

Production de salmonidés monosexes femelles et stériles

Table des matières

mise à jour : octobre 2012

1. Pourquoi produire des poissons monosexes femelles et stériles?	1
2. La production de reproducteurs néomâles	2
3. Traitements avec l'hormone.....	4
4. Poursuite du grossissement des poissons jusqu'à la reproduction	5
5. Sélection des néomâles.....	5
6. Utilisation de la laitance des néomâles pour la fécondation des oeufs	6
7. Test de motilité des spermatozoïdes	7
8. Stérilisation.....	8
9. Références.....	8

1. Pourquoi produire des poissons monosexes femelles et stériles?

La production de salmonidés monosexes femelles et stériles poursuit deux objectifs en pisciculture : éliminer les contre-performances zootechniques reliées à la maturation sexuelle des poissons et rendre infertiles les poissons destinés à l'ensemencement dans les plans d'eau naturels.

Le ralentissement de la croissance et la détérioration de la qualité de la chair apparaissent quand les poissons n'atteignent pas la taille suffisante pour la mise en marché avant la maturité sexuelle. Cela arrive inévitablement en production de truites de grande taille, nécessitant une longue période de croissance pendant laquelle les poissons dépassent l'âge de la puberté et atteignent la maturité sexuelle.

La maturation sexuelle ralentit considérablement la croissance des poissons et amène aussi une détérioration progressive de la qualité de la chair, laquelle perd sa fermeté et son bon goût. En plus, la chair perd sa teinte rosée si caractéristique des salmonidés, parce que les pigments caroténoïdes, qui la colorent normalement, migrent à l'extérieur du muscle pour s'accumuler dans les œufs et dans la peau du poisson (Figure 1). En pleine période de maturité, la chair de la truite devient blanche et totalement inacceptable pour la consommation en regard des critères de qualité recherchés. Les pisciculteurs doivent retarder la vente de ces poissons. Heureusement, après la période de reproduction, les truites reprennent leur rythme de croissance et leur chair retrouve sa fermeté et sa coloration rosée. La truite redevient alors

excellente à la consommation, mais cela peut prendre plusieurs semaines à quelques mois.



Figure 1 Différentes intensités de la couleur rosée que peut avoir la chair de l'omble de fontaine : de blanchâtre en pleine maturité sexuelle à saumonée chez un poisson immature

L'ensemencement de poissons d'élevage en support à la pêche sportive demeure toujours le principal marché de la production piscicole au Québec (Morin, 2012). Plusieurs travaux de recherche nord-américains font ressortir un impact négatif des ensemencements récurrents de salmonidés d'élevage sur la diversité génétique des populations sauvages (Araguas *et al.* 2004 ; Araki *et al.* 2007 ; Finnegan 2008 ; Small *et al.* 2009). On a démontré cela également au Québec dans des plans d'eau ensemencés avec l'omble de fontaine (Marie *et al.* 2010). Ce qui a donné lieu à une critique des ensemencements pratiqués en support à la pêche sportive sur le territoire québécois (Caron 2010 ; Cliche 2010). Or, la production de

poissons monosexes femelles stériles, totalement infertiles, apporte une solution définitive à ce problème de pollution génétique (Thomas 1999). En plus, ces poissons présentent un taux de croissance et un taux de survie meilleur que les poissons diploïdes en nature (Godin 2009).

La maturation sexuelle des truites en élevage apporte des contraintes majeures pour la production et la mise en marché, qui se soldent par des coûts importants pour les pisciculteurs. Cependant, ces contraintes peuvent être surmontées avec l'utilisation de poissons monosexes femelles et monosexes femelles stériles.

Dans bien des cas, l'utilisation de salmonidés monosexes femelles est suffisante pour résoudre les problèmes parce que les femelles n'arrivent pas à maturité précocement comme les mâles. En effet, un pourcentage important des mâles arrive à maturité de façon précoce une année avant les femelles. Or, la production de poissons monosexes femelles permet de mettre en marché ces poissons à la taille désirée avant la maturité sexuelle, les mâles étant totalement absents.

C'est le cas par exemple de la truite arc-en-ciel, qui atteint le poids recherché pour le marché de la consommation de 1 à 1,2 kg, avant l'âge de la maturité sexuelle à 3 ans. Pendant la deuxième année, seul les mâles arc-en-ciel présentent un problème de maturation sexuelle, lesquels sont absents complètement d'une population composée à 100 % de femelles. L'utilisation de la truite arc-en-ciel monosexes femelle stérile est intéressante pour produire des poissons de 2 kg et plus sur le marché de la consommation, et des poissons de toutes tailles destinés au marché de l'ensemencement. La truite arc-en-ciel étant une espèce non indigène au Québec, l'ensemencement de poissons stériles en support à la pêche sportive empêche son établissement à demeure dans le milieu aquatique.

L'omble de fontaine arrive à maturité à 2 ans, soit une année plus tôt que la truite arc-en-ciel. Pour produire des ombles de fontaine du même poids que la truite arc-en-ciel (1 à 1,2 kg), destinés au marché de la consommation ou à celui de l'ensemencement, il est nécessaire de stériliser les poissons afin qu'ils atteignent la taille recherchée avant la puberté. La stérilisation ne donnant de bons résultats que chez les individus femelles, il est nécessaire de produire en premier des ombles monosexes femelles. En effet, les mâles stériles présentent les mêmes caractères sexuels

secondaires indésirables que les mâles fertiles, soit un ralentissement de croissance et une détérioration significative de la qualité de la chair. Par ailleurs, l'ensemencement d'omble de fontaine monosexes femelle stérile permet de préserver l'intégrité génétique des populations sauvages de cette espèce dans les plans d'eau naturels.

L'omble chevalier est destiné presque exclusivement au marché de la consommation au Québec et nous disposons de deux souches domestiquées : la souche Fraser issue du Labrador et la souche Nauyuk issue des Territoires du Nord-Ouest. Chez la souche Fraser, des mâles sont matures précocement à l'âge de deux ans et les deux sexes sont matures à l'âge de trois ans, comme pour la truite arc-en-ciel. La souche Nauyuk est à maturité tardive par rapport à la souche Fraser, et aucun poisson n'est mature avant l'âge de 4 ans. Cela permet de mettre en marché ces poissons au poids désiré (1,5 à 2,0 kg) sans avoir à craindre les problèmes liés à la maturité sexuelle. La production de l'omble chevalier Fraser monosexes femelle est intéressante parce que ces poissons atteignent le poids recherché pour le marché de la consommation avant la puberté.

2. La production de reproducteurs néomâles

Bien qu'il y ait absence de chromosomes sexuels morphologiquement bien différenciés chez la plupart des salmonidés, leur système de détermination du sexe est de type XX/XY (Bobe *et al.* 2010). Comme chez les mammifères, le sexe est déterminé par le mâle lors de la fécondation (Benfey *et al.* 2000). Dans les conditions normales, la moitié des spermatozoïdes contiennent un déterminant Y et l'autre moitié un déterminant X. Les œufs ne contiennent que le déterminant X. Un seul spermatozoïde féconde l'œuf, lequel devient mâle en présence du déterminant Y ou femelle en présence du déterminant X (Figure 2). Une descendance est ainsi constituée à 50 % de mâles génétiques (combinaison XY) et à 50 % de femelles génétiques (combinaison XX).

Le sexe génétique des salmonidés est déterminé à la fertilisation, mais la différenciation du sexe phénotypique – développement des cellules germinales mâles ou femelles à l'intérieur des gonades selon le sexe génétique des individus – a lieu sous l'action du système hormonal tôt pendant le développement de l'embryon (Bobe *et al.* 2010). L'administration d'une hormone mâle comme la testostérone permet de se substituer au système

hormonal du poisson et d'induire le développement de gonades mâles chez des femelles génétiques. Il est ainsi possible de transformer une femelle génétique en mâle phénotypique, ce que nous appelons un **néomâle**. Une population monosexuelle femelle de salmonidés est obtenue en fécondant des œufs avec du sperme provenant de néomâles. Ces poissons génétiquement femelles produisent à la maturité de la laitance contenant des spermatozoïdes porteurs exclusivement du déterminant X. La fertilisation d'œufs avec cette laitance produit une descendance composée exclusivement de femelles.

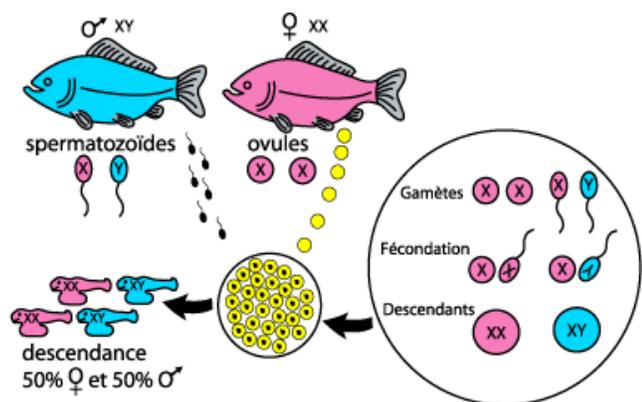


Figure 2 Déterminisme du sexe dans les conditions d'une fécondation normale

La production de néomâles dans une entreprise débute avec des œufs et/ou des alevins issus d'une reproduction normale dont 50 % des individus sont mâles et l'autre 50 % sont femelles. L'hormone masculinisante est administrée par bain aux œufs et alevins vésiculés et/ou dans l'aliment aux alevins pendant les premiers mois de l'alimentation alors que la différenciation sexuelle des gonades se produit (Figure 3).

Les traitements masculinisants à l'hormone stéroïde sont administrés précocement par bains aux œufs et aux alevins vésiculés et dans l'aliment par la suite chez les ombles. Le traitement masculinisant avec l'hormone est administré seulement dans l'aliment pendant environ 800 °C-jours depuis le début de l'alimentation chez la truite arc-en-ciel.

Les mâles génétiques, qui reçoivent ce supplément d'hormone masculine, demeurent des mâles. Par contre, un certain pourcentage des femelles génétiques sera transformé en mâles phénotypiques, sous l'effet de l'hormone mâle, lesquels développeront des gonades mâles à l'âge de la maturité sexuelle. Par la suite, ces poissons sont grossis normalement pendant une période de 2 à 3 ans, dépendant de l'espèce, pour devenir des reproducteurs.

À l'âge de la maturité sexuelle, les mâles génétiques sont facilement identifiables à leurs caractères phénotypiques et ils expulsent de la laitance. Ils sont éliminés et ne participent pas à la reproduction (Figure 3). Une partie des femelles génétiques n'aura pas été transformée par le traitement hormonal et ces poissons demeurent des femelles phénotypiques expulsant des œufs, elles sont éliminées. Par contre, plusieurs femelles génétiques seront devenues des mâles phénotypiques (néomâles) sous l'action de l'hormone, lesquels ont des gonades mâles contenant du sperme à la place des œufs ou à la fois des œufs et du sperme (hermaphrodite). Le sperme de ces néomâles est utilisé pour féconder des œufs, qui donneront une descendance à 100% femelle en l'absence totale du déterminant Y.

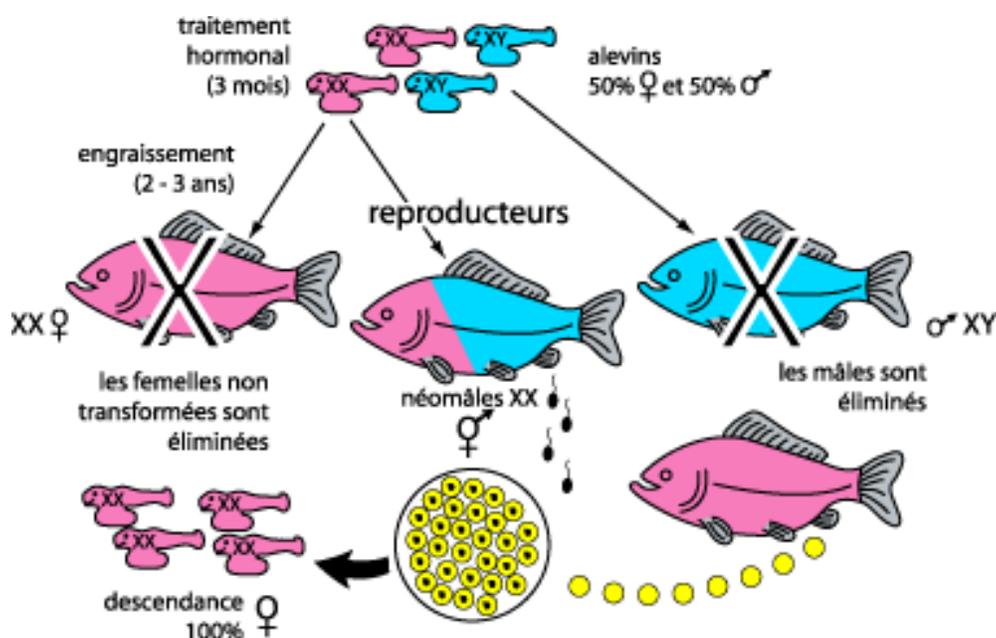


Figure 3 Schéma illustrant les étapes conduisant à la production d'une descendance de poissons 100% monosexes femelles où seulement les néomâles, des femelles génétiques transformées en mâles physiologiques au moyen d'un traitement hormonal, sont utilisés pour féconder les œufs

3. Traitements avec l'hormone

L'inversion de sexe est maîtrisée depuis de nombreuses années chez la truite arc-en-ciel. Elle se pratique à l'échelle commerciale dans les grandes entreprises productrices d'œufs et d'alevins pour un marché international. Le traitement hormonal avec la 17 α -méthyltestostérone (MT) dans l'aliment, à partir du début de l'alimentation des alevins, réussit très bien la production de néomâles.

L'inversion de sexe a été réalisée avec succès chez l'omble de fontaine en premier avec l'hormone 17 α -méthyldihydrotestostérone (MDTH) (Galbreath *et al*, 2003), et par la suite avec 17 α -méthyltestostérone (MT) (Haffray *et al*, 2009). Bien que l'on ait déterminé que la différenciation sexuelle des gonades se produit après le début de l'alimentation chez l'omble de fontaine (Sacobie et Benfey, 2005) et l'omble chevalier (Chiasson et Benfey, 2007), il a été démontré qu'il est nécessaire d'administrer des traitements hormonaux bien avant cette période pour réaliser l'inversion de sexe chez l'omble de fontaine (Haffray *et al*, 2009). Ainsi des traitements hormonaux sont administrés par immersion aux œufs et alevins vésiculés et dans l'alimentation des alevins par la suite.

Un lot d'alevins, qui constituera plus tard un stock de reproducteurs, doit être sélectionné. Le nombre d'œufs ou d'alevins à choisir doit tenir compte des

mortalités, pendant le début de l'alimentation et ensuite pendant le grossissement sur une période de 2 à 3 ans, avant que les poissons n'atteignent la maturité sexuelle. Les traitements avec l'une ou l'autre des deux hormones leurs sont administrés par immersion et dans l'alimentation ou seulement dans l'alimentation selon l'espèce.

Traitements par immersion

- Il est recommandé de maintenir les œufs ou les alevins vésiculés dans des paniers d'alevinage de manière à éviter de les siphonner régulièrement pour les traiter. Il suffit alors de déplacer ces paniers contenant les alevins dans le contenant servant à l'immersion.
- On recommande l'utilisation d'un contenant d'environ 10 litres pour effectuer le traitement par bain. Il est important de mesurer précisément le volume d'eau dans le contenant d'immersion de manière à pouvoir déterminer la concentration exacte de l'hormone pour le traitement.
- La température de l'eau dans le bac de traitement doit être la même que celle des unités d'alevinage.
- Il est important de s'assurer que la concentration de l'oxygène est suffisante pendant la durée de l'immersion, et d'oxygéner au besoin.
- Le traitement par immersion doit être administré à l'obscurité.

- La durée d'un traitement est normalement de 4 à 6 heures

Incorporation de l'hormone dans la moulée

La procédure suivante permet de préparer 1 kg de moulée contenant une concentration quelconque d'hormone (mg/kg) :

- Peser l'hormone (mg) au moyen d'une balance de précision de laboratoire;
- Dissoudre l'hormone avec quelques gouttes d'éthanol 95 %;
- Verser l'hormone dissoute dans 200 ml d'éthanol 95 % et bien mélanger;
- Verser le 200 ml d'éthanol contenant l'hormone dans un bol contenant 1 kg de moulée et bien mélanger de manière à ce que l'alcool contenant l'hormone soit bien incorporé à tout l'aliment;
- Étaler la moulée ainsi préparée en une couche mince sur une feuille de polyéthylène ou d'aluminium disposée sur une table dans une pièce bien aérée et chauffée;
- Laisser évaporer ainsi l'alcool pendant une période de 24 heures;
- Une fois l'alcool complètement évaporé, récupérer la moulée dans un bol, la diviser en portions suffisantes pour quelques jours de nourrissage, l'introduire dans des sacs de polyéthylène ou de petits contenants individuels et la conserver au réfrigérateur ou au congélateur;
- Les portions sont retirées du réfrigérateur ou congélateur au fur et à mesure des besoins.

Mesures de sécurité :

L'utilisation de l'alcool entraîne des vapeurs incommodantes et l'hormone ne doit pas entrer en contact avec la peau pour éviter toute absorption. Il est donc fortement recommandé que l'utilisateur porte des gants de caoutchouc minces et jetables après usage pour se protéger les mains et un masque sur la bouche de manière à éviter l'inhalation des vapeurs d'alcool. Il est important que les manipulations de l'hormone et de l'alcool se fassent dans une pièce bien aérée.

Nourrissage des poissons avec la moulée contenant l'hormone

- L'alimentation des alevins doit débuter avec l'aliment contenant l'hormone, autrement les poissons s'y habitueraient plus difficilement;
- Le lot d'alevins doit être nourri avec l'aliment contenant l'hormone pendant un nombre de °C-jours déterminé (ex. : 700 °C-jours = 70 jours à la température de 10 °C). Le lot de poissons est nourri selon les tables de rationnement pour la température de l'eau et selon les pratiques usuelles du producteur : mode de distribution de l'aliment et fréquence des repas.

Nous avons remarqué en expérimentant cette pratique au Québec que les entreprises disposant de températures de 9 ° à 11 °C pour l'alimentation réussissent mieux l'inversion de sexe que celles qui disposent d'une eau plus froide de 5 °C à 8 °C. Les alevins doivent absorber suffisamment de l'hormone pendant la période de différenciation sexuelle des gonades, ce qui ne se produit pas à une température trop froide.

4. Poursuite du grossissement des poissons jusqu'à la reproduction

Une fois le traitement hormonal complété, les poissons sont gardés à part et grossis pour constituer un stock de reproducteurs. La croissance de ces poissons doit être favorisée au maximum, de manière à ce qu'ils atteignent la plus grande taille possible à l'âge de la maturité sexuelle. L'omble de fontaine arrive à maturité à l'âge de deux ans, l'omble chevalier de la souche Fraser et la truite arc-en-ciel sont matures à 3 ans, alors que l'omble chevalier de la souche Nauyuk n'est mature qu'à l'âge de 4 ans.

5. Sélection des néomâles

Les néomâles doivent être sélectionnés lorsque les poissons atteignent la maturité sexuelle. Les mâles et les néomâles ont une apparence extérieure identique. Cependant, les mâles sont faciles à identifier parce qu'ils expulsent facilement de la laitance lorsqu'ils sont manipulés, alors que les néomâles ne laissent pas échapper de sperme. En effet, les néomâles ne présentent pas des gonades identiques à celles des mâles normaux et il est impossible d'en extraire la laitance par pression. Un poisson présentant l'apparence extérieure d'un mâle, mais dont la laitance ne s'échappe pas, comme on s'y attend normalement, est possiblement un néomâle.

Ces poissons sont tués avec un gourdin et la cavité abdominale est ouverte pour l'examen des gonades. Les gonades d'un néomâle sont globuleuses, de tailles inégales et localisées dans la partie antérieure de la cavité abdominale (Figure 4), comparativement aux gonades oblongues qui occupent toute la longueur de la cavité abdominale chez un mâle normal. Certains néomâles sont hermaphrodites, ils ont une gonade femelle et une gonade mâle (Figure 5). Les gonades d'un néomâle présentent peu ou pas de conduit pour acheminer le sperme à l'extérieur du poisson (spermiducte), ce conduit est le plus souvent atrophié et a l'apparence d'un mince fil, comparativement au mâle normal dont les gonades se prolongent jusqu'à l'orifice urogénital pour laisser sortir le sperme.

Il existe une différence importante dans la production des néomâles chez la truite arc-en-ciel par rapport aux ombles. Elle est plus facile à réaliser chez la truite arc-en-ciel, la méthodologie est publiée depuis plusieurs années, la production existe à l'échelle commerciale et l'identification des néomâles de façon certaine est relativement facile à faire. Par contre, les difficultés sont plus grandes chez l'omble de fontaine et l'omble chevalier, pour lesquels il existe moins de résultats de recherche et peu ou pas de production commerciale de ces poissons. Par ailleurs, l'identification des néomâles prête à confusion chez les deux espèces, où des mâles affectés par le traitement hormonal reçu au début de leur développement ont l'apparence d'un néomâle à maturité et sont confondus avec un véritable néomâle – une femelle génétique transformée en mâle phénotypique.

L'intervention du traitement hormonal apportant toutes sortes de variations dans le développement des gonades, il peut arriver que pour certains poissons, l'identification d'un néomâle d'une façon certaine soit difficile. Il est très important d'apporter une grande attention à l'identification correcte des néomâles, de manière à ne pas contaminer la descendance 100 % femelle recherchée par des mâles. Il vaut mieux éliminer des poissons dont l'identification est incertaine, plutôt que de risquer cette contamination.



Figure 4 Forme globuleuse caractéristique des gonades mâles chez un néomâle d'omble de fontaine

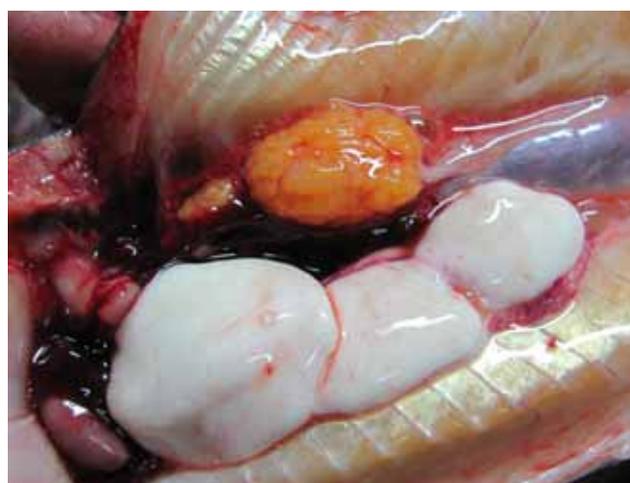


Figure 5 Néomâle d'omble de fontaine présentant une gonade mâle et une gonade femelle

6. Utilisation de la laitance des néomâles pour la fécondation des œufs

Une fois extraites d'un néomâle, les gonades sont épongées avec du papier pour enlever l'excès de sang. Elles sont ensuite déposées dans un petit plat ou assiette pour être lacérées au moyen d'un scalpel ou d'un couteau. La laitance s'en écoule alors dans le plat. Les gonades peuvent aussi être placées dans une petite passoire et pressées avec le dos d'une cuillère pour en extraire le plus possible de laitance.

La pratique de la fertilisation artificielle avec un liquide de dilution du sperme permet de faire une plus grande utilisation des gamètes mâles, en fertilisant plus d'œufs avec moins de laitance. Un liquide de dilution du sperme est une solution

saline qui inhibe l'activation et la motilité des spermatozoïdes. La composition du liquide est donnée au Tableau 1. Les solutions A et B sont préparées et conservées séparément. Elles ne doivent être combinées ensemble qu'au moment de l'utilisation dans les proportions prescrites. Le dilueur de sperme peut être utilisé à raison de trois volumes de dilueur par volume de sperme. Le sperme ainsi dilué peut être placé dans un contenant recouvert d'un coton fromage et réfrigéré pendant une nuit, pour une utilisation le lendemain. Un volume de 4 à 20 ml de sperme ainsi dilué peut féconder de 15 000 à 20 000 oeufs. Le dilueur de sperme est un liquide physiologique qui doit être réfrigéré pour en assurer la conservation sur une longue période.

7. Test de motilité des spermatozoïdes

Un test de motilité des spermatozoïdes peut être effectué afin de déterminer si la laitance est bonne

pour féconder des œufs. Il suffit de prélever quelques gouttes de la laitance du mâle à tester dans un petit récipient. Du fluide ovarien est aussi prélevé d'une femelle. Une goutte de sperme est déposée sur une lame de verre, à laquelle est ajoutée une goutte de fluide ovarien pour diluer le sperme et activer les spermatozoïdes. Une lamelle est déposée sur la préparation et l'observation est faite immédiatement au microscope à un grossissement de 100 X. La motilité des spermatozoïdes doit alors être visible par des petits points noirs qui se déplacent rapidement dans tous les sens. Si aucune motilité n'est perceptible, le sperme n'est pas bon pour réaliser la fécondation. Il est important de faire la mise au point du microscope au préalable, parce que l'intensité lumineuse et la chaleur dégagées par la lampe inhibent les spermatozoïdes en quelques secondes.

Tableau 1 Formulation utilisée pour préparer un liquide de dilution du sperme

Produits	Formule chimique	Concentration (g/l)
Solution A (4 volumes)		
Chlorure de potassium	KCl	9,0
Chlorure de sodium	NaCl	2,35
Phosphate de sodium monobasique	NaH ₂ PO ₄	0,51
Sulfate de magnésium	MgSO ₄ .7H ₂ O	0,29
Chlorure de calcium	CaCl ₂ .2H ₂ O	0,29
Solution B (1 volume)		
Bicarbonate de sodium	NaHCO ₃	5,0
Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	5,0

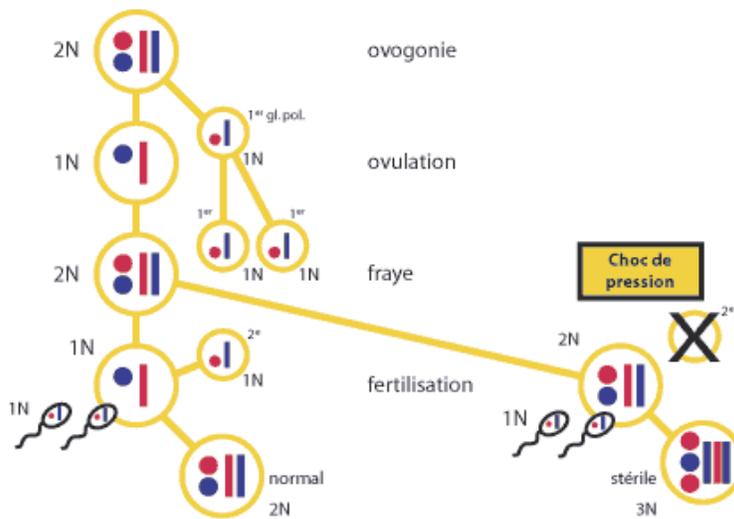


Figure 6 Illustration de l'effet du choc de pression sur le déroulement de l'ovogénèse pour produire des poissons stériles (3N)

8. Stérilisation

Dans des conditions normales, chacune des cellules de la plupart des animaux contient une paire (2N) de chacun des chromosomes dont une moitié provient de la mère (1N) et l'autre moitié du père (1N). L'omble de fontaine, l'omble chevalier et la truite arc-en-ciel ont respectivement 84 (42 paires), 80 (40 paires) et 60 (30 paires) chromosomes (Gjedrem 2005). La stérilisation consiste à produire des individus triploïdes ayant dans leurs cellules un triplet de chacun des chromosomes (3N) à la place d'une paire (2N) normalement. L'omble de fontaine, l'omble chevalier et la truite arc-en-ciel triploïde (3N) ont respectivement 126 (42 triplets), 120 (40 triplets) et 90 (30 triplets) chromosomes dans chacune de leurs cellules. Alors que les poissons diploïdes (2N) sont féconds, les poissons triploïdes (3N) sont stériles. L'appariement des chromosomes en triplets empêche la méiose de se dérouler normalement dans les cellules germinales pour produire des gamètes fertiles. Par contre, la multiplication des cellules somatiques se fait sans problème et permet aux individus de se développer normalement.

La stérilisation est réalisée au moyen d'un choc de pression administré aux œufs après la fertilisation. Le choc interfère dans le processus normal de la méiose en empêchant l'expulsion du 2^e globule polaire, contenant la moitié du bagage génétique (1N), à l'extérieur de l'œuf. Cela va ainsi former un embryon triploïde (3N) à la place de diploïde (2N). La figure 6 illustre l'effet du choc de pression sur l'ovogénèse.

Le choc de pression est administré au moyen d'un appareil composé d'un cylindre pouvant contenir les œufs immergés dans l'eau et d'un piston hydraulique permettant de bâtir la pression requise dans le cylindre (Figure 7). Les œufs sont soumis à une pression de 9 000 à 10 000 PSI pendant 5 minutes à 280-300 °C-minutes après la fertilisation (ex. : 35-38 minutes après la fertilisation à la température de 8 °C).



Figure 7 : Appareil utilisé pour administrer le choc de pression aux œufs nécessaire à produire des embryons triploïdes (3N)

9. Références

- Araguas, R.M., N. Sanz, C. Pla et J.L. Garcia-Marin (2004) Breakdown of the brown trout evolutionary history due to hybridization between native and cultivated fish. *Journal of Fish Biology*, 65 (Suppl. A): 28-37.
- Araki, H., B. Cooper, W.R. Arden *et al.* (2007) Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science* 318: 100-103.
- Benfey, T.J., D.J. Martin-Robichaud, C.I. Hendry, C. Sacobie, H. Tvedt et M. Reith (2000) Production of all-female populations of fish for aquaculture. *Bull. Aquacul. Assoc. Canada* 100(3) :13-15.
- Bobé, J., B. Breton *et al.* (2010) in Jalabert, B. et A. Fostier La truite arc-en-ciel de la biologie à l'élevage. Chapitre 2 Sexualité et reproduction, p. 39-81. Éditions QAE, ISBN : 978-2-7592-0875-3, 323 p.
- Caron, R. (2010) Les lacs du Québec génétiquement pollués. *Le Journal de Montréal*. 29 novembre 2010, p. 18.
- Chiasson, M. et T.J. Benfey (2007) Gonadal differentiation and hormonal sex reversal in Arctic Charr (*Salvelinus alpinus*). *Journal of Experimental Zoology* 307A: 527-534.
- Cliche, J.F. (2010) L'ensemencement affecte la génétique de la «truite mouchetée». *Le Soleil*, 27 juin 2010, p. 14.

- Finnegan, A.K. et J.R. Stevens (2008). Assessing the long-term genetic impact of historical stocking events on contemporary populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fisheries Management and Ecology* 15: 315-326.
- Galbreath, P.F. et S.D. Stocks (1999) Ineffectiveness of steroid immersion treatments for sex reversal of Brook Trout. *North American Journal of Aquaculture* 61: 206-212.
- Gjedrem, T. (2005) Selection and breeding programs in aquaculture. Akvaforsk Institute of aquaculture research, Springer, ISBN-10 1-4020-3341-9, 364 p.
- Godin, T. (2009) Canadian fisheries society develops sterile and all-female kokanee for sports fishery. *Hatchery International* 10(1): 1, 6-7.
- Marie, A.D., L. Bernatchez et D. Garant (2010) Loss of genetic integrity correlates with stocking intensity in brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Molecular Ecology* 19: 2025-2037.
- Morin, R. (2012) Production piscicole au Québec. Document d'information DADD-02. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 8 p. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche>
- Sacobie, C.F.D. et T.J. Benfey (2005) Sex differentiation and early gonadal development in Brook Trout. *North American Journal of Aquaculture* 67: 181-186.
- Small, M.P., K. Currens, T.H. Johnson, A.E. Frye et J.F. Von Bargaen (2009) Impacts of supplementation: genetic diversity in supplemented and unsupplemented populations of summer chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Puget Sound (Washington, USA). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66:1216-1229.
- Thomas, B.M. (1999) La triploïdie une réponse à la pollution génétique. *Aqua Revue* 84 : 29-30.

Référence à citer : Morin, R. (2012). « Production de salmonidés monosexes femelles et stériles ». Document d'information DADD-13. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 7 p. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche>

Pour signaler des modifications, contactez : Nadia Tremblay, technicienne en administration
Direction de l'aquaculture et du développement durable
200, chemin Sainte-Foy, 11^e étage
Québec (Québec) G1R 4X6
nadia.tremblay@mapaq.gouv.qc.ca
Téléphone : 418 380-2100 poste 3868
Télécopieur : 418 380-2194