



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
Laboratoire de Physiologie et Génomique des Poissons – LPGP

# Analyse de la reproduction de truites fario (*Salmo trutta fario*) du bassin du Lignon (Haute Loire)

Nicolas S., Mourot B., Fostier A.

---

RESUME : L'observation de l'absence de reproduction de truites fario, *Salmo trutta*, de taille compatible avec une maturité sexuelle normale a été faite, par une fédération de pêche du bassin du Lignon (Haute Loire). Afin d'établir un diagnostic, 37 animaux ont été sacrifiés en octobre 2011 pour une mesure de la taille et de poids, un examen macro- et microscopique des gonades et des foies, une mesure de l'oestradiol plasmatique et une estimation de l'âge. Par ailleurs, les ovules de 36 femelles ont été pesés en octobre-novembre. Parmi les animaux inféconds, 65% étaient des mâles dont les testicules n'ont pas développé de spermatogenèse active suffisante pour donner des spermatozoïdes. Les femelles infécondes avaient des ovaires montrant des signes de début de vitellogenèse, avec de faibles niveaux plasmatiques d'oestradiol, l'hormone de la vitellogenèse, par rapport aux femelles présentant un ovaire développé (moy.  $\pm$  IC 5% =  $0,11 \pm 0,05$  ng/ml versus  $4,42 \pm 1,37$  ng/ml). Ces ovaires contiennent aussi régulièrement des ovocytes en atresie, dont certains avaient atteint un stade avancé de vitellogenèse. Les femelles ovulantes ont des fécondités relatives de l'ordre de 2300 ovules/kg de poids du corps. D'une manière générale, les animaux sont âgés, 3+ et 4+ ans, et leurs coefficients de condition (K) sont bas ( $0,91 \pm 0,02$  ; n=70), 83% étant inférieurs à 1, et les animaux inféconds ont des K plus faibles ( $0,81 \pm 0,02$ ) que les animaux maturants ( $0,92 \pm 0,02$ ) qui incluent aussi davantage d'animaux âgés de 4ans. En conclusion, les hypothèses d'une intersexualité ou d'une triploidisation sont exclues. Il est plutôt suggéré qu'un déficit de productivité de la rivière (éventuellement lié à une surpopulation de poissons) et des perturbations thermiques pourraient être la cause de ces retards de gamétogenèse, par des effets indirects du fait d'une mauvaise croissance (déficit d'allocation d'énergie pour la reproduction) et des effets directs sur les mécanismes de régulation de la gamétogenèse.

## **Analyse de la reproduction de truites fario (*Salmo trutta fario*) du bassin du Lignon (Haute Loire)**

Nicolas Stéphane<sup>(1)</sup>, Mourot Brigitte<sup>(2)</sup>, Fostier Alexis<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche pour la Protection du Milieu Aquatique de la Haute-Loire (FDPPMA 43) 32 rue Henri Chas, 43000 Le Puy-en-Velay.

<sup>(2)</sup> Laboratoire de Physiologie et de Génomique des Poissons, Equipe Différenciation Sexuelle et Ovogenèse, Institut National de la recherche Agronomique, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex. ±

La Fédération départementale des associations agréées de pêche pour la protection du milieu aquatique de la Haute Loire (FDPPMA 43) a observé que des truites fario (*Salmo trutta fario*) du bassin du Lignon (Haute Loire) ayant des tailles compatibles avec la reproduction ne donnaient pas de gamètes. Une association de pêche (la Haute-Loire) s'appuie sur ses pêcheurs pour prélever des géniteurs sauvages de truite de taille supérieure à 25 cm. Ils sont maintenus dans un bief en attente d'une reproduction artificielle en automne qui alimente une éclosérie. Chaque année, environ 20.000 alevins sont ainsi produits. Au printemps, après résorption de leur vésicule vitelline, ils sont déversés dans le cours d'eau principal du bassin versant (Le Lignon du Velay). Un tiers des poissons en âge de se reproduire ne donneraient pas de gamètes. Le bassin versant est par ailleurs bien préservé et les pressions humaines plutôt réduites : zone d'élevage extensif (bovin), une seule agglomération de plus de 2.000 habitants, une pisciculture commerciale de salmonidés (truite fario, truite arc-en-ciel, saumon de fontaine) destinés à la consommation et au repeuplement. Sur les cours d'eau du bassin versant, aucun poisson d'élevage n'est introduit (en dehors des 0+ pré-cités).

Un diagnostic a été réalisé en période de reproduction sur des animaux capturés dans le cours principal (Le Lignon du Velay) et maintenus dans le bief de l'éclosérie de Chambon-sur-Lignon jusqu'à la date de prélèvement.

### **METHODES**

#### Prélèvements et mesures morphométriques

Les poissons, pêchés dans la rivière, étaient maintenus dans un bief de l'éclosérie de Chambon-sur-Lignon (45°03'21"N, 4°18'32"E). Le 10 octobre 2011, 37 poissons ont été anesthésiés par du phénoxyéthanol (3 ml/10l). Environ 1ml de sang a été prélevé dans des seringues héparinées (rinçage par héparinate de lithium à 1.000 UI/ml). Le sang a été

conservé sur glace jusqu'au retour, le lendemain soir, au laboratoire de l'INRA et centrifugé à 3.000g. Le plasma a été collecté et conservé à -20°C pour analyse ultérieure des niveaux d'oestradiol-17 $\beta$ , pris comme indicateur de vitellogenèse.

Les animaux ont été euthanasiés par assommage. Leur longueur totale a été mesurée au millimètre près et le poids au gramme près. Le coefficient de condition de Fulton a été calculé selon la formule :  $K = 10^5 * P / LT^3$ , avec P en g et LT en mm.

Après ouverture de l'abdomen, les gonades ont été observées à l'œil nu et un sexe a été attribué à chaque poisson. Quelques photographies des poissons et des gonades ont été prises. Des échantillons de gonade et de foie ont été prélevés systématiquement sur les poissons présentant des gonades peu développées et fixés immédiatement dans des cassettes d'histologie plongées dans une solution de Bouin-Hollande pour analyse ultérieure.

Par ailleurs, les ovules de 36 femelles ont été collectés et pesés les 13 et 26 octobre, et les 1<sup>er</sup>, 9 et 15 novembre.

### Âges

Des écailles ont été conservées pour estimer l'âge des poissons par scalimétrie.

### Analyse histologique

Les échantillons ont été rincés à l'eau puis déshydratés dans une série de bain d'alcools (méthanol et butanol) de concentration croissante avant inclusion dans de la paraffine (Gabe, 1968). Cinq coupes de 5 $\mu$ m d'épaisseur ont été réalisées par échantillon, déposées sur lames et colorées à l'Hématoxyline de Régaud avant montage sous lamelle et observation sous microscope Leica DMRB (grossissements de 25 à 1000 fois). Des images ont été prises avec une caméra Leica DP71 et traitées avec le logiciel Cell d'Olympus.

### Analyse endocrinienne

Les plasmas ont été extraits par un mélange cyclohexane:acétate d'éthyl (50 :50). Après collecte et évaporation de la phase organique, les extraits secs sont dissous dans un tampon phosphate. Deux aliquotes de chaque échantillon sont utilisés pour un dosage radioimmunologique spécifique à l'oestradiol (Fostier et Jalabert, 1986). La sensibilité du dosage était de 20 pg/ml ( $p < 0,01$ ) de plasma et son coefficient de variation de 7%.

### Statistiques

Les longueurs, poids, coefficients de condition et teneurs plasmatiques en oestradiol-17 $\beta$  ont été comparés entre groupes. Lorsque les variances étaient homogènes (test de Bartlett), une analyse de variance à un facteur a été réalisée puis des comparaisons deux à deux avec le test de Tukey. Lorsque les variances étaient hétérogènes, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été appliqué. Les moyennes sont considérées comme significativement différentes lorsque la probabilité de déclarer égales des moyennes inégales était de  $p \leq 0.05$ . Ces analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (<http://www.r-project.org/>)

La répartition des d'âges entre 3+ et 4+ selon les groupes a été analysés par un test du Chi2.

## RESULTATS

### Morphologies des gonades

Quatre catégories ont pu être distinguées au sein de 37 animaux examinés: des femelles aux ovaires peu développés (n=8 ; groupe qualifié 'Femelles infécondes' : Fi), des mâles aux testicules peu développés (n=15 ; groupe qualifié 'Mâles inféconds' : Mi), des femelles aux ovaires développés pouvant parfois expulser des ovules (n=9 ; groupe qualifié 'Femelles matures' : Fm), des mâles émettant du sperme (n=5 ; 'groupe qualifié 'Mâles matures' : Mm). Le sexe de 2 males du groupe Mi n'a pu être identifié à l'œil nu, mais seulement par l'observation histologique. L'affectation des autres animaux dans les différents groupes, par simple observation à l'œil nu, a été confirmée par les observations histologiques de leurs gonades. Au sein de l'échantillon, 62,2% des animaux présentaient des gonades peu développées, dont 65% étaient des mâles (Tableau 1).

### Âges

Les âges de 32 poissons ont pu être déterminés. Deux tiers d'entre eux ont 3+ ans et un tiers 4+ ans. Les groupes dont la gonade est la plus développée sont en moyenne plus âgés (Tableau 1), mais les effectifs sont trop faibles pour que ces différences soient statistiquement significatives. Cette différence devient statistiquement significative si l'on compare l'ensemble des poissons 'inféconds' aux poissons 'matures', quel que soit le sexe (Chi2,  $p = 0.021$ ).

**Tableau 1 : Pourcentages selon les groupes de maturité sexuelle au sein de l'échantillon examiné et des poissons âgés de 4+ ans selon ces groupes**

Groupes	% des groupes au sein de l'échantillon	% 4+ au sein des groupes	N total	N d'âge connu
<b>Fi</b>	21,6	25,0	8	8
<b>Fm</b>	24,3	44,4	9	9
<b>Mi</b>	40,6	25,0	15	12
<b>Mm</b>	13,5	66,7	5	3
<b>Fi+Mi</b>	62,2	25,0*	23	20
<b>Fm+Mm</b>	37,8	58,3*	14	12
<b>Total</b>	100	34,4	37	32

N=Effectif de poissons de chaque groupe dont l'âge a pu être déterminé

\* Fréquences significativement différentes

## Données morphométriques

Il n'y a pas de différence significative des poids et longueur entre sexes pour les poissons prélevés le 10 octobre (n=37). Ceci reste vrai en considérant tous les poissons prélevés en automne 2011 (n=73). Les poids et tailles augmentent significativement avec l'âge, mais le coefficient de condition ne varie pas (Tableau 2).

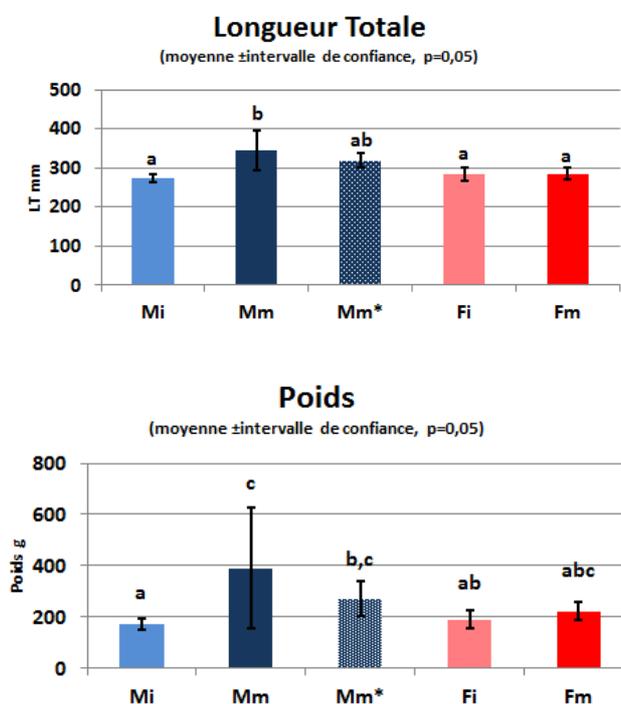
**Tableau 2 : Poids et taille selon l'âge des poissons**

	Âge	
	3+	4+
<b>Poids (g)</b>	170 ± 46	239 ± 25*
<b>Longueur totale (mm)</b>	270 ± 8	302 ± 8*
<b>Coefficient de condition</b>	0,85 ± 0,04	0,86 ± 0,07

Moyenne ± intervalle de confiance à 5%

\*Moyennes des 4+ significativement plus élevées que celles des 3+

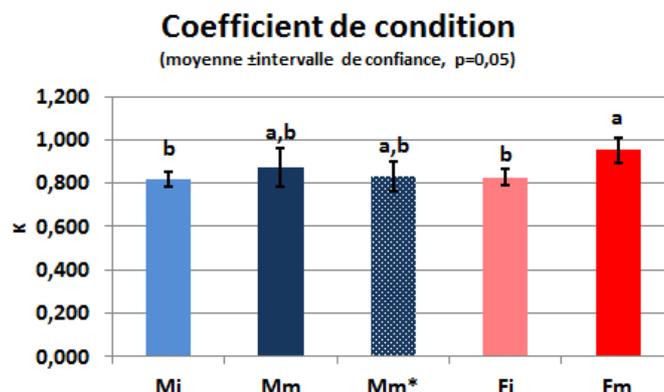
Le groupe de mâles Mm contenait un animal de taille et de poids très supérieurs à la moyenne du groupe et pourrait être plus âgé. Un groupe Mm\* a été constitué sans cet animal pour les analyses. Les moyennes des longueurs totales et des poids sont identiques entre groupes, à l'exception de la moyenne des poids du groupe Mi significativement inférieure à celle des groupes Mm et Mm\* (Figure 1). Cette différence n'est plus significative au sein de chaque groupe d'âge, 3+ et 4+ (cependant, les effectifs à comparer deviennent alors faibles).



**Figure 1 – Longueurs totales et poids des poissons selon les groupes de maturité sexuelle.**

Fi = 'Femelles infécondes', Mi = 'Mâles inféconds', Fm = 'Femelles matures', Mm = 'Mâles matures'. Dans le groupe Mm\*, un mâle de poids deux fois supérieur à la moyenne a été retiré pour l'analyse. Des lettres minuscules identiques au-dessus des blocs indiquent l'égalité des moyennes ; différentes, elles indiquent une différence significative entre les moyennes ( $p \leq 0,05$ ).

La moyenne des coefficients de condition du groupe Fm est significativement plus élevée que celles des groupes des poissons 'inféconds', Mi et Fi (Figure 2).



**Figure 2 – Coefficients de condition des poissons selon les groupes de maturité sexuelle.**  
Voir la légende de la figure 1

Ceci se confirme au sein de la classe d'âge 3+, mais non au sein de la classe d'âge 4+, les effectifs étant faibles. Cependant, l'ensemble des poissons non matures (Fi+Mi) présentent un coefficient de condition moyen significativement inférieur à celui de l'ensemble des poissons matures (Fm+Mm), et ceci se vérifie au sein de chaque classe d'âge (Tableau 3).

**Tableau 3 : Coefficients de condition selon la maturité sexuelle**

	Tous âges	3+	4+
<b>Fi+Mi</b>	0,81 $\pm$ 0,02	0,80 $\pm$ 0,05	0,83 $\pm$ 0,05
<b>Fm+Mm</b>	0,92 $\pm$ 0,05*	0,97 $\pm$ 0,08*	0,88 $\pm$ 0,06*

Moyenne  $\pm$  intervalle de confiance à 5%

\*Moyennes des Fm+Mm significativement plus élevées que celles des Fi+Mi

### Observations histologiques

#### Foie :

Les foies avaient une couleur et un aspect normaux à l'œil nu. Aucune anomalie, de type nécrose ou zone hémorragique, n'a pu être détectée dans les coupes histologiques des foies (Photos 1).

#### Gonades :

Aucun signe d'intersexualité n'a pu être détecté, que ce soit par la présence d'ovocytes au sein de testicules ou de cystes testiculaires au sein d'ovaires. A l'exception des femelles du groupe Fm qui présentent des ovocytes en fin de vitellogenèse, les stades d'ovogenèse s'étalent de l'ovogonie au début de la vitellogenèse exogène (Photos 2 : A à F). On trouve aussi des follicules post-ovulatoires dans les ovaires du groupe Fm (Photo 2G).

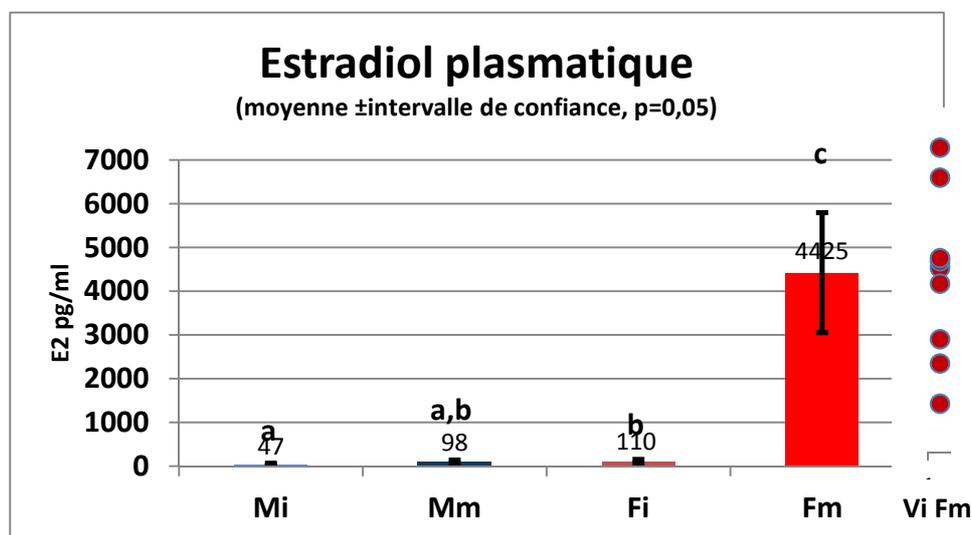
Tous les ovocytes qui ont pu être repérés à un stade de vitellogenèse exogène avancée sont en atresie (Photo 2H). Ces atresies de follicules en vitellogenèse peuvent être détectées à l'œil nu (Photos 3).

Les ovocytes des ovaires de toutes les femelles du groupe Fi présentent des figures d'atresie à différents stades de développement (Photos 3 et 4A à 4G). Au sein de l'ovaire de la seule femelle du groupe Fm ayant donné lieu à une analyse histologique, on retrouve des follicules post-ovulatoires vides de leurs ovocytes, mais également des ovocytes en vitellogenèse atretiques (Photo 4H). Cependant, à l'œil nu, les ovocytes du groupe Fm paraissent bien développés et normaux (Photo 5).

Les testicules des mâles présentent le plus souvent des cellules germinales au stade de gonies (Photo 6A), spermatocytes en cours de division méiotique, ou même des spermatides sont parfois visibles (Photo 6B), signant des signes localisés d'entrée en spermatogenèse de certains cystes qui sont plus ou moins ouverts. Pour l'ensemble des prélèvements du groupe Mi, dont les testicules sont macroscopiquement peu développés (Photo 7 et 8), les stades testiculaires se situent entre II, III et IV sur les neuf stades définis par Billard et Escaffre (1977), la spermiation débutant au stade VI dans leur classification (Photos 7 et 8). On ne voit pas de différence de stades selon l'âge.

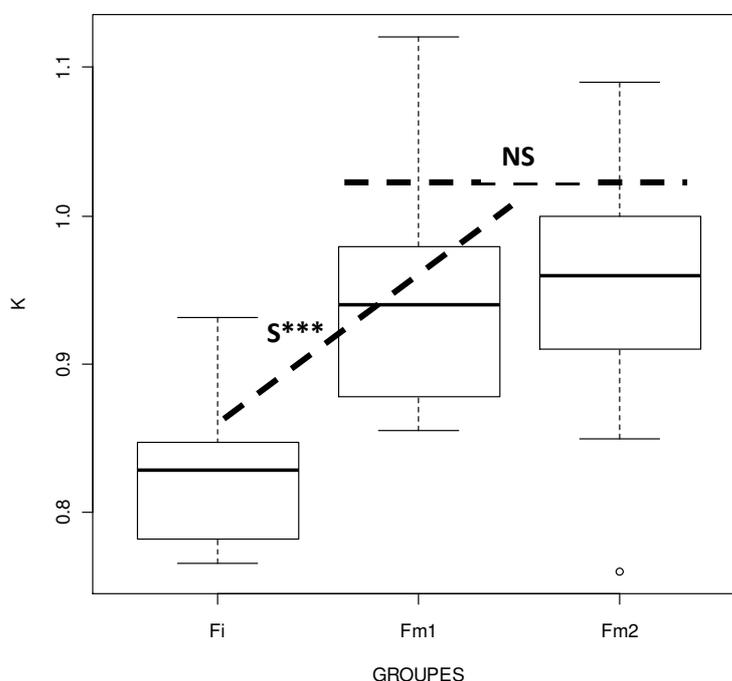
### Analyse endocrinienne

Les niveaux plasmatiques d'oestradiol des mâles (Mi et Mm) restent faibles, et ceux des femelles Fi très inférieurs à ceux des femelles Fm (Figure 3). Les niveaux de ces dernières sont hétérogènes (de 1,2 à 7,7 ng/ml), le niveau le plus faible correspondant à une femelle ovulante.



**Figure 3 – Niveaux plasmatiques d'oestradiol des poissons au sein des différents groupes de maturité sexuelle.** Fi = 'Femelles infécondes', Mi= 'Mâles inféconds', Fm = 'Femelles matures', Mm = 'Mâles matures'. Des lettres minuscules identiques au-dessus des blocs indiquent l'égalité des moyennes ; différentes, elles indiquent une différence significative entre les moyennes ( $p \leq 0.05$ ). Les 9 valeurs individuelles des femelles Fm sont reportées à la droite du graphique (Vi Fm).

significativement différents du groupe Fm1, mais, comme pour les Fm1, sont supérieurs à ceux des femelles Fi (Figure 4).



**Figure 4 – Coefficients de condition dans les groupes de femelles infécondes (Fi) ou maturantes (Fm1 et Fm2). Diagramme en boîte, montrant les valeurs extrêmes, la médiane (ligne en traits gras horizontale) et le premier et troisième quartile (boîte interquartiles).**

La production d'ovules, estimée par leur poids total, est corrélée au poids ou à la taille de 35 femelles échantillonnées d'octobre à novembre 2011. Une seule femelle de poids élevé mais de petite taille a donné très peu d'ovules (entourée d'un cercle sur la Figure 4). Si l'on ne considère que les poissons de poids inférieurs à 350 g ( $n=33$ ), les corrélations de Pearson sont hautement significatives ( $p<0.001$ ) et respectivement de 0,88 et 0,82 (Figure 5).

Par contre, il n'y a aucune relation entre le coefficient de condition des femelles de poids inférieurs à 350g et leur production d'ovule (Figure 6).

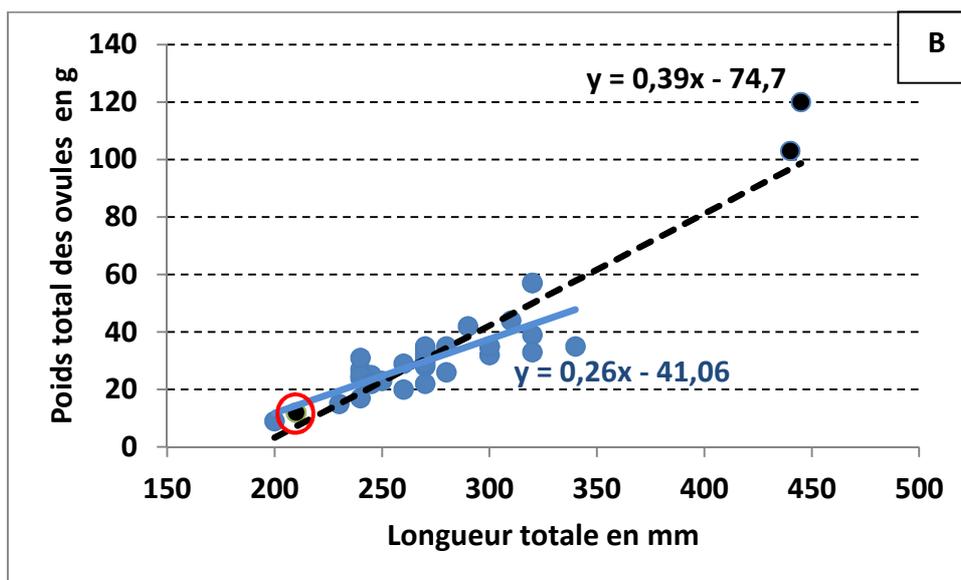
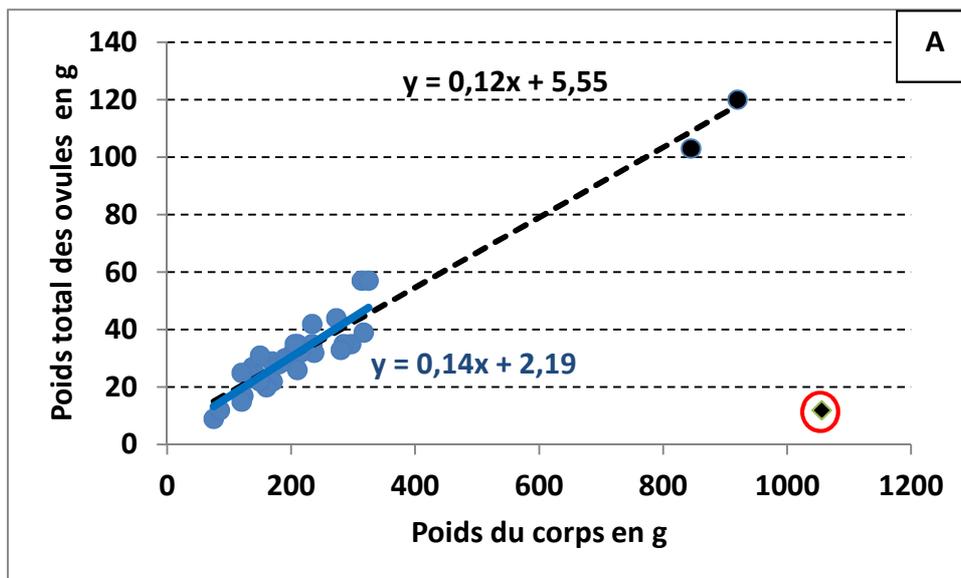


Figure 5 – Relations entre poids du corps (A) ou longueur totale (B) de femelles collectées de à 2010 et leur production pondérale d'ovules.

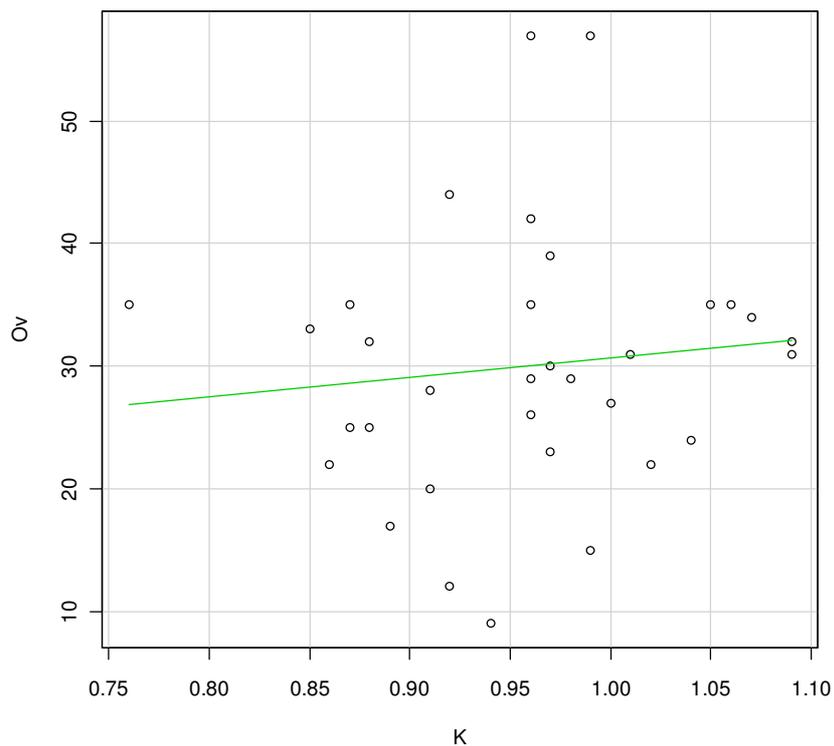


Figure 6 – Relation entre coefficient de conditions des femelles de moins de 350g et production pondérale d'ovules.

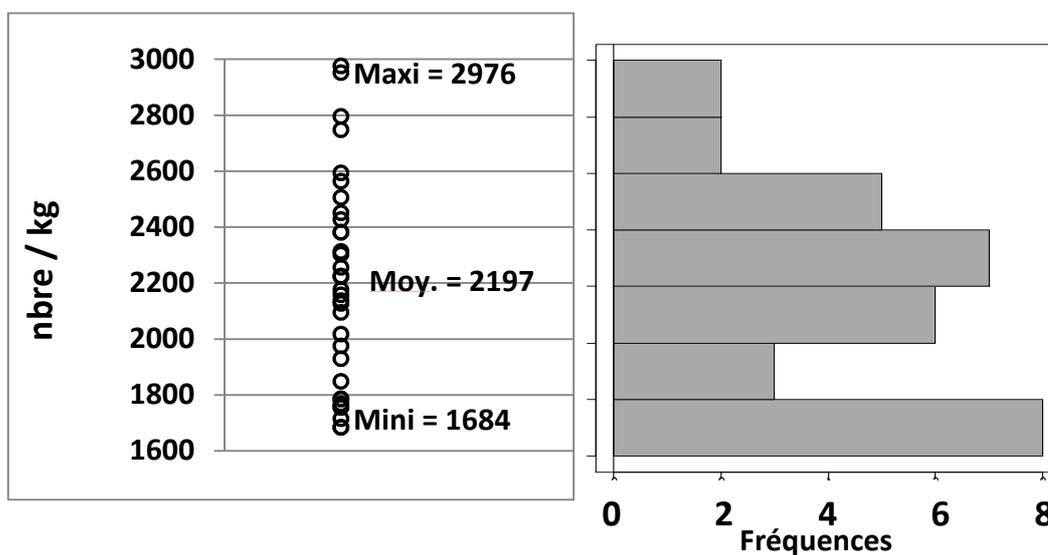


Figure 7 – Estimation de la fécondité des femelles ovulantes ( $P < 350g$ ,  $n=33$ ), en nombre d'œufs par kg de poids du corps, et en faisant l'hypothèse d'un poids moyen individuel d'œuf de 70 mg. Panel de droite : distribution de fréquences des femelles au sein de 7 classes de fécondité relative d'amplitude  $n=200$  ovules/kg.

Le poids des ovules n'avait pas été estimé et il n'est donc pas possible de connaître avec certitude la fécondité relative des femelles prélevées. Cependant, à partir de données prises dans la littérature (moyennes de 69 à 77 mg pour Randák et al., 2006) nous avons fait l'hypothèse d'un poids moyen de 70 mg/ovule afin d'obtenir des ordres de grandeur de fécondité relative. Les fécondités relatives estimées s'étalent de 1.700 à 3.000 ovules/kg poids du corps, pour une moyenne de 2.300 (écart type = 370) (Figure 7).

## DISCUSSION

Il n'a pas été détecté de poissons stériles, au sens où il n'auraient pas, ou très peu, de cellules germinales dans les gonades. De fait, tous les stades de la gamétogenèse femelle, exceptés des ovocytes ayant achevé leur méiose (maturation méiotique) mais non ovulés, et de la gamétogenèse mâles (des mâles émettant du sperme ayant été détectés) ont été trouvés.

Les ovocytes de truites farios triploïdes restent au stade périnucléolaire (Kizak et al., 2013), alors que l'on peut observer chez les animaux du Lignon des stades plus avancés. Les femelles infécondes ne sont donc pas, a priori, des femelles triploïdes éventuellement échappées de piscicultures où cette technique serait pratiquée. Ceci pourrait être confirmé par la mesure de la ploïdie de ces animaux inféconds.

Il n'a pas été détecté de signe d'intersexualité comme cela a été rapporté chez la truite fario dans des rivières polluées (Körner et al., 2005 ; Bjerregaard et al., 2006). Par ailleurs, l'aspect et l'histologie des foies n'indiquent pas une exposition aiguë à des hépatotoxiques ou un dérèglement métabolique significatif.

Les animaux inféconds (62% du premier échantillon de 37 poissons) sont soit des femelles (35% des inféconds) présentant des signes de perturbation de la vitellogenèse avec, systématiquement, des atrésies ovocytaires, soit des mâles (65% des inféconds) n'ayant pas engagé de spermatogenèse active. Le fait que des ovocytes en vitellogenèse avancée soient en atrésie indique que les perturbations de l'ovogenèse peuvent apparaître tardivement dans le cycle ovogénétique.

Des animaux du groupe Fm présentaient des follicules post-ovulatoires mais aussi des ovocytes en vitellogenèse et des ovocytes atrétiques. Des atrésies en fin de cycle ont déjà été rapportées lors de l'étude d'un cycle sexuel de la truite fario d'une pisciculture près de Cardiff (Llandegfedd, UK) (Billard et al., 1987). Par ailleurs des niveaux plasmatiques élevés d'oestradiol, hormone de la vitellogenèse, sont encore présents dans le groupe Fm alors qu'ils sont connus comme faibles en période péri-ovulatoire chez la truite fario (Breton et al., 1982) comme chez les autres salmonidés (Goetz et al., 1987). Ces femelles n'avaient donc probablement achevé complètement leur vitellogenèse.

D'une manière générale les coefficients de condition de tous les animaux analysés (N=70) sont faibles, 83% étant inférieurs à 1 (minimum = 0,75, maximum = 1,12, moyenne  $\pm$  IC5% = 0,91  $\pm$  0.02 ; n=70). A titre de comparaison, des farios sauvages prélevées en Tchéquie pendant 3 ans (2002-2004) dans la rivière Blanice (49°03' N, 14°01'E ; température moyenne annuelle de 8,9 $\pm$ 6,7°C) avaient, pour des poids moyens de 222 à 247g, des coefficients de conditions compris entre 1,45 et 1,60 (Randák et al., 2006). Cependant, les

groupes des femelles maturantes (Fm1 et Fm2) présentent un coefficient de condition très significativement supérieur aux femelles infécondes (Fi), bien qu'il n'y ait pas de relation entre la quantité d'ovules produite et le coefficient de condition. En faisant l'hypothèse d'un poids moyen par ovule de 70 mg, la fécondité moyenne est de 2.300 ovules/Kg ce qui est cohérent avec les observations de Randák et al., (2006) citées plus haut.

## CONCLUSION

Les poids des poissons prélevés dans le Lignon (Chambon-sur-Lignon) en automne 2011 (n=83) s'étaient de 75 à 1056 g (LT de 200 à 445 mm) ; mais 91% se situaient entre 100 et 350g (LT de 240 à 340 mm) ; 46% étaient des femelles et, pour 33 d'entre eux dont l'âge a pu être déterminé, 64% avait 3+ ans et les autres 1 an de plus.

Tous ces poissons possédaient des gonades contenant des cellules germinales. Aucun signe d'intersexualité n'a pu être détecté et l'histologie des foies paraissait normale. Les mâles ne donnant pas de sperme présentaient des testicules 'immatures', c'est-à-dire n'ayant pas engagé de spermatogenèse active. Les femelles ne donnant pas d'ovule présentaient des ovaires avec des ovocytes atrésiques à différents stades de vitellogenèse, ceci associé à de faibles niveaux plasmatiques d'oestradiol-17 $\beta$ , l'hormone stéroïdienne vitellogénique. Le stade avancé de développement de leurs ovocytes ne permet pas de soupçonner une triploïdie chez ces femelles infécondes. Les ovaires des femelles ovulantes contenaient des ovocytes engagés dans leur vitellogenèse avec des niveaux plasmatiques d'oestradiol encore élevés.

D'un point de vue morphométrique, la seule différence significative entre poissons inféconds et poissons donnant des gamètes portent sur le coefficient de condition, et ceci aussi bien chez les 3+ que les 4+. D'une manière générale, les coefficients de condition sont faibles par rapport à ce qui est rapporté ailleurs et ces coefficients ne s'améliorent pas avec l'âge. On peut donc penser que les femelles infécondes rencontrent des conditions ne leur permettant pas d'assurer une vitellogenèse complète à leurs ovocytes, ce qui va entraîner des atrésies avant d'atteindre le stade de maturité permettant une ovulation normale. Chez les mâles, il y a un retard de spermatogenèse très important, puisque 3 mâles de 4+ ans ont été trouvés parmi les 11 mâles inféconds dont l'âge a pu être estimé.

Ces perturbations et/ou retards de gamétogenèse sont très probablement liés à des facteurs externes, et en particulier une productivité insuffisante de la rivière en fonction de la densité de population de poisson (McFadden et al., 1965) et/ou des épisodes thermiques défavorables (Lahnsteiner and Leitner, 2013). La densité peut affecter la croissance (Bohlin et al., 2002), mais dans une rivière froide, une élévation modérée de la température peut cependant compenser l'effet négatif d'une sur-densité (Baerum et al., 2013). Par contre une température trop élevée sera défavorable. Ainsi, Elliott et Elliot (2010) identifient des limites inférieures et supérieures à la croissance de *S. trutta* se nourrissant d'invertébrés de, respectivement, 2,9-3,6°C et 18,2-19,5°C, avec un optimum à 13,1-14,1°C. Des températures excessives pendant la période de vitellogenèse et de ponte peuvent affecter le développement de la gonade du fait d'une croissance insuffisante et un déficit en énergie disponible pour la gonade, mais aussi par des effets directs sur la régulation de la reproduction. Par exemple, chez le saumon Atlantique, des pics de température à différentes période de l'ovogenèse peuvent être délétères pour le développement de la

gonade (King et al., 2007). Aussi, un suivi de la température et de la productivité du Lignon du Velay donnerait des informations utiles à la gestion de ses populations de truites fario.

## REFERENCES

- Baerum, K.M., Haugen, T., Kiffney, P., Olsen, E.M., Vollestad, L.A., 2013. Interacting effects of temperature and density on individual growth performance in a wild population of brown trout. *Freshwater Biol.*, 58 : 1329–1339.
- Billard, R, Escaffre, A.M., 1975. Identification des stades de la spermatogenese de la truite fario d'apres la morphologie des gonades et la spermiation. *Bull. Fr. Piscic.* , 256:111-116.
- Billard, R., 1987. The reproductive cycle of male and female brown trout (*Salmo trutta* fario): a quantitative study. 27:29:44.
- Bjerregaard, L.B., Madsen, A.H., Korsgaard, B., Bjerregaard, P., 2006. Gonad histology and vitellogenin concentrations in brown trout (*Salmo trutta*) from Danish streams impacted by sewage effluent. *Ecotoxicology*, 15: 315–327.
- Bohlin, T., Sundstrom, L.F., Johnsson, JI, Hojesjo, J., Pettersson, J., 2002. Density-dependent growth in brown trout: effects of introducing wild and hatchery fish. *J. Anim. Ecol.*, 71 : 683-692.
- Breton B., Fostier A., Zohar Y., Le Bail P.Y., Billard B., 1983. Gonadotropin glycoproteique maturante et oestradiol-17b pendant le cycle reproducteur chez la truite fario (*Salmo trutta*) femelle. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 49 : 220-231.
- Elliott, J.M., Elliott, J.A., 2010. Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *J. Fish Biol.*, 77: 1793–1817.
- Fostier, A. , Jalabert, B., 1986. Steroidogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at various preovulatory stages: changes in plasma hormone levels and in vivo and in vitro responses of the ovary to salmon gonadotropin. *Fish.Physiol Biochem.* **2(1)**, 87–99
- Gabe, M., 1968. Techniques histologiques. Masson (Paris).
- Goetz, R.W., Fostier, A., Breton, B., Jalabert, B., 1987. Hormonal changes during meiotic maturation and ovulation in the brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Fish Physiol. Biochem.*, 3 : 203-211.
- King, H. R., Pankhurst, N.W., Watts, M., 2007. Reproductive sensitivity to elevated water temperatures in female Atlantic salmon is heightened at certain stages of vitellogenesis. *J. Fish Biol.*, 70 : 190–205.

Kızak, V., Güner Y., Murat Türel M., Murathan Kayım M., 2013. Comparison of Growth Performance, Gonadal Structure and Erythrocyte Size in Triploid and Diploid Brown Trout (*Salmo trutta fario* L, 1758). Turk. J. Fish. Aquat. Sci., 13 : 571-580.

Körner, O., Vermeirssen, E.L.M., Burkhardt-Holm, P., 2005. Intersex in feral brown trout from Swiss midland rivers. J. Fish Biol. 67: 1734–1740.

Lahnsteiner, F., Leitner, S., 2013. Effect of Temperature on Gametogenesis and Gamete Quality in Brown Trout, *Salmo trutta*. J. Exp. Zool. Part A, 319 : 138-148.

McFadden, J.T., Cooper, E.L., Andersen, J.K., 1965. Some effects of environment on egg production in brown trout (*Salmo trutta*). Limnol. Oceanogr., 10, 88 - 95.