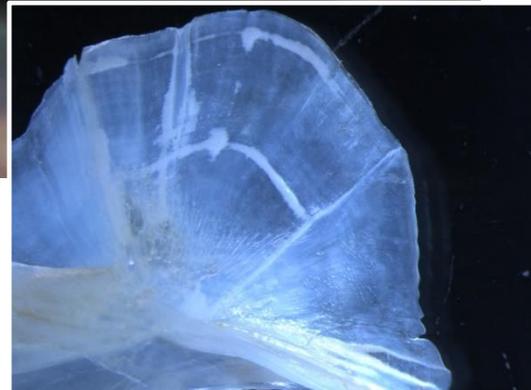


# Projet Succ-Esox - Croissance

Rapport final avril 2019



## Personnes de contacts

Service des forêts et de la faune  
Lauper Sébastien  
Case-Postale 155  
1762 Givisiez  
Sebastien.Lauper@fr.ch  
026 305 23 33

La Maison de la Rivière  
Jean-François Rubin et Aurélie Rubin  
Chemin du Boiron 2  
1131 Tolochenaz  
jf.rubin@bluewin.ch  
021 546 20 66

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>2</b>
1.1	Contexte administratif.....	2
1.2	Contexte scientifique .....	2
1.3	Objectif de l'étude .....	3
<b>2</b>	<b>Matériel et méthodes</b> .....	<b>4</b>
2.1	Capture .....	4
2.2	Détermination de l'âge des brochets .....	5
2.2.1	A l'aide des écailles (scalimétrie).....	5
2.2.2	A l'aide de l'os operculaire.....	6
2.2.3	A l'aide de l'os métaptérygoïde.....	7
2.2.4	Rétro-calculs.....	8
2.3	Extraction des otolithes .....	8
<b>3</b>	<b>Résultats</b> .....	<b>9</b>
3.1	Comparaison des méthodes de détermination d'âge .....	9
3.1.1	Littérature .....	9
3.1.2	Os operculaire .....	9
3.1.3	Écailles .....	9
3.1.4	Os métaptérygoïde .....	9
3.1.5	Cleithrum .....	10
3.1.6	Otolithes .....	10
3.1.7	Conclusion .....	10
3.2	Détermination de l'âge des brochets .....	11
3.3	Croissance des brochets .....	16
3.4	Nombre d'échantillons par classe d'âge .....	20
<b>4</b>	<b>Discussion</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Conclusion et perspectives</b> .....	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Remerciements</b> .....	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>Annexes</b> .....	<b>22</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte administratif

En 2017, un repeuplement en brochets, *Esox lucius* L., a été effectué dans les lacs de Gruyère et de Schiffenen. Le Service des forêts et de la faune du Canton de Fribourg a souhaité déterminer l'efficacité de cette action en marquant les poissons remis à l'eau. Ce travail a fait l'objet d'un rapport « Projet Succ-Esox – Marquage ». La présente étude fait suite à ce travail, afin de déterminer la croissance des brochets capturés par des pêcheurs amateurs, ceci dans le but de cibler la bonne cohorte de poissons en fonction de leur taille.

## 1.2 Contexte scientifique

Le repeuplement est une des méthodes de gestion classique pratiquée depuis très longtemps en Suisse, sur de nombreux plans d'eau et avec plusieurs espèces de poissons, notamment les truites, *Salmo trutta*, les ombles chevaliers, *Salvelinus alpinus*, les ombres de rivière, *Thymallus thymallus* et les corégones, *Coregonus* sp., mais également avec d'autres espèces comme les brochets, *Esox lucius* ou certaines espèces exotiques comme les sandres, *Sander lucioperca*.

Aujourd'hui, la gestion piscicole vise plus particulièrement, lorsque cela est possible, à améliorer l'environnement pour que les poissons se développent naturellement. Il s'agit là du principe de la renaturation des milieux aquatiques. Toutefois, selon la stratégie mise en place par la Confédération, lorsque cette renaturation n'est pas envisageable pour différentes raisons techniques, administratives ou financières, alors le repeuplement peut être envisagé. Dans ce cas, il s'agit de pouvoir suivre le destin des poissons mis à l'eau dans le milieu naturel afin de déterminer l'efficacité de l'action pour évaluer l'opportunité, ou non, de renouveler l'opération ou d'en améliorer l'efficacité. C'est exactement dans ce contexte que se positionne la présente étude.

A la demande des sociétés de pêche, l'Etat de Fribourg a effectué un repeuplement en brochets des lacs de Gruyère et de Schiffenen. Dans un premier temps, les individus mis à l'eau ont été marqués afin de pouvoir les distinguer ultérieurement lors des captures de ceux qui seraient issus de la reproduction naturelle. Dans un second temps, des poissons capturés en 2017 et 2018 ont été analysés afin de définir leur âge à l'aide de plusieurs méthodes et ainsi d'identifier les taux de croissance dans le Lac de Gruyère. Ce point-ci fait l'objet de la présente étude. Dans un troisième temps, les individus capturés appartenant à la bonne cohorte devraient être analysés pour définir leur origine et ainsi pouvoir déterminer si le repeuplement en brochet sur ces deux lacs est efficace ou non.

### 1.3 Objectif de l'étude

Afin de tester l'efficacité du repeuplement en brochets dans les lacs de Gruyère et de Schiffenen, il s'agit de

1. Marquer les poissons avant leur mise à l'eau,
2. Mettre en place une stratégie de récolte des poissons pêchés en collaboration avec les pêcheurs sous l'autorité du service cantonal compétent,
3. Etablir une courbe de croissance du brochet dans les lacs afin d'estimer l'âge des individus en fonction de leur taille, ceci afin de pouvoir cibler la bonne cohorte,
4. Estimer pour les cohortes concernées la part de poissons issus de fraye naturelle, respectivement de repeuplement, ceci en analysant les otolithes.

Le présent rapport fait état des points 2 et 3.



## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Capture

Afin d'estimer l'âge des individus en fonction de leur taille, et donc de sélectionner les poissons de la bonne cohorte, des prélèvements préliminaires ont été effectués dans le Lac de Gruyère entre juin et novembre 2017 et 2018. Afin d'obtenir un maximum de brochets d'âges différents, certains pêcheurs ont été autorisés à capturer des brochets plus petits que la taille minimale de capture de 50 cm.

Plusieurs informations ont été relevées par les pêcheurs lors de la capture d'un brochet :

- Longueur totale du poisson en mm.
- Poids plein en g.
- Lieu et date de capture
- Prélèvement d'écailles afin de déterminer l'âge du poisson par scalimétrie. Pour cela, les écailles ont été prélevées en les tirant vers l'arrière, à l'aide d'un couteau ou de brucelles, sur le côté gauche du poisson, en-dessus de la ligne latérale, sous la partie avant de la nageoire dorsale (Figure 1). Ces écailles ont ensuite été conservées dans un petit sachet en plastique et placées au congélateur.
- La tête du brochet a été conservée dans un sachet plastique et placée au congélateur, pour la détermination de l'âge du poisson à l'aide des os operculaires et métaptérygoïdes, ainsi que pour l'extraction des otolithes.



**Figure 1 : Emplacement pour le prélèvement d'écailles**

Lors de cette étude, 32 individus ont été capturés par les pêcheurs en 2017, et 34 en 2018 (total de 66 individus), donnant ainsi une première indication quant à la croissance des brochets dans le lac de Gruyère.

Ces échantillons congelés ont ensuite été remis au personnel de La Maison de la Rivière pour les analyses.

## 2.2 Détermination de l'âge des brochets

L'âge des brochets capturés en 2017 a été déterminé à l'aide de trois techniques différentes, soit avec les écailles (scalimétrie), l'os operculaire et l'os métaptérygoïde. Ces trois méthodes ont été testées afin de déterminer quelle technique était la plus précise. En 2018, seule l'analyse à l'aide de l'os métaptérygoïde a été appliquée.

### 2.2.1 A l'aide des écailles (scalimétrie)

Les poissons étant des animaux à sang froid, leur croissance dépend de la température de l'eau. En été, lorsque le poisson grandit beaucoup, ses écailles font de même. On trouve sur les écailles des stries (*circuli*) qui apparaissent à intervalles réguliers. En été, l'espace entre les *circuli* est grand car le poisson grandit passablement, alors qu'en hiver, les *circuli* se chevauchent presque et une zone plus dense (*annulus*) est visible sur l'écaille. En comptant le nombre d'*annuli*, on peut ainsi déterminer le nombre d'hivers que le poisson a passé, donc son âge.

Au laboratoire, les écailles ont été nettoyées, montées sur des lames en verre et photographiées sous loupe binoculaire. Les écailles régénérées (écailles reconstruites suite à la perte de l'écaille d'origine et dont le noyau central n'est pas bien visible) n'ont pas été prises en compte. L'âge des poissons capturés a ainsi été déterminé par dénombrement des *annuli*. Les images ci-dessous (Figure 2) représentent des écailles de corégones, mais le même principe s'applique aux brochets. Cette méthode permet de définir la fourchette de tailles des poissons à cibler pour obtenir des individus de la bonne cohorte.

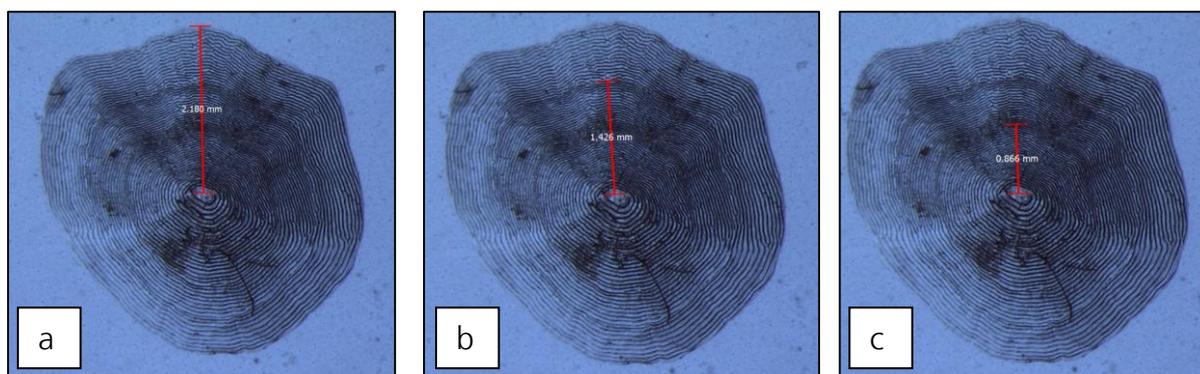


Figure 2 : Ecaille d'un corégone d'âge 2+. Mesure du rayon de l'écaille (a) jusqu'à sa capture, (b) jusqu'à son 2<sup>ème</sup> hiver, (c) jusqu'à son 1<sup>er</sup> hiver

### 2.2.2 A l'aide de l'os operculaire

Cet os constitue une partie de l'opercule du poisson (Figure 3). Une fois la tête du poisson décongelée, la peau et les muscles ont été sectionnés autour de l'os operculaire à l'aide d'un scalpel introduit dans les branchies. Les deux os operculaires (un de chaque côté) ont ainsi été ôtés puis plongés pendant deux minutes dans de l'eau bouillante. Le reste de chair a été enlevé en frottant les os sur du papier ménage. Ils ont finalement été laissés à l'air libre pendant 24h (Figure 4).



Figure 3 : Prélèvement de l'os operculaire



Figure 4 : Os operculaires après séchage

Après ce temps de séchage, les os ont été observés sous la loupe binoculaire. Les zones translucides représentent la croissance durant l'hiver (Figure 5). En dénombrant ces zones, l'âge du poisson peut être déterminé.

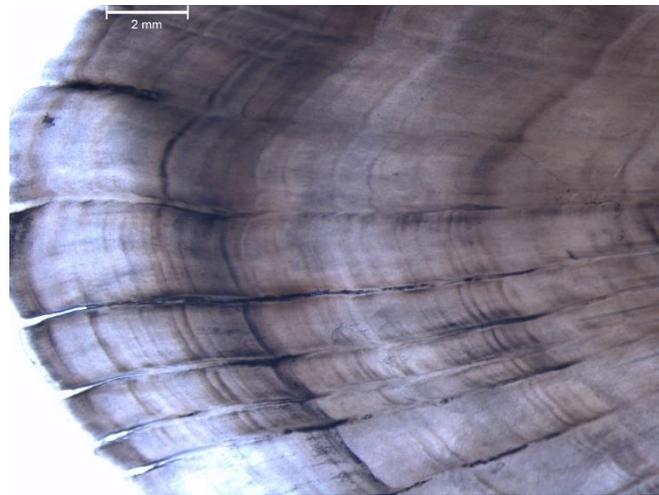


Figure 5 : Os operculaire vu sous la loupe binoculaire. Les zones translucides correspondent à la croissance durant l'hiver (ici, poisson d'âge 4+, mais le premier anneau n'est pas-visible).

### 2.2.3 A l'aide de l'os métaptérygoïde

Après avoir ôté les autres os et les otolithes, la tête du poisson a été plongée dans une casserole remplie d'eau et bouillie pendant 15 minutes. La chair se trouvant sous l'œil de l'individu (la joue) a ensuite été ôtée avec un scalpel, jusqu'à atteindre l'os métaptérygoïde (Figure 6). On procède de même de l'autre côté. Les os ont été plongés dans de l'eau bouillante pendant deux minutes pour bien les nettoyer puis ont été laissés à sécher pendant 24h (Figure 7).



Figure 6 : Extraction de l'os métaptérygoïde



Figure 7 : Os métaptérygoïdes après séchage

En observant l'os sous la loupe binoculaire, les stries blanches, correspondant aux hivers, ont été dénombrées et un âge a été déterminé pour chaque individu (Figure 8).

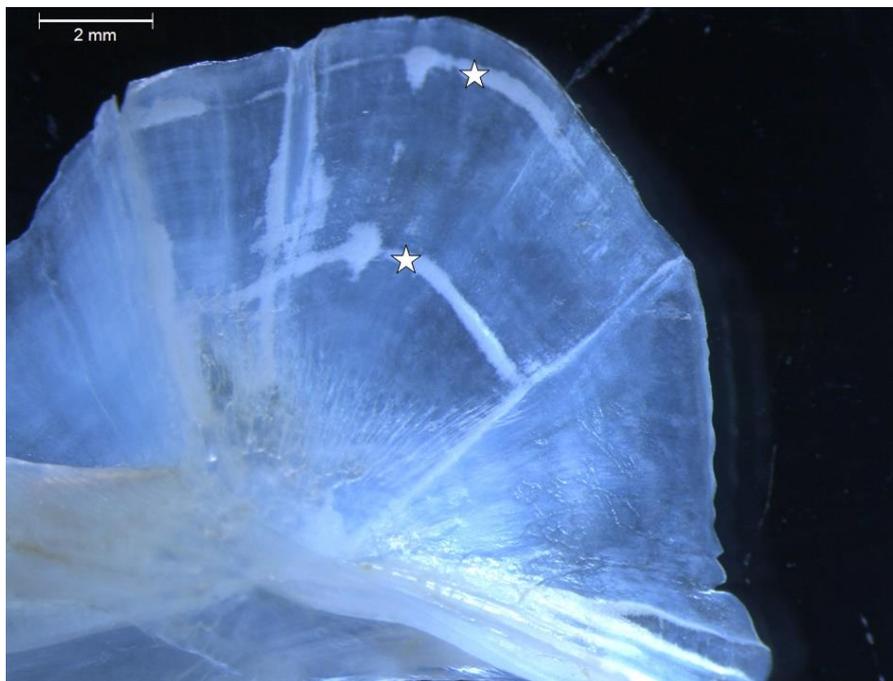


Figure 8 : Os métaptérygoïde vu sous la loupe binoculaire. Les étoiles représentent les zones blanches, qui correspondent aux hivers. Ce poisson a donc été déterminé comme étant d'âge 2+

### 2.2.4 Rétro-calculs

La taille des individus à chaque hiver peut être rétro-calculée à l'aide de la relation entre la longueur totale du poisson lors de sa capture ( $L_T$ ), la tailles des différentes stries ( $E_{1,2,\dots}$ ) et la longueur totale de l'os métaptérygoïde ( $E_T$ ). Ainsi, la formule suivante a été appliquée pour chaque poisson :

$$L_x = (E_x / E_T) * L_T$$

Avec,  $L_x$  = Longueur du poisson à l'âge  $x$  (1 an, 2 ans, ...)

$E_x$  = Longueur totale de l'os métaptérygoïde

$E_T$  = Longueur jusqu'à la strie de l'année  $x$  (1 an, 2 ans, ...)

$L_T$  = Longueur totale du poisson lors de sa capture

### 2.3 Extraction des otolithes

Même si nous savions qu'aucun des poissons capturés lors de cette session ne serait marqué par l'alizarine, nous avons décidé d'extraire tout de même les otolithes de certains poissons afin de se familiariser avec cette technique appliquée à des brochets.

Après avoir prélevé les os operculaires, mais avant de faire bouillir la tête pour accéder à l'os métaptérygoïde, les otolithes ont été extraits. Pour ce faire, les branchies ont été ôtées, puis la colonne vertébrale du poisson a été sectionnée à l'aide d'un sécateur juste au niveau de la jonction des premières branchies (Figure 9). Les otolithes ont été prélevés avec une pince fine, puis trempés dans de l'eau bouillante pour enlever la matière organique résiduelle. Après avoir été séchés avec du papier absorbant, ils ont été placés dans des tubes Eppendorf, préalablement étiquetés et stockés à l'abri de la lumière (Figure 10).



Figure 9 : Extraction des otolithes

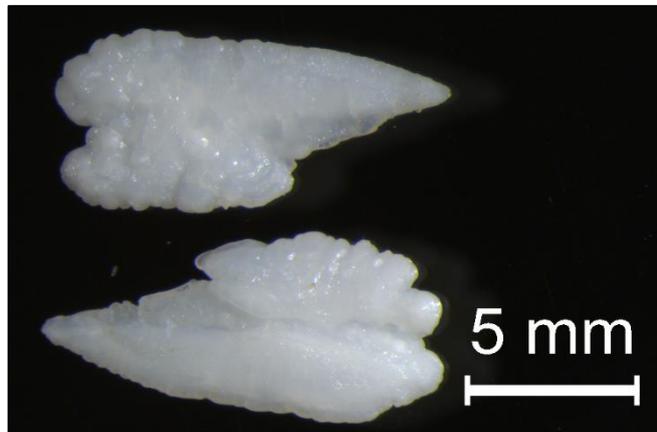


Figure 10 : Otolithes vus sous la loupe binoculaire

Les otolithes ont finalement été collés (gouttière contre la lame) sur une lame porte-objet à l'aide d'une goutte de colle. Ils ont été humidifiés puis polis sur les lames à l'aide de papier abrasif de granulométrie fine. Le polissage a été fait en plusieurs fois, en contrôlant l'évolution en plaçant la lame sous une loupe avec une goutte d'eau ou d'huile (afin de combler les marques laissées par le ponçage), ceci afin d'atteindre le nucleus. La lecture de l'otolithe a été menée grâce à un microscope à épifluorescence.

## 3 Résultats

### 3.1 Comparaison des méthodes de détermination d'âge

#### 3.1.1 Littérature

De nombreuses techniques sont utilisées dans la littérature afin de déterminer l'âge des poissons, la plus courante étant la lecture des écailles (scalimétrie). Cependant, pour certains groupes de poissons, des méthodes s'avèrent beaucoup plus efficaces que d'autres. Dans le cas de la présente étude, nous avons donc pris le parti de tester plusieurs techniques citées dans la littérature pour déterminer l'âge des brochets. En effet, les écailles, l'os operculaire, l'os métaptérygoïde, les otolithes, le cleithrum (os qui relie le crâne à la base des nageoires pectorales), ainsi que les rayons de nageoires ont été utilisés dans de précédentes études (Frost & Kipling, 1959 ; Vøllestad & Skurdal, 1986 ; Le Louarn, 1992 ; Sharma & Borgstrom, 2007 ; Ziliukiene and Ziliukas, 2010 ; Faust et al, 2013 ; Eberts, 2014 ; Oele et al, 2015 ; Blackwell et al, 2016). Dans la présente étude, nous avons analysés les écailles, l'os operculaire et l'os métaptérygoïde pour la détermination de l'âge.

#### 3.1.2 Os operculaire

L'os operculaire s'est révélé très compliqué à utiliser. En effet, les zones correspondant à la croissance durant l'hiver étaient difficilement identifiables, en particulier chez les jeunes individus. De plus, la distinction entre faux et vrai anneau était compliquée. Dès lors, il a été décidé de ne pas baser la détermination d'âge sur cette technique. Eberts (2014) estime que cette méthode est efficace chez les perches et les sandres, mais pas pour le brochet. Le Louarn (1992) arrive à la même conclusion.

#### 3.1.3 Ecailles

L'analyse des écailles s'est révélée plus fiable que l'os operculaire, bien que plus compliquée que pour les truites ou les corégones d'après notre expérience. La scalimétrie est la technique la plus courante pour déterminer l'âge des poissons. Néanmoins, pour les brochets, bien que fonctionnelle, elle demeure moins précise que l'utilisation d'autres structures osseuses, comme le cleithrum ou l'os métaptérygoïde (Faust et al, 2013 ; Oele et al, 2015 ; Blackwell et al, 2016). Nous avons donc décidé d'utiliser les écailles en complément à l'os métaptérygoïde lors d'hésitation sur l'âge du poisson.

#### 3.1.4 Os métaptérygoïde

Finalement, l'os métaptérygoïde a été considéré comme étant la technique la plus fiable pour déterminer l'âge des brochets, bien que nécessitant un peu plus de manipulations. En effet, les stries représentant les hivers sont plus facilement identifiables par rapport aux autres méthodes testées. Sharma et Borgstrom (2007) et Blackwell et al. (2016) arrivent à la même conclusion et préconisent donc l'utilisation de l'os métaptérygoïde pour la détermination de l'âge chez les brochets.

### **3.1.5 Cleithrum**

Certains auteurs se basent également sur le cleithrum (Vøllestad & Skurdal, 1986 ; Faust et al, 2013 ; Oele et al, 2015), mais étant donné les mauvais résultats obtenus par Blackwell et al. (2016) par exemple, nous avons décidé de ne pas tenir compte de cette technique.

### **3.1.6 Otolithes**

La détermination de l'âge peut encore se faire à l'aide des otolithes. Malheureusement, même si ce procédé est relativement facile chez les corégones (fixation de l'otolithe sur une lame en verre puis polissage avec du papier de verre), il demeure plus compliqué chez les brochets. En effet, les otolithes de ces derniers sont beaucoup plus denses que chez les corégones par exemple, ce qui rend très difficile la visualisation des stries sous le microscope. Il serait donc probablement nécessaire de préalablement sectionner les otolithes à l'aide d'une scie de précision, pour ensuite les polir (Faust et al, 2013 ; Oele et al 2015).

### **3.1.7 Conclusion**

Au final, la détermination de l'âge des 66 brochets s'est donc faite sur la base des os métaptérygoïdes, avec appui des écailles lors d'hésitations.

### 3.2 Détermination de l'âge des brochets

La taille des brochets capturés en 2017 varie de 380mm à 770mm, pour un poids plein allant de 350g à 3210g (Tableau 1). L'âge de ces poissons a été déterminé à l'aide des os métaptérygoïdes. En 2017, un poisson a été déterminé comme étant d'âge 1+, 11 comme 2+, 13 comme 3+, 4 comme 4+ et 3 comme 5+.

En 2018, 34 brochets ont été capturés. Leur taille était comprise entre 430 mm et 1130 mm. 17 individus ont été déterminés comme étant d'âge 2+, 7 comme 3+, 6 comme 4+, 2 comme 5+, 1 comme 6+ et 1 comme 10+ (Tableau 2).

En prenant en compte les deux années, un individu a été déterminé comme 1+, 28 comme 2+, 20 comme 3+, 10 comme 4+, 5 comme 5+, 1 comme 6+ et 1 comme 10+.

**Tableau 1 : Détermination de l'âge des brochets capturés en 2017**

ID	Lieu de capture	Date de capture	Age (...+)	Longueur (mm)	Poids plein (g)
1	Gumefens Ile aux oiseaux	08.07.2017	1	380	410
2	Chalet Sudan	16.06.2017	2	400	400
4	Morlon	01.06.2017	2	410	350
5	Pointe de Morlon	24.06.2017	2	415	370
6		03.06.2017	2	415	400
7	Villarvolard	05.09.2017	2	435	530
8	Morlon	15.10.2017	2	440	500
9		28.09.2017	2	440	640
10	Morlon	20.10.2017	2	470	580
11	Morlon	09.10.2017	2	470	600
12		18.08.2017	2	470	700
15	Botterens	17.06.2017	2	545	1050
3		18.08.2017	3	400	580
13	Entrée Sarine	15.06.2017	3	540	962
14	Echarlens	05.09.2017	3	540	1070
16		06.06.2017	3	550	1050
17		10.06.2017	3	560	1200
18	Morlon	02.11.2017	3	575	1180
19	Pointe de Morlon	03.06.2017	3	580	1089
20	Morlon	09.10.2017	3	600	1220
22	Villarvolard	03.06.2017	3	615	1242
23	Morlon	20.10.2017	3	620	1300
24	Morlon	19.06.2017	3	620	1620
25		16.06.2017	3	630	1500
26	Villarvolard	17.06.2017	3	630	1665
21	Villarvolard	18.06.2017	4	600	1360
27	Entrée Sarine	15.06.2017	4	645	1460
28	Entrée Sarine	30.07.2017	4	650	3700
30	Botterens	02.06.2017	4	740	3004
29	Sumefens	11.07.2017	5	690	2300
31	Morlon	03.11.2017	5	770	2650
32	Chèvrierie de Botterens	21.06.2017	5	770	3210

Tableau 2 : Détermination de l'âge des brochets capturés en 2018

ID	Lieu de capture	Date de capture	Age (...+)	Longueur (mm)	Poids plein (g)
1	Pointe de Morlon	01.06.2018	2	430	672
2	Pont Corbières	16.07.2018	2	440	700
5	Betterens	01.06.2018	2	570	1120
7	Pointe de Morlon	04.07.2018	2	530	930
8	Villarvolard	02.06.2018	2	595	1280
10	Morlon	01.06.2018	2	550	1360
11	Morlon	01.06.2018	2	600	1000
12	Gumefens	02.06.2018	2	570	1230
14	Foret ronde	16.07.2018	2	590	1285
17		02.06.2018	2	670	2000
19	Morlon	01.11.2018	2	670	1700
22	Lac de Gruyère	28.06.2018	2	550	820
23	Morlon	08.06.2018	2	520	780
25	Echarlens	01.07.2018	2	640	1840
28	Corbières	06.07.2018	2	650	1855
29	Corbières	01.06.2018	2	470	610
31	Lac de Gruyère	30.06.2018	2	510	790
9	Morlon	29.06.2018	3	570	1250
13	Echarlens	14.07.2018	3	660	1501
18	Gumefens	03.06.2018	3	680	2395
24	Corbières	05.07.2018	3	680	2330
26	Pointe de Morlon	03.06.2018	3	475	751
32	Corbières	01.06.2018	3	670	1740
33	Corbières	28.06.2018	3	730	2860
3	Botterens	08.07.2018	4	560	1110
4	Foret ronde	04.07.2018	4	635	1420
6	Villarvolard	03.06.2018	4	700	2380
16	Morlon	10.11.2018	4	730	2200
20		01.06.2018	4	730	3017
27	Morlon	01.11.2018	4	550	1000
15	Morlon	05.11.2018	5	730	2000
30	Corbières	27.06.2018	5	630	1630
21	Corbières	12.07.2018	6	650	1930
34	Pointe de Morlon	01.06.2018	10	1130	12210

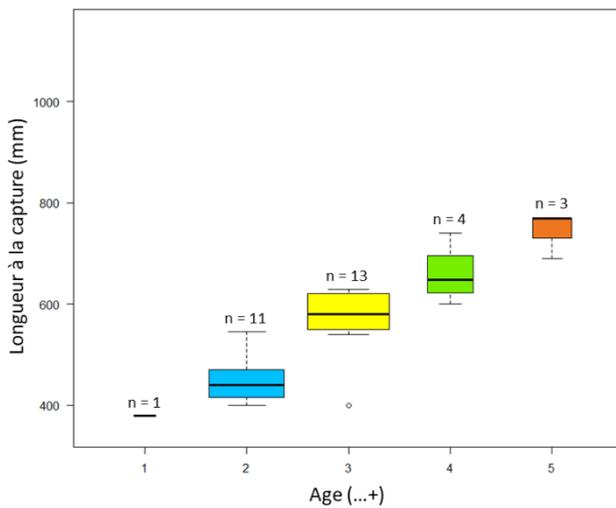
Les longueurs minimales, maximales, ainsi que les moyennes de taille et les écart types en fonction des âges des brochets capturés en 2017 et en 2018 sont donnés dans le Tableau 3.

Cependant, ces poissons ont été capturés entre juin et novembre 2017 et 2018, soit sur deux périodes de plusieurs mois. Ainsi, les individus capturés en fin de saison auront bénéficié de plusieurs mois de croissance supplémentaires, ce qui peut donc impacter les résultats prenant en compte la longueur du poisson lors de sa capture.

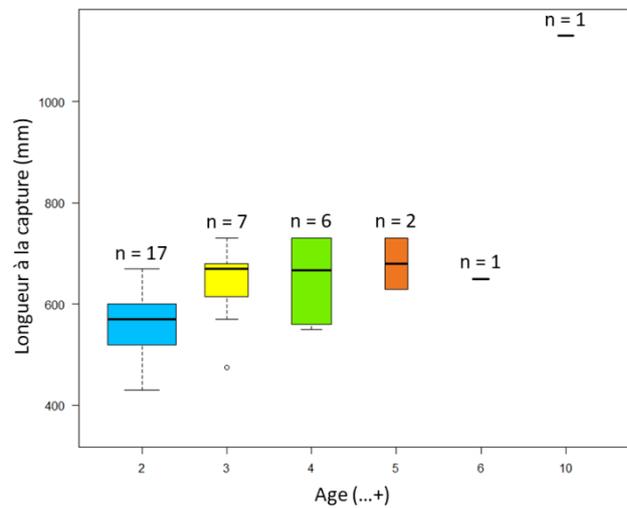
**Tableau 3 : Longueurs minimales, maximales et moyennes des tailles à la capture (2017 et 2018) en fonction de l'âge**

Age	Nombre d'individus	Longueur minimale [mm]	Longueur maximale [mm]	Longueur moyenne [mm]	Ecart type
1+	1	380	380	380	-
2+	28	400	545	517	85
3+	20	400	730	596	76
4+	10	550	740	654	70
5+	5	630	770	718	59
6+	1	650	650	650	-
10+	1	1130	1130	1130	-

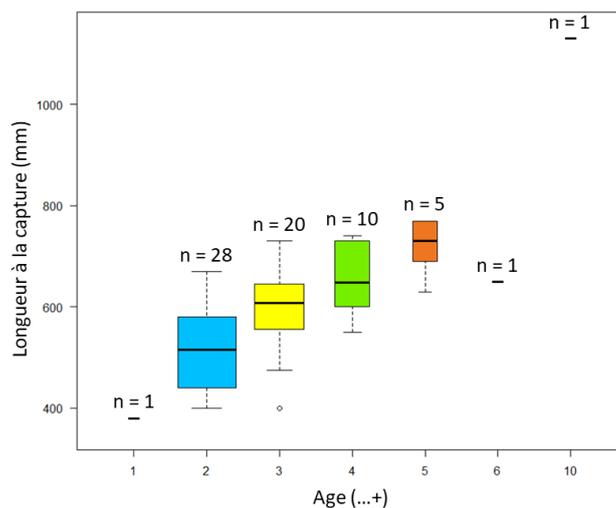
Ces résultats sont également donnés sous forme graphique (boxplot). La Figure 11 démontre les captures de 2017, la Figure 12 les résultats de 2018 et la Figure 13 comprend toutes les captures de 2017 et 2018.



**Figure 11 : Boxplot des longueurs des brochets à la capture (entre juin et novembre 2017), en fonction de leur âge**



**Figure 12 : Boxplot des longueurs des brochets à la capture (entre juin et novembre 2018), en fonction de leur âge**



**Figure 13 : Boxplot des longueurs des brochets à la capture (entre juin et novembre 2017 et 2018) en fonction de leur âge**

Ces données ont été reportées dans des matrices, représentant l'âge du poisson en fonction de sa longueur (Tableau 4 gauche comprenant l'ensemble des données, Annexe 1 gauche pour uniquement les résultats de 2017, Annexe 2 gauche pour uniquement les données de 2018). Ensuite, pour chaque classe de taille, le pourcentage du nombre d'individus de la classe d'âge x par rapport au nombre total de poisson de cette classe de taille a été déterminé, ce qui a donné la même matrice, mais exprimée en pourcentage (Tableau 4 droite, Annexe 1 droite pour uniquement les résultats de 2017, Annexe 2 droite pour uniquement les données de 2018).

Tableau 4 : Matrice taille – âge avec le nombre d'individus par catégories (à gauche) et exprimée en % (à droite)

Classes de taille	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	10+	Total
380	0	1	0	0	0	0	0	0	1
390	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	1	1	0	0	0	0	2
410	0	0	3	0	0	0	0	0	3
420	0	0	0	0	0	0	0	0	0
430	0	0	2	0	0	0	0	0	2
440	0	0	3	0	0	0	0	0	3
450	0	0	0	0	0	0	0	0	0
460	0	0	0	0	0	0	0	0	0
470	0	0	4	1	0	0	0	0	5
480	0	0	0	0	0	0	0	0	0
490	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
510	0	0	1	0	0	0	0	0	1
520	0	0	1	0	0	0	0	0	1
530	0	0	1	0	0	0	0	0	1
540	0	0	1	2	0	0	0	0	3
550	0	0	2	1	1	0	0	0	4
560	0	0	0	1	1	0	0	0	2
570	0	0	2	2	0	0	0	0	4
580	0	0	0	1	0	0	0	0	1
590	0	0	2	0	0	0	0	0	2
600	0	0	1	1	1	0	0	0	3
610	0	0	0	1	0	0	0	0	1
620	0	0	0	2	0	0	0	0	2
630	0	0	0	2	1	1	0	0	4
640	0	0	1	0	1	0	0	0	2
650	0	0	1	0	1	0	1	0	3
660	0	0	0	1	0	0	0	0	1
670	0	0	2	1	0	0	0	0	3
680	0	0	0	2	0	0	0	0	2
690	0	0	0	0	0	1	0	0	1
700	0	0	0	0	1	0	0	0	1
710	0	0	0	0	0	0	0	0	0
720	0	0	0	0	0	0	0	0	0
730	0	0	0	1	2	1	0	0	4
740	0	0	0	0	1	0	0	0	1
750	0	0	0	0	0	0	0	0	0
760	0	0	0	0	0	0	0	0	0
770	0	0	0	0	0	2	0	0	2
1130	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	0	1	28	20	10	5	1	1	66

Classes de taille	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	10+
380	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
390	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
400	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%
410	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
420	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
430	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
440	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
450	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
460	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
470	0%	0%	80%	20%	0%	0%	0%	0%
480	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
490	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
510	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
520	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
530	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
540	0%	0%	33%	66%	0%	0%	0%	0%
550	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	0%
560	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%
570	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%
580	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
590	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
600	0%	0%	33%	33%	33%	0%	0%	0%
610	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
620	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
630	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%
640	0%	0%	50%	0%	50%	0%	0%	0%
650	0%	0%	33%	0%	33%	0%	33%	0%
660	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
670	0%	0%	66%	33%	0%	0%	0%	0%
680	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
690	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
700	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
710	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
720	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
730	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%
740	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
750	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
760	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
770	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
1130	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

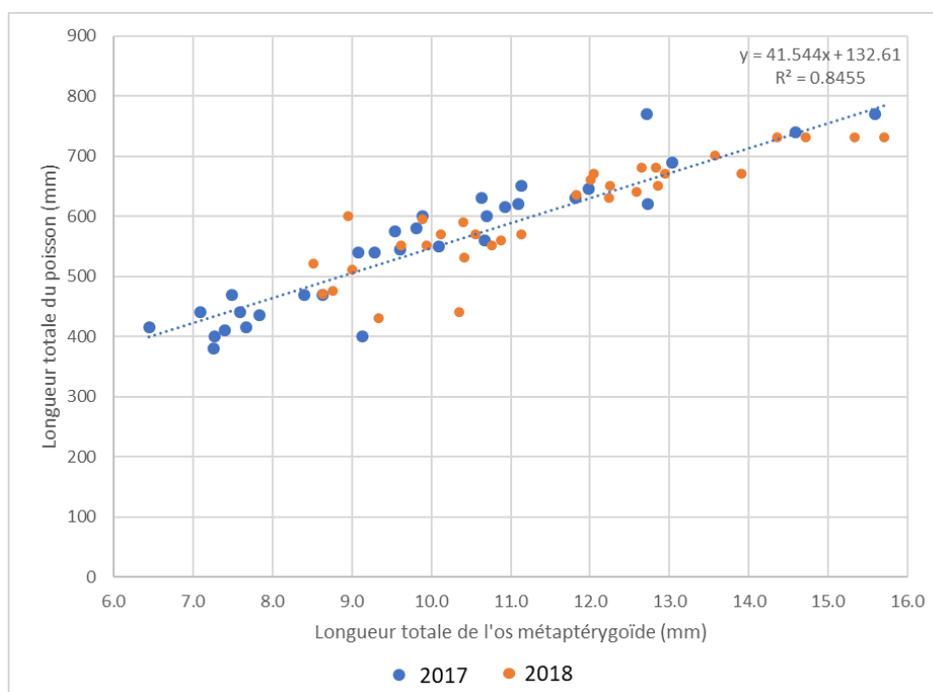
Finalement, en instaurant des limites de taille pour chaque âge, l'âge d'un poisson peut être estimé en fonction de sa taille, sans faire de scalimétrie (Tableau 5). Bien entendu, ces limites se basent sur des analyses faites sur un groupe relativement restreint (66 individus) et capturés sur deux périodes de plusieurs mois. Pour affiner ces résultats, un nombre plus important de brochets devraient être pris en compte.

**Tableau 5 : Matrice taille-âge pour les brochets capturés entre juin et novembre 2017 et 2018**

Age	Limites de taille (mm)
≤ 1+	< 390
2+	390 - 539
3+	540 - 689
4+	690 - 749
≥ 5+	≥ 750

### 3.3 Croissance des brochets

Une fois l'âge du poisson déterminé, la croissance des brochets à l'aide de rétro-calcul (Bagliniere & Ombredane, 1990) peut être mesurée. Pour ce faire, il faut d'abord vérifier la bonne corrélation entre la longueur totale du poisson et la longueur de l'os métaptérygoïde (Figure 12). Dans notre cas, le coefficient de corrélation  $R^2$  équivaut à 0.85 (la valeur extrême du brochet de dix ans a été ôtée pour cette analyse). Il existe donc une bonne corrélation entre les deux longueurs. Les rétro-calculs peuvent ainsi être appliqués.



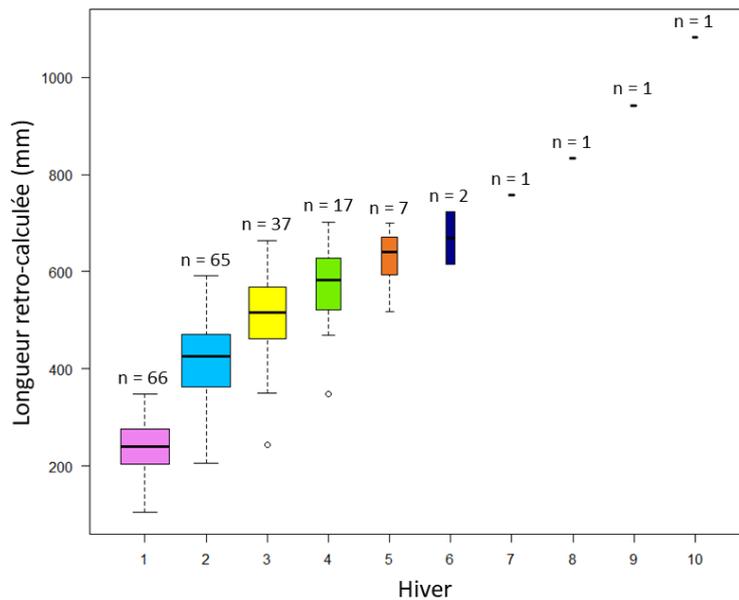
**Figure 12 : Corrélation entre la taille des poissons et la longueur de l'os métaptérygoïde pour 2017 (bleu) et 2018 (orange)**

Les rétro-calculs ont été effectués en mesurant la longueur depuis le nucleus jusqu'à la première strie (S1 dans le Tableau 6 pour les captures de 2017 et dans le Tableau 7 pour les captures de 2018), puis jusqu'à la deuxième strie (S2), etc, jusqu'à la longueur totale de l'os à l'aide d'un programme informatique couplé à la loupe binoculaire.

**Tableau 6: Longueur sur l'os métaptérygoïde et rétro-calculs pour les captures de 2017**

ID	Date de capture	Poids plein (g)	Age (...+)	Longueur (mm)	Longueur de l'os jusqu'au xème hiver (mm)					Longueur totale de l'os (mm)	Longueur rétro-calculée au xème hiver (mm)				
					S1	S2	S3	S4	S5		L1	L2	L3	L4	L5
1	08.07.2017	410	1	380	3.26					7.26	170				
2	16.06.2017	400	2	400	3.74	7.92				9.13	164	347			
4	01.06.2017	350	2	410	3.36	6.83				7.39	186	379			
5	24.06.2017	370	2	415	3.68	6.45				7.67	199	349			
6	03.06.2017	400	2	415	3.72	5.47				6.44	240	352			
7	05.09.2017	530	2	435	4.78	6.90				7.84	266	383			
8	15.10.2017	500	2	440	2.88	5.26				7.09	179	326			
9	28.09.2017	640	2	440	4.59	6.74				7.59	266	391			
10	20.10.2017	580	2	470	5.16	7.39				8.40	289	414			
11	09.10.2017	600	2	470	3.30	4.49				7.49	207	282			
12	18.08.2017	700	2	470	5.85	8.27				8.63	319	450			
15	17.06.2017	1050	2	545	5.25	8.88				9.60	298	504			
3	18.08.2017	580	3	400	3.55	5.17	6.35			7.27	195	285	350		
13	15.06.2017	962	3	540	4.41	7.24	8.43			9.09	262	430	501		
14	05.09.2017	1070	3	540	3.55	5.80	7.71			9.29	206	338	448		
16	06.06.2017	1050	3	550	4.64	7.74	9.32			10.10	252	422	507		
17	10.06.2017	1200	3	560	5.29	8.45	9.41			10.67	278	443	494		
18	02.11.2017	1180	3	575	4.56	6.44	9.01			9.54	275	388	543		
19	03.06.2017	1089	3	580	2.55	5.99	9.41			9.81	151	354	556		
20	09.10.2017	1220	3	600	4.26	8.41	9.05			9.89	258	510	549		
22	03.06.2017	1242	3	615	4.91	7.80	10.40			10.93	276	439	585		
23	20.10.2017	1300	3	620	5.63	10.09	11.91			12.73	274	491	580		
24	19.06.2017	1620	3	620	4.64	7.70	10.16			11.10	259	430	568		
25	16.06.2017	1500	3	630	4.94	7.43	9.39			10.64	293	440	556		
26	17.06.2017	1665	3	630	6.15	7.97	11.07			11.81	328	425	590		
21	18.06.2017	1360	4	600	4.27	5.96	7.06	9.31		10.70	240	334	396	522	
27	15.06.2017	1460	4	645	5.98	7.97	8.92	11.46		11.98	322	429	480	617	
28	30.07.2017	3700	4	650	3.50	7.21	9.43	10.53		11.13	204	421	551	615	
30	02.06.2017	3004	4	740	5.99	8.85	10.06	13.81		14.59	304	449	510	701	
29	11.07.2017	2300	5	690	4.23	7.90	9.30	10.67	12.11	13.03	224	418	493	565	641
31	03.11.2017	2650	5	770	3.91	6.36	8.51	9.65	11.45	12.72	236	385	515	584	693
32	21.06.2017	3210	5	770	6.60	8.16	9.97	11.79	14.18	15.59	326	403	493	582	700

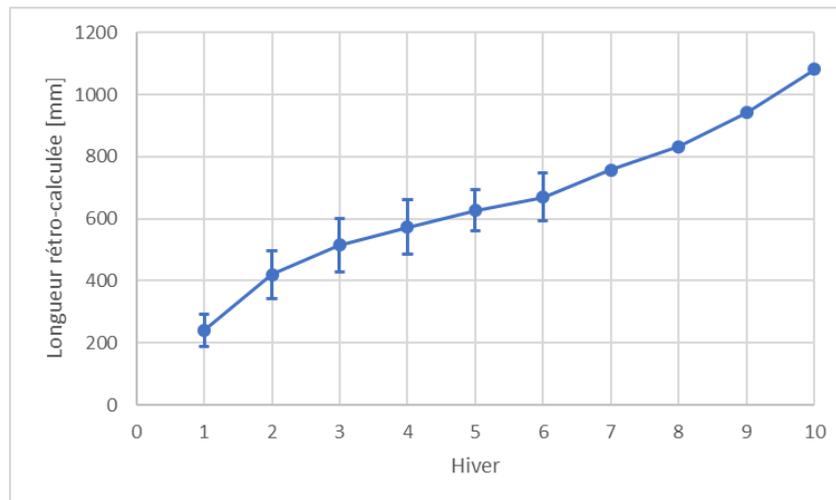




**Figure 15 : Boxplot des longueurs rétro-calculées à la fin de l'hiver 1, 2, etc. pour les captures de 2017 et 2018**

En prenant en compte l'ensemble des brochets, la longueur moyenne pour un individu à la fin de son premier hiver est de  $241 \pm 52$  mm (Figure 16), de  $421 \pm 77$  mm à son deuxième hiver,  $515 \pm 87$  mm lors du troisième,  $573 \pm 88$  mm au quatrième et de  $627 \pm 66$  mm au cinquième hiver.

Ainsi, dans cette étude, un brochet a un taux moyen de croissance d'environ 18 cm entre le premier et le deuxième hiver, de 9 cm l'année suivante, puis de 5 cm.



**Figure 16 : Longueurs rétro-calculées à l'hiver 1, 2, etc. pour les captures de 2017 et 2018**

### 3.4 Nombre d'échantillons par classe d'âge

Pour une estimation robuste et fiable de la détermination d'âge, il serait nécessaire d'obtenir 30 individus par classes d'âge. Sur l'ensemble des captures de 2017 et 2018, 1 individu 1+ a été déterminé, 28 poissons 2+, 20 brochets 3+, 10 individus 4+, 7 poissons plus âgés. Néanmoins, dans un but de compromis entre robustesse des résultats et coûts des analyses, 15 poissons par classe d'âge serait adéquat dans cette étude. Ainsi, si de nouvelles captures devaient avoir lieu, il serait intéressant de cibler plus spécifiquement les classes d'âges 1+ et les poissons plus âgés (4+, 5+ et plus grands) afin d'obtenir une quinzaine de poissons par classes d'âge, ce qui amènerait à des résultats plus fiables.

## 4 Discussion

Quelques autres études ont été menées sur la croissance des brochets dans des lacs en Norvège (Vøllestad et al., 1986 ; Sharma et Borgstrøm, 2007), en Lituanie (Ziliukiene et Ziliukas, 2010), et en Suède (Mbawal, 2016).

Mbawal (2016) a étudié les taux de croissance de brochets âgés entre deux et cinq ans dans quatre lacs de Suède. Il a observé des taux de croissance allant de 4.9cm/an à 8cm/an. Ziliukiene et Ziliukas (2010) ont observé que les brochets capturés dans leur étude avaient une longueur moyenne de 35cm à 2 ans, de 42cm à 3 ans, de 53cm à 4 ans, de 62cm à 5 ans, de 69cm à 6 ans et de 76cm à 7 ans. La taille des individus observés par Sharma et Borgstrøm (2007) varie passablement d'un individu à l'autre. En effet, à l'âge de 2 ans, la longueur des brochets était comprise entre 30 et 44cm, et entre 46 et 58cm pour des individus de 3 ans.

Ces taux de croissance et tailles tirés de la littérature sont donc relativement plus bas que ceux observés dans la présente étude. Néanmoins, ces données proviennent de lacs passablement plus au nord que le lac de Gruyère. Il est donc à attendre que la température de l'eau soit plus froide, et donc ralentisse la croissance des brochets.

## 5 Conclusion et perspectives

D'après cette étude, les individus dépassant la taille minimale de capture (50cm) sont âgés en général d'au moins trois ans. Ainsi, pour que les alevins remis à l'eau en 2017 soient capturables par les pêcheurs, il faudrait attendre l'année 2020, lorsque les poissons seront d'âges 3+.

De plus, afin de rendre les résultats de croissance plus fiables, il serait important d'atteindre un minimum de 15 poissons capturés par classes d'âge. Ceci signifierait donc de se concentrer lors d'une nouvelle campagne de capture sur les poissons d'âge 1+ ainsi que les plus âgés (4 ans et plus).

## 6 Remerciements

Nous tenons à remercier les pêcheurs qui ont capturé les brochets et conditionné les échantillons. La Maison de la Rivière remercie également Clara Moreno et Cécilie Boiron qui ont participé à l'analyse des écailles et des têtes de brochets.

## 7 Bibliographie

- Bagliniere, D. and J.-L. Ombredane. 1990. Les écailles et leurs utilisations en écologie halieutique. *In : Tissus durs et âge individuel des Vertébrés*. Baglinière JL et al., Orstom, Inra:151-192.
- Blackwell, B. G., T. M. Kaufman and T. S. Moos. 2016. An Assessment of Calcified Structures for Estimating Northern Pike Ages. *North American Journal of Fisheries Management* **36**:964–974.
- Eberst, R. 2014. A guide to aging yellow perch and walleye. *Outdoor Edge magazine*.
- Faust, M. D., J. J. Breeggemann, S. Bahr and B. D. S. Graeb. 2013. Precision and Bias of Cleithrum and Sagittal Otoliths Used to Estimate Ages of Northern Pike. *Journal of Fish and Wildlife Management* **4**:332-341.
- Frost, W. E. and C. Kipling. 1959. The determination of the age and growth of pike (*Esox Lucius* L.) from scales and opercular bones. *Journal du Conseil international pour l'exploration de la Mer* **24**:314-341.
- Le Louarn, H. 1992. Comparaison entre les écailles et d'autres structures osseuses pour la détermination de l'âge et de la croissance. *In : Tissus durs et âge individuel des Vertébrés*. Baglinière JL et al., Orstom, Inra:325-334.
- Mbawal, N. 2016. Northern pike *Esox Lucius* growth rates in sub populations of freshwater and sea water origins in the Baltic Sea: Otolith method approach. Master Thesis University of Kalmar, Sweden.
- Oele, D. L., Z. J. Lawson and P. B. McIntyre .2015. Precision and Bias in Aging Northern Pike: Comparisons among Four Calcified Structures. *North American Journal of Fisheries Management* **35**:1177-1184, DOI: 10.1080/02755947.2015.1099579
- Sharma, C. M. and R. Borgstrøm. 2007. Age determination and backcalculation of pike length through use of metapterygoid bone. *Journal of Fish Biology* **70**:1636-1641.
- Vøllestad, L. A. and J. Skurdal. 1986. Habitat use, growth, and feeding of pike (*Esox lucius* L.) in four Norwegian lakes. *Archiv fur Hydrobiologie* **108**:107-117.
- Ziliukiene, V. and V. Ziliukas. 2010. Growth of pike *Esox lucius* L. in Lake Rubikiai (Lithuania). *Journal of Applied Ichthyology* **26**:898-903.

## 8 Annexes

Annexe 1: Matrice taille – âge des brochets de 2017 avec le nombre d'individus par catégories (à gauche) et exprimée en % (à droite)

Classes de taille	0+	1+	2+	3+	4+	5+	Total
380	0	1	0	0	0	0	1
400	0	0	1	1	0	0	2
410	0	0	3	0	0	0	3
430	0	0	1	0	0	0	1
440	0	0	2	0	0	0	2
470	0	0	3	0	0	0	3
540	0	0	1	2	0	0	3
550	0	0	0	1	0	0	1
560	0	0	0	1	0	0	1
570	0	0	0	1	0	0	1
580	0	0	0	1	0	0	1
600	0	0	0	1	1	0	2
610	0	0	0	1	0	0	1
620	0	0	0	2	0	0	2
630	0	0	0	2	0	0	2
640	0	0	0	0	1	0	1
650	0	0	0	0	1	0	1
690	0	0	0	0	0	1	1
740	0	0	0	0	1	0	1
770	0	0	0	0	0	2	2
Total	0	1	11	13	4	3	32

Classes de taille	0+	1+	2+	3+	4+	5+
380	0%	100%	0%	0%	0%	0%
400	0%	0%	50%	50%	0%	0%
410	0%	0%	100%	0%	0%	0%
430	0%	0%	100%	0%	0%	0%
440	0%	0%	100%	0%	0%	0%
470	0%	0%	100%	0%	0%	0%
540	0%	0%	33%	67%	0%	0%
550	0%	0%	0%	100%	0%	0%
560	0%	0%	0%	100%	0%	0%
570	0%	0%	0%	100%	0%	0%
580	0%	0%	0%	100%	0%	0%
600	0%	0%	0%	50%	50%	0%
610	0%	0%	0%	100%	0%	0%
620	0%	0%	0%	100%	0%	0%
630	0%	0%	0%	100%	0%	0%
640	0%	0%	0%	0%	100%	0%
650	0%	0%	0%	0%	100%	0%
690	0%	0%	0%	0%	0%	100%
740	0%	0%	0%	0%	100%	0%
770	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Annexe 2: Matrice taille – âge des brochets de 2018 avec le nombre d'individus par catégories (à gauche) et exprimée en % (à droite)

Classes de taille	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	10+	Total
430	0	0	1	0	0	0	0	0	1
440	0	0	1	0	0	0	0	0	1
450	0	0	0	0	0	0	0	0	0
460	0	0	0	0	0	0	0	0	0
470	0	0	1	1	0	0	0	0	2
480	0	0	0	0	0	0	0	0	0
490	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
510	0	0	1	0	0	0	0	0	1
520	0	0	1	0	0	0	0	0	1
530	0	0	1	0	0	0	0	0	1
540	0	0	0	0	0	0	0	0	0
550	0	0	2	0	1	0	0	0	3
560	0	0	0	0	1	0	0	0	1
570	0	0	2	1	0	0	0	0	3
580	0	0	0	0	0	0	0	0	0
590	0	0	2	0	0	0	0	0	2
600	0	0	1	0	0	0	0	0	1
610	0	0	0	0	0	0	0	0	0
620	0	0	0	0	0	0	0	0	0
630	0	0	0	0	1	1	0	0	2
640	0	0	1	0	0	0	0	0	1
650	0	0	1	0	0	0	1	0	2
660	0	0	0	1	0	0	0	0	1
670	0	0	2	1	0	0	0	0	3
680	0	0	0	2	0	0	0	0	2
690	0	0	0	0	0	0	0	0	0
700	0	0	0	0	1	0	0	0	1
710	0	0	0	0	0	0	0	0	0
720	0	0	0	0	0	0	0	0	0
730	0	0	0	1	2	1	0	0	4
1130	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	0	0	17	7	6	2	1	1	34

Classes de taille	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	10+
430	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
440	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
450	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
460	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
470	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%
480	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
490	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
510	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
520	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
530	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
540	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
550	0%	0%	67%	0%	33%	0%	0%	0%
560	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
570	0%	0%	67%	33%	0%	0%	0%	0%
580	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
590	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
600	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
610	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
620	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
630	0%	0%	0%	0%	50%	50%	0%	0%
640	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
650	0%	0%	50%	0%	0%	0%	50%	0%
660	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
670	0%	0%	67%	33%	0%	0%	0%	0%
680	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
690	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
700	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
710	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
720	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
730	0%	0%	0%	25%	50%	25%	0%	0%
1130	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%