

FRAI DU CORÉGONE (COREGONUS SP.) ET DE LA PERCHE (PERCA FLUVIATILIS) DANS LE LÉMAN

WHITEFISH (COREGONUS SP.) AND PERCH (PERCA FLUVIATILIS) SPAWNING IN LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2021

PAR

**Chloé GOULON^{1,2}, Marine VAUTIER^{1,2},
Clément RAUTUREAU^{1,2}, Isabelle DOMAIZON^{1,2} et Jean GUILLARD^{1,2}**

¹ UNIV. SAVOIE MONT BLANC, INRAE, CARRTEL, 74200 THONON-LES-BAINS, FRANCE

² PÔLE R&D ECLA (ECOSYSTÈMES LACUSTRES), OFB – INRAE – USMB, 74200 THONON-LES-BAINS, FRANCE

RÉSUMÉ

Dans le cadre du développement d'indicateurs de l'impact du changement climatique dans le Léman, les phénologies de la reproduction de deux espèces de poissons, le corégone (Coregonus sp.) et la perche (Perca fluviatilis), sont suivies. Le suivi de la reproduction du corégone s'effectue avec des filets benthiques multimailles posés et relevés chaque semaine sur un site de référence où les poissons frayent régulièrement. Ce suivi a débuté en 2015 et a lieu de fin novembre à début mars selon les années. Afin de suivre la reproduction de la perche, depuis 1984, des frayères artificielles sont installées chaque année sur un site de référence, à différentes profondeurs, à partir de début avril jusqu'à juin. Les variabilités inter-annuelles observées dans les dynamiques de frai étaient jusqu'à présent liées aux fluctuations de la température de l'eau. Cependant, depuis l'hiver 2018-2019 pour le corégone, les données recueillies ne sont plus suffisantes pour mettre en évidence des liens avec les températures. L'échantillonnage n'était plus adapté à l'effectif actuel réduit de la population de géniteurs et les conditions météorologiques défavorables impactaient le suivi. A partir de 2018-2019, des méthodes alternatives d'échantillonnage pour obtenir des informations concernant la phénologie ont été testées et ont fait leur preuve. Une comparaison des proxies d'abondance obtenus par différentes méthodes au cours du temps pendant la période de reproduction a été réalisée. La méthode par comptage visuel a permis de recueillir les informations concernant la dynamique de reproduction et la dynamique obtenue a pu être comparée aux années antérieures. Le suivi de la reproduction de la perche en 2021 a été comparé à celui de 2019 en raison de l'absence de données recueillies en 2020 (confinement lié au COVID19). Pour la perche, en 2021 la reproduction a été plus tardive qu'en 2019 en lien avec des températures plus fraîches en début de saison de reproduction et de la présence d'individus de plus grande taille dans la population de génitrices.

ABSTRACT

A monitoring of the spawning phenology of whitefish (Coregonus sp.) and perch (Perca fluviatilis) in Lake Geneva has been set up to assess the impact of climate change. The monitoring of the whitefish reproduction is carried out with multi-mesh benthic gillnets set in and out each week on areas where whitefish usually spawn. This monitoring started in 2015. It takes place from late November to early March, depending on the year. In order to monitor the perch reproduction, artificial spawning substrates have been placed on a reference site at different depths from early April to June, since 1984. The spawning phenology for both species showed good relationships with water temperatures until winter 2017-2018 for the whitefish spawning survey. Afterward, the relationship could not be properly investigated for whitefish. This is due to a sampling strategy that is no longer suitable to the current spawners density and to bad weather conditions that impacted the monitoring. From the 2018-2019 season, alternative sampling methods for phenology studies have been tested and proven to be successful. A comparison of abundance proxies obtained by different methods over time during the breeding period was carried out. The visual counting method gives good information concerning the dynamics of reproduction and the dynamics is compared to previous years. The monitoring of perch reproduction in 2021 was compared to that of 2019 due to the absence of data collected in 2020 (containment linked to COVID19). For perch, in 2021 reproduction was later than in 2019 due to cooler temperatures at the start of the breeding season and the presence of larger individuals in the spawning population.

1. CONTEXTE ET OBJECTIF

Le changement climatique peut modifier la phénologie des organismes (Walther et al. 2002). Le régime thermique est en effet le principal facteur permettant le déclenchement du frai des poissons lacustres (Gillet, 1989). Chez certaines populations de poissons du Léman, dont le cycle de reproduction est physiologiquement dépendant de la température de l'eau, de telles modifications ont déjà été observées pour le gardon (*Rutilus rutilus*) et pour la perche (*Perca fluviatilis*) (Gillet and Dubois 1995, 2007; Gillet and Quéting 2006; Concastie et al. 2019). Le déclenchement du frai de la perche et du gardon a lieu au printemps et nécessite une hausse de la température de l'eau qui doit atteindre 10 °C. A l'inverse, le corégone (*Coregonus sp.*) et l'omble (*Salvelinus alpinus*) fraient à la fin de l'automne et au début de l'hiver lorsque les températures de l'eau descendent en dessous d'une valeur seuil (7-8°C environ pour les deux espèces). Avec le changement climatique, ces valeurs seuils devraient être atteintes plus précocement pour les espèces « d'eau chaude » (perche et gardon) et plus tardivement pour les espèces « d'eau froide » (corégone et omble), modifiant ainsi les dates de frai pour ces espèces.

L'objectif est de réaliser un suivi sur le long terme de la phénologie du frai du corégone et de la perche afin d'obtenir un indicateur du changement climatique. Plus précisément, il s'agit : 1- d'estimer la date du début/de la fin du frai, son apogée et de préciser le lien avec la température, 2- de caractériser les géniteurs présents sur les sites de frai (taille, âge).

Pour le corégone, les opérations tests consistant à capturer les géniteurs menés en 2015-2016 ont permis de confirmer l'intérêt de l'étude et sa faisabilité. Au cours de la période 2016-2019 diverses adaptations de protocole (type de filets, profondeur de pose) ont eu lieu afin d'augmenter les effectifs et d'étudier plus finement la phénologie. Cependant malgré les adaptations effectuées, les effectifs capturés restent faibles, en particulier depuis 2017-2018, en lien avec la baisse constatée du stock de géniteurs. Des méthodes alternatives ont été testées et mises en place afin d'étudier la phénologie de façon non invasive et ainsi de pallier au manque d'effectifs de poissons capturés (comptage visuel, ADN environnemental, caméra acoustique). Les premiers résultats et la comparaison avec la méthode traditionnelle sont présentés dans ce présent rapport.

Afin de pouvoir suivre la phénologie de reproduction de la perche et d'étudier la population de géniteurs, des frayères artificielles sont mises en place chaque année en avril devant le port de l'UMR CARRETEL (INRAE – USMB), depuis 1984, suivant le protocole de Gillet et Dubois (2007). Des études antérieures ont montré que le nombre de rubans d'œufs déposés sur les frayères artificielles est un indicateur fiable du nombre de génitrices présentes dans la zone (Gillet et al. 2013). Ce dispositif a l'avantage d'attirer de nombreuses femelles et facilite l'observation d'un grand nombre de rubans d'œufs. En 2021, la collecte de données a pu s'effectuer dans de bonnes conditions. Les résultats sont comparés à l'année 2019 puisque en 2020, le recueil de données n'avait pas pu s'effectuer dans les conditions habituelles en raison du confinement liés à l'épidémie de COVID19.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. COREGONE

2.1.1. PÊCHE SCIENTIFIQUES AUX FILETS MAILLANTS

Six filets benthiques (6 panneaux de 5 m de long et 2 m de haut de mailles 19.5 mm, 24 mm, 29 mm, 40 mm, 50 mm et 60 mm) ont été déployés sur le site de la plage de la Pinède à Thonon-les-Bains (Figure 1), l'autre site (devant l'UMR CARRETEL) a été abandonné en raison de captures trop faibles. La pose s'effectue avant la tombée de la nuit et la relève a lieu le matin, après le lever du jour. Pour cette saison de reproduction, la première pose a eu lieu le 26/11/2020 et la dernière le 26/01/2021, après 3 relèves consécutives sans captures de poissons. Après chaque relève, les poissons sont mesurés, pesés, sexés et leur état de maturation est évalué. Leur âge est ensuite déterminé par scalimétrie. La profondeur de positionnement du filet et la maille dans laquelle les poissons ont été capturés sont notées. La température de surface est enregistrée avec un pas de temps horaire par une sonde disposée à 2 m sous la surface, dans le port de l'UMR CARRETEL qui est connectée à une station météorologique automatisée (type Cimet 516i). Pour étudier plus finement les liens entre température et phénologie, une ligne avec des capteurs de température (type Tinytag ; TG-4100) ont été disposés à -4m sur le site de suivi.

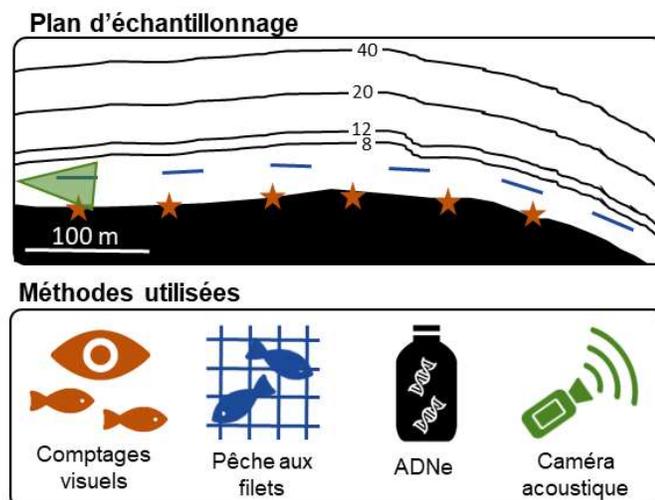


Figure 1 : Plan d'échantillonnages pour le suivi de la reproduction du corégone. Etoile orange = sites de comptages visuels. Trait bleu = filets. Triangle vert = cône de la caméra acoustique. L'eau pour l'ADNe est prélevée tout le long de la zone (20 x 200 mL)

Figure 1: Sampling plan for monitoring whitefish reproduction. Orange star = visual count sites. Blue line = nets. Green triangle = acoustic camera cone. Water for eDNA is sampled all along the area (10 times 200 mL).

2.1.2. ADNE

Afin de compléter ce suivi, une méthode utilisant l'ADN environnemental (ADNe) a été mise en place pour le suivi de la phénologie du corégone. L'ADNe est l'ADN libéré dans l'environnement par les organismes vivant dans un milieu, et cet ADN libéré est extrait à partir d'une matrice environnementale, ici l'eau. Il s'agit donc d'une méthode non-invasive, qui permet d'identifier les organismes vivant dans, ou à proximité, du milieu étudié, et de quantifier l'intensité du signal ADN libéré en lien avec le nombre d'individus et/ou leur activité de reproduction (ex : relargage de gamètes par exemple). Une approche par dPCR appliquée à l'ADNe a été employée pour le suivi de la phénologie du corégone. Il s'agit d'une méthode prometteuse pour estimer l'abondance de poissons (Capo et al. 2020) et qui peut donc être testée pour suivre la phénologie de la reproduction d'une espèce dans son milieu.

Le suivi ADNe a été réalisé du 25 novembre 2020 au 26 janvier 2021. Les prélèvements et la filtration des échantillons d'ADNe ont été réalisés comme indiqué dans le protocole détaillé de Vautier et al. (2021), accessible sur <https://www.protocols.io/view/fish-edna-water-sampling-and-filtration-through-st-br5rm856> et présenté dans Vautier *et al.*, *submitted*. Une fois par semaine, des échantillons d'eau de 200 mL ont été prélevés en sub-surface (10/20 cm sous la surface de l'eau) tout le long de la zone de pose des filets (Figure 1). En tout, 20 sous-échantillons sont prélevés à chaque sortie, pour un volume total de 4 L d'eau. Avant les échantillonnages, les bouteilles d'eau et tout le matériel qui sera amené à être en contact avec l'eau prélevée sont décontaminés au peroxyde d'hydrogène 10% puis rincées trois fois à l'eau ultra-pure. Les prélèvements d'eau sont réalisés avant que les filets ne soient posés afin d'éviter toute contamination potentielle, et si la pose des filets s'est révélée impossible (conditions météorologiques défavorables), des prélèvements d'eau sont tout de même effectués. Une fois collectée dans les bouteilles, l'eau est filtrée au travers de cartouches stériles (Sterivex de porosité 0.45µm) dans les 2h qui suivent le prélèvement. Les échantillons sont ensuite préservés dans du tampon (EDTA 40 mM, Tris-HCl (pH 8) 50 mM and sucrose 0.75 M), et stockés à -20°C. Le suivi ADNe a été arrêté en se basant sur les comptages par observation visuelle (voir ci-après la description de la méthodologie). L'ADN est extrait des cartouches congelées en suivant le protocole détaillé par Vautier et al. (2020), et accessible sur <https://www.protocols.io/view/fish-edna-dna-extraction-from-water-samples-filter-bfk8jkzw>. Ce protocole utilise le kit d'extraction NucleoSpin® Soil (MACHEREY-NAGEL) avec des adaptations spécifiques à l'utilisation des cartouches Sterivex. L'ADN est ensuite élué dans 30 µL de buffer SE préalablement chauffé à 55°C, quantifié au Nanodrop (Thermo Scientific) et stocké à -20°C.

L'ADN a ensuite été analysé en digitale PCR (dPCR) en suivant le protocole décrit dans Vautier *et al.*, *submitted*. Les amorces utilisées et ciblant le corégone sont celles décrites dans Hulley et al. (2019). Les dPCR sont réalisées avec le système Bio-Rad QX200 ddPCR (Bio-Rad, Temse, Belgium) avec 4 µL d'ADNe et un volume total de 20 µL. Les analyses ont été faites avec le logiciel Quantasoft de Bio-Rad version 1.7.4.0917. Les résultats sont exprimés en nombre de copies d'ADN par litre d'eau filtré/1000.

2.1.3. COMPTAGES VISUELS

Des comptages visuels ont été également effectués sur le même site d'étude afin d'obtenir un indicateur d'activité des corégones (Figure 1). Cet indicateur s'obtient en dénombrant les individus identifiés comme corégone par un.e expert.e observés depuis la rive au niveau du site d'étude (zone de frai). Ce suivi a été effectué entre le 26 novembre 2020 et le 27 janvier 2021 à raison d'une ou de deux sorties par semaine (deux fois quand l'activité était détectée comme la plus intense). Les poissons identifiés sont comptés depuis la rive du lac sur le même site d'étude après le coucher du soleil (~19:00) et à l'aide d'une lampe torche. Chaque transect (6 au total) est échantillonné pendant 3 minutes en effectuant un réplique (à l'aller et au retour) toujours par la même experte. Le risque de double comptage n'est pas exclu mais ce protocole permet d'obtenir un proxy d'activité et non d'abondance. Les poissons sont comptabilisés que lorsqu'ils étaient formellement identifiés. Durant le suivi hivernal 2020, 12 opérations de comptage visuel ont été réalisées ; un minimum de 3 jours et un maximum de 8 jours ont séparé deux dates de comptage consécutives. Les comptages visuels n'ont pas été réalisés les mêmes soirs que la pose des filets maillants afin d'éviter un biais dans le nombre de corégones observés en raison de leur capture. Les comptages visuels ont été stoppés lorsque plus aucun corégone n'a été observé sur le site d'étude pendant 3 dates consécutives.

2.1.4. CAMÉRA ACOUSTIQUE

La caméra acoustique est également une méthode non invasive de plus en plus utilisée pour le suivi des populations piscicoles et l'apport d'informations sur le comportement et la morphologie des individus (Martignac et al. 2015). Cette technologie s'appuie sur l'émission de sons à haute fréquence (de l'ordre du Méga Hertz). Composée de multifaisceaux (nombre =148), elle offre une résolution d'image proche d'une qualité vidéo (Belcher et al., 2001) en pénétrant l'eau sur de plus longues distances, même avec une turbidité élevée (Mueller et al., 2006). Pour l'observation de la phénologie du corégone sur le Léman, cette technologie a été utilisée (figure 1) et le matériel utilisé se compose d'une caméra ARIS Explorer 3000 paramétrée en basse fréquence (1,8 MHz) afin d'obtenir une zone d'échantillonnage représentant un cône dont la portée est de 16 m pour une largeur maximale de 11 m. Le dispositif a été installé à l'extrémité nord du site de la piscine municipale et est positionné en direction de la berge (zone propice à la reproduction du corégone) (Figure 1 et 2). Le dispositif est resté en place du 3 décembre 2020 au 27 janvier 2021. Cependant sur les 56 jours de déploiement seul 34 jours d'acquisition de données ont pu être analysés en raison de dysfonctionnements (absence de données pour les périodes : du 12 au 14 décembre, du 24 décembre au 4 janvier et du 21 au 26 janvier).

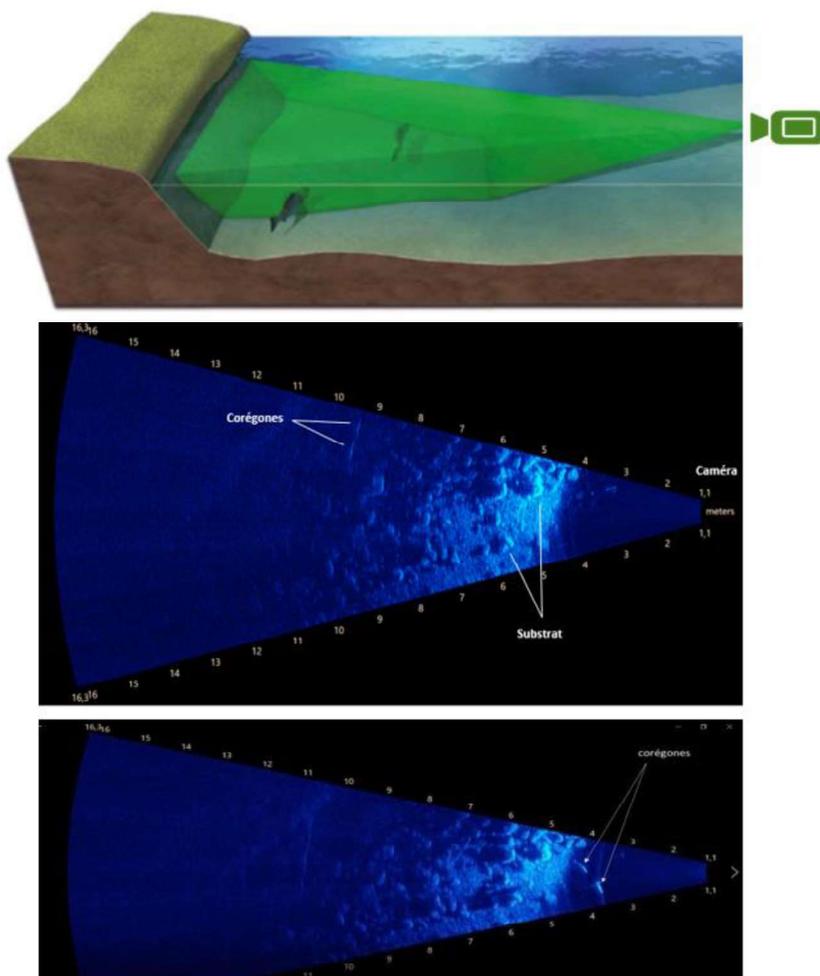


Figure 2 : vue 3D d'une installation type et du cône de détection avec la transcription de l'image acoustique sous ARISFish ; vidéo : https://www6.lyon-grenoble.inrae.fr/carrtel_fre/La-communication/Videos/Suivi-de-la-phenologie-du-coregone-Coregonus-lavaretus-sur-le-Leman-avec-la-camera-acoustique-ARIS

Figure 2: 3D view of a typical installation and the detection cone with the transcription of the acoustic image in ARISFish; movie: https://www6.lyon-grenoble.inrae.fr/carrtel_fre/La-communication/Videos/Suivi-de-la-phenologie-du-coregone-Coregonus-lavaretus-sur-le-Leman-avec-la-camera-acoustique-ARIS

Cette technologie génère une grande quantité de données. À raison d'1 To tous les 10 jours, l'enregistrement des fichiers a été fait sur disque dur SSD de 4 To avec un remplacement régulier. Concernant la stratégie d'acquisition des données, elle a été programmée pour un enregistrement en continu avec création d'un nouveau fichier toutes les 10 minutes. Le traitement des données s'est fait de manière semi-automatique via l'utilitaire SCOT du logiciel ARISFISH et permet d'obtenir un indicateur d'activité en nombre de détections (échos) par pas de temps

2.1.5. PÊCHES EXCEPTIONNELLES

Chaque année pendant le pic de reproduction, les pêcheurs professionnels procèdent à des captures de géniteurs afin de récolter les gamètes à des fins d'alevinage. Ces pêches sont dites « pêches exceptionnelles ». Pendant l'hiver 2020-2021, les pêches exceptionnelles se sont déroulées sur plusieurs jours sur le site de Thonon. Ces données ne couvrant pas toute la période sont utilisées à des fins de validation des autres méthodes. Le proxy d'abondance est exprimé en nombre d'individus capturés par filet (Captures par unité d'efforts). Les détails concernant le mode de capture sont présentés dans l'Arrêté portant sur l'autorisation de captures et de ventes de géniteurs de corégone et d'omble chevalier en période de protection des salmonidés du Léman N°DDT-2020-1178.

Pour l'ensemble des méthodes présentées dans ce présent rapport, la détermination du proxy d'abondance ou d'activité et la fréquence d'acquisition des données est présentée en tableau 1.

Tableau 1 : Proxies d'abondance utilisés dans le rapport et fréquences d'acquisition des données pour les différentes méthodes.

Table 1: Abundance or activity proxies used in the present report and frequencies of data acquisition for the different methods.

Méthodes	Proxy d'abondance ou d'activité	Fréquence d'acquisition des données
Pêches scientifiques aux filets	Nombre d'individus capturés	1 fois par semaine
ADNe	Concentration d'ADN environnementale (copies.L-1) /10	1 fois par semaine
Comptages visuels	Nombre d'individus identifiés comptés / 100	1 à deux fois par semaine
Caméra acoustique	Nombre de détections (échos) par pas de temps	En continu puis transformé en pas de temps journalier ou horaire
Pêches exceptionnelles	Captures par filet par les pêcheurs professionnels	Pendant le pic de reproduction

2.2. PERCHE

Afin de pouvoir suivre la phénologie de reproduction de la perche, des frayères artificielles sont mises en place chaque année en avril devant le port de l'UMR CARTEL - INRAE, depuis 1984, suivant le protocole de Gillet et Dubois (2007) (Figure 3). Ces frayères sont constituées d'un cadre en PVC de 1 m de hauteur et 2 m de largeur, qui maintient un grillage dans lequel sont entrelacées des branches d'if commun (*Taxus baccata*). Les frayères sont stabilisées en position verticale par l'intermédiaire de flotteurs positionnés sur le haut et de poids sur le bas. A partir des années 1990, les frayères sont installées à 4 m, 8 m et 12 m de profondeur, où les perches ont l'habitude de se reproduire (Gillet and Dubois 1995). Une ligne avec des capteurs de température (type Tinytag ; TG-4100) est mise en place dans la zone des frayères pour enregistrer les températures à 4 m, 8 m et 12 m de profondeur. Les frayères sont relevées deux fois par semaine pour compter et mesurer les rubans d'œufs à chaque profondeur avant de les remettre à l'eau. Chaque femelle pond des œufs sous forme d'un ruban unique (Thorpe 1977) dont la longueur et la largeur sont proportionnelles à leur taille selon l'équation :

Equation 1 :

$$LT = 24.210(LR)^{0.589}$$

avec LT : longueur de la femelle et LR : largeur du ruban en mm (Gillet et al. 1995; Dubois et al. 1996). La profondeur de la frayère est vérifiée avant et après chaque relève à l'aide d'un sondeur à main Plastimo ECHOTEST II.

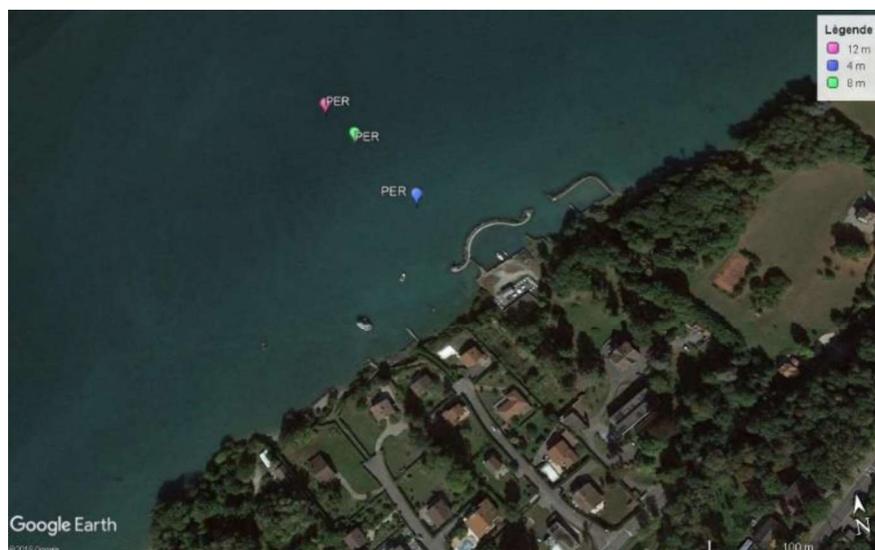


Figure 3 : Disposition théorique des frayères artificielles à différentes profondeurs (-4, -8 et -12 m) à proximité du port de l'UMR CARTEL (INRAE- USMB).

Figure 3: Theoretical layout of artificial spawning grounds at different depths (-4, -8 and -12 m) near the port of UMR CARTEL (INRAE-USMB).

Pour les deux espèces, le début et la fin du frai sont estimés lorsque les seuils de 10 % et 90 % des effectifs observés (généiteurs ou rubans d'œufs) sont atteints.

3. RESULTATS

3.1. COREGONE

3.1.1. HIVER 2020-2021 ET ÉVOLUTION DE LA STRUCTURE EN TAILLE ET EN ÂGE DE LA POPULATION

Un total de 17 individus a été capturé durant les opérations de 2020-2021. Ce chiffre est proche de celui de l'année précédente (22), l'abandon du site proche de l'INRAE n'a donc pas eu de répercussions sur le nombre total d'individus. En raison des conditions météorologiques défavorables, la pose des filets n'a pas pu être effectuée les semaines du 30 novembre et 28 décembre 2020 et 11 janvier 2021.

Contrairement au suivi par pêche, le suivi par ADNe a pu être effectué chaque semaine sur l'ensemble de la période. Le suivi par comptage visuel a été effectué jusqu'au 27/01/21 avec un total de 397 observations. Le suivi par caméra acoustique s'est également terminé le 27/01/21 et a permis l'observation de 23 500 échos.

Les résultats pour 2020-2021 (comparaison ADNe, pêche scientifique, comptage, captures par pêches exceptionnelles, caméra acoustique) sont présentés en Figure 4. Pour plus d'informations sur les comparaisons entre les différentes méthodes, consulter *Vautier et al., submitted*.

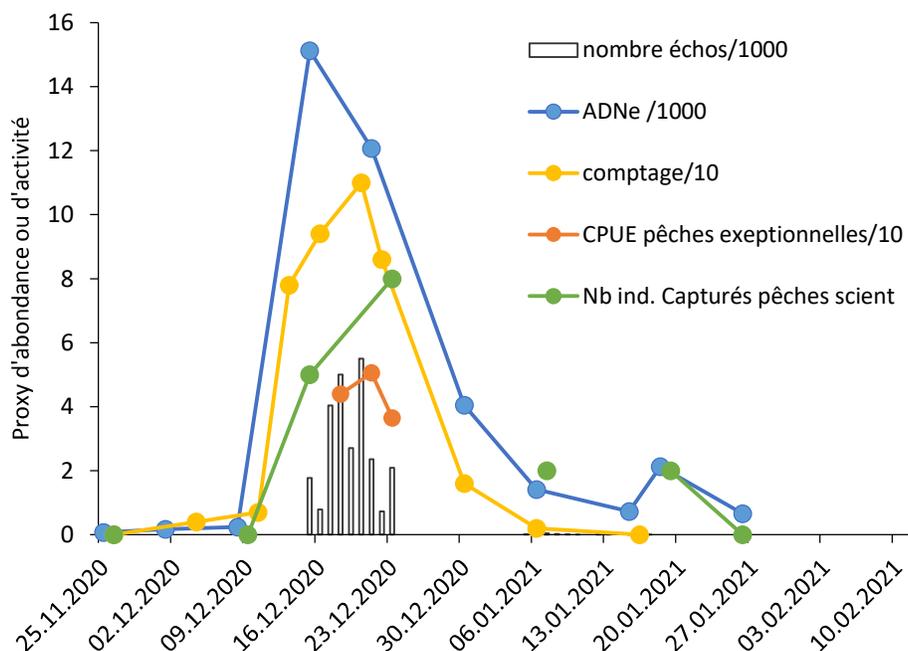


Figure 4 : Proxies d'abondance ou d'activité pour les différentes méthodes pour la saison de reproduction 2020-2021.

Figure 4: Abundance or activity proxies for the different methods for the 2020-2021 breeding season.

Au cours de l'hiver 2020-2021, une augmentation des proxy d'abondance est observée la semaine du 14 décembre (semaine 51) pour l'ADNe et les pêches scientifiques aux filets. L'augmentation du nombre d'individus s'observe à la fin de la semaine précédente soit le 13 décembre pour les comptages. Un problème technique survenu entre le 11 et le 14 décembre n'a pas permis pour la caméra d'observer avec précision le début de la reproduction. Cependant, 177 cibles sont détectées le 15 décembre (début de semaine 51). L'apogée est atteint au début de la semaine 51 concernant l'ADNe soit le 15 décembre. Les données ADNe restent proches et élevées pour le prélèvement effectué en tout début de semaine 52, le 21 décembre. Les comptages visuels et la caméra acoustique mettent en évidence un pic en fin de semaine 51, soit la nuit du 20 décembre. Une hausse d'abondance est constatée dans les filets relevés par les pêcheurs lors des pêches exceptionnelles le 21 décembre avec une capture effectuée la même nuit (20 décembre). Les pêches exceptionnelles, les comptages visuels et la caméra acoustique concordent

donc pour un pic observé la nuit du 20 décembre, soit en fin de semaine 51. En revanche, les pêches aux filets mettent en évidence un pic plus tardif en semaine 52 (semaine du 21 décembre) mais la relève des filets a été effectuée plus tardivement (23 décembre) avec 8 jours séparant les deux poses. Une baisse d'abondance est ensuite constatée en semaine 53 pour l'ADNe et le comptage. Les autres méthodes ne permettent pas d'observer la baisse d'abondance en raison d'absence de poses ou d'enregistrement dans le cas de la caméra acoustique.

Par un enregistrement en continu, la caméra acoustique permet d'obtenir des informations à des pas de temps fins, notamment sur les rythmes d'activité horaire. Il est notamment observé, durant les nuits où le nombre de détection est le plus fort, correspondant à l'intensité de reproduction la plus importante, 2 pics d'activité avec un principal après la tombée de la nuit et un secondaire entre 1h et 5h du matin (Rautureau et al. 2021). Les prélèvements ADNe sont effectués à des pas de temps différents (le matin et l'après-midi, ce qui pourrait expliquer la mise en évidence d'un pic en début de semaine 51 pour l'ADNe alors qu'il est plutôt déterminé en fin de semaine pour les autres méthodes).

Durant ce suivi, différentes méthodologies ont pu être utilisées et comparées afin d'identifier la phénologie de reproduction du corégone. Les données issues des protocoles caméra acoustique et comptage visuels sont bien corrélées entre elles. Les données ADNe mettent en évidence des dynamiques similaires mais les périodes de prélèvements et les pas de temps de prélèvement n'ont pas permis de préciser le pic de reproduction. Le comptage peut donc être utilisé comme référence et les indicateurs d'abondance obtenus par ADNe et caméra semblent prometteurs.

La dynamique de reproduction a donc été déterminée en 2020-2021 par les comptages visuels (rythme plus fin, pas de données manquantes). Le 13 décembre (plus de 10 % de captures totales), la période de reproduction avait débuté. La date correspondant à 50 % des géniteurs collectés se situerait entre le 16 et le 20 décembre. Le 20 décembre correspond à la date où le maximum d'individu compté est constaté (110 individus) (Figure 5).

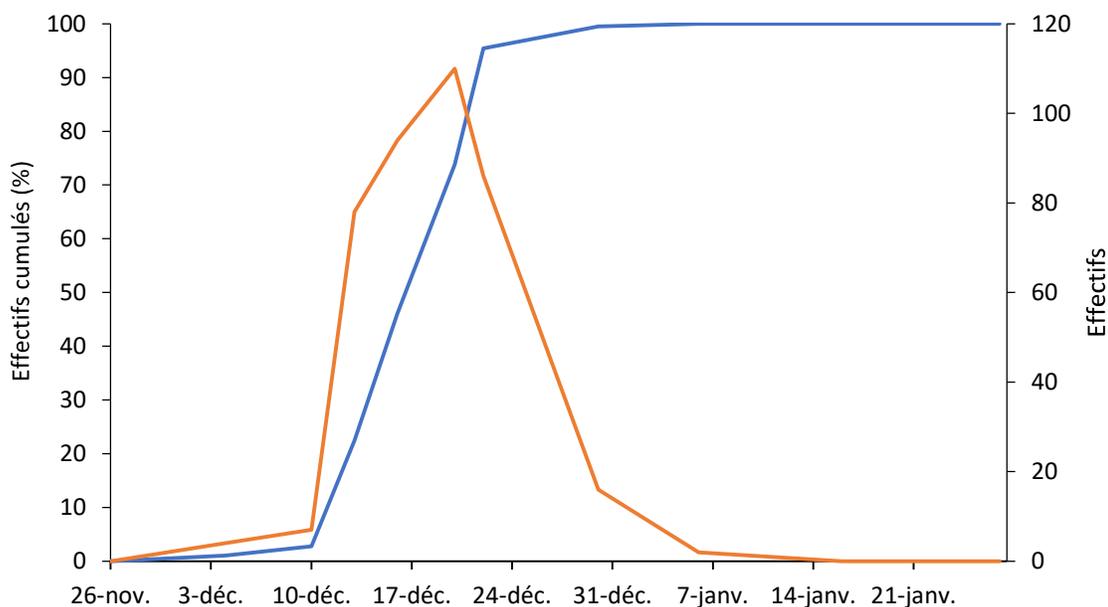


Figure 5 : Effectifs bruts (orange) et cumulés (en bleu, exprimés en pourcentage) de corégones observés par comptage visuel au cours de la saison de reproduction 2020-2021.

Figure 5: Numbers (orange) and cumulative numbers (in blue, expressed as a percentage) of whitefish observed by visual counting during the 2020-2021 breeding season.

Les données biologiques concernant les individus capturés ne sont données qu'à titre informatif étant donné le faible nombre d'individus capturés. Les captures par pêches scientifiques ont permis la prise de 5 femelles. Le pourcentage de mâles (70 %) est comparable à ce qui est observé dans la littérature (Champigneulle et al. 1983). La taille moyenne des individus capturés est de 446 mm. Pour la saison de reproduction 2020-2021, 82 % des individus sont âgés de 2 ans. Depuis le début des échantillonnages en 2015, la structure en âge obtenue sur l'ensemble de la saison de reproduction a fortement évolué avec la part représentée par les plus jeunes individus qui devient de plus en plus importante (Figure 6).

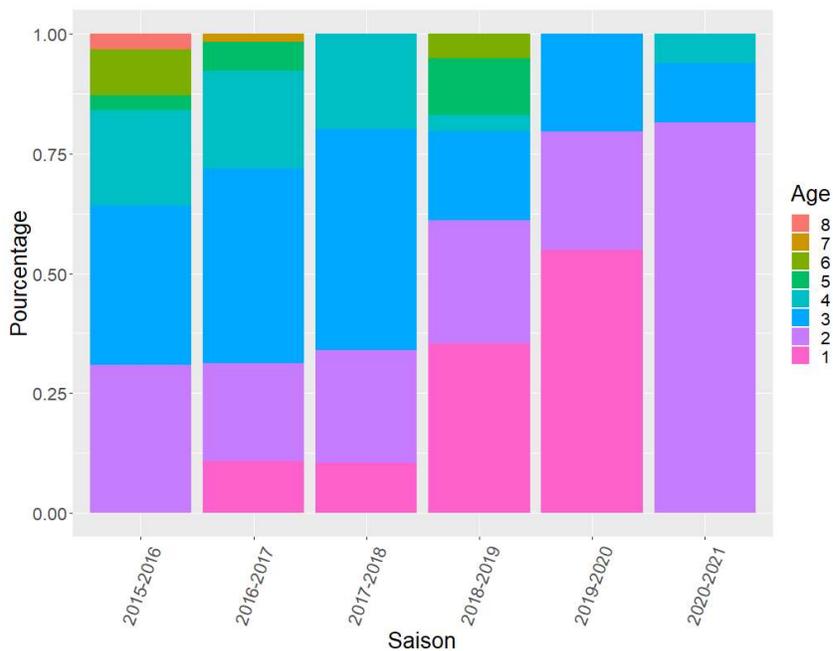


Figure 6 : Structure en âge des poissons capturés par les pêches scientifiques

Figure 6: Age structure of fish caught by scientific gillnets

Sur la période considérée, des fluctuations de tailles sont observées (Figure 7). En 2019-2020 une forte proportion d'individus âgés de 1 an était capturée expliquant une taille médiane plus faible. En 2020-2021, les individus de 1+ ne sont pas observés expliquant une taille plus élevée et similaire à 2018-2019.

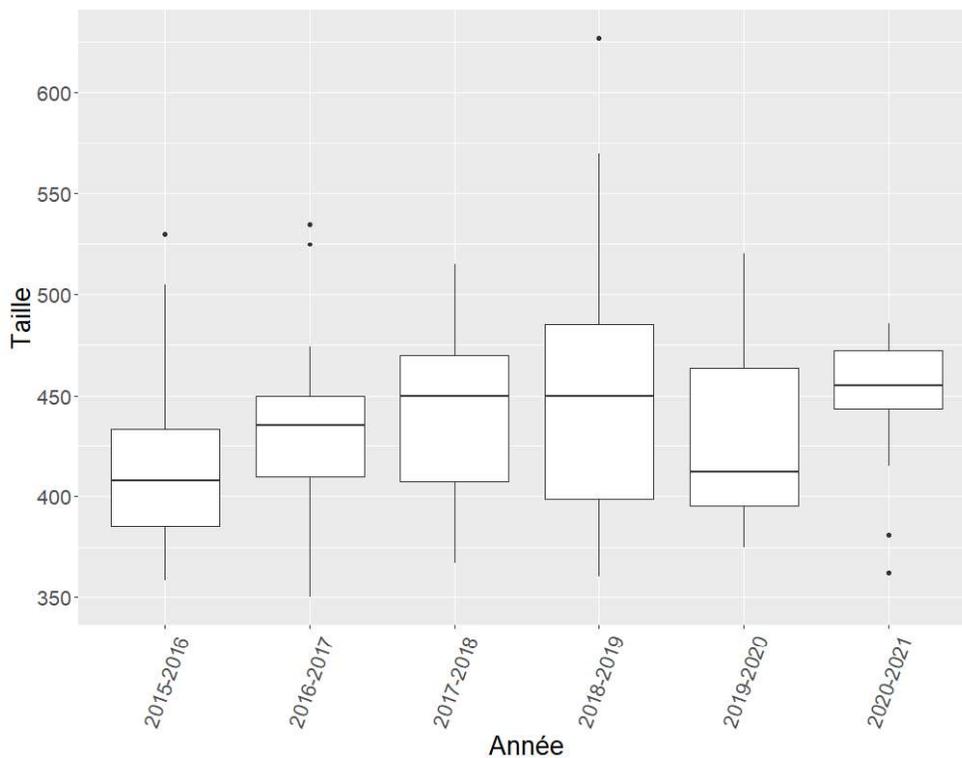


Figure 7 : Evolution de la taille des poissons capturés par les pêches scientifiques

Figure 7: Evolution of the size of fish caught by scientific gillnets

3.1.2. COMPARAISON INTERANNUELLE DE LA PHÉNOLOGIE

La comparaison des évolutions d'abondance pendant la période de reproduction observées avec les pêches aux filets et l'ADNe pour les hivers 2018-2019 et 2019-2020 sont présentés en Annexe 1.

Au cours des hivers 2018-2019, lorsque les pêches ne pouvaient pas être effectuées, les suivis par ADNe n'étaient pas réalisés. Une augmentation des proxy d'abondance est à noter lorsque les captures augmentent en 2018-2019 le proxy d'abondance augmente également. En 2019-2020, les captures étaient biaisées en raison d'un faible nombre d'individus échantillonnés. Une augmentation du proxy d'abondance ADNe est constatée aux alentours du pic qui serait probablement la dernière semaine de Noël, d'après les données des pêches exceptionnelles.

Les données obtenues dans le cadre du suivi de la phénologie, exprimées en effectifs cumulés sur l'ensemble des données, ont été comparées pour les années pour lesquelles il n'y a pas de biais liés à un manque dans l'échantillonnage et à un effectif trop faible (Figure 8). D'après les données analysées, la saison de reproduction débuterait plus tardivement qu'en 2017-2018, possiblement en lien avec des températures chaudes mais ensuite les 50 % d'effectifs seraient atteints plus précocement que pour l'ensemble des années de suivis présentés. De plus, la reproduction se terminerait plus précocement que les autres années. L'apogée a lieu pour une température élevée 8.8 °C (température du port), 9.3 °C à 4 m mesuré à proximité de la station d'hydrobiologie lacustre. Les données de modélisation obtenues à proximité du site de suivi (données : MeteoLakes) mettent également en évidence un début d'hiver chaud. A partir de Noël les températures chutent brutalement, perdant 0.6 °C au niveau de la sonde à -4 m et plus de 1°C pour la sonde située dans le port INRAE suite à des rafales de vents. Ces rafales de vent ont duré environ 5 jours et n'ont pas permis la pose de filets pendant la semaine du 28 décembre (semaine 53).

Les données des températures en sub-surface obtenues en novembre et décembre 2020 au point SHL2 confirment les températures élevées observées, similaires à celle obtenues lors de l'hiver 2015-2016 pour laquelle la température de l'eau était particulièrement chaude. Les températures chaudes en 2015-2016 avaient entraîné un décalage dans la période de reproduction.

Cette dynamique atypique (période de reproduction étroite, peu en lien avec les températures), pourrait s'expliquer par la dominance d'une cohorte, mais l'influence des facteurs liés à l'âge et à la taille des individus sur la phénologie serait à approfondir.

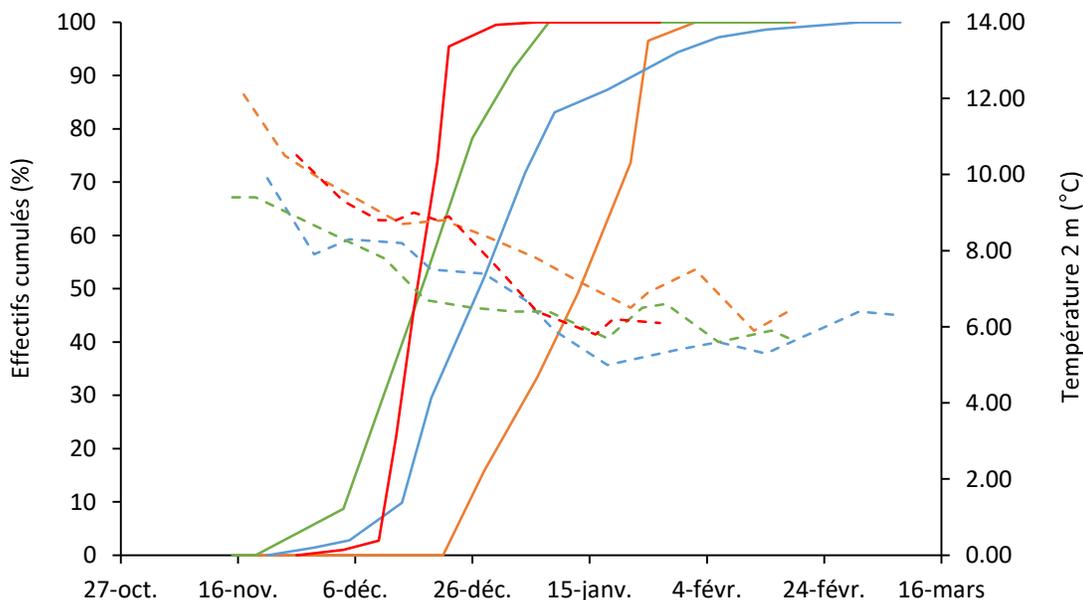


Figure 8 : Effectifs cumulés calculés à partir des pêches aux filets pour les hivers 2015-2016 (trait plein orange), 2016-2017 (trait plein bleu), 2017-2018 (trait plein vert) et calculés à partir des comptages visuels en 2020-2021 (trait plein rouge). Données de températures moyennes journalières mesurées à 2 m de profondeur dans le port de INRAE (traits pointillés orange : 2015-2016, bleu : 2016-2017, vert : 2017-2018, rouge 2020-2021).

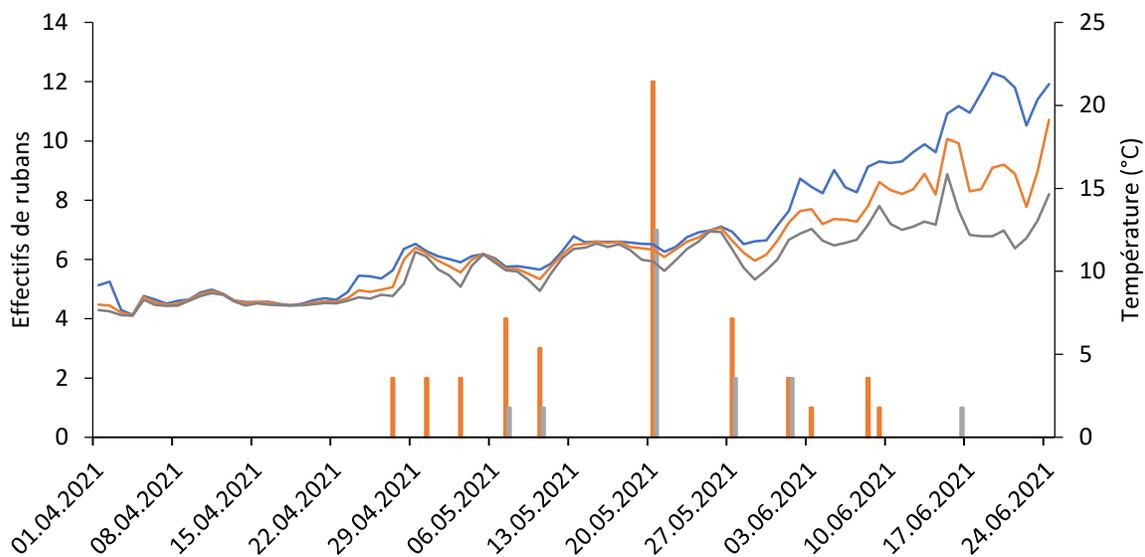
Figure 8 : Cumulative numbers obtained from scientific fishing for the winters of 2015-2016 (solid orange line), 2016-2017 (solid blue line), 2017-2018 (solid green line) and calculated from visual counts in 2020-2021 (solid red line). Daily average temperature data measured at 2 m depth in INRAE port (dotted orange lines: 2015-2016, blue: 2016-2017, green: 2017-2018, red 2020-2021).

3.2. PERCHE

Le suivi de 2020 n'a pas pu être effectué complètement en raison du confinement lié à l'épidémie de COVID19, ainsi les données de 2021 sont comparées à celle de 2019 (Figure 9). En 2021, 20 relèves de frayères ont pu être effectuées avec 49 rubans récoltés. Le nombre de rubans est environ 6 fois plus faible qu'en 2019. C'est à 8 m de profondeur que le nombre de rubans est le plus important, comme ce qui est généralement constaté depuis 2015.

La dynamique de reproduction obtenue pour la perche a été obtenue par un suivi ADN avec le même protocole que pour le corégone et montre également des résultats encourageants (Annexe 2).

A) 2021



B) 2019

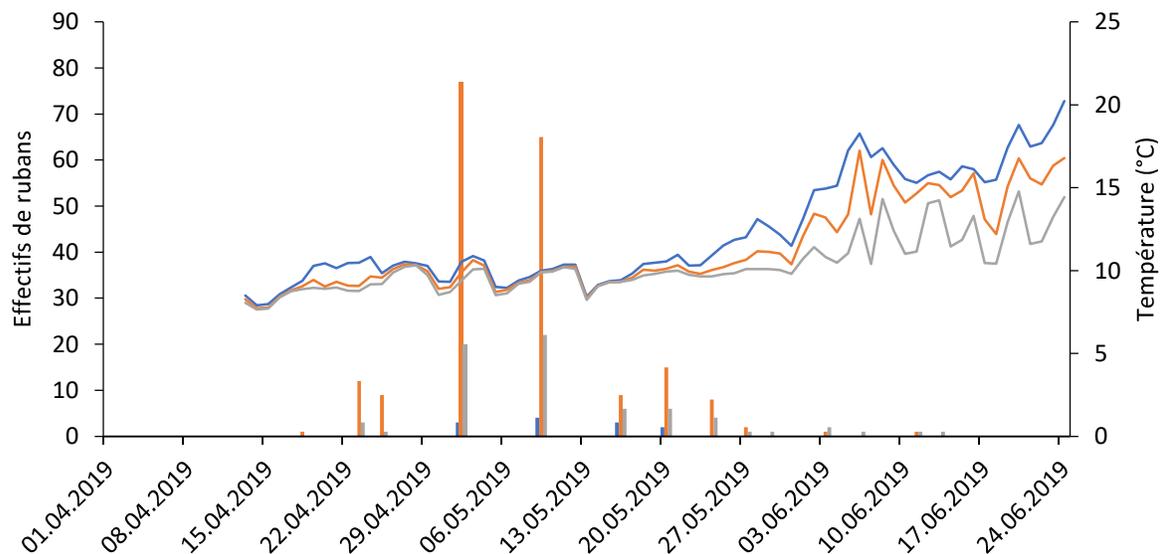


Figure 9 : Nombre de rubans de perches récoltés en a) 2021 et en b) 2019 par frayère à -4 m (bleu), -8 m (orange) et -12 m. Les courbes représentent les températures relevées à -4 m (en bleu), à -8 m (en orange) et à -12 m (en gris) de profondeur.

Figure 9: Number of perch ribbons harvested in a) 2021 and b) 2019 per spawning ground at -4 m (blue), -8 m (orange) and -12 m. The curves represent the temperatures recorded at -4 m (in blue), at -8 m (in orange) and at -12 m (in grey) in depth.

En 2021, le frai débute le 5 mai, soit environ 10 jours plus tôt qu'en 2020 pour des températures proches de 10°C (Figure 10). Cette température est atteinte plus tardivement qu'en 2019 expliquant le décalage dans le début du frai.

La date qui correspond à l'apogée est le 21 mai mais la date des 50 % correspond à une date entre le 10 et le 21 mai. Le pic est atteint 20 jours plus tard qu'en 2019 (2 mai). En 2019, le pic s'observe pour des températures similaires or le seuil des 12°C n'a pas été atteint les jours précédents le pic. Enfin, la date de fin de frai est atteinte le 20 mai 2019, soit la date de l'apogée en 2021. Le mois de mai 2019 comme celui de 2021 a été marqué par de multiples évènements venteux de fortes intensités empêchant les températures d'augmenter avant le 20 mai. Les températures ainsi rencontrées lors du suivi ne suffisent pas à expliquer la précocité du frai en 2019.

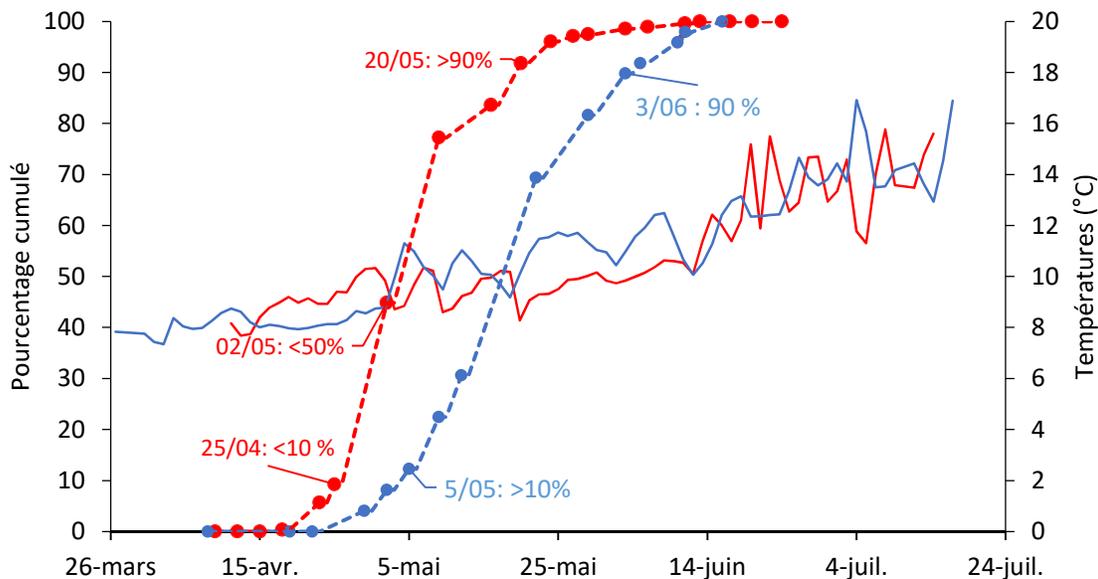


Figure 10 : Comparaison des températures moyennes (à -8 et -12 m de profondeur), entre 2019 (bleu) et 2021 (rouge), dynamique de frai pour l'année 2019 (rouge) et 2021 (bleu) en effectifs cumulés de rubans, exprimés en pourcentage, récoltés sur les frayères artificielles à toutes profondeurs confondues (-4, -8 et -12 m).

Figure 10 : Comparison of average temperatures (at -8 and -12 m depth), between 2019 (blue) and 2021 (red), spawning dynamics for the year 2019 (red) and 2021 (blue) in cumulative numbers of ribbons, expressed in percentage, collected on artificial spawning grounds at all depths (-4, -8 and -12 m).

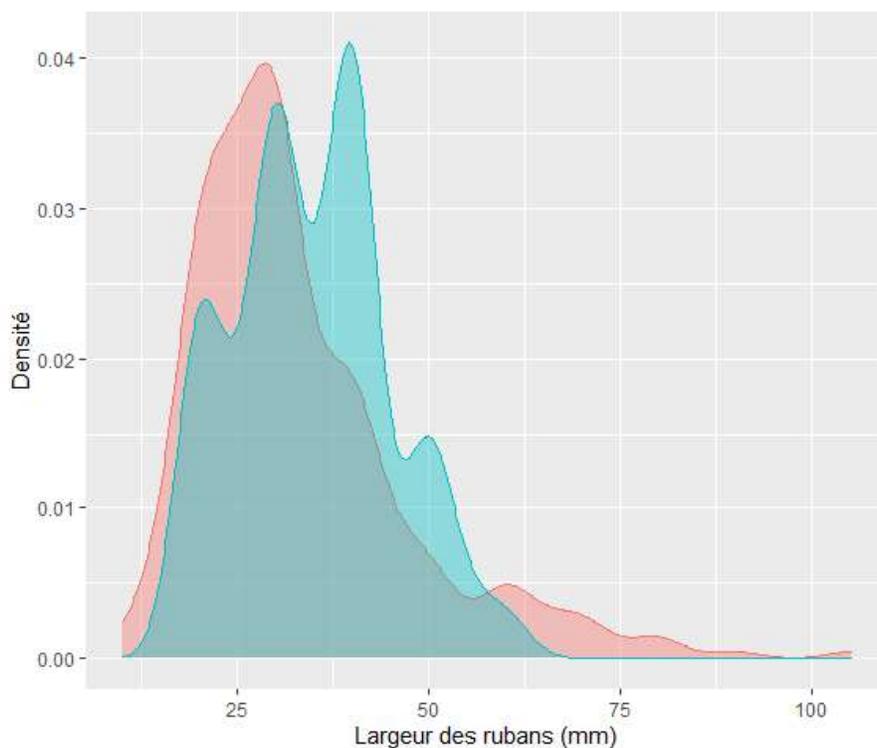


Figure 11 : Répartition en largeur des rubans collectés en 2019 (rose) et en 2021 (bleu).

Figure 11: Distribution in width of the ribbons collected in 2019 (pink) and in 2021 (blue).

La structure en taille a également une influence sur la dynamique de la reproduction. Les perches de plus petites tailles ont tendance à frayer de façon plus précoce que celles de plus grandes tailles (Gillet et Dubois 2007). La structure en taille a pu être comparée entre 2019 et 2021 et met en évidence une importante proportion de perches de plus petites tailles en 2019 (Figure 11). Cette différence explique probablement la différence de dynamique observée entre les deux années.

4. CONCLUSION

Concernant le suivi de la reproduction du corégone, la complémentarité apportée par 4 méthodes a permis de mieux décrire la phénologie. Ces nouvelles méthodes de suivi, réalisées pour certaines à un rythme temporel plus fin mettent en évidence des fortes fluctuations journalières dans les abondances. Ces différences peuvent expliquer les variations dans les descripteurs de la phénologie selon les méthodes utilisées. L'ADNe est une méthode prometteuse pour décrire la phénologie mais il est nécessaire de poursuivre les efforts d'intercalibration avec d'autres outils (caméra acoustique, comptages visuels, pêche avec les pêcheurs professionnels) et l'accès aux tailles individuelles n'est pas possible. La caméra acoustique apporte beaucoup d'informations mais nécessite la mise au point de méthodes de comptage automatique et de vérifier la possibilité d'avoir des indicateurs fiables sur la taille des poissons. Le frai en 2020-2021 a été précoce malgré des températures élevées en automne et en hiver. La période de reproduction a été également peu allongée dans le temps. Cette différence pourrait s'expliquer par des différences dans la structure en taille et en âge. Peu de données existent dans la littérature pour les variations en lien avec la structure en âge/taille et il est ainsi nécessaire d'acquérir des données supplémentaires afin de mieux comprendre les fluctuations liées aux caractéristiques de la population.

Pour la perche, la comparaison n'a pas pu être effectuée avec 2020 en raison du suivi qui n'a pas été réalisé dans les conditions habituelles (confinement lié à l'épidémie de COVID19). La reproduction de 2021 a donc été comparée à celle de 2019. En 2019, le frai est plus précoce qu'en 2021 en lien avec la présence de plus petites perches dans la population et des températures de l'eau légèrement plus élevées en début de saison.

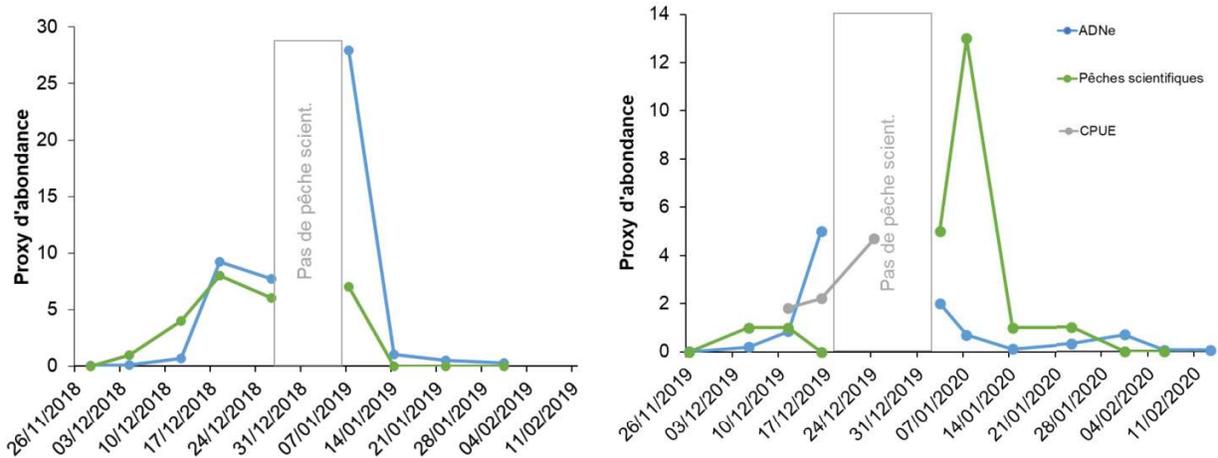
BIBLIOGRAPHIE

- Capo, E., G. Spong, S. Koizumi, I. Puts, F. Olajos, H. Königsson, J. Karlsson, and P. Byström. 2020. Droplet digital PCR applied to environmental DNA, a promising method to estimate fish population abundance from humic-rich aquatic ecosystems. *Environmental DNA* **3**: 343–352. doi:10.1002/edn3.115
- Champigneulle, A., D. Gerdeaux, and C. Gillet. 1983. Les pêches de géniteurs de corégone dans le Léman français en 1982. *Bulletin Français de Pisciculture* 149–157. doi:10.1051/kmae:1983006
- Concastie, G., J. Guillard, and C. Goulon. 2019. Etude de la dynamique de la population et de la phénologie de la reproduction de la perche (*Perca fluviatilis*) dans le Léman. suivi halieutique Convention Cantons VD, VS, GE, OFEV.
- Dubois, J.-P., C. Gillet, S. Bonnet, and Y. Chevalier-Weber. 1996. Correlation between the size of mature female perch (*Perca fluviatilis* L.) and the width of their egg strands in Lake Geneva. *Annales Zoologici Fennici* **33**: 417–420.
- Gillet, C., and J. P. Dubois. 1995. A survey of the spawning of perch (*Perca fluviatilis*), pike (*Esox lucius*), and roach (*Rutilus rutilus*), using artificial spawning substrates in lakes. *Hydrobiologia* **300–301**: 409–415. doi:10.1007/BF00024482
- Gillet, C., and J. P. Dubois. 2007. Effect of water temperature and size of females on the timing of spawning of perch *Perca fluviatilis* L. in Lake Geneva from 1984 to 2003. *Journal of Fish Biology* **70**: 1001–1014. doi:10.1111/j.1095-8649.2007.01359.x
- Gillet, C., J. P. Dubois, and S. Bonnet. 1995. Influence of temperature and size of females on the timing of spawning of perch, *Perca fluviatilis*, in Lake Geneva from 1984 to 1993. *Environ Biol Fish* **42**: 355–363. doi:10.1007/BF00001465
- Gillet, C., C. Lang, and J. P. Dubois. 2013. Fluctuations of perch populations in Lake Geneva from 1984 to 2011 estimated from the number and size of egg strands collected in two locations exposed to different fishing practices. *Fish Manag Ecol* **20**: 484–493. doi:10.1111/fme.12037
- Gillet, C., and P. Quéting. 2006. Effect of temperature changes on the reproductive cycle of roach in Lake Geneva from 1983 to 2001. *Journal of Fish Biology* **69**: 518–534. doi:10.1111/j.1095-8649.2006.01123.x
- Hulley, E. N., et al. (2019) Development and validation of probe-based multiplex real-time PCR assays for the rapid and accurate detection of freshwater fish species. *PLoS ONE*, 14(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210165>
- Martignac, F., A. Daroux, J.-L. Bagliniere, D. Ombredane, and J. Guillard. 2015. The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish and Fisheries* **16**: 486–510. doi:https://doi.org/10.1111/faf.12071
- Rautureau, C., C. Goulon, and J. Guillard. 2021. Suivi de la reproduction de la féra (*Coregonus lavaretus*) dans le Léman par l'intermédiaire d'une caméra acoustique. Rapport d'étape juin 2021.
- Thorpe, J. 1977. Synopsis of biological data on the perch *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 and *Perca flavescens* Mitchill, 1814, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Vautier, M., et al. (2020) Fish eDNA: DNA extraction from water samples filtered through Sterivex filter unit and preserved in buffer, protocols.io. dx.doi.org/10.17504/protocols.io.bfk8jkzw
- Vautier, M., et al (2021) Fish eDNA: water sampling and filtration through Sterivex filter unit, protocols.io. dx.doi.org/10.17504/protocols.io.br5rm856
- Walther, G.-R., E. Post, P. Convey, and others. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* **416**: 389–395. doi:10.1038/416389a

ANNEXES

ANNEXE 1

Proxy d'abondance par pêches scientifiques, ADNe et CPUE des pêches exceptionnelles. Les rectangles gris représentent les semaines sans pêches scientifiques en 2018-2019 (gauche) et 2019-2020 (droite)



ANNEXE 2

Proxy d'abondance obtenu par le suivi traditionnel de la perche à l'aide de frayères artificielles et la concentration en ADNe prélevé à proximité des frayères (devant le port INRAE et au niveau de la frayère à 4 m) en 2021 avec le même protocole que celui utilisé pour le corégone.

