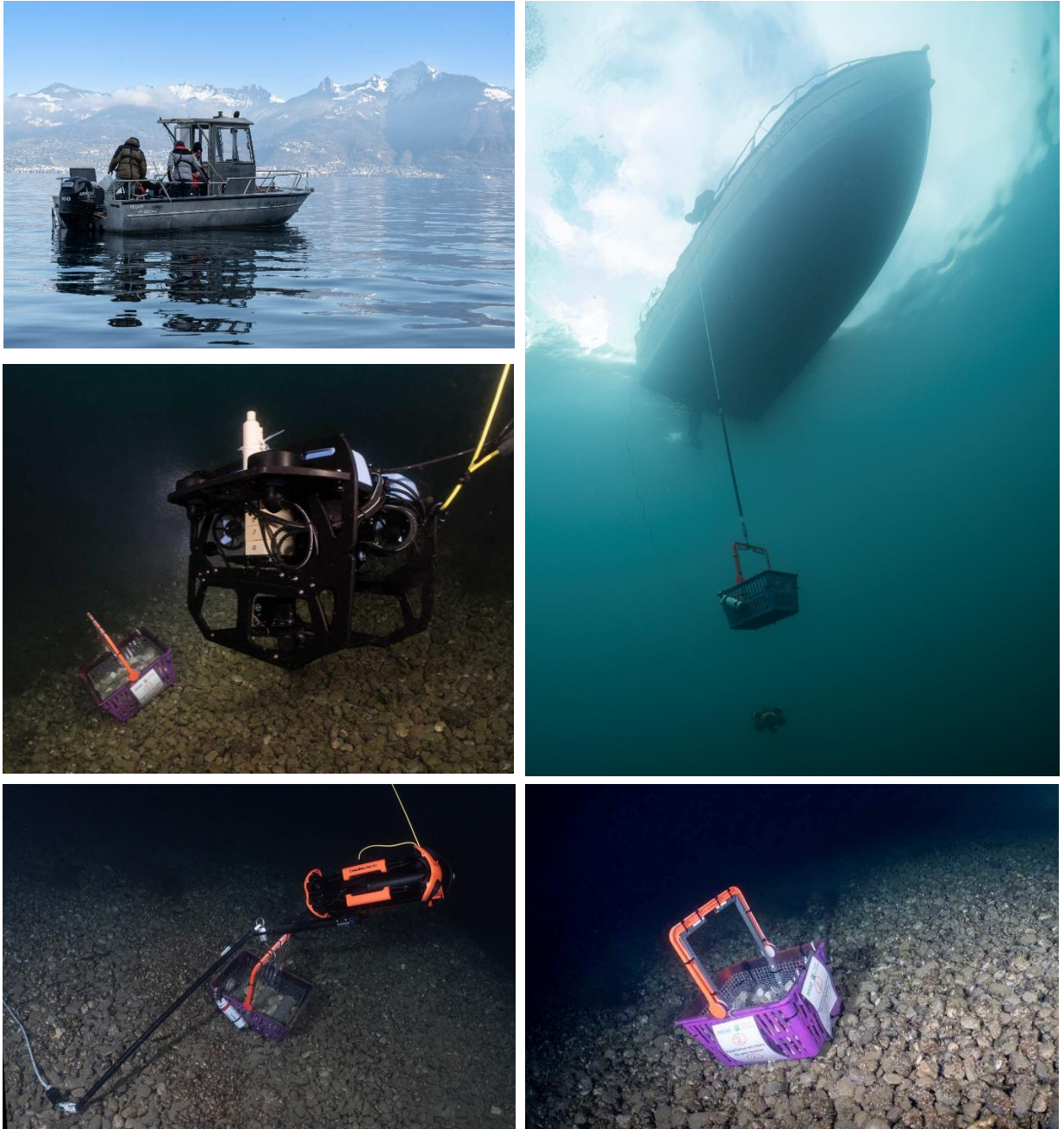


Figure 6 : Mise en place des frayère artificielles (photos : © Jean A. Luque)

I.3 Suivi de paramètres physico-chimiques (Température, O₂)

Afin de compléter l'évaluation de la fonctionnalité des omblières, des capteurs de mesure des températures et d'oxygène ont été installés sur la frayère pour vérifier si les conditions sont suffisantes pour le développement embryon-larvaire.

Des minidots ont été utilisés. L'objectif étant de connaître les conditions les plus proches de l'interface eau-sédiment, les capteurs ont été installés sur la partie basse du panier, au plus proche du sédiment, tout en gardant une marge de sécurité de quelques centimètres afin de préserver le capteur. Celui-ci est placé sur le côté du panier, légèrement incliné (tête en bas), afin d'éviter l'accumulation de bulles d'air mais aussi le colmatage par les fines. Le pas d'acquisition correspond à une mesure toutes les heures.



Figure 7 : miniDOT Logger ©PME

II. Résultats

S'agissant d'une année de faisabilité, les résultats présentés ci-dessous constituent les prémices d'investigations plus complexes. Ils donnent des pistes de réflexions pour une étude de plus grande ampleur.

II.1 Taux de survie

Pour rappel, le stade œillé théorique pour l'omble chevalier est de 280 degrés-jours et de 400 degrés-jours pour le stade éclosion (Guillard et al., 1992). Le tableau suivant récapitule les degrés-jours atteints lors des relèves, qui ont eu lieu le 16/01/2025 pour le stade œillé et le 07/02/2025 pour le stade éclosion, ainsi que les taux de survie.

Tableau 1 : Résultats du taux de survie

| Date | Profondeur | N° boîte | degrès-jour | Oeillé vivant | Oeillé mort et manquant | Eclos vivant | Eclos mort | % survie | % survie moyenne | |
|------------|------------|----------|-------------|---------------|-------------------------|--------------|------------|----------|------------------|----|
| 16/01/2025 | 40 | 3a | 314 | 52 | 48 | | | 52 | 31 | |
| | 40 | 3b | | 19 | 81 | | | 19 | | |
| | 40 | 3c | | 21 | 79 | | | 21 | | |
| | 16/01/2025 | 53 | 5a | 302 | 28 | 72 | | | 28 | 36 |
| | | 53 | 5b | | 41 | 59 | | | 41 | |
| | | 53 | 5c | | 40 | 60 | | | 40 | |
| | | 66 | 9a | 292 | 45 | 55 | | | 45 | 43 |
| 66 | 9b | 47 | 53 | | | | 47 | | | |
| 66 | 9c | 37 | 63 | | | | 37 | | | |
| 07/02/2025 | 31 | 2a | 485 | | 78 | 20 | | 20 | 37 | |
| | 31 | 2b | | | 61 | 39 | | 39 | | |
| | 31 | 2c | | | 47 | 52 | | 52 | | |
| | 07/02/2025 | 49 | 6a | 473 | | 85 | 14 | 1 | 15 | 17 |
| | | 49 | 6b | | | 82 | 18 | | 18 | |
| | | 49 | 6c | | | 82 | 18 | | 18 | |
| | | 65 | 8a | 461 | 2 | 75 | 20 | 3 | 25 | 18 |
| 65 | 8b | 5 | 87 | | 8 | | 13 | | | |
| 65 | 8c | 1 | 83 | | 16 | | 17 | | | |

Chaque relève s'est déroulée au-delà des degrés-jours théoriques nécessaires pour le stade ciblé, assurant ainsi un développement à terme. Concernant le stade œillé, les relèves ont eu lieu entre 292 et 314 degrés-jours. Pour le stade éclosion, elles s'étendent de 461 (frayère profonde) à 485 degrés-jours.

Au stade œillé, le taux de survie moyen augmente en fonction de la profondeur. Il s'établit à 31 % pour la frayère la moins profonde, située à 31 m. Il remonte à 36 % pour la profondeur intermédiaire (55 m) et atteint 43 % pour le panier le plus profond (66 m).

Lors de la deuxième relève, correspondant au stade éclosion, une seconde série de paniers a été remontée à la surface. À ce stade du développement, et contrairement aux attendus, le taux de survie moyen le plus élevé correspond au panier situé à la profondeur la moins grande (31 m), avec un taux de 37 %. Les deux autres paniers situés à 49 m et 65 m présentent des taux de survie similaires, respectivement de 17 % et 18 %.

II.2 Variation des conditions de température et d'oxygène en fonction de la profondeur

Température

L'évolution de la température pour chaque profondeur sur la période d'incubation jusqu'au stade éclosion est présentée en figure 8.

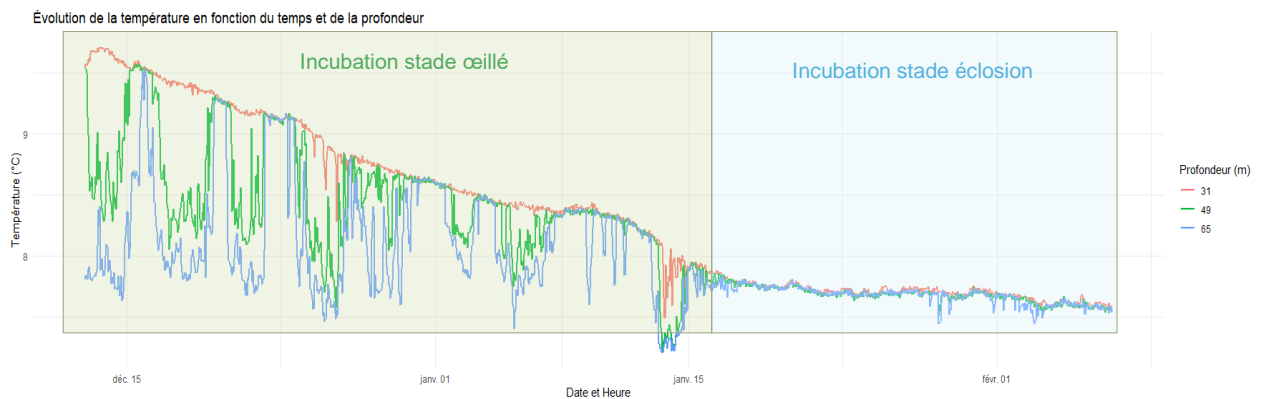


Figure 8 : Evolution de la température, sur la période d'incubation des œufs pour chaque profondeur

Il existe des variations notables de température sur les deux frayères les plus profondes au cours du premier mois d'incubation des œufs. Cette période correspond au développement du stade œillé (du 12 décembre au 16 janvier). La courbe de température à 31 m (en rouge) est très stable, à l'exception de deux événements survenus entre le 26 décembre et les 13-14 janvier. La seconde phase du développement des œufs, c'est-à-dire du stade œillé à l'éclosion, s'est déroulée dans une stabilité thermique, quelle que soit la profondeur.

Pour confirmer cette fluctuation thermique observée aux frayères les plus profondes, nous avons testé la variance. Toutefois, celle-ci s'est avérée trop dépendante de la tendance. Ainsi, le graphique ci-dessous illustre l'évolution des résidus de température aux différentes profondeurs (31 m, 49 m et 65 m) au fil du temps.

La courbe à 31 m (rouge) (figure 9) présente une variation faible et plus lissée, avec des résidus restant proches de 0. Plus la profondeur augmente, plus les résidus semblent indiquer une variabilité importante, notamment en décembre et début janvier. On observe des pics et des baisses brusques des résidus à 49 m et 65 m, ce qui pourrait être lié à des événements hydrodynamiques (mélange d'eau, courants, changements de stratification thermique...). À 31 m, les variations sont plus atténuées, ce qui pourrait indiquer que cette zone est thermiquement plus stable. Cette variation est confirmée par les écarts types sur les résidus qui augmentent avec la profondeur. A 65 m, il est 2 fois plus grand que celui à 31m, il y a donc plus de dispersion. Ces variations peuvent être dues au brassage hivernal (en cours) des masses d'eau dans le Léman. D'un point de vue général (figure 9), à partir de la mi-janvier (après le stade œillé), les résidus semblent converger et devenir plus homogènes. L'augmentation des valeurs en résidus à 31m semble être un artefact. Les valeurs prédites sont influencées par la pente observée durant le premier mois. Ainsi, comme les 2 autres

profondeurs (49 et 65m) les températures se stabilisent dans la colonne d'eau.

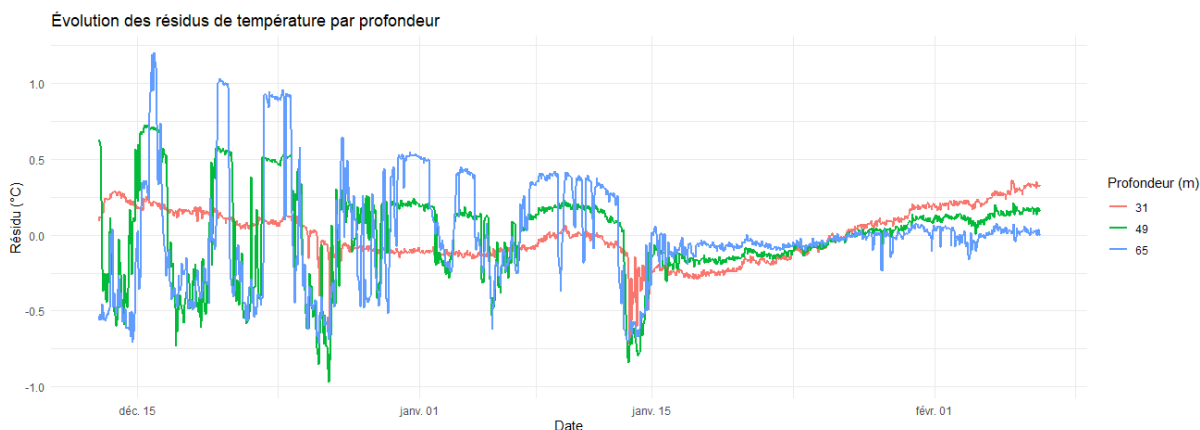


Figure 9 : Evolution des résidus de température par profondeur

Tableau 2 : Ecart type des résidus de température

| Profondeur (m) | Ecart-type des résidus |
|----------------|------------------------|
| 31 | 0.170 |
| 49 | 0.291 |
| 65 | 0.347 |

Oxygène

L'évolution de la concentration en oxygène suit la même dynamique que celle de la température à savoir une stabilité plus importante à 31m (à l'exception de 2 évènements) qu'à 49 et 65m de profondeur.

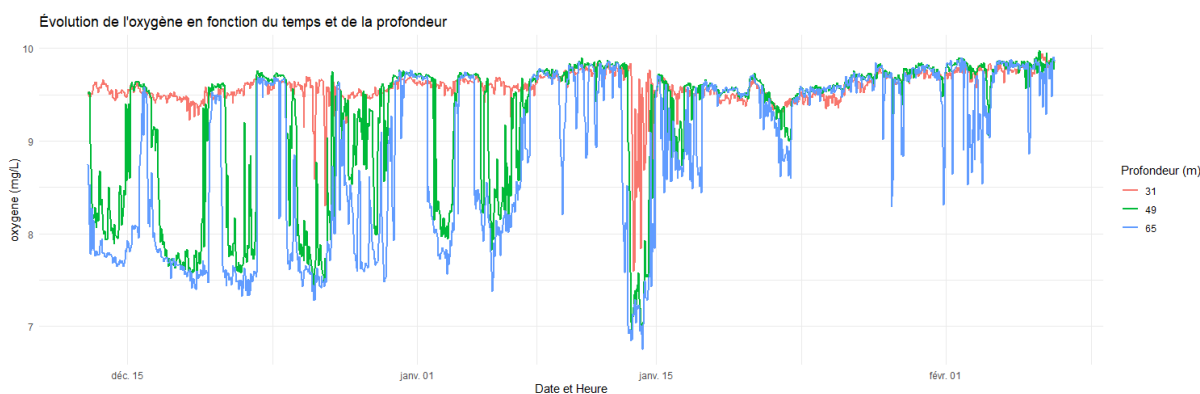


Figure 10 : Evolution de l'oxygène, sur la période d'incubation des œufs pour chaque profondeur

Ces variations d'oxygène et de température sont probablement liées à l'évolution du brassage, qui n'est pas encore stabilisé entre décembre et la première quinzaine de janvier. Par la suite, le brassage semble s'installer durablement en profondeur, entraînant la stabilisation des variables physico-chimiques. L'analyse des résidus confirme la stabilité des données d'oxygène à 31 m, avec un écart type de 0,178. En revanche, la dispersion des résidus est quatre fois plus importante pour les frayères situées à 49 et 65 mètres (0,622), ce qui confirme les variations enregistrées.

Tableau 3 : Ecart type des résidus de l'oxygène

| Profondeur (m) | Ecart-type des résidus |
|----------------|------------------------|
| 31 | 0.178 |
| 49 | 0.622 |
| 65 | 0.676 |

II.3 Relation entre taux de survie et variables environnementales

Température

Afin d'identifier la relation entre le taux de survie et la température un test de corrélation de Pearson a été réalisé. Cependant, la robustesse de ces résultats est à pondérer au vu du faible nombre de point.

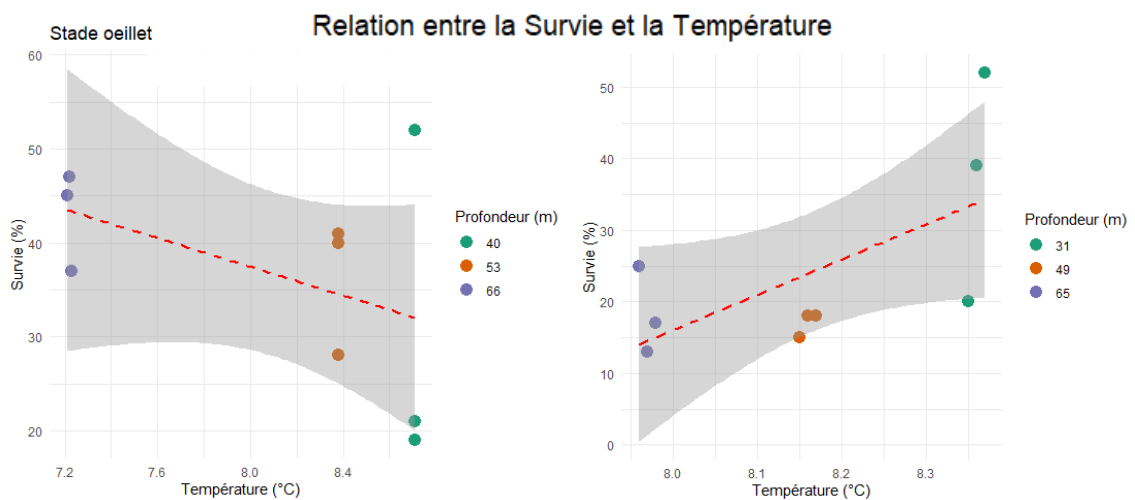


Figure 11 : Relation entre la survie et la température moyenne

Au stade œillé, il subsiste une corrélation négative entre survie et température. Avec une valeur de -0,44 (Pearson), le lien entre ces deux variables reste faible. La corrélation suggère une diminution du taux de survie lorsque la température augmente. Toutefois, avec une p-value supérieure à 0,05, cette relation linéaire n'est pas significative. Il serait ainsi plus juste d'indiquer que la température ne peut pas expliquer les variations du taux de survie, au stade œillé, probablement lié au manque de données.

Au stade éclosion, une relation positive semble exister entre la température et la survie (coefficient : 0,64). Cependant, avec une p-value > 0,05, il est difficile d'affirmer l'existence d'un lien significatif. De plus, l'amplitude moyenne des températures entre les différentes valeurs est de seulement 0,4°C. Il semble donc plus approprié de conclure qu'aucun gradient thermique n'est observable sur les moyennes et, par conséquent, qu'aucune relation thermique ne peut être mise en évidence, à ce stade de développement et sur ce site, pour expliquer les variations des taux de survie à l'éclosion.

Oxygène

Comme pour la température, le test statistique de Pearson a été appliqué afin d'examiner la corrélation entre la survie et la concentration en oxygène.

Relation entre la Survie et l'Oxygène

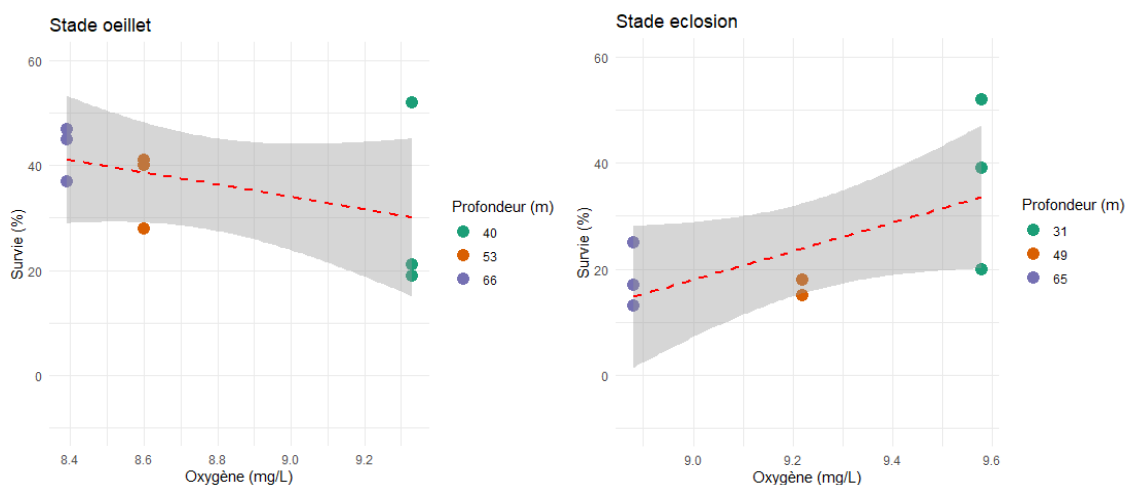


Figure 12 : Relation entre la survie et la concentration moyenne en oxygène

Les résultats issus de la première relève, correspondant au stade œillé, montrent une corrélation négative de -0,43 entre la survie et l'oxygène. Comme pour la température, le lien entre la survie et l'oxygène est peu marqué, avec une tendance à l'augmentation de la survie pour des concentrations en oxygène plus faibles. Cependant, aucune relation significative n'a été observée entre ces deux variables (p -value > 0,05).

Concernant la seconde relève (stade éclosion), il est également difficile de mettre en évidence une relation forte entre ces deux variables. Le coefficient de Pearson est de 0,63, mais, là encore, aucune relation significative n'a été mise en évidence (p -value > 0,05).

III. Conclusion

Cette année de faisabilité a permis de répondre positivement à l'objectif du projet, qui visait à tester la possibilité de déployer des dispositifs expérimentaux (paniers) à l'aide d'un ROV et de caractériser avec des capteurs la température et l'oxygène. Cette étude a révélé toute l'importance de la coordination et des compétences individuelles mises au service du collectif. En effet, que ce soit pour l'installation ou la relève des frayères, il est primordial que chacun respecte son plan d'action tout en restant à l'écoute des autres acteurs. Les paniers utilisés constituent déjà une bonne base, mais ils devront être améliorés pour équiper des sites présentant un relief plus marqué.

Concernant la caractérisation du potentiel de la frayère du Bouveret en fonction de sa profondeur et des conditions physico-chimiques rencontrées, aucune conclusion spécifique ne ressort. Il est difficile d'observer des tendances et d'établir des relations de causalité entre la profondeur (et donc les conditions physico-chimiques) et les taux de survie. Cela peut être dû à notre faible jeu de données, mais aussi à la variabilité des taux de survie pour un même triplicat. Une autre hypothèse serait que les conditions d'oxygène et de température, homogènes et non limitantes sur la frayère du Bouveret, la rendent fonctionnelle dans son ensemble. Les teneurs en oxygène sont toujours supérieures à 7 mg/L et la température < à 10°C (Lubin et al., 2024).

Cette année de faisabilité et les résultats obtenus soulignent l'intérêt de poursuivre et d'étendre cette action à d'autres sites afin de mieux comprendre les interactions entre les taux de survie et les variables environnementales *in situ*. Des réflexions sur des mesures les plus proches de l'interface eau et sédiment doivent aussi être menées afin de caractériser au mieux cette zone.

Durant la première phase de croissance des œufs (stade œillé), les frayères les plus profondes ont subi de nombreuses variations de température et d'oxygène, probablement liées à l'évolution de la thermocline et au brassage du lac. Cette situation s'est stabilisée par la suite. Les travaux de Lubin et al. (2024) évoquent des effets durables sur le phénotype de l'omble chevalier lorsque les œufs sont soumis à des chocs thermiques de +5°C. Dans notre cas, les variations de température sont toujours restées inférieures à 1,5°C. Il serait intéressant d'investiguer cet aspect afin d'évaluer d'éventuels effets.

Partie 2 : Analyse de la corrélation entre la fréquentation de l’Omble chevalier et la température de l’eau sur l’omblière d’Yvoire sur le Léman

IV. Matériels & Méthodes

Ce document s’intègre dans une étude globale menée par l’AFB entre 2013 et 2016. Cette étude a fait l’objet d’un rapport en 2017 et décrit une « Evaluation de la fonctionnalité de l’omblière d’Yvoire (Léman) suite à un essai de restauration », (Desforet L. & Raymond J-C., 2017). Ce suivi avait pour objectif d’évaluer l’impact de la mesure compensatoire de l’entreprise Sagradanse sur le site d’Yvoire (figure 13), en vue de l’obtention du renouvellement de son autorisation d’exploitation.

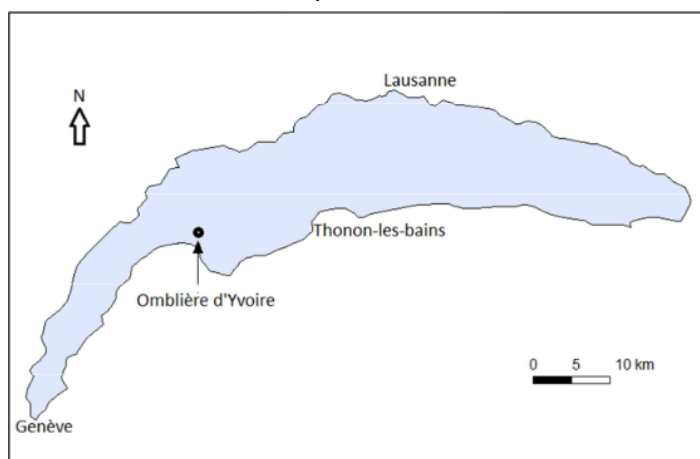


Figure 13: Localisation de l'omblière d'Yvoire sur le lac Léman (Desforet L. & Raymond J-C.,2017)

Cette mesure, qui consistait à injecter 300 m³ de granulats propres d'un calibre de 5 à 20 centimètres sur une distance de 148 mètres, à l'emplacement de l'ancienne ombrière d'Yvoire, devait permettre d'offrir un substrat idéal pour la fraie de l'omble chevalier. Pour évaluer l'efficacité de cette mesure, un plan d'échantillonnage piscicole a été réalisé avant (2011 et 2012) et après le dépôt des granulats (2013 à 2016).

Chaque année, après le dépôt des granulats, trois jours de prélèvements ont été réalisés à l'aide de filets de type « araignées à simple toile » et de type « CEN » (filet à maille de 46mm et filets multi-maillles), (tableau 4). En parallèle de la pose des filets, des sondes de température ont recueilli des données sur le site d'Yvoire. Les sondes de type HOBO (enregistrement des mesures toutes les 1 à 5 minutes), fixées aux filets, ont permis de récupérer durant les trois jours d'échantillonnages, respectivement sur la période de fin novembre à décembre de 2013 à 2016, les variations de la température de l'eau au niveau de l'ombrière.

Tableau 4: Dates des campagnes de pêches et effort d'échantillonnage réalisé dans le cadre du suivi de l'ombrière d'Yvoire. (Desforet L. & Raymond J-C., 2017)

| Date | | Campagnes de pêches | Surface pêchante |
|--------|------|---------------------|------------------|
| 07-nov | 2011 | 2 | 2246 |
| 28-nov | | | |
| 27-nov | 2012 | 3 | 2559 |
| 04-déc | | | |
| 11-déc | | | |
| 18-nov | 2013 | 3 | 2019 |
| 27-nov | | | |
| 02-déc | | | |
| 18-nov | 2014 | 3 | 2154 |
| 25-nov | | | |
| 03-déc | | | |
| 16-nov | 2015 | 3 | 2154 |
| 23-nov | | | |
| 07-déc | | | |
| 21-nov | 2016 | 3 | 2385 |
| 29-nov | | | |
| 07-déc | | | |

La corrélation entre la variation de température et la fréquentation du site d'Yvoire a pu être testée avec le coefficient de Pearson. Ce coefficient est une mesure statistique qui évalue la force et la direction de la relation linéaire entre deux variables quantitatives. En d'autres termes, plus la valeur est proche de -1 ou 1, plus la relation entre les deux variables est forte. Une valeur proche de zéro suggère qu'il n'y a pas de relation linéaire claire entre les variables étudiées.

V. Résultats

Pour nous permettre d'analyser les variations thermiques de l'eau au niveau de l'ombrière, les moyennes des données de température ont été calculées sur la période de pose du filet sur les journées d'échantillonnage. En moyenne, le temps de pose des filets sur le site était de 17h01. Cependant, ces données ne sont complètes que pour l'année 2014. Sur les années 2013, 2015 et 2016, uniquement deux journées ont pu être analysées.

En superposant les données de capture des ombles avec les courbes de température, nous obtenons les graphiques suivants (figure14). Ces graphiques nous permettent dans un premier temps, de réaliser une interprétation des données brutes afin de lire et d'identifier les différentes dynamiques.

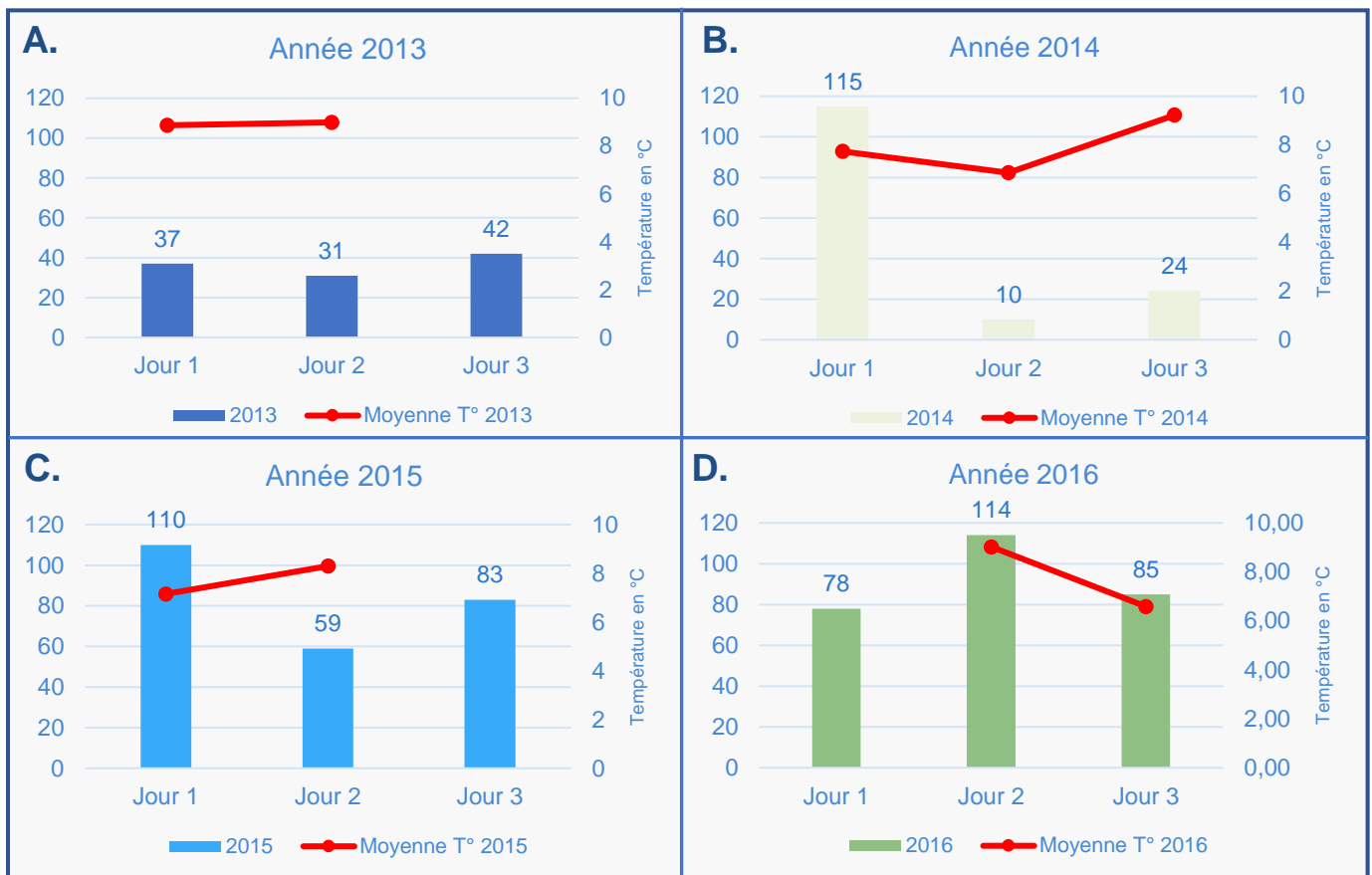


Figure 14 : Comparaison des données de température avec la capture quotidienne de l'omble chevalier. (A) Résultats pour l'année 2013 : La température est représentée par la courbe rouge pour les deux premiers jours d'échantillonnage, tandis que les barres bleues indiquent les valeurs de capture quotidienne. (B) Résultats pour l'année 2014 : Les mesures de température sont disponibles pour les trois jours d'échantillonnage. (C) Résultats pour l'année 2015. (D) Résultats pour l'année 2016

En 2013 (figure 14, A.), seulement un mois après la réinjection des granulats, le site d'Yvoire a présenté un nombre de captures stable en individu, en moyenne 36,6 ombles sur les trois jours, avec une température stable entre le 18 novembre (8,8°C) et le 28 novembre (8,9°C). Lors de l'échantillonnage de 2014 (figure 14, B.), soit plus d'un an après la mesure compensatoire, la variation du nombre de captures est bien plus importante que sur l'année 2013. 115 ombles ont pu être échantillonnés au 18 novembre 2014, puis 10 individus au 25 novembre et 24 individus le 4 décembre. La température varie sur les trois jours de 7,73 °C le premier jour à 6,86 °C le deuxième jour, puis à 9,22 °C le troisième jour. Sur l'année 2015 (figure 14, C.), la dynamique des captures est bien plus importante que les deux années précédentes. En moyenne, 84 individus ont été capturés sur les trois jours avec un pic de capture sur le premier jour à 110 individus. La température augmente du 17 novembre (7,16 °C) au 23 novembre (8,30 °C). En 2016 (figure 14, D.), en moyenne, 92,3 individus ont pu être capturés par jour. La température, quant à elle, diminue entre le 29 novembre (9 °C) et le 07 décembre (6,6 °C).

Pour mieux comprendre la relation entre la fréquentation du site d'omblière d'Yvoire et les variations de température, nous avons utilisé le coefficient de Pearson (figure 15).

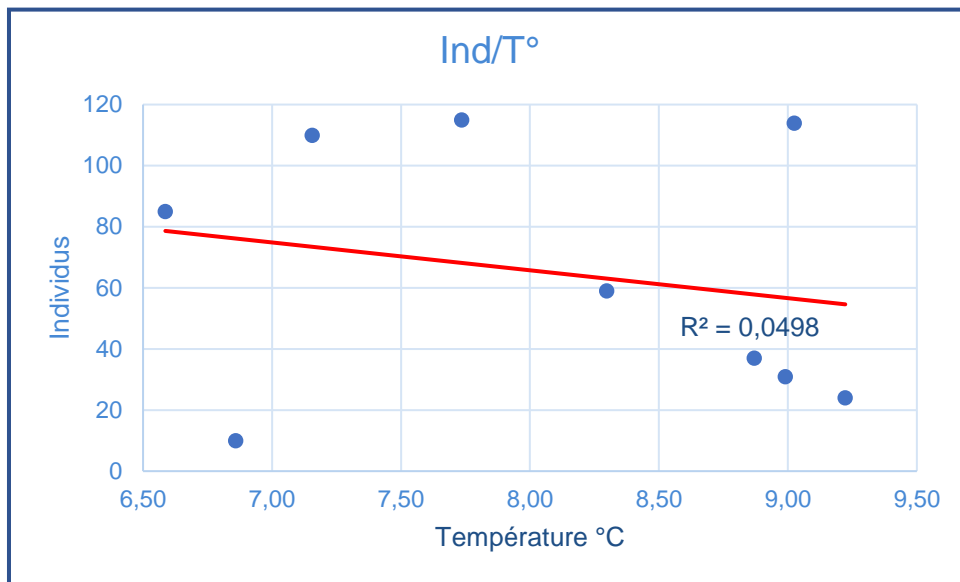


Figure 15 : Corrélation entre le nombre d'individus capturés et la température selon le test de Pearson

Sur la figure 15, on observe une dispersion des points représentant la relation entre la variable nombre d'individus et la température. Les points ne forment pas un alignement clair, ce qui indique une faible corrélation. La ligne de tendance rouge, légèrement descendante, suggère une relation négative, bien que peu marquée. Il n'y a donc pas de lien fort entre les deux variables, comme le montre la faible pente de la ligne de régression et le coefficient de Pearson de -0,22. Pour compléter l'analyse statistique on peut aussi s'appuyer sur le R^2 . Un R^2 de 0,0498, indique que seulement 4,98% de la variance du nombre d'individus est expliquée par la température. Le test statistique n'étant pas significatif, nous ne pouvons conclure que la température altère la fréquentation de l'omblière. Ici également, ce résultat est basé sur un faible nombre de points et doit être pris avec précaution.

VI. Conclusion

Dans la littérature, la relation entre la température et la viabilité de la ponte de l'omble chevalier est connue depuis longtemps (Swift D.R, 1965). L'omble chevalier choisit donc des zones de faible température en dessous des 8 °C pour la survivabilité de ses œufs. Dans le cas du site d'Yvoire, la relation entre nos deux variables, par le biais du coefficient de Pearson, n'a pas permis d'observer un quelconque lien. Ce résultat peut s'expliquer par l'importance de l'influence de la mesure de compensation, sur la fréquentation du site. L'injection de granulats effectuée en octobre 2013 sur l'omblière, implique que le site était dans sa phase de redécouverte par les populations locales de l'omble, durant la période du suivi. Ce qui pourrait expliquer des nombres de captures aléatoires sur certaines années. Cependant, on note une augmentation globale de la fréquentation du site entre 2013 et 2016. Cela peut aussi s'expliquer par la dimension de la base de données sur lequel nous avons travaillé. Afin de pouvoir affirmer l'existence d'une corrélation, des mesures de température et de captures réparties sur l'ensemble de la période de reproduction de l'omble chevalier (de novembre à janvier), pourrait permettre de préciser l'influence de la température sur le taux de fréquentation au niveau du site d'Yvoire.

VII. Références

- Caudron A., Lasne E., Gillet C., Guillard J., Champigneulle A., (2014). Thirty years of reoligotrophication do not contribute to restore self-sustaining fisheries of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Lake Geneva. *Fish Res* 154: 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.01.023>
- Desforet L. & Raymond J.-C., (2017). Evaluation de la fonctionnalité de l'omblière d'Yvoire (Léman) suite à un essai de restauration. Agence Française pour la Biodiversité. 25p.
- Eriksson, Andersson J., Byström P., Hörnell-Willebrand, Laitila, Sandström C., Willebrand T., (2006). Fish and wildlife in the Swedish mountain region: resources, use and management. *International Journal of Biodiversity Science & Management*. 334–342. <https://doi.org/10.1080/17451590609618154>.
- Gillet C, (1991). Egg production in an Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) brood stock: effects of temperature on the timing of spawning and the quality of eggs. INRA, Station d'Hydrobiologie lacustre, B P ~ I I ,7po:j T'honon-les-Bains, France. <https://www.alrjournal.org/articles/alr/pdf/1991/02/alr91204.pdf>
- Guillard, J., Gillet, C., Champigneulle, A., 1992. Principales caractéristiques de l'élevage de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus* L.) en eau douce. *Bull. fr. Pêche Piscic*, 325: 47-68. [10.1051/kmae:1992014](https://doi.org/10.1051/kmae:1992014)
- Lubin, F.;R., Guillard, J., Daufresne M., Rogissart H., Raffard A., 2024. Synthèse des travaux sur le rôle de la température pour les traits d'histoires de vie de l'omble chevalier (*Salvelinus umbla*). *Pole ECLA, sous presse*
- Lubin, F.-R., Réalis-Doyelle, E., Espinat, L., Guillard, J., & Raffard, A. (2024). Heat shocks during egg incubation led to developmental, morphological, and behavioral differences in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Journal of Fish Biology*, 104(4), 1202–1212. <https://doi.org/10.1111/jfb.15663>
- Rubin J-F. & Buttiker B., (1992). Les sites de fraye de l'Omble chevalier, *Salvelinus alpinus* (L.), dans le Léman. *Bull. Fr. Pêche Piscic*. (1992) 325 : 69-82. <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1992015>
- Swift D. R., (1965). Effect of Temperature on Mortality and Rate of Development of the Eggs of the Windermere Char (*Salvelinus alpinus*). *Wsq: Women's Studies Quarterly* 22 (1965): 913-917.
- Winfield IJ., Berry R., Iddon H., (2019). The cultural importance and international recognition of the Arctic charr *Salvelinus alpinus* populations of Windermere, UK. *Hydrobiologia* 840 : 11–19. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3814-6>.