
Travail de fin d'études

Auteur : Hountcheme, Idossou Ayodédji Clovis

Promoteur(s) : Rougeot, Carole

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des ressources aquatiques et aquaculture

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/13161>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



UNIVERSITE DE LIEGE

&

UNIVERSITE DE NAMUR

Master de Spécialisation en Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture

TRAVAIL DE FIN D'ETUDE

Détermination de l'optimum thermique d'élevage (croissance, survie, pathologie) d'hybrides de salmonidés.

Réalisé par :

HOUNTCHEME Idossou Ayodédji Clovis

Promotrice :

Dr ROUGEOT Carole

Encadrant

PRIGNON Christian

Année Académique :

2020-2021

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu les membres du jury qui ont accepté de m'accorder du temps et de l'honneur pour évaluer et juger le manuscrit qui fait l'objet de notre travail de fin d'étude de Master de spécialisation en Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture.

Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes morales ou physiques de près ou loin qui n'ont ménagé aucun effort pour la réalisation de ce travail. Je remercie particulièrement :

L'académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) qui nous a accordé une bourse d'étude de Master de Spécialisation,

Au Dr Carole Rougeot, promotrice de ce travail. Je vous suis reconnaissant pour votre sens d'écoute, votre disponibilité, votre rigueur dans le travail bien fait. Vous n'êtes jamais fatigué de toujours quitter votre bureau au sein du laboratoire pour nous surprendre dans nos travaux respectifs.

Au technicien du Centre de Formation et de Recherche en Aquaculture, Mr Christian PRIGNON pour sa rigueur dans la prise des paramètres physico-chimiques, la réalisation des frottis et le comptage des points blancs.

A tout le personnel technique et encadrant de CEFRA en occurrence : Vincent Gennotte, Renaud Nivelles, Thomas pour leurs conseils et apports scientifiques.

Les enseignants de l'Université de Namur et de Liège impliqués dans cette formation de Master de Spécialisation.

Aux professeurs Simon AHOUANSOU MONTCHO, Hyppolite AGADJIHOUEDE de l'Université Nationale d'Agriculture de Porto-Novo au Bénin pour leur confiance placée en moi en me recommandant ce master de spécialisation qui cadre parfaitement avec mon rôle fermier aquacole ;

Au professeur Ibrahim IMOROU TOKO de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou au Bénin pour ses soutiens et conseils.

Je remercie tous mes camarades promotionnaires et plus particulièrement Maliki, Judes, Serges pour ce moment de partage tant fraternel que scientifique ;

Enfin je remercie ma famille pour son soutien.

Résumé

Dans le cadre de la recherche d'une alternative pour la salmoniculture soumise parfois aux aléas des changements climatiques, la présente étude vise à évaluer l'effet de quatre températures sur la survie et la croissance des hybrides issues d'un croisement entre une femelle de truite fario (*Salmo trutta*) et un mâle de saumon de fontaine (*Salvenilus fontinalis*). Deux séries d'expérimentation sont conduites sur une période de 19 jours (expérience 1) et 35 jours (expérience 2). Ainsi 320 juvéniles de poids moyen de $44,3 \pm 10,7$ g sont répartis dans 8 bacs de volume $0,1\text{m}^3$ et soumis en duplicat à quatre traitements thermiques : T16, T20, T24, T26. La deuxième série d'expérimentation est conduite à la suite de la première dans les mêmes conditions avec les juvéniles de poids moyens $53,5 \pm 15,06$ g. Les poissons sont nourris avec une provende extrudée de marque Coppens 3mm contenant 41,7 % de protéines. En dehors de la température qui a varié d'un traitement à un autre, le taux d'oxygène dissous, de matières azotées (nitrates et nitrites) sont restées dans les normes recommandées pour la survie et la croissance des hybrides de salmonidés. Les taux de survie moyen sont très faibles pour les traitements T24 (26,25%) et T26 (1,25%) au cours de la l'expérience 2. Quant à l'expérience 1, les poissons issus de ces deux traitements n'ont pas survécu au cours de première quinzaine d'élevage. Les meilleurs taux de survie 95% et 100% (expérience 1) et 78,75% et 86,25% (expérience 2) sont obtenus respectivement au cours de traitement T16 et T20. Pour ce qui est des performances de croissance, les faibles taux de croissance spécifiques sont enregistrés d'une manière générale au cours des traitements T24 et T26. Ces taux sont respectivement de $1,5 \pm 0,09$ %/j ; $1,3 \pm 0,02$ %/j pour l'expérience 1 et de $0,4 \pm 0,2$ %/j ; $0,3 \pm 0,04$ %/j au cours de l'expérience 2. Il apparaît alors que les températures 16°C et 20°C favorisent la survie et la croissance des hybrides de salmonidés contrairement aux températures 24°C et 26°C qui restent létales pour les poissons.

Mots clés : Hybrides, *Salmo trutta*, *Salvenilus fontinalis*, changements climatiques

Table des matières

Résumé.....	iii
Liste des tableaux	v
Listes des figures.....	vi
I. Introduction.....	1
1. Contexte de l'étude.....	1
2. La croissance chez les poissons.....	2
3. Facteurs influençant la croissance des poissons en aquaculture.....	3
3.1. Influence de la température sur la croissance chez les poissons.	3
3.2. Autres facteurs influençant la croissance et la survie.....	7
4. Pathologie chez les salmonidés	8
5. Hybridation chez les poissons	10
6. Ecologie et biologie des salmonidés.....	12
6.1. Ecologie et Biologie de la truite fario : <i>Salmo trutta</i>	12
6.2 Ecologie et Biologie du Saumon de fontaine : <i>Salvelinus fontinalis</i>	14
II. Matériel et Méthodes	16
2.1. Matériel	16
2.1.1. Site d'expérimentation.....	16
2.1.2. Matériel de mesure et de contrôle.....	16
2.2. Méthodologie.....	16
2.2.1. Origine des juvéniles	16
2.2.2. Dispositif expérimental	17
2.2.3. Aliment et Nourrissage.....	18
2.2.4. Conditions d'élevage et suivi de la croissance	18
2.2.5. Pathologie.....	19
2.2.6. Détermination de l'optimum thermique d'élevage.....	19
2.2.7 Analyse et traitement des données	20
2.2.7.1. Méthode de calculs : paramètres d'évaluation et de consommation alimentaire	20
2.2.7.2. Traitements statistiques	20
III. Résultats et Discussion.....	21
3.1. Résultats	21
3.1.1 Qualité de l'eau	21
3.1.3 Pathologie : maladie des points blancs	26
3.1.4. Performances de croissance.....	27
IV. Discussion	30
Conclusion.....	33
Références Bibliographiques.....	34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exigence thermique de quelques poissons des rivières d'Europe (d'après Gest'eau, 2007) modifié.....	7
Tableau 2 : Valeurs moyennes, minimum, maximum et coefficient de variation de la température et de l'oxygène au cours de la deuxième phase expérimentale.....	21
Tableau 3 : Valeurs moyennes, minimum, maximum et coefficient de variation de la température et de l'oxygène au cours de la deuxième phase expérimentale.....	24
Tableau 4 : Valeurs moyennes des paramètres de croissance des hybrides de salmonidés au cours de la première expérience.....	27
Tableau 5 : Valeurs moyennes des paramètres de croissance.....	28

Listes des figures

Figure 1 : Effet de la température de l'eau sur les dépenses énergétiques chez différentes espèces en fonction de leur environnement (Brett, 1972, cité par Médale et Guillaume, 1999).	3
Figure 2 : Représentation schématique de l'effet de la température sur la survie et le comportement de stress des poissons (a) Effet de l'acclimatation et (b) Amplitude de gamme de température tolérée par l'organisme (D'après Tissot et Souchon, 2010).	4
Figure 3 : Schéma de l'effet de la température sur le taux d'ingestion, le métabolisme (pertes énergétiques) et les conséquences sur les ressources énergétiques pour la croissance chez les poissons (Rougeot, 2021)	5
Figure 4 : Exemple de l'effet de la température sur le taux spécifique de la croissance d' <i>Oreochromis niloticus</i> de différentes gammes de poids corporels pour les rations alimentaires (Rougeot,2021).	6
Figure 5 : Cycle de vie de <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> d'après Dickerson, 2016.	10
Figure 6 : Manifestation de <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> dans l'eau et sur le poisson d'après Escher, 2011.	10
Figure 7: Variabilité et la fertilité des hybrides interspécifiques de Salmonidés entre les genres <i>Salvelinus</i> , <i>Salmo</i> et <i>Oncorhynchus</i> (Chevassus,1979 in Guillot 2000)	12
Figure 8 : Carte de répartition de <i>Salmo trutta</i> d'après AquaMaps, FishBase.	18
Figure 9 : <i>Salmo trutta</i> , aquaponiefrance.com	14
Figure 10 : Aire de répartition du saumon de fontaine d'après AquaMaps, FishBase.	14
Figure 11 : <i>Salvelinus fontinalis</i> , aquaponiefrance.com	15
Figure 12 : Photo de quelques hybrides de salmonidés (Photo Clovis hountcheme, CEFRA)	17
Figure 13 : Dispositif expérimental des expériences et 2 (Photo Clovis hountcheme, CEFRA)	17
Figure 14 : Schéma du dispositif expérimental	18
Figure 15 : Points blancs observés sur les juvéniles d'hybrides de salmonidés (Photo Clovis hountcheme, CEFRA)	19
Figure 16 : Evolution journalière des températures moyennes pour chaque de l'eau en fonction des traitements au cours de l'expérience 1	22
Figure 17 : Evolution journalière du taux de survie en fonction des traitements thermiques au cours de l'expérience 1	23
Figure 18 : Taux moyens de survie finale en fonction des traitements au cours de l'expérience 1	23
Figure 19 : Variation journalière des températures moyennes de l'eau en fonction des traitements thermiques appliqués.	25
Figure 20 : Evolution journalière des températures moyennes pour chaque traitement au cours de l'expérience 2	25
Figure 21 : Taux moyens de survie finale par traitement thermique au cours de l'expérience 2	26
Figure 22 : Evolution du nombre de points blancs au cours de l'expérience 2.	27
Figure 23 : Evolution du poids corporel moyen individuel (g) des hybrides de salmonidés en fonction de la température au cours de la deuxième expérience.	29

I. Introduction

1. Contexte de l'étude

Le poisson reste et demeure le seul aliment à associer protéines de grande qualité et nutriments essentiels pour l'homme. Ainsi, à cause de l'accroissement de la population humaine sur la planète (9 milliards vers 2025), les contraintes alimentaires demeurent perceptibles, ce qui conduit à explorer de nouvelles voies pour renforcer la productivité et réduire les gaspillages (Foresight, 2011). Ainsi, l'aquaculture apparaît alors comme une meilleure alternative pour satisfaire les besoins de l'homme en protéine animale de qualité. Sa pratique devient une contrainte en Wallonie surtout que la consommation de poissons serait treize fois plus élevée que la production nationale qui représente 7,6% de la consommation avec une nette dépendance du marché international pour les 92,4% restants (Fetie, 2016). Dans cette pratique aquacole, les principales espèces au niveau de l'UE-25 sont la moule bleue (*Mytilus edulis*) et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) qui représente 52% de la production totale européenne (Cross, 2006). Selon Belpaire et Gérard (1993), en région wallonne, l'aquaculture est essentiellement basée sur des espèces d'eaux froides en l'occurrence sur la truite arc-en-ciel, accessoirement sur la truite fario (*Salmo trutta*) et le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). L'élevage de la truite passe par une bonne maîtrise du cycle de la reproduction, une conduite de l'élevage larvaire avec des règles de prophylaxie, la maîtrise des paramètres physico-chimiques dont la température et l'oxygène. En effet, en écologie, ainsi que dans tout système d'élevage, la température apparaît comme une variable importante, très délicate à interpréter dans la mesure où il faut prendre en considération non seulement des valeurs instantanées, mais aussi sa variation journalière, saisonnière et annuelle (Tissot et Souchon, 2011). Dans ce contexte, il pourrait apparaître des périodes critiques pour les organismes aquatiques comme le cas de la simultanéité entre un stress hydrique de type étiage bas, associé à une température élevée et une baisse de l'oxygène dans les écosystèmes aquatiques (Miller et al., 2007 ; Tissot et Souchon, 2011). Cependant les changements climatiques que traversent actuellement la planète sont entre autres d'indices qui perturbent l'élevage des truites en Belgique notamment *Oncorhynchus mykiss* et *Salmo trutta* qui sont des espèces d'eaux froides dont la survie et la croissance sont limitées à haute températures (maximum 22°C). En effet, l'examen des séries des températures saisonnières indique des tendances assez similaires à celles de la température moyenne annuelle où les réchauffements saisonniers sont significatifs et présentent des tendances moyennes par décennie de +0,45°C, +0,39°C, +0,40°C et +0,31°C respectivement pour l'hiver, le printemps,

l'été et l'automne (Rapport climatique, 2020). C'est ainsi certain que pendant l'été, les températures de l'eau des rivières alimentant les piscicultures de truites dépassent les 22-24°C. Cet état de chose peut provoquer la mort de tout le cheptel d'élevage. Les producteurs sont donc à la recherche de solutions leur permettant d'élever des espèces plus résistantes aux hautes températures. Parmi ces solutions, il existe la sélection de lignées moins thermosensibles (Guillot, 2000), la diversification des espèces à élever, ou encore l'hybridation en différentes espèces qui permettrait d'augmenter la résistance aux hautes températures.

Dans le cadre de cette étude, nous avons testé la résistance des hybrides de salmonidés (mâles de saumon de fontaine et les femelles de la truite fario) afin de déterminer leur optimum et leur résistance thermique d'élevage.

L'objectif général de cette étude est de déterminer l'optimum thermique d'élevage des hybrides de truites face au changements climatique.

De manière spécifique, il s'agit de :

- Déterminer l'optimum thermique de croissance et de survie des hybrides de salmonidés ;
- Evaluer les performances de croissance de ces poissons ;
- Evaluer les pathologies induites par des variations thermiques chez les hybrides de salmonidés.

2. La croissance chez les poissons

La croissance est définie sur le plan métabolique comme étant la part d'énergie utilisée par un sujet pour accroître la masse pondérale et la longueur corporelle (Lévêque et Paugy, 2006). Chez les poissons, il existe plusieurs critères permettant de caractériser la croissance : le poids corporel, la longueur, le facteur de condition ($K_{\pm}=P/L^3$) ou encore les stries otolithiques. En production aquacole, le poids reste le facteur le plus important et le plus utilisé. Pour mesurer la croissance qui est une des premières caractéristiques à avoir suscité l'intérêt des généticiens, pour sélectionner les souches les plus performantes sur ce caractère.

La croissance reste étroitement corrélée aux quantités d'aliment ingérées (Grima, 2007). C'est ainsi que chez une carpe d'un poids corporel de 80g, les besoins énergétiques d'entretien peuvent passer de 28 à 67 KJ par kg et par jour lorsque les températures varient de 10°C à 20°C (Médale and Guillaume, 1999). Selon les mêmes auteurs, chez *Oncorhynchus mykiss* par

exemple, la quantité d'énergie requise pour produire un kilogramme de poids corporel est comprise entre 15 et 16 KJ à 8°C et entre 17 à 19 KJ entre 15 et 18°C.

L'énergie alimentaire est alors subdivisée en énergie digestible, en énergie métabolisable (métabolisme de base) et en énergie nette qui sert à l'activité de croissance, à la reproduction....

3. Facteurs influençant la croissance des poissons en aquaculture

3.1. Influence de la température sur la croissance chez les poissons.

En aquaculture, la température est un facteur qui joue un rôle important dans les performances de croissance. Il doit être particulièrement pris en compte pour optimiser la production. Lorsqu'elle est élevée par exemple, elle accélère la digestion et le métabolisme qui à leur tour augmentent la vitesse du processus anabolique avec une croissance rapide (Shin et Rochet, 1998 *in* Barrios, 2017). En raison de la fluctuation de leur température corporelle, les besoins d'entretien en énergie des poissons (ectothermes) sont très inférieurs à ceux des vertébrés terrestres : par exemple les besoins énergétiques de la truite arc-en-ciel sont proches de 40 KJ/kg/jour, tandis que chez les animaux à sang « chaud » (homéothermes) les besoins énergétiques d'entretien avoisinent 300 KJ/kg/jour (Cho et Bureau, 1998). Les besoins énergétiques des espèces sont tributaires non seulement de la température mais aussi des origines écosystémiques des espèces (**Figure 1**).

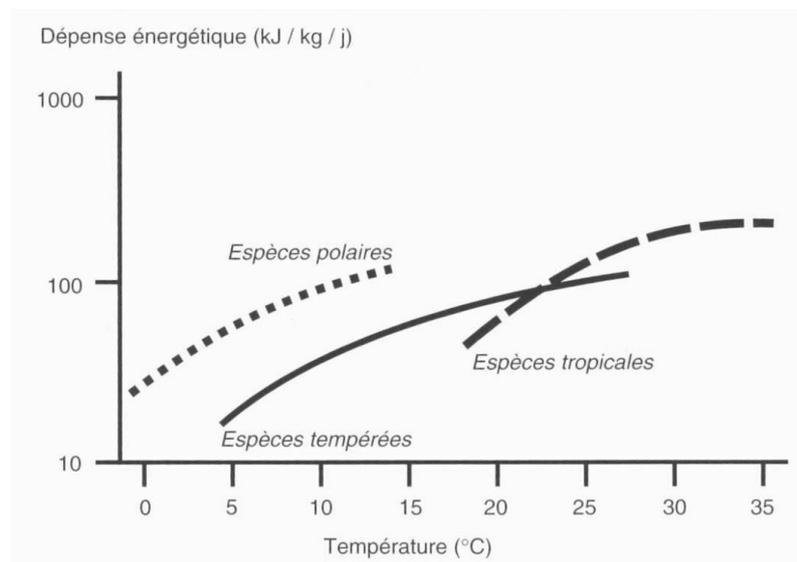


Figure 1 : Effet de la température de l'eau sur les dépenses énergétiques chez différentes espèces en fonction de leur environnement (Brett, 1972, cité par Médale et Guillaume, 1999).

La température apparaît aussi comme le déterminant principal dans la maturation sexuelle et la reproduction chez les Salmonidés (truites et saumons), les Esocidés (brochet), les Serranidés

(bars), les Sparidés (daurades), les Mugilidés (mulets) et les Scianidés, les Scophthalmidés (turbot) qui sont des espèces aquacoles par excellence (Bromage *et al.*, 2001).

Pour une croissance normale voire optimale, le poisson doit pouvoir se retrouver dans son optimum thermique. Pour une espèce donnée, il est défini une zone thermique possédant un optimum vital et des limites en dehors desquelles la température est néfaste et peut conduire non seulement à un point de non-retour, mais aussi et surtout à la mort du poisson. De ce fait, d'après Tissot et Souchon (2010), les espèces piscicoles répondent de trois façons différentes face à la température du milieu qui les entoure : la tolérance, la résistance et la préférence permettant tous de définir trois zones dans ce que l'on appelle un « polygone thermique de tolérance » qui sont : la zone de tolérance, la zone de résistance et la zone de mort instantanée. Ce polygone est réalisé en fonction de la température létale et de celle d'acclimatation et permet de mettre en évidence la zone de tolérance thermique, c'est-à-dire la surface comprise dans le polygone, dans laquelle l'espèce peut survivre et trouver son optimum thermique (**Figure 2**). En dehors de ce polygone thermique, ce sont les températures létales maximales et minimales pour l'espèce. Une acclimatation à basse ou haute température d'une espèce provoque une diminution ou une augmentation de sa limite létale. Au sein de l'enveloppe de tolérance thermique, il existe l'optimum thermique de croissance, de reproduction et du préférendum thermique.

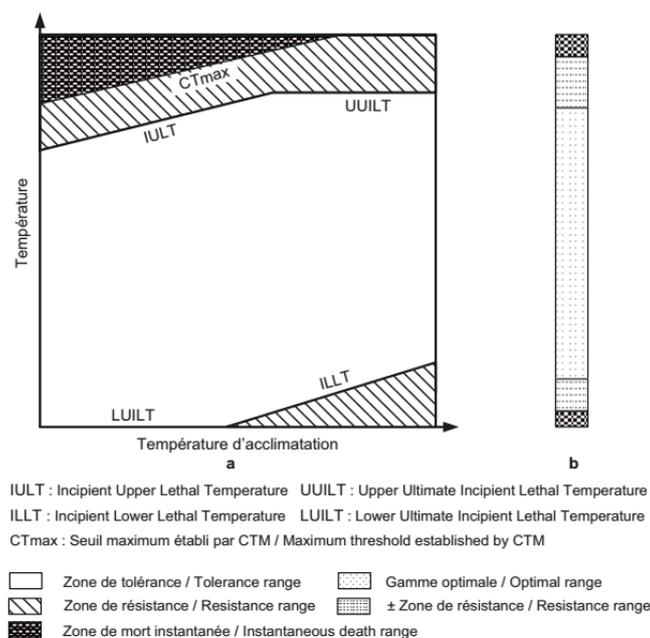


Figure 2 : Représentation schématique de l'effet de la température sur la survie et le comportement de stress des poissons (a) Effet de l'acclimatation et (b) Amplitude de gamme de température tolérée par l'organisme (D'après Tissot et Souchon, 2010).

Généralement, la température optimale de croissance se situe quelques degrés plus bas que la température pour laquelle l'ingestion est maximale (**Figure 3**). En effet lors de l'alimentation des poissons, une augmentation de la température induit une augmentation du taux d'ingestion, de la croissance ainsi le métabolisme qui au-delà d'un certain seuil (optimum thermique) diminue. A ce moment précis, la croissance maximale est atteinte à une température inférieure à celle de l'ingestion maximale.

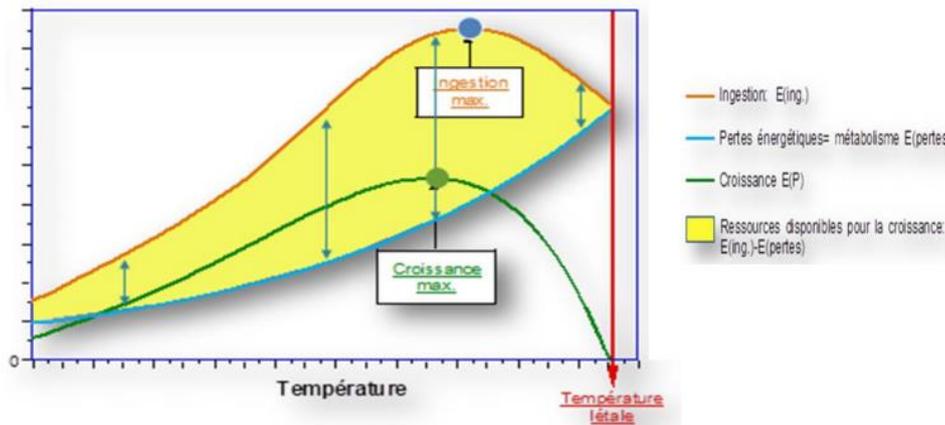


Figure 3 : Schéma de l'effet de la température sur le taux d'ingestion, le métabolisme (pertes énergétiques) et les conséquences sur les ressources énergétiques pour la croissance chez les poissons (Rougeot, 2021)

La température influence le taux de croissance spécifique des poissons et par ricochet la croissance pondérale (Figure 4). Cependant, la température optimale de croissance est aussi fonction du poids corporel initial des individus. C'est ainsi que chez *Oreochromis niloticus*, les poissons de poids corporel 100g et 280g ont une température optimale de croissance de 30°C avec de faibles taux de croissance tandis que les individus de poids corporel 4g présentent des taux de croissance spécifique un peu plus élevés avec un optimum thermique de croissance de 32°C

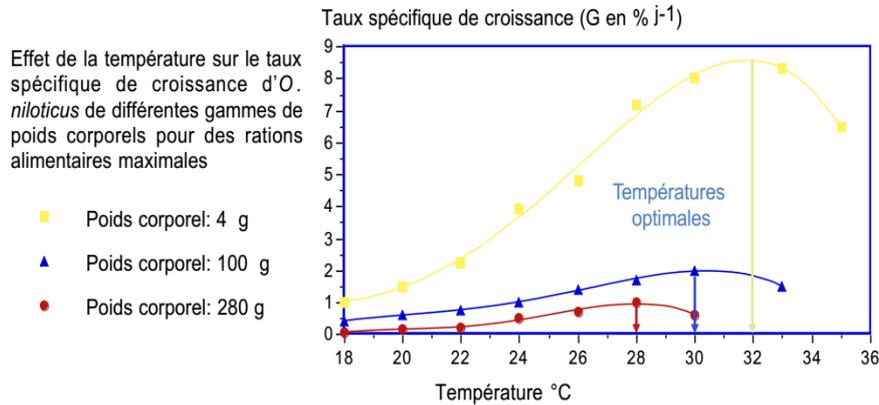


Figure 4 : Exemple de l'effet de la température sur le taux spécifique de la croissance d'*Oreochromis niloticus* de différentes gammes de poids corporels pour les rations alimentaires maximales (Rougeot, 2021)

Le développement embryonnaire, larvaire et la croissance des poissons sont conditionnés par la température du milieu d'élevage. Ainsi, les exigences thermiques des tous premiers stades de développement sont plus stricts que pour les adultes (Tableau 1). Ainsi, les températures supérieures à 14°C ne favorisent pas le développement des œufs de salmonidés. De plus le taux d'éclosion des œufs diminue lorsqu'on assiste à une augmentation de la température au-delà de celle optimale. Chez la truite commune le taux de survie des larves de *Salmo trutta* diminue de 80% à 7°C 0 21% à 13°C (Lahnsteiner, 2012). Quant aux adultes, la température 22,5°C reste une température maximale létale.

Tableau 1 : Exigence thermique de quelques poissons des rivières d'Europe (d'après Gest'eau, 2007) modifié.

Espèces	Température préférées				Température létale pour les œufs	Températures létales maximales (DL50) pour des poissons adultes acclimatés à				
	Développement					5°C	15°C	20°C	25°C	30°C
	Œufs	Alevins	Adultes	Pontes						
Anguille			8-26					30	37	
Carpe	12,5-30	17 - 32	10-30	17-18	32,5	29	35		35,8	40,6
Brème		8 -23	8-28	8-23			31		35	
Chevaine			8-25			27	29,8		33	37
Carassin			27			24			37,6	
Goujon							27,2	28,6	30,8	
Tanche			20-26	19-25			30,2	32	33	27
Gardon		5 - 20	8-25	5-10			28,5	31	34,5	35,5
Rotengle				18-24				34	36,4	37
Bouvière			16-21						35,5	37
Brochet	7-16	8 - 23	9-25	11-15	22				32,2	33,7
Perche			8-25	12-18	24	24	28	29,7	31,4	
Sandre	12-18	12 -18	12-26	12-18					30	
Truite fario	4-6	12,4	10-17,6	0,5-9	12 ,5		26		28,3	
Truite arc-en-ciel	6 - 14,4	8 - 14	10-18	6-10	20-25	25,5	28,6		29,5	
Ombre	8-10		12-18			22,5				
Poisson-chat								33,1		35
Lotte	0,5-1			21						

3.2. Autres facteurs influençant la croissance et la survie

Il existe en dehors de la température, d'autres facteurs biotiques (le sexe, les facteurs sociaux, la taille-poids, les facteurs hormonaux) et environnementaux (le pH, la photopériode, le confinement, la température, le taux d'oxygène dissout, la salinité) qui influent sur la croissance (Delfosse, 2017). Chez les salmonidés, espèces d'eau froide, la consommation d'oxygène varie en fonction du stade de développement, du poids corporel, de la température, de la disponibilité en oxygène et en nourriture. Une augmentation de la température du milieu d'élevage induit une diminution de l'oxygène dissout disponible. L'oxygène apparaît alors comme étant un des paramètres physico-chimiques déterminant et limitant dans la croissance des poissons. Ce dernier doit être contrôlé à chaque instant du processus d'élevage. (Cheung *et al.*, 2012).

Chez ces salmonidés, de fortes interactions sociales surgissent lorsque les densités d'élevages sont faibles tout ceci permet aux individus dominants d'impacter négativement le reste de la cohorte en termes de prise de nourriture donc d'efficacité alimentaire amenant les individus à augmenter leur activité de même que leur dépense énergétique pour se nourrir (Alanara and Brannas, 1996 ; Kestemont and Baras, 2001).

4. Pathologie chez les salmonidés

La pathologie est la branche de la médecine qui traite les causes ainsi que les symptômes des maladies. On doit donc appeler maladie chez les poissons, des troubles ayant à leur origine l'action nocive de parasites, de bactéries, de virus et parfois en pisciculture de la nutrition, lesquels se manifestent par des anomalies du comportement et (ou) de l'intégrité corporelle, qui se répètent dans des populations et aboutissent généralement à une mortalité plus ou moins rapide, en l'absence de toute pollution ayant un effet toxique direct sur l'animal (De Kinkleli et Gerard, 1972).

Le Centre National pour l'Exploitation des Océans en élaborant les fiches Biotechniques d'aquaculture des salmonidés en 1983 estime qu'on pourrait classer les maladies des salmonidés (Saumon de fontaine, la truite arc-en-ciel et la truite commune) suivant leur morphologie et physiologie. Ainsi donc chez les larves, nous retrouvons la saprolégniose (mousse ou fungus) qui se manifeste par le développement, sur les œufs et les poissons blessés d'un champignon du genre *Saprolegnia*. La costiasse fréquemment constaté chez les alevins après résorption de la vésicule où le parasite se fixe sur les branchies et la surface du corps. On retrouve également la maladie de la tache blanche causée par une carence en calcium et qui apparaît sur la vésicule des alevins près du cœur, ce qui rend immobile ces derniers sur le fond entraînant la mort. Chez les juvéniles, on recense les maladies bactériennes telle que la vibriose due à un vibron et qui apparaît avec les premières chaleurs avec une incidence qui croît avec la température. C'est une maladie qui se manifeste par une diminution de l'appétit du poisson, l'apparition d'hémorragies à la base des nageoires pectorales et ventrales. La furunculose est aussi une maladie bactérienne d'eau douce que l'on retrouve chez tous les salmonidés avec des lésions et symptômes comparables à ceux de la vibriose mais seule la reconnaissance du germe rend possible le diagnostic. Quant aux maladies virales, elles restent essentiellement basées sur la Septicémie hémorragique virale (SHV) qui développe si la température de l'eau d'élevage reste comprise entre 8 et 10°C avec des mortalités pouvant atteindre 80% du cheptel. Les maladies parasitaires quant à elles sont généralement causées par le pou de mer (copépode) qui entraîne des lésions externes de même que des mortalités.

A l'âge adulte ou à la taille de maturité sexuelle, on retrouve les maladies bactériennes dont la mycobactériose causée par une bactérie du genre *Mycobacterium*, la furunculose causée par *Aeromonas Salmonicida*, la vibriose qui se développe si la température est supérieure à 10°C. Les maladies virales restent baser essentiellement sur la Septicémie hémorragique virale (SHV), la nécrose pancréatique infectieuse désorganisant le tissu pancréatique ; la nécrose infectieuse

des tissus hématopoïétique. La saprolégniose reste aussi une maladie parasitaire qu'on retrouve chez les poissons adultes. Selon Baldwin *et al.* (2000), *Myxobolus cerebralis* (parasite) entraîne des lésions sévères chez des juvéniles de la truite fario tandis que la Nécrose Pancréatique Infectueuse NPI est causée par un Birnavirus chez le saumon ainsi que chez la truite (FAO 2016b et FAO 2016c). *Flavobacterium columnare* est une bactérie à Gram négatif responsable d'énormes pertes économiques en aquaculture chez les truites (Evenhuis *et al.*, 2016) tandis que le pou marin causé par *Lepeophtheirus salmonis* et *Caligus sp* des ectoparasites est présent bien chez le saumon que chez la truite (FAO 2016b et FAO 2016c).

Chez les espèces d'eau froide en général et chez les salmonidés en particulier, de fortes températures favorise l'apparition des parasites dont *Ichthyophthirius multifiliis*, En effet, *Ichthyophthirius multifiliis* est un protozoaire, ectoparasite commun des poissons d'eau douce d'élevage (Buchmann *et al.*, 2001). Il est l'agent responsable des points blancs ou ichtyophthiriose chez les poissons d'élevage (Jorgensen, 2017). D'après Escher (2011), ce parasite vit dans la peau du poisson, s'enkyste et se divise après 20 heures environ, des milliers de nouveaux parasites qui peuvent infester à nouveau les poissons sont formés et lors de l'infestation d'un poisson, le parasite se fixe en profondeur dans la peau et devient inaccessible pour le traitement (Figure 6).

D'après Buchmann *et al.*, (2001), le cycle de vie du parasite est divisé en trois étapes distinctes : le trophont qui réside et s'alimente à l'intérieur de l'épiderme de l'hôte où il peut acquérir un diamètre allant jusqu'à 1 mm. Le trophont mature s'échappe le plus souvent de l'épiderme vers les eaux douce environnantes où certains parasites s'installent et se développent en tomons enkystés. A ce stade, de nombreuses cellules filles, les tomites se forment avec un nombre allant de 50 à quelques milliers. Devenues theronts avec une longueur variante entre 20 et 60 μm , ils s'échappent du kyste et deviennent prêt à infecter le poisson. Cependant, selon Wagner (1960), ces différentes étapes du cycle de vie sont extrêmement variables en fonction de la température. C'est ainsi par exemple que la libération des fronts d'un trophont est de 9 jours à 5°C tandis que ce temps est réduit à 18h à 25°C.

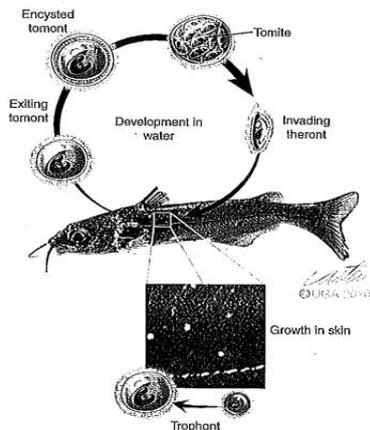


Figure 5 : Cycle de vie de *Ichthyophthirius multifiliis* d'après Dickerson, 2016.

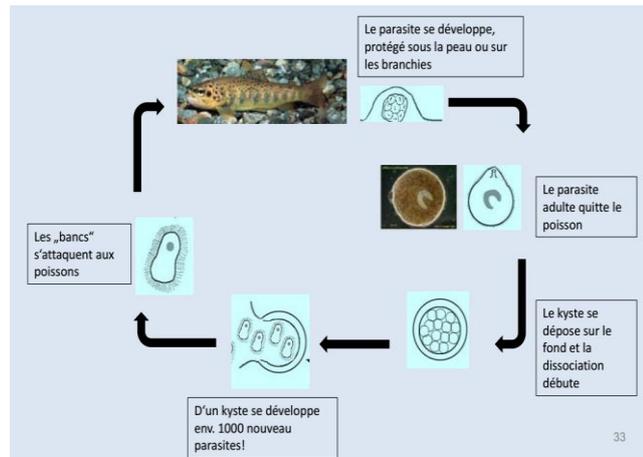


Figure 6 : Manifestation de *Ichthyophthirius multifiliis* dans l'eau et sur le poisson d'après Escher, 2011.

5. Hybridation chez les poissons

L'hybridation est un processus de croisement par lequel des individus sont produits en croisant deux reproducteurs de souches ou d'espèces différentes. Ainsi selon Largadière (2007), il existe deux types à savoir : l'hybridation intraspécifique (croisement de deux individus de la même espèce, mais de souche ou population différente) et l'hybridation interspécifique (croisement de deux individus de 2 espèces ou sous-espèces). De nos jours, on enregistre plus d'hybridation du côté des espèces de poissons comparativement aux autres groupes de vertébrés et tout ceci en raison de la fécondation externe, la faiblesse des mécanismes de comportements d'isolement, l'abondance inégale des deux espèces parentales et la compétition pour les sites frais réduits (Scribner et al., 2001). Eu égard à tout ceci, Largadière (2007) émet des inquiétudes du point de vue de la conservation en ce qui concerne la perte de la diversité génétique non seulement à l'inter mais aussi et surtout au niveau intraspécifique. En effet, selon lui l'hybridation intraspécifique pourrait homogénéiser les caractéristiques uniques des populations géographiquement distinctes et des espèces naissantes ce qui peut réduire à la longue la spéciation allopatrique ainsi que la diversité des espèces futures. Or d'après Berrebi (1997), les conséquences génétiques ont la particularité de n'apparaître que lorsqu'il y aura croisement entre taxon autochtone et taxon introduit et ces croisements n'auront d'impact génétique à long terme sur une population naturelle que s'ils induisent un effet héréditaire. C'est ainsi qu'une

hybridation dont les descendants sont stériles n'aura pas de conséquences génétiques plus tard bien, bien qu'il faille se méfier d'un diagnostic trop rapide de stérilité basé sur l'analyse morphologique de peu d'individus par exemple. Les américains se sont livrés ces dernières années à des essais de croisement entre les diverses espèces de salmonidés notamment, Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), Saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), Cristivomer namaycush (*Salvelinus namaycush*), la Truite commune (*Salmo trutta*). C'est ainsi, par exemple l'hybridation entre *Salvelinus namaycush* et *Salvelinus fontinalis* donne un pourcentage d'alevins à l'éclosion de 28% tandis que l'hybridation entre la *Salmo trutta* et *Salvelinus fontinalis* donne 5% comme pourcentage d'alevins à l'éclosion (Buss et Wright, 1956). Pour (Chevassus, 1979 in Guillot, 2000), l'hybridation entre *Salmo trutta* et *Salvelinus fontinalis* donne quelques survivants bien qu'une amélioration du taux de survie soit possible plus tard.

Cependant, en dehors du taux de survie, l'hybridation entre *Cyprinus carpio* avec *Labeo rohita* donne des hybrides stériles qui présentent de bonnes performances de croissance (Khan *et al.*, 1990). En effet, la stérilité permet de retarder la maturité sexuelle ou de l'inhiber complètement en améliorant les paramètres de croissances et la qualité organoleptique du poisson. L'hybridation présente aussi d'autres avantages en aquaculture. Elle permet par exemple de créer des individus capables de vivre et de se reproduire en eau salée. D'après Baroiller (1997), la F1 issue d'un croisement entre *Oreochromis niloticus* et *Sarotherodon melanotheron* présente des performances intermédiaires et résistante à l'eau salée. De même, plusieurs croisements avec le saumon du Pacifique (*Oncorhynchus* spp) ont permis d'obtenir des individus adaptés au milieu marin (Bartley, *et al.*, 1997). La création d'hybrides pourrait être aussi dans le but d'obtenir des individus résistants aux variations de températures mais aussi aux maladies. C'est ainsi qu'une hybridation entre l'hybride issu d'un croisement entre *O. niloticus* x *O. aureus* reste résistant aux faibles températures que *O. aureus* (wohlfarth,1994). Les poissons issus d'un croisement entre une femelle de *Oncorhynchus mykiss* et un mâle de *O. kisutch* résistent à la septicémie hémorragique virale (Guillot, 2000).

La figure 4 ci-dessous montre la variabilité et la fertilité des hybrides interspécifiques de Salmonidés entre les genres *Salvelinus*, *Salmo* et *Oncorhynchus*.

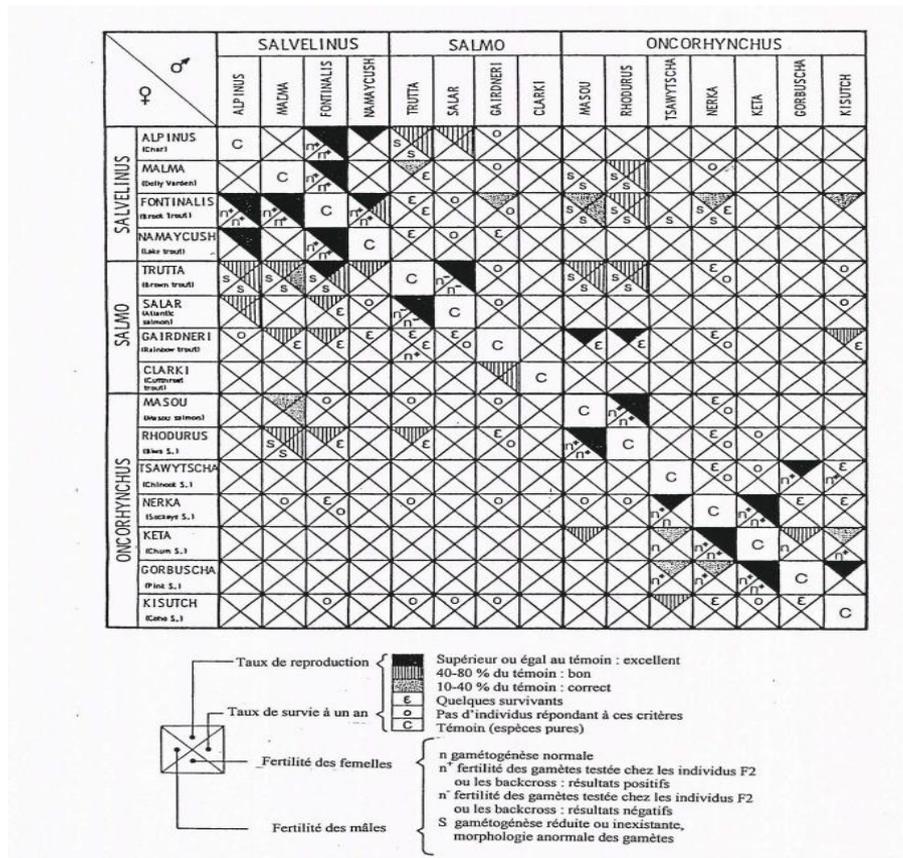


Figure 7 : Variabilité et la fertilité des hybrides interspécifiques de Salmonidés entre les genres *Salvelinus*, *Salmo* et *Oncorhynchus* (Chevassus,1979 in Guillot 2000)

6. Ecologie et biologie des salmonidés

6.1. Ecologie et Biologie de la truite fario : *Salmo trutta*

La truite commune, *Salmo trutta* est une espèce de poisson bien connue en Europe. C'est une espèce présente de l'Islande à l'Oural et jusqu'au bassin méditerranéen au sud.

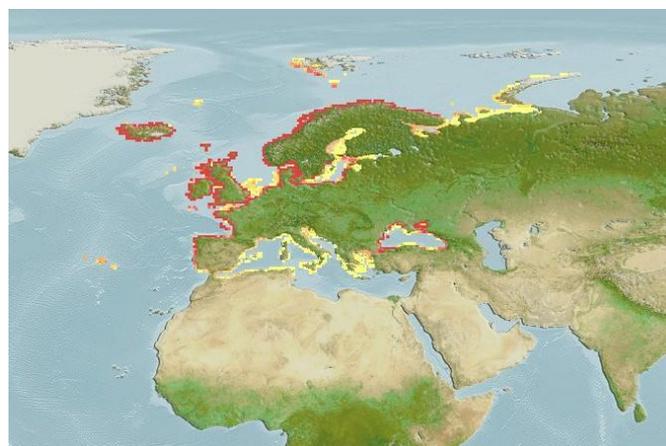


Figure 8 : Carte de répartition de *Salmo trutta* d'après AquaMaps, FishBase

Dans la région Est, la distribution naturelle du poisson s'étend de l'Anatolie (Turquie) jusqu'aux sources de l'Amu-Darya et le Nord de l'Iran (Ovidio, 1992). Son dos est de couleur brune aux reflets dorés ou argentés, ses flancs blanc-jaunâtre, et tachetés de points sombres et rouges à liséré clair. Elle peut changer de couleur en fonction du milieu dans lequel elle vit : c'est le mimétisme. La truite fario vit dans des eaux fraîches de 0 à 20°C avec une température létale de 22°C et un milieu riche en oxygène dissout de supérieur à 6 mg/L (Baglinière *et al.*, 2001). Elle reste essentiellement carnivore avec une source d'aliment faite de d'invertébrés benthiques. Le poisson possède soit un cycle sédentaire en trouvant tout ce qu'il a besoin pour sa reproduction et sa croissance dans les rivières ou elle reste migrante de la mer vers la rivière pour sa croissance et sa reproduction (Ovidio, 1992). D'après Elliot (1994), la truite commune entre en période de frai de novembre à février dans des cours d'eau froide oxygénée, faits de substrat graveleux. Chez le poisson, l'une des parades sexuelles chez la femelle est le battement répété de la nageoire caudale au-dessus du substrat en creusant dans la gravière puis en attirant plusieurs mâles mûres capables de se battre afin d'avoir accès à cette femelle (Frost et Brown, 1967). D'après (Elliot, 1994 in Ovidio 1999) au cours de leur vie, les poissons mûres se reproduisent en moyenne deux à trois fois avant de mourir. Un frai peut contenir plusieurs poches d'œufs séparés chacune par des amas de graviers. Les œufs féconds se développent progressivement et restent protégés par des graviers qui les recouvrent avec une phase d'incubation assez longue d'environ 410j. (Ovidio, 1999). A l'éclosion, la taille des alevins varie entre 15 et 25 mm et les juvéniles effectuent des déplacements plus ou moins importants vers l'aval du cours d'eau dans les zones adaptées à leur taille et à leurs besoins.

En aquaculture de la truite fario, l'obtention des juvéniles se fait à travers une reproduction dite artificielle. En effet, les géniteurs mûres (1500 à 4000 œufs par kilogramme de poids corporel) sont sélectionnés à l'avance. Les œufs obtenus par pression de l'abdomen de la femelle sont immédiatement recouverts par la laitance du mâle. Le tout est alors mélangé avec précaution puis versé dans un récipient contenant de l'eau ordinaire. Une nouvelle agitation des œufs intervient à nouveau suivie d'un repos de 20 à 30 minutes ; l'excès de laitance est éliminé par lavages successifs des œufs. Ces derniers, débarrassés des impuretés, sont rangés en une seule couche sur les claies. Ils mesurent 4 et 6mm. Le temps s'écoulant entre la fécondation et l'éclosion dure en moyenne entre 31 et 35 jours avec des alevins mesurant 12 à 16 mm.



Figure 9 : *Salmo trutta*, aquaponiefrance.com

6.2 Ecologie et Biologie du Saumon de fontaine : *Salvelinus fontinalis*

Le Saumon de fontaine est une espèce de poisson de la famille, des Salmonidés appartenant à la sous-famille des Salmoninae (Scott and Crossman, 1973). L'espèce est originaire des ruisseaux montagneux du versant Est de l'Amérique du Nord. C'est également une espèce combattive ayant une chaire de qualité, ce qui fait d'elle l'une des espèces les plus recherchées pour la pêche sportive.



Figure 10 : Aire de répartition du saumon de fontaine d'après AquaMaps, *FishBase*

Le poisson possède une coloration caractéristique : un dos brun verdâtre vermiculé de vert pâle, des flancs gris verdâtre ponctués de jaune-vert et de points rouges cerclés de bleu vif, ventre rosé (Spillmann, 1961). Le Saumon de fontaine vivant dans des eaux froides (18 à 20°C, présente une croissance très rapide lorsqu'il est introduit en eau vierge avec une robe colorée très appréciée des pêcheurs et consommateurs (Cuinat, 1971). Selon le même auteur, la femelle pond généralement et ceci de manière précoce à l'âge de 2 ans tout au moins en raison des surexploitations. L'espèce peut bien se reproduire dans certains lacs ou étangs sans truites et peu pêchés avec ainsi donc des acclimations réussies permettant donc aux poissons de se reproduire dans ces plans d'eaux (Vivier, 1955).

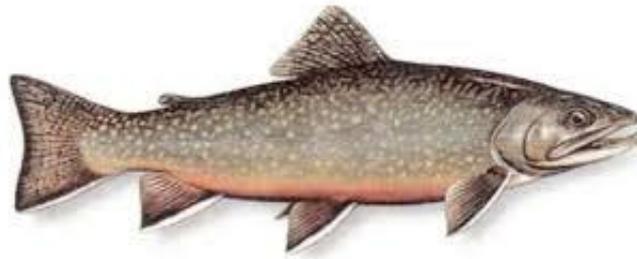


Figure 11 : *Salvelinus fontinalis*, aquaponiefrance.com

En aquaculture, la reproduction artificielle se déroule avec des adultes sexuellement matures, et qui présentent un certain nombre de critères. Pour les femelles par exemple, les caractères morphologiques caractéristiques d'une maturation sexuelle comme ventre ballonné, papille rougeâtre et dilatée. C'est ainsi que les œufs et la laitance sont extraits des géniteurs en massant et pressant l'abdomen des nageoires pectorales vers les nageoires pelviennes : c'est la lacération. Cependant, il peut arriver que la femelle soit sacrifiée afin de lui récupérer directement les œufs après laparotomie abdominale. La fécondation s'effectue en bassine par simple mélange des œufs et la laitance. Pour des mesures de sécurité, un traitement préalable à l'eau peut être effectué afin de permettre aux œufs de grossir et durcir, facilitant la fécondation. Les œufs fécondés sont par la suite étalés sur des claies. Les œufs oeillés ou embryons n'apparaîtront que 250^oj après la fécondation.

II. Matériel et Méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Site d'expérimentation

La présente étude s'est déroulée au Centre de Formation et de Recherche en Aquaculture (CEFRA) de l'Université de Liège à Tihange,

2.1.2. Matériel de mesure et de contrôle

Le matériel utilisé au cours de cette expérimentation est constitué de :

- Un multimètre de marque WTW Oxi 323 ayant permis de prendre l'oxygène dissous (Photo A) ainsi que les différentes températures de chaque bac d'expérimentation ;
- Une balance électronique de précision 0,5g et de marque *KERN* pour la pesée des poissons d'expérimentation et pour nos différentes pêches de contrôle ;
- Une balance électronique de précision 0,01g de marque *KERN* pour la pesée journalière des rations à servir aux poissons ;
- Un smartphone de marque SAMSUNG modèle Galaxy A12 résolution 16 MEGAPIXELS pour la prise de photos ;
- Un microscope électronique pour des frottis : observation points blancs ;
- Un spectrophotomètre portable de marque *HACH DR/2010* pour le dosage de l'ammonium et des nitrites ;
- L'aliment extrudé de marque 'Coppens 'pour l'alimentation des poissons.

2.2. Méthodologie

2.2.1. Origine des juvéniles

Les juvéniles de poids corporel moyen de $44,3 \pm 10,7$ g (1^{ère} expérience) et de $53,5 \pm 15,06$ g (2^{ème} expérience) utilisés au cours de la présente étude proviennent de la pisciculture du Chabotais alimentée en eau par un petit affluent de la Semois. Les juvéniles (hybrides) sont obtenus dès suite d'un croisement entre une femelle truite fario (*Salmo trutta*) et un mâle de saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). Ils ont été transférés au CEFRA le 11 mai 2021 et acclimatés dans un bac de volume 1,6 m³ à une densité de 20kg/m³ alimenté en eau de puits à une température de 15°C.



Figure 12 : Photo de quelques hybrides de salmonidés (Photo *Clovis hountcheme*, CEFRA)

2.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était constitué de 8 bacs de capacité 100L dans lesquels les juvéniles sont repartis à raison de 40 individus par bac (biomasse de 21kg/m³). Quatre traitements thermiques sont appliqués : 16°C (T16), 20°C (T20), 24°C (T24), 28°C (T28). Le traitement T16 est considéré comme un traitement témoin. Chaque traitement est appliqué en duplicat et la mise en charge a été faite de sorte que les deux bacs constituant un traitement puissent être l'un à côté de l'autre (figure 13).



Figure 13 : Dispositif expérimental des expériences 1et 2 (Photo *Clovis hountcheme*, CEFRA)

Des résistances thermiques contrôlées par des thermostats sont installées pour les lots T20, T24 et T28 afin de maintenir la température aux valeurs expérimentales. Tous les bacs sont alimentés par une arrivée d'eau froide et une arrivée d'eau chaude et d'un système d'aération

afin de maintenir le taux d'oxygène dissous dans les normes tolérées par la truite (9-14mg/l). Le niveau de l'eau dans chaque bac est maintenu constant et l'augmentation de la température est de 2°C/jour à partir de 15,5°C.

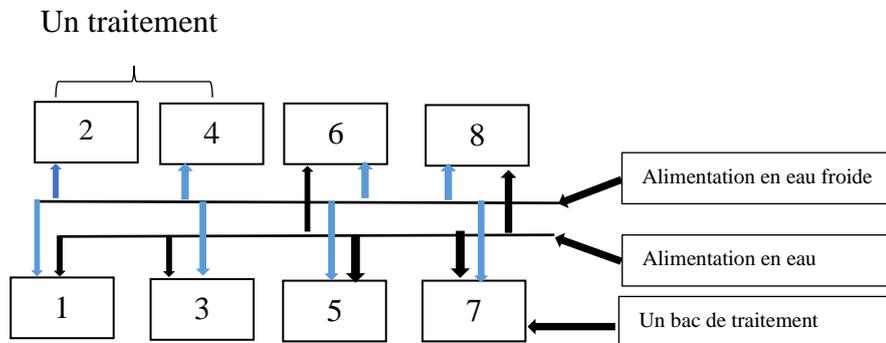


Figure 14 : Schéma du dispositif expérimental

2.2.3. Aliment et Nourrissage.

Les poissons sont nourris avec un aliment extrudé de marque Coppens et de granulométrie 3mm (41,7 % de protéines ; 29 % de matières grasses ; 1,1 % de cellulose brute ; 6 % de cendre brute ; 0,94 % de phosphore ; 1 % de calcium et 0,4 % de sodium.)

La ration est calculée en fonction du poids moyens des poissons ainsi que l'effectif dans chaque bac. Le taux de rationnement appliqué est celui du fabricant d'aliment. Ainsi la ration 35g par exemple obtenue par calcul est distribuée 5 fois par jour. Le reste de la ration non consommée est pesée le lendemain afin de quantifier la quantité d'aliment consommée par les poissons pour chaque bac de traitement.

2.2.4. Conditions d'élevage et suivi de la croissance

L'expérience a été conduite en circuit recirculé (filtration mécanique et biologique) pour les lots T20, T24 et T26°C. Les lot T16 sont élevés en circuit ouvert pour permettre la stabilisation de la température de l'eau dans le circuit. Les paramètres physico-chimiques tels que la température, l'oxygène dissous sont mesurés 5 fois par jours (8h, 10h, 12h, 14h, 16h). Les taux de nitrites et d'ammoniac, sont dosés tous les matins (8h30) au niveau du bac de charge alimentant les 6 bacs T20, T24 et T26 avant le nourrissage des poissons. Le dosage des nitrites a été fait selon la méthode de diazotation et celui de l'ammonium par la méthode de Nessler. Lorsqu'une forte teneur en ammoniac est constatée lors du dosage, le biofiltre est alimenté en bactéries synthétisées à raison de 40 ml/ jour de traitement. Une pêche de contrôle sur

l'évaluation de l'ensemble de la biomasse est faite tous les quinze jours afin de suivre la croissance des poissons et de réajuster ainsi la ration de ces derniers.

2.2.5. Pathologie

En aquaculture de la truite, il est constaté que de fortes températures favoriseraient l'apparition des parasites dont *Ichthyophthirius multifiliis*, appelé le point blanc observable parfois à l'œil nu.



Figure 15 : Points blancs observés sur les juvéniles d'hybrides de salmonidés (Photo *Clovis hountcheme*, CEFRA)

Ainsi donc au cours de cette expérimentation, nous avons vérifié tous les deux jours l'absence de ce parasite suite à un frottis cutané (prélèvement de mucus) avec une lame microscopique et observée au microscope optique l'éventuelle apparition de parasites dans les différents traitements. Ces observations et les comptages de parasites ont été faits au grossissement 4 x/0,10. Lorsque ces points blancs sont observés sur les poissons, un traitement leur est appliqué par le biais du bac de charge qui alimente en eau les lots T20, T24 et T26°C. Ce traitement préparé à l'avance est constitué de 4g de vert de malachite et 1l de formol 40%. Ainsi le bac de charge de volume (0,5 reçoit 50 ml de la solution préparée tous les 5 jours.

2.2.6. Détermination de l'optimum thermique d'élevage

La détermination de l'optimum thermique d'élevage s'est faite suivant un modèle mathématique utilisant la relation polynomiale du 2nd degré $y = ax^2 + bx + c$. Ainsi à partir des températures expérimentales que sont 16°C, 20°C, 24°C et 26°C, l'optimum thermique d'élevage est déterminé en fonction de la température et du taux de croissance spécifique ainsi que le taux de survie et le taux de conversion et l'hétérogénéité de croissance.

2.2.7 Analyse et traitement des données

2.2.7.1. Méthode de calculs : paramètres d'évaluation et de consommation alimentaire

Les différentes formules utilisées sont les suivantes :

Gain de poids (GP en g) = Poids en fin d'expérience – Poids initial

Gain de poids journalier (GPJ en g) = (Poids en fin d'expérience – Poids initial) / Durée d'expérience en jours.

Taux de Croissance Spécifiques (TCS en % jour⁻¹) = [(Ln Pf – Ln Pi) / T] x 100

Avec Pi = Poids initial, Pf = Poids final et T la durée de l'expérience en jours.

Les Taux de Survie (TS en %) = (Nf / Ni) x 100 avec Ni = Nombre initial d'individus et Nf = nombre final d'individus.

Le taux de conversion alimentaire (TC) = Quantité d'aliment distribuée/ Gain de masse corporelle.

2.2.7.2. Traitements statistiques

Les différentes analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R (version 4.0.5). Les différentes données récoltées sont encodées en utilisant un tableur Excel. Une analyse descriptive (moyenne ± écart type) est faite pour évaluer les variations environnementales au cours de l'expérimentation. Mais avant cela, le test de Hartley est utilisé afin de vérifier l'homogénéité des variances. Les poids moyens obtenus, le taux de croissance spécifique, l'indice de conversion alimentaire ainsi que les taux de survie ont été comparés à travers un test d'Anova1 au seuil de significativité de 5 %.

III. Résultats et Discussion

3.1. Résultats

Expérience 1.

3.1.1 Qualité de l'eau

La statistique descriptive des paramètres physico-chimiques est présentée dans le tableau 2. La température varie entre 14,9 et 16,6 °C (moy = 15,5±0,3°C) au niveau du traitement T16, entre 15,5 et 25 °C (moy = 20±1,8 °C) au niveau du traitement T20. Elle varie entre 15,5 et 26,6 °C (moy=22,4±2,9 °C) dans le traitement T24 et entre 15,4 et 26,9 °C (moy = 22,5±3,7 °C) dans le traitement T26. Quant à l'oxygène dissous, il varie entre 7,5 et 14,4 mg/l (moy = 10,2±1,7 mg/l) au niveau du traitement T16, entre 6,7 et 11,5 mg/l (moy=8,9±0,9 mg/l au niveau du traitement T20 et entre 6,3 et 10,6 mg/l (moy=8,2±0,9 mg/l) au niveau du traitement T24. Pour ce qui est du traitement T26, l'oxygène varie entre 6,4 et 9,4 mg/l (moy=7,7±0,6 mg/l). Les températures expérimentales mesurées sont restées stables et proches de la température expérimentale théorique. L'analyse de la variance montre que pour l'oxygène, il y a une différence significative entre les traitements ($p < 0,05$) avec des taux d'oxygène qui décroissent significativement de T16 à T26.

Tableau 2 : Valeurs moyennes, minimum, maximum et coefficient de variation de la température et de l'oxygène au cours de la première phase expérimentale

Paramètres		T16	T20	T24	T26	ANOVA
Température (°C)	Moyenne	15,5 ^a	20 ^b	22,4 ^c	22,5 ^c	P<0,05
	Ecart-type	0,3	1,8	2,9	3,7	
	Maximum	16,6	25	26,6	26,9	
	Minimum	14,9	15,5	15,5	15,4	
	Coefficient de variation	1,93	9	12,94	16,44	
Oxygène (mg/l)	Moyenne	10,2 ^c	8,9 ^b	8,2 ^a	7,7 ^a	P<0,05
	Ecart-type	1,7	0,9	0,9	0,6	
	Maximum	14,4	11,5	10,6	9,4	
	Minimum	7,5	6,7	6,3	6,4	
	Coefficient de variation	16,66	10,11	10,97	7,79	

Cependant, l'évolution journalière des températures moyennes (figure 16) montre que la température a été plus ou moins constante au niveau du traitement 16 tandis que qu'elle a fluctué et évolué progressivement au cours des traitement T20, T24 T26.

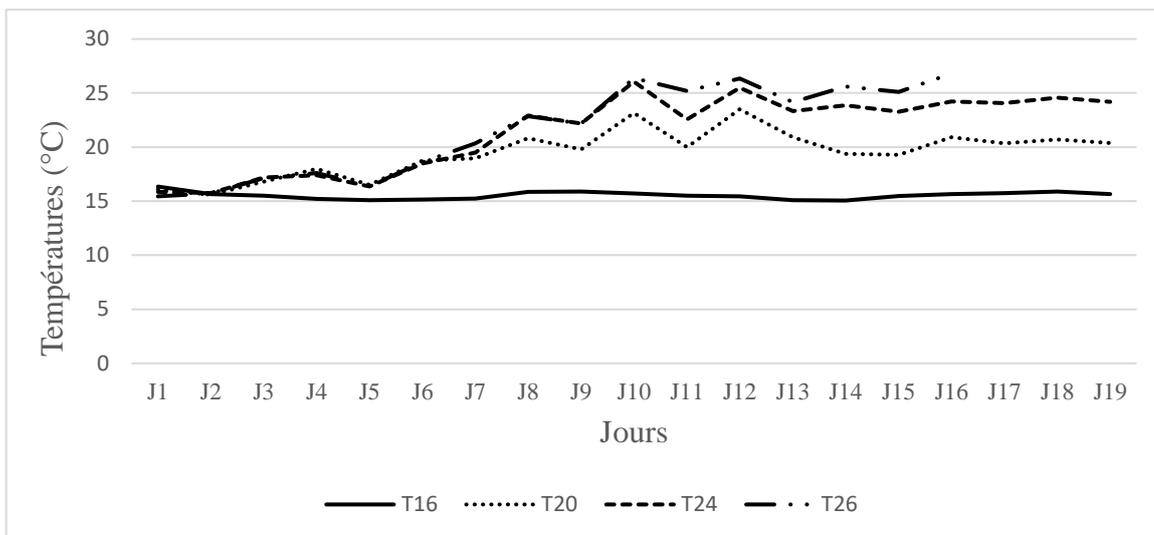


Figure 16 : Evolution journalière des températures moyennes de l'eau en fonction des traitements au cours de l'expérience 1.

Au cours de la première expérience, le taux d'ammoniac a varié entre 0,67 et 1 mg/l avec une moyenne de $0,85 \pm 0,09$ mg/l. Les nitrites ont quant à eux varié entre 0,03 et 0,9 mg/l avec une moyenne de $0,54 \pm 0,2$ mg/l. Ils sont restés dans la gamme de tolérance de l'espèce.

3.1.2 Taux de survie

La survie des hybrides de salmonidés a varié d'un traitement à un autre (figure 17). Les taux de survie sont restés constants au cours de la première quinzaine d'élevage. Les meilleurs taux de survie (95% et 100%) ont été obtenus pour les plus basses températures de 16 et 20°C. Aux deux plus hautes températures, 24 et 26°C, les poissons n'ont pas survécus après la première quinzaine de l'expérimentation (figure 18). Une analyse de la variance révèle qu'il y a une différence significative de ces taux de survie entre les traitements thermiques ($p < 0,05$).

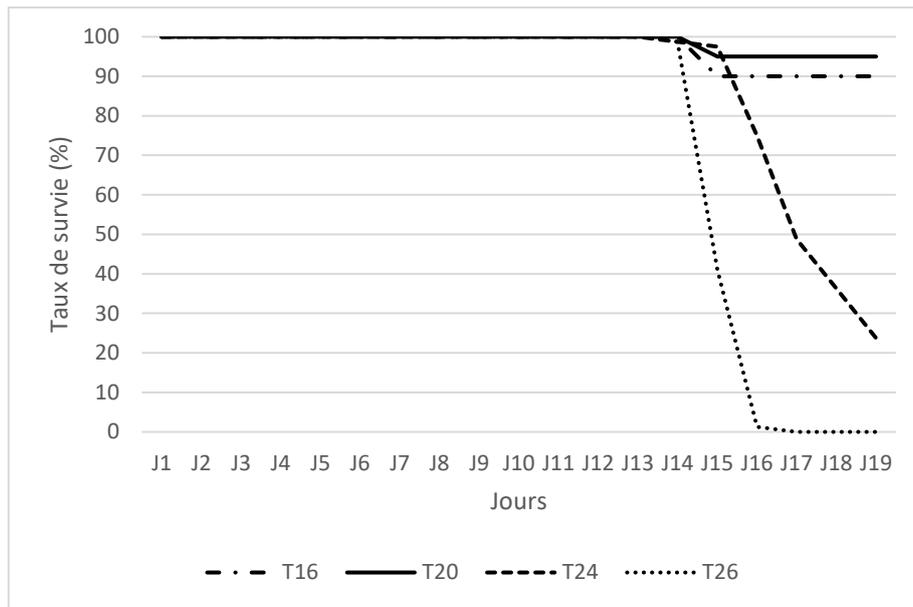


Figure 17 : Evolution journalière des taux de survie en fonction des traitements thermiques au cours de l'expérience 1.

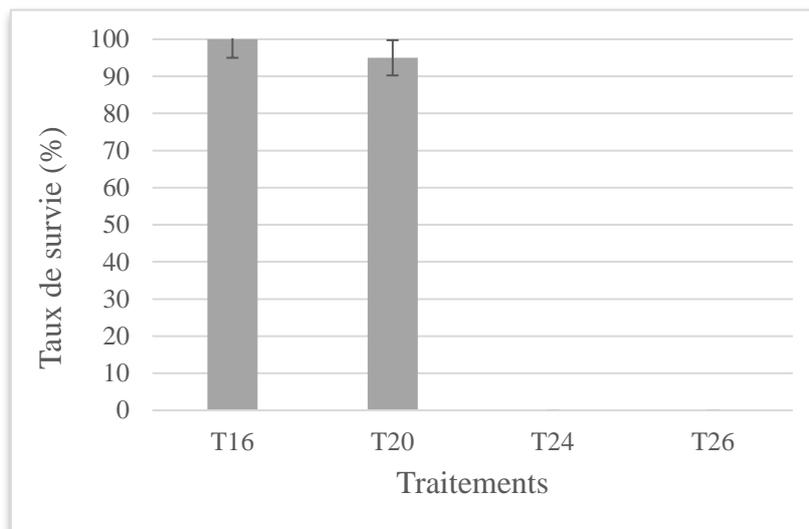


Figure 18 : Taux moyens de survie finale en fonction du traitement thermique au cours de l'expérience 1.

Expérience 2

Le tableau 3 présente la synthèse des paramètres physico-chimique (température et oxygène) de la deuxième série d'expérimentation. La statistique descriptive des paramètres physico-chimiques montre que la température varie entre 15,1 et 16,3 °C (moy = 15,5±0,2 °C) au niveau du traitement T16, entre 15,1 et 22 °C (moy = 20,1±0,9 °C) au niveau du traitement T20. Cette température varie entre 15,1 et 26,3 °C (moy = 23,5±1,8 °C) dans le traitement T24 et entre 15

et 27,2 (moy = 24,7±2,5 mg/l) dans le traitement T26. Quant au taux d'oxygène dissous, il varie 6,8 et 11 mg/l (moy = 8,5±0,7 mg/l) au niveau du traitement T16, entre 5,1 et 10 mg/l (moy = 7,4±0,8 mg/l) au niveau du traitement T20, entre 6 et 9 mg/l (moy = 7,1±0,6 mg/l) au niveau du traitement T24. Il varie enfin entre 6 et 9,5 mg/l (moy = 7,2±0,6 mg/l) dans le traitement T26.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du taux d'oxygène en fonction des traitements thermiques ($p < 0,05$) avec les taux les plus élevés à 16°C et les taux les plus bas à 26°C. Quant aux températures, elles sont restées stables et proches de celles fixées par les conditions expérimentales.

Tableau 3 : Valeurs moyennes, minimum, maximum et coefficient de variation de la température et de l'oxygène au cours de la deuxième phase expérimentale.

Paramètres		T16	T20	T24	T26	ANOVA
Températures (°C)	Moyenne	15,5 ^a	20,1 ^b	23,5 ^c	24,7 ^d	P<0,05
	Ecart-type	0,2	0,9	1,8	2,5	
	Maximum	16,3	22	26,3	27,2	
	Minimum	15,1	15,1	15,1	15	
	Coefficient de variation	4,5	0,04	7,7	10,1	
Oxygène (mg/l)	Moyenne	8,5 ^c	7,4 ^b	7,1 ^a	7,2 ^a	P<0,05
	Ecart-type	0,7	0,8	0,6	0,6	
	Maximum	11,0	10	9,0	9,5	
	Minimum	6,8	5,1	6	6	
	Coefficient de variation	8,2	10,8	8,5	8,3	

La figure 19 présente la variation journalière de températures au niveau des traitements. Au cours de la première semaine d'élevage, les températures des traitements T20, T24 et T26 ont fluctué progressivement afin d'atteindre les valeurs théoriques fixées pour l'expérience. Quant à la température du traitement T16, elle est restée constante tout au long de l'expérimentation.

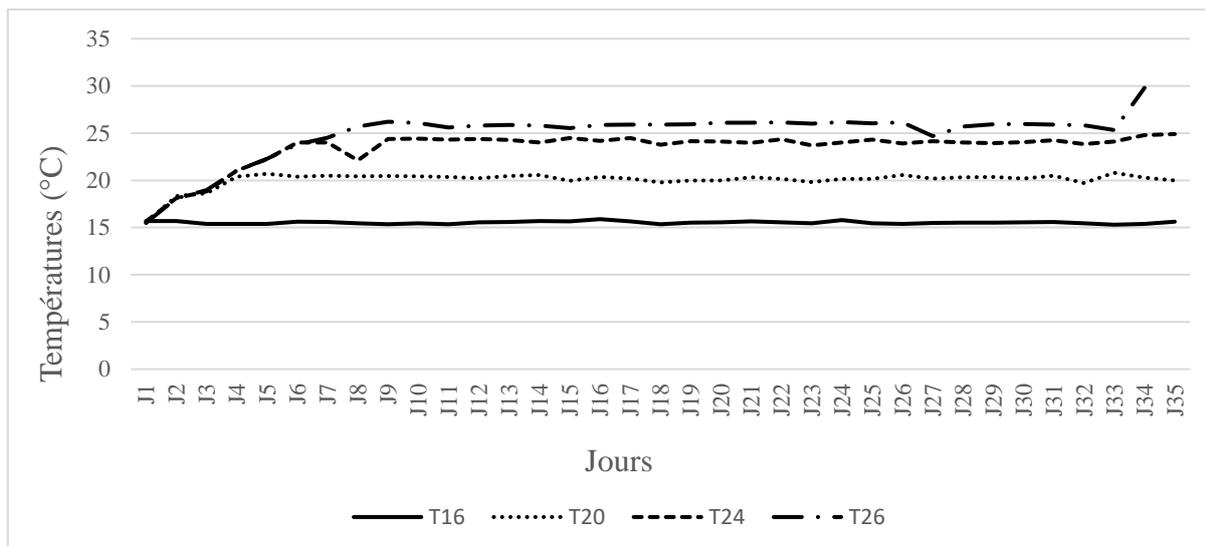


Figure 19 : Variation journalière des températures moyennes de l'eau en fonction des traitements thermiques appliqués.

Au cours de la deuxième expérience, le taux d'ammoniac a varié entre 0,5 et 2,9 mg/l avec une moyenne de $0,8 \pm 0,4$ mg/l. Les nitrites ont varié entre 0,02 et 0,22mg/l avec une moyenne de $0,12 \pm 0,05$ mg/l. Ils sont restés dans la gamme de tolérance de l'espèce.

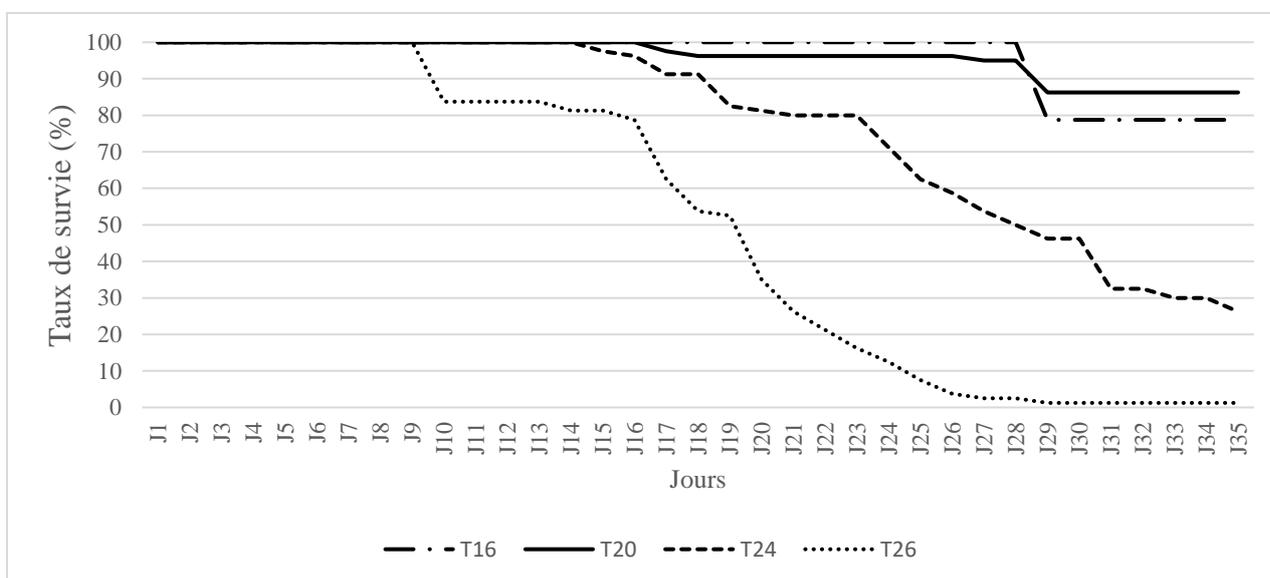


Figure 20 : Evolution journalière des taux moyens de survie pour chaque traitement au cours de l'expérience 2.

Ainsi, le taux de survie des hybrides de salmonidés a aussi varié d'un traitement à un autre (figure 21). Au cours de la première quinzaine d'élevage, ce taux a varié entre 80% et 100% pour l'ensemble des traitements. Au-delà de 15 jours d'élevage, ces taux de survie diminuent

progressivement en fonction des traitements thermiques (figure 20). Les meilleurs taux de survie (78,7 et 86,3%) ont été obtenus dans les traitements T16 et T20 respectivement (figure 21). Une analyse de la variance révèle qu'il y a une différence significative entre les traitements ($p < 0,05$).

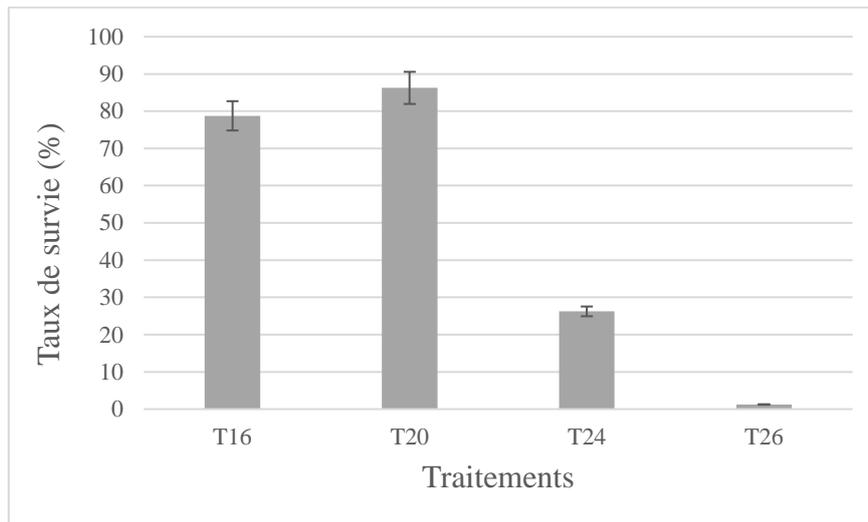


Figure 21 : Taux moyens de survie finale par traitements thermiques au cours de l'expérience 2.

3.1.3 Pathologie : maladie des points blancs

La figure 22 présente l'évolution du taux de survie en fonction du nombre d'apparition de points blancs. Il ressort alors que dans les traitements T24 et T26 les taux moyens de survie évoluent en fonction du nombre de points blancs. En effet, le taux de survie diminue lorsque le nombre de points blancs augmente (figure 22). *Ichthyophthirius multifiliis* combiné aux températures élevées (24°C et 26°C) ont eu un effet négatif sur les poissons.

Les premiers points blancs sont détectés dans le traitement T26 à partir du 13^{ème} jour d'expérimentation $2 \pm 1,5$ (figure 22). Dans le traitement T24, les premiers points blancs sont observés au jour 15 d'expérimentation $2,3 \pm 2,3$. D'une manière générale, il n'y avait pas eu de points blancs au niveau dans les traitements T20 et T16.



Figure 22 : Evolution du nombre de points blancs au cours de l'expérience 2

3.1.4. Performances de croissance

Expérience 1

Les différents résultats obtenus sur les performances de croissances des juvéniles de salmonidés soumis à quatre différents traitements thermiques sont résumés dans les tableaux 4. Au cours de cette expérience, le poids moyen final et le taux de croissance spécifique sont respectivement de $55,4 \pm 0,7$ g ; $1,5 \pm 0,09$ %/j au niveau du traitement T16. Quant au traitement T20, le poids moyen final est de $53,3 \pm 0,17$ g avec un taux de croissance spécifique de $1,2 \pm 0,02$ %/j.

Tableau 3 : Valeurs moyennes des paramètres de croissance des hybrides de salmonidés au cours de la première expérience.

Paramètres	T16	T20	T24	T26
Pmi (g)	$44,3 \pm 10,71$	$44,3 \pm 10,71$	$44,3 \pm 10,71,71$	$44,3 \pm 10,71$
Pmf (g)	$55,4 \pm 0,72$	$53,3 \pm 0,17$	-	-
GP (Pf-Pi)	11,2	9,01		
GPJ (g)/j	0,7	0,6		
SGR (%/j)	$1,5 \pm 0,09$	$1,2 \pm 0,02$	-	-

Expérience 2

Le tableau 5 présente les performances de croissance de l'expérience 2 au cours de laquelle trois pêches de contrôles ont été effectuées. Les poids moyens finaux sont de $61,6 \pm 4,6$ g,

58,6±0,8 g, 48,5±3,5 g ; 40±40 g respectivement pour les traitements T16, T20, T24 et T26. Les taux de croissance spécifiques sont de 0,4±0,2 et 0,3±0,04 respectivement pour les traitements T16 et T20. Bien qu'au cours de la vidange des différents bacs de charge, une partie de l'aliment non ingéré soit évacué, la quantité d'aliment consommé par les hybrides de salmonidés n'ont pas permis une croissance optimale en témoigne les différents indices de consommation obtenus qui sont restés négatif. Ceci a été aussi favorisé par les différentes mortalités enregistrées et la chute de la crépine qui a favorisé la sortie de quelques juvéniles des bacs de traitements.

Tableau 4 : Valeurs moyennes des paramètres de croissance

Paramètres	T16	T20	T24	T26	ANOVA
Pmi (g)	53,5±15,1	53,5±15,1	53,5±15,1	53,5±15,1	
Pmf (g)	61,6±4,6 ^a	58,6±0,8 ^a	48,5±3,5 ^a	40±40,0 ^a	P>0,05
Effectif initial	80	80	80	80	
Effectif final	63	69	34	1	
Bi (g)	2040	2040	2040	2040	
Bf (g)	1900±380	2020±120	490±230	40±40	
GP(Pf-Pi)	8,0	5,1	-5,0	-13,5	
GPJ(g/j)	0,2	0,1	-0,1	-0,4	
Qtité aliment (g)	717,3±14	797,7±16,4	400,5±6,5	327,8±46,9	
Indice consommation kg	-5,12	-39,89	-0,26	-0,16	
SGR(%/jr)	0,4±0,2	0,3±0,04			

La figure 23 présente l'évolution des poids moyens individuels des hybrides en fonction des différents traitements thermiques au cours des trente premiers jours d'expérimentation. De façon générale, l'analyse du graphe montre une croissance plus ou lente au cours de la première semaine d'élevage des hybrides de salmonidés en raison d'une variation lente de la température des milieux d'élevage. Après la première quinzaine d'élevage au cours de laquelle les températures expérimentales ont été atteintes, on note une très faible croissance au niveau des traitements T16 et T20. Les performances de croissances les plus élevées ont été obtenues au cours du traitement T16 avec un taux de croissance spécifique de 0,40±0,21%/jr et un gain de poids de 8g au terme de l'expérimentation.

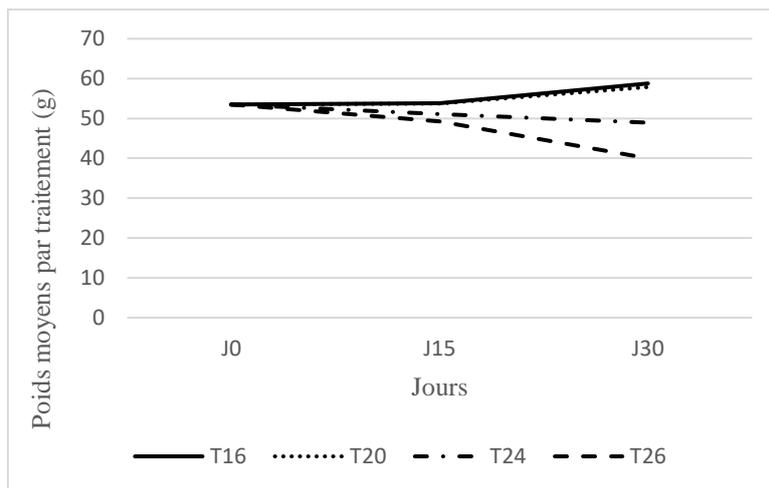


Figure 23 : Evolution du poids corporel moyen individuel (g) des hybrides de salmonidés en fonction de la température au cours de la deuxième expérience.

IV. Discussion

Dans tout système d'élevage, la température apparait comme le principal facteur qui contrôle la survie, la croissance et l'apparition des pathologies. Cependant, d'après Saint-Vill (2005), la température optimale de croissance varie avec le poids corporel de l'espèce. Ainsi, en menant cette étude de détermination de l'optimum thermique d'élevage des hybrides de salmonidés de poids moyens $44,27 \pm 10,71$ g (1^{ère} expérience) et de $53,5 \pm 15,06$ g (2^{ème} expérience) nous sommes parvenus à un certain nombre de résultats qu'il faudrait discuter.

La température et qualité de l'eau

D'une manière générale, quatre différentes températures ont été testées à l'issue de cette étude. La variation de la température était étroitement liée aux objectifs de l'étude. Néanmoins, les différents taux d'oxygènes enregistrés sont restés dans les normes tolérées par les salmonidés en général. En effet, lorsque la concentration d'oxygène dissous diminue en dessous des besoins du poisson, ce dernier ne peut plus convertir l'énergie qu'il reçoit, et il en résulte une baisse de la croissance, de l'efficacité alimentaire et des capacités de nage avec des mortalités qui surviennent (Jones, 1971). Ainsi pour Wedemeyer (1996) une concentration en O₂ inférieur à 4mg/l prédispose à la maladie bactérienne des branchies. De plus, bien que les poissons d'une espèce donnée, avec une taille donnée aient besoin de plus d'oxygène dans de l'eau chaude que dans de l'eau fraîche en raison d'une augmentation de leur métabolisme dans l'eau chaude (variation de température), la concentration minimale recommandée en oxygène dissous pour les salmonidés en général et pour la truite arc-en-ciel doit être comprise entre 5-6 mg/l (Colt et Tomasso, 2001). Les taux élevés de l'ammoniac (2,9 mg/l) et de nitrites (0,9 mg/l) sont dus au fait que les poissons ne mangent pas bien en témoignent les différents taux de conversion alimentaire faibles et même négatif. Or une toxicité aigüe à NH₃ par exemple touche le système nerveux central du poisson avec les troubles neurologiques (Randall et Tsui, 2002) ; c'est donc la raison pour laquelle la ration servie aux poissons est revue à la baisse en fonction des traitements thermiques

Température, taux de survie et croissance

Une température optimale favorise une bonne croissance et un taux de survie élevé. Les salmonidés en général présentent en milieu naturel, la plus faible tolérance thermique (1- 4°C), un optimum thermique comprise entre 10 et 15°C suivant les espèces et un maximum de 15 à 20 °C. Cependant selon Elliot (1991), les juvéniles du saumon atlantique tolèrent sur une

période de 7 jours une température de 27,8 °C tandis que les températures variantes entre 30 et 33°C ne peuvent être tolérées que sur 10 min.

Au cours de la deuxième série d'expérimentation, nous avons constaté une diminution du taux de survie en fonction de la température. Les plus faibles taux de survie ($1,6 \pm 1,6$; $26,3 \pm 13,8$) ont été enregistrés au cours des traitements T26 et T24. Cependant les forts taux de survie ($86,3 \pm 6,3$; $78,8 \pm 21,3$) respectivement dans les traitements T20 et T16. Dans ces traitements en dehors de deux mortalités enregistrées dans le second bac du traitement T20, aucune autre mortalité n'a été notée dans ces traitements. Par contre ces différents taux de survie sont dus aux poissons ayant disparu en raison de la chute de la crépine des différents bacs d'élevage. A températures égales, nos résultats semblent être meilleurs que ceux obtenus par Chevassus *et al.*, (2008) qui ont trouvé des taux de survie de 41,2% chez les hybrides de issus d'un croisement entre l'omble de fontaine et la truite fario à 17°C de 100 jours à un an. Contrairement aux hybrides, les poissons de 100 jours à un an avaient pour taux de survie 44,6%, 50,1% respectivement pour l'omble de fontaine et la truite fario. D'après Amon *et al.*, (2020), ces mêmes constats ont été observés pour les hybrides de *Oreochromis niloticus* avec *Sarotherodon melanotheron* qui présentent des taux de survie (100%) supérieur à leur parents (83,33%). Il apparaît alors que chaque espèce ne peut vivre et survivre qu'au sein d'une plage de température bien définie et la plage des températures optimales pour la croissance est encore plus étroite (autour de 16°C pour la truite et 25°C pour la carpe). Cependant il n'est pas exclu que l'optimum puisse varier suivant les populations, comme le suggère la sélection réussie d'une souche de carpe résistante au froid (Vandeputte et Launey 2004).

De façon général, un faible taux de croissance a été observé au cours de la première semaine d'élevage coïncidant avec la variation progressive de la température d'élevage (2°C/jr). Bien que la température affecte positivement la croissance des truites dans les cours d'eau frais (Vøllestad *et al.*, 2002), elle représente également l'un des facteurs agissants sur le métabolisme et l'activité des truites (Jensen *et al.*, 2000). Ainsi pour une bonne croissance des hybrides de salmonidés, les recommandations de Piter *et al.*, (1982) stipulent que la zone optimale de température pour la croissance des salmonidés varie quelque selon les espèces, elle se situe entre 7°C et 17°C pour les espèces d'eau froide dont la truite, l'omble et le saumon. Pour ces auteurs, le mélange d'eau souterraine et de surface permet d'obtenir la meilleure croissance pour une truite qui pourrait dépasser 1000g à 18 mois d'âge. Le taux de croissance dépendant le plus souvent de la taille initiale ou poids initial, nos performances obtenus pour ce qui est du taux de croissance spécifique ($0,26 \pm 0,037$; $0,4 \pm 0,21$) respectivement au cours de

traitements T20 et T16 sont inférieurs qu'à ceux obtenues par (Richard, 2014) qui ont utilisé des juvéniles de truite *Salmo trutta* de taille moyenne supérieure à 60 pour un empoissonnement de trois différentes rivières. Ces valeurs du taux de croissance variaient entre 0,4 et 0,9 avec un SGR des individus 0+ (1ère année de vie) supérieur à celle étant dans leurs seconde, troisième année de vie. Nos faibles taux de croissance pourraient être liés aussi au système expérimental à travers le confinement, l'absence de courant d'eau surtout que les salmonidés de façon général et les truites en particuliers adoptent des migrations en milieu naturel au cours desquelles elles cherchent à remonter le courant de la rivière à travers des sauts.

Température et pathologies

D'une manière générale, à l'issue de cette étude, de fortes températures (24°C, 26°C) ont induit la mortalité d'une grande partie des poissons expérimentaux. Ces fortes températures ont favorisé l'apparition de points blancs sur les poissons des traitements T26 et T24. En effet, ces différents points blancs dont l'apparition varie en fonction de la température d'élevages sont causés par un parasite qui induit un impact économique très important sur des entreprises aquacoles (Shinn *et al.*, 2015). *Ichthyophthirius multifiliis* est un parasite obligatoire des poissons d'eau douce provoquant l'apparition de points blancs, une maladie induite par de fortes températures 15°C à 25°C (Noga, 2014). Cela conduit en effet à une forte mortalité et de lourde perte économique dans l'aquaculture de la carpe et de la truite (Mallik *et al.*, 2015 ; Buchmann, 2009). C'est donc ces fortes températures qui auraient favorisé l'apparition des points blancs au cours de cette étude entraînant les différentes mortalités enregistrées. Cependant, d'après Ruider *et al.*, (1997) le vert de malachite paraît être le produit le plus efficace pour le contrôle des ectoparasites des poissons. Malheureusement, ce produit est totalement interdit en pisciculture de production et ne peut donc pas être utilisé.

Au vu de nos résultats, nous ne sommes pas en mesure de dire si les mortalités importantes sont dues aux températures élevées ou à l'apparition des points blancs. Quoiqu'il en soit, même ces hybrides de salmonidés ne supportent pas, en milieu expérimental, des températures égales et supérieures à 24°C.

Conclusion

Au terme de la présente étude, les valeurs enregistrées pour les paramètres physico-chimique de l'eau révèlent que les températures 26°C et 24°C sont létales pour les hybrides de salmonidés. Ces températures favorisent l'apparition et la croissance de *Ichthyophthirius multifilis*, un parasite qui fait apparaître des points blancs qui ont eu simultanément d'effet négatif sur la survie et la croissance des poissons. Bien que les températures de 16 et 20°C ne sont pas défavorables à la survie des hybrides, les performances de croissances (indice de consommation alimentaire, le taux de croissance spécifique) restent faibles probablement à cause du confinement. D'après ces premiers résultats, l'hybridation ne permet pas d'améliorer la survie et la croissance à haute température et à l'heure actuelle, ne permet pas de répondre à la demande des producteurs qui souhaitent élever une espèce plus résistante aux hautes températures.

Nous suggérons une valorisation d'hybridation interspécifique entre la truite fario femelle (*Salmo trutta*) avec un mâle du saumon atlantique (*Salmo salar*) dont les juvéniles tolèrent sur une période de 7 jours une température de 27,8 °C. Dorénavant, cette étude pourrait être reprise dans d'autres conditions expérimentales afin d'aboutir à d'autres conclusions pour d'éventuels éléments de comparaison.

Références Bibliographiques

- Alanara, A., Brannas, E., 1996: Dominance in demand-feeding behaviour in Arctic charr and rainbow trout: The effect of stocking density. *J. Fish Biol.* 48 :242-254.
- Amon, N.Y., Konan, S.K., Kouassi, D.K., Yao, K., 2020 : Performances zootechniques des mâles de *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758), *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell, 1853) et leurs hybrides en phase de grossissement en cages installées en étang. *Int.J.Biol.Chem.Sci* 14(5):1611-1617
- Baldwin, J.T., Richard Vincent, E., Silflow, M.R., StaneK, D., 2000: *Myxobolus cerebralis* infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*) exposed under natural stream conditions. *J. Vet. Diagn. Invest.* 12 :312-321.
- Belpaire, C., Gerard, P., 1993 : Rapport sur la situation de la pêche intérieure en Belgique. EIFAC-Rome ,1994.
- Baglinière, J.L., Guyomard, R., Héland, M., Ombredane, D., Prévost, E., 2001 : Ecologie des populations de Poissons des cours d'eau à Salmonidés. In ‘‘L'eau dans l'espace rural. Vie et milieux aquatiques’’, A. Neveu, C., Riou, R., Bonhomme,P., Chassin, F., Papy (Eds), Collection Mieux Comprendre, INRA, Paris, pp. 31-49.
- Barrios, J.R.A., 2017 : Influence des variations des facteurs environnementaux sur la croissance de poisson de l'Atlantique. Thèse de doctorat. AgroCampus Ouest. 229p.
- Bartley, D.M., Rana, K., Immink, A.J., 1997: The use of interspecies in aquaculture and their reporting to FAO. *FAO Aquaculture Newsletter, FAN*, n° 17, 7-13
- Baroiller, J.F., 1997 : Hybridation intergénérique des tilapias, ActionThématique Programmée 1998 (ATP) Montpellier, CIRAD-EMVT. 23p.
- Buss, N., Wright, J.C., 1956: Results of species hybridization with the family salmonidae. *Progressive Fish Culturist* 1 : 8 (1).
- Berrebi, P., 1997 : Introduction d'espèces dans les milieux aquatiques d'eau douce : les impacts génétiques. *B. Fr. Pêche Piscic.* 344/345: 471-487.
- Bromage, N., Porter, M., Randall, C., 2001: The environmental regulation of maturation in farmed fish with special reference to the photoperiod and melatonin. *Aquaculture* 197: 63-98.

- Buchmann, K., Sigh, J., Nielsen, C.V., Dalgaard, M., 2001: Host responses against the fish parasitizing ciliate *Ichthyophthirius multifiliis*. Vet. Par 100 (2001) 105-116
- Chevassus, B., Blanc, J.M., Chourrout, D., 1974 : Le contrôle de la reproduction chez les poissons. Bull. Fr.Piscic.(1979) 274 : 32-46
- Chevassus-au-Louis, B., 1979 : Hybridization in salmonids : Results and perspectives. Aquaculture 17: 113-128.
- Cho, C.Y., Bureau, D.P., 1998: Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. Aquatic Living Resources 11:199–210.
- CNPEO, 1983: Fiches Biotechniques d'Aquaculture des salmonidés.
- Courtenay, S.C., Quinn, T.P., Dupuis, H.M.C., 2001: Discrimination of family-specific odours by juvenile coho salmon: roles of learning and odour concentration. J. Fish Biol. 58 :107-125. doi: 10.1006/jfbi.2000.1432.
- Colt J., Tomasso, J., 2001: Hatchery water supply and treatment. Wedemeyer, G.A., (Ed). Fish Hatchery Management, 2nd Edition. American Fisheries Society, Maryland, USA, 91-186
- Cuinat, R., 1971 : Ecologie et repeuplement des cours d'eau à truite. Bull. Fr. Pisc, 240. 242, 243, 87.
- Cross, D., 2006 : Statistiques en bref : agriculture et pêche - Aquaculture. 23/2006. Eurostat. Communautés européennes.8 p.
- Delfosse, M.C., 2017 : Méthodes d'évaluation et de contrôle du stress chez les salmonidés d'élevage : implications sanitaires, zootechniques et environnementales. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse. 206p.
- Dickerson, H.W., 2011 : Immunity to *Ichthyophthirius multifiliis* infections in fish. Doi:10.1079/9781845938062.0055
- De Kinklelin, P., Gerard, J.P., 1972 : Connaissance de base sur la pathologie des poissons. Bull. Fr. Pisc, n°247,32p.
- Escher, M., 2011 : Cours de maladies parasitaires en pisciculture. Université de Lausanne. 48p.

Esteve, M., 2005: Observations of spawning behaviour in Salmoninae: *Salmo*, *Oncorhynchus* and *Salvelinus*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 15:1–21. doi: 10.1007/s11160-005-7434-7.

Elliott, J.M., 1991: Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology* 25, 61-70.

Elliott, J.M., 1994: *Quantitative ecology and the brown trout*. Oxford University Press, Oxford, 286p.

Evenhuis, J.P., LaFrentz, R.B., 2016: Virulence of *Flavobacterium columnare* genomovars in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of Aquatic Organisms*. Vol.120 :217-224.

FAO (2016b) *Oncorhynchus mykiss*. In : Programme d'information sur les espèces aquatiques cultivées. *Oncorhynchus mykiss*.

FAO (2016c) *Salmo salar*. In : Programme d'information sur les espèces aquatiques cultivées.

Fetie, T., 2016 : Les techniques d'aquaculture alternative comme réponse à la surexploitation des milieux aquatiques : problématique globale et application au cas particulier de la Belgique. Mémoire de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement. Université Libre de Bruxelles. 88p.

Foresight, 2011: *The future of food and farming*. Final Project Report. London, The Government Office for Science. 211p.

Frost, W.E., Brown, M.E, 1967 *The trout*. Collins Ed., St Jame's Place, London, 286 p.

Grasteau, A., 2015 : Contribution à une approche intégrée pour la prévention de la flacobactériose dans les élevages de truite arc-en-ciel. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux. 261p.

Gest'eau, 2007 : Diagnostic de la situation piscicole du bassin de la Dheune. Rapport final. 78p.

Gilbert, J.P., J. B. Gratzek, J.B., Brown, J., 1979: An in vitro method for testing the synergistic action of parasiticides using malachite green and formalin as a model system. *Journal of Fish Diseases* 2:191–96. doi:10.1111/j.1365-2761.1979.tb00158.x.

Grima, L., 2007 : Vers une amélioration de l'efficacité alimentaire chez le poisson. Thèse de doctorat. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement. AgroParisTech. 208p.

Guillot, Y., 2000 : Intérêt zootechniques de hybrides de poissons : problèmes rencontrés et conseils pour une production à grande échelle. Diplôme d'Etude Supérieure Spécialisées en production Animales en Région Chaudes. Institut National Agronomiques Paris-Grignon. Campus International de Baillarguet.35p.

Hershberger, W.K., 1992 : Genetic variability in rainbow trout populations. *Aquaculture*, 100, 51-72.

IRM, 2020 : Rapport climatique 2020. De l'information aux services climatique. 92p.

Jalabert, B., Fostier, A., 2010 : La truite arc-en-ciel, de la biologie à l'élevage. Paris: édition Quae. 20p.

Jensen, A. J., Forseth, T., Johnsen, B.O., 2000: Latitudinal variation in growth of young brown trout *Salmo trutta*. *Journal of Animal Ecology* 69, 1010-1020

Jones, D., 1971: The effect of hypoxia and anaemia on the swimming performance of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J.Exp.Biol* n°55, 541–551

Jorgensen, L.V.G., 2017: The fish parasite *Ichthyophthirius multifiliis*-host immunology vaccines and novel treatments. *Fish Shellfish Immunol.* 67, 586-595

Khan, H.A., Gupta, S.D., Reddy, P.V.G., Tania, M.S., Kowtalg, V., 1990 : Production of sterile intergeneric hybrids and their utility in aquaculture and stocking. *In* P. Keshavanath, K.V. Radhakrishnan (eds), *Carp Seed Production Technology*. Special Publication of AFS No 2. Asian Fish Sc, Mangalor, India, pp 41-48.

Kestemont, P., Baras, E., 2001: Environmental factors and feed intake: mechanisms and interactions. Page 131 in *Food intake in fish*. D. Houlihan, T. Boujard, and M. Jobling, eds. Blackwell Science, Oxford.

Lahnsteiner F., 2012. Thermotolerance of brown trout (*Salmo trutta*), gametes and embryos to increased water temperatures. *J. Appl. Ichthyol.*, 28 : 745-751.

Largiadèr, C.R., 2007: Hybridization and Introgression Between Native and Alien Species dans *Biological invasions; Ecological Studies*, Vol. 193, Analysis and Synthesis, Nentwig, W. (Berlin: Springer), pp. 275-292.

Lévêque C., Paugy, D., 2006 : Les poissons des eaux continentales africaines. Institut de Recherche pour le Développement. IRD Edition, Paris.

Mamun, M.A.A., Nasren, S., Srinivasa, K.H., Rathore, S.S., Abhiman, P.B., Rakesh, k., Heavy infection *Ichthyophthirius multifiliis* in striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, sauvage 1878) and its treatment trial by different therapeutic agent in a control environment. Journal of Applied Aquaculture. Vol32, N°1,81-93

Marc, J.J., 2019 : Détermination de l'optimum de croissance des stades larvaires de l'ombre commun (*Thymallus thymallus*). Mémoire de Master Spécialisé en Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture. Université de Liège. 45p.

Mallik, S.K., Shahi, N., Das, P., Pandey, N.N., Haldar, R.S., Kumar, B.S.A., Chandra, S., 2015: Occurrence of *Ichthyophthirius multifiliis* (White spot) infection in snow trout, *Schizothorax richardsonii* (Gray) and its treatment trial in control condition. India Journal of Animal Research 49 (2):227–30. doi:10.5958/0976-0555.2015.00113.2.

Miller, D., Le Breton-Miller, I., Lester, R., Cannella, A., 2007 : Are family Firms Really Superior Performers? Journal of Corporate Finance. Vol 1, 829-858.

Médale, F., Guillaume, J.C., 1999 : Nutrition énergétique. In : Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailler, R. (Eds), Nutrition des poissons et des crustacés, INRA, Paris, France : 87-111.

Noga, E.J, 2014: Fish disease: Diagnosis and treatment, 131–34. 4435-36/7, Ansari Road, Daryaganj, New Delhi-110002: Wiley India Pvt. Ltd. ISBN 978-81-265-5069-2.

Ovidio, M., 1999 : Tactiques et stratégies individuelles d'utilisation spatio-temporelle de l'habitat et des ressources alimentaires chez la truite commune (*Salmo trutta* L.) : étude par radio-pistage dans l'Aisne et l'Ourthe. Thèse de doctorat. Université de Liège, 223p.

Picon-Camacho, S. M., Marcos-Lopez, M., Bron, J.E., Shinn, A.P., 2012: An assessment of the use of drug and non-drug interventions in the treatment of *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876, a protozoan parasite of freshwater fish. Parasitology 139 (2):149–90. doi:10.1017/S0031182011001910.

Piper, R.G., McElwain, I.B., Orme, L.E., McCraren, J.P., Fowler, L.G., Leonard, J.R., 1982: Fish hatchery management, U.S. Fish and Wildlife Service, Department of the Interior, p. 134

Randall, D., Tsui, T., 2020: Ammonia toxicity in fish. Marine Pollution Bulletin n°45, 17-23

Richard, A., 2014: Régulation densité-dépendante des juvéniles de truite *Salmo trutta* du repoissonnement : implication pour la gestion. Thèse de doctorat de l'Université de Grenoble. 234p

Ruider, S., Schmahl, G., Mehlhorn, H., Schmidt, H., Ritter, G., 1997: Effects of different malachite green derivatives and metabolites on the fish ectoparasite, *Ichthyophthirius multifiliis*, Fouquet 1876 (Hymenostomata, Ciliophora). *European Journal of Protistology* 33 (4):375–88. doi:10.1016/S0932-4739(97)80049-1.

Rombough, P.J., 1997: The effects of temperature on embryonic and larval development. In: Wood C.M. and Mc Donald D.G. (eds.), *Global warming Implications for freshwater and marine fish*, Cambridge University Press, Cambridge, 225–254.

Rougeot, C., 2021 : Bases biologiques en aquaculture. Université de Liège (ULg), Belgique. Notes des cours du Master de Spécialisation en Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture, ARES-CCD.

Shin, Y., Rochet, M.J., 1998: A model for the phenotypic plasticity of North Sea herring growth in relation to trophic conditions.” *Aquatic Living Resources* 11 (5): 315-24. doi :10.1016/S0990-7440(98)80002-8.

Shinn, A.P., Pratoomyot, J., Bron, J. E., Paladini, G., Brooker, E. E., Brooker, A. J., 2015: Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture. *Parasitology*, 142, 196–270. <https://doi.org/10.1017/S0031182014001437>

Spillman, C.J., 1961 : Faune de France : Poisson d'eau douce. Fédération Française des Sociétés Naturelles, Tome 65. Paris. 303p.

Scott, W.B., Crossman, E.J., 1973: *Freshwater Fishes of Canada*. Bulletin 184. Fisheries Research Board of Canada Bulletin.

Scribner, K.T., Page, K.S., Bartron, M.L., 2001: Hybridization in Freshwater Fishes: a Review of Case Studies and Cytogenetic Methods of Biological Inference. *Rev. Fish Biol. Fisher.* 10, 293-323.

Tissot, L., Souchon Y., 2011: Synthesis on thermal tolerances of the principal freshwater fish species of large Western Europe rivers. *Hydroécologie Appliquée* 17 : 17-76.

Vandeputte, M., Launey S., 2004 : Quelle gestion génétique de la domestication chez les poissons ? *INRA Prod. Anim.*, 17, 237-242

Vivier, P., 1955 : Sur l'introduction des salmonidés exotiques en France. Verh. int. Verein. theor. angew. Limnoi, 12, 527-535.

Vøllestad, L.A., Olsen, E.M., Forseth, T., 2002: Growth-rate variation in brown trout in small neighbouring streams: evidence for density-dependence? Journal of Fish Biology 61, 1513-1527.

Wagner, G., 1960: Der Entwicklungszyklus von *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet und der Einfluss physikalischer und chemischer Aussenfakoren. Zeitschr, Fisch. 9, 425-443.

Wedemeyer, G., 1996: Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman & Hall, London, UK.

Wohlfarth, G.W., 1994: The unexploited potential of tilapia hybrids in aquaculture. Aquaculture and Fisheries Management, 25, 781-788.