



**HAL**  
open science

## La production de truites stériles par voie génétique

B. Chevassus, Edwige Quillet, Daniel Chourrout

► **To cite this version:**

B. Chevassus, Edwige Quillet, Daniel Chourrout. La production de truites stériles par voie génétique. Pisciculture Française d'Eau Vive et d'Etang, 1984, 78, pp.10-19. hal-01601047

**HAL Id: hal-01601047**

**<https://hal.science/hal-01601047>**

Submitted on 2 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

# LA PRODUCTION DE TRUITES STÉRILES PAR VOIE GÉNÉTIQUE

B. CHEVASSUS, E. QUILLET \* et D. CHOURROUT

I.N.R.A. - Laboratoire de Physiologie des Poissons 78350 JOUY-EN-JOSAS  
\* IFREMER - Centre de Brest. B.P. 337. 29273 BREST Cedex.

*Il y a une quinzaine d'années, la production de truites dans le monde était essentiellement réalisée en eau douce et ne concernait que des animaux de petite taille ("portions"). Les premiers essais d'élevage en mer initiés par différents pays et l'essor impressionnant que connaît actuellement cet élevage, en Norvège notamment, ont mis l'accent sur l'intérêt que pouvait présenter la production de "grosses" truites, que ce soit pour le marché du frais ou pour une transformation comme le fumage. La possibilité de produire également ces grosses truites en eau douce a donc amené certains producteurs à envisager une réorientation partielle de leur exploitation vers la production de tels animaux.*

*Il apparaît difficile de préciser actuellement l'intérêt économique d'une telle réorientation. Par contre, il est devenu rapidement évident que la maturation précoce des animaux constituait un point de blocage majeur pour ce type de production. Cette maturation conduit en effet à un ralentissement de croissance, à une diminution de la qualité des animaux et à des mortalités souvent importantes, que ce soit chez les mâles (problèmes de mycoses) ou chez les femelles (notamment lorsqu'elles ne sont pas vidées de leurs œufs).*

*C'est pourquoi de nombreuses recherches ont été engagées au cours de la dernière décennie pour tenter de résoudre ce problème. Deux approches différentes peuvent être distinguées :*

*— L'une visant à retarder la maturation sexuelle : ceci peut être obtenu soit par la manipulation de facteurs de l'environnement (lumière, température, taux d'alimentation) soit par voie génétique (obtention de populations monosexes femelles ou de souches à maturation tardive). Le lecteur pourra trouver des données sur ces divers aspects dans les articles de CHEVASSUS et al. (1979 a et b), BILLARD (1983), BOURLIER et BILLARD (1984).*

*Nous ne détaillerons dans cet article que les techniques d'obtention de populations monosexes, dans la mesure où elle constitue également l'un des éléments de la seconde approche.*

*— L'autre visant à bloquer définitivement la maturation sexuelle. Deux types de techniques sont envisageables : l'emploi de traitements stérilisants (rayonnements, traitements chimiques) ou une approche par voie génétique. Si certains agents stérilisants comme les rayonnements gamma (TASHIRO, 1972) ou les hormones stéroïdes (JALABERT et al., 1975; VAN DEN HURK et SLOF, 1981; HUNTER et al., 1982) apparaissent effectivement efficaces, il nous semble peu souhaitable à l'heure actuelle de les utiliser au niveau de la production, compte tenu de l'image de marque négative que risquerait de prendre rapidement un produit issu de tels traitements.*

*Par contre la combinaison de diverses méthodes génétiques permet d'envisager à court terme la production commerciale d'animaux stériles sans recueillir de telles critiques. Ce sont donc ces méthodes que nous allons présenter maintenant.*

## **I - Les premiers essais de stérilisation : l'hybridation interspécifique**

Chez les Salmonidés, le croisement entre espèces différentes était initialement considéré comme la méthode la plus rapidement efficace pour obtenir des animaux stériles. Depuis les premiers travaux de GREEN (1981), une abondante littérature a été consacrée en effet à ce sujet. L'analyse de ces différents travaux (CHEVASSUS, 1979, 1983) montre cependant que, si de nombreux hybrides viables peuvent être obtenus chez les salmonidés, il semble difficile (Figure 1) de concilier bonne viabilité et stérilité.

On peut en effet distinguer deux extrêmes :

— Des hybrides ayant de bons taux de survie mais

fertiles. Ce sont généralement des hybrides entre espèces proches, comme les hybrides critivomer x ombre de fontaine (*salvelinus namaycush* x *salvelinus fontinalis*).

— Des hybrides effectivement stériles, mais dont la survie précoce apparaît très faible, de l'ordre de 1 à 5% dans les meilleurs cas. C'est par exemple le cas de l'hybride "Tigre" entre la truite fario femelle (*salmo trutta*) et l'ombre de fontaine mâle (figure 2). En outre, si la survie ultérieure et la croissance de ces animaux sont le plus souvent intermédiaires entre celles des espèces parentales, leur stérilité présente des modalités différentes dans les deux sexes. On observe généralement chez le mâle une croissance notable du testicule et l'apparition de caractères sexuels secondaires (développement du maxillaire inférieur, pigmentation sombre) très voisins de ceux des mâles fertiles. La stérilité des mâles ne se manifeste donc que par la non-production de sper-

	OMBLE CHEVALIER	OMBLE DE FONTAINE	TRUITE FARIO	SAUMON ATLANTIQUE	TRUITE ARC-EN-CIEL	SAUMON CHINOOK	SAUMON COHO
OMBLE CHEVALIER (Salvelinus alpinus)	T	n <sup>+</sup>	s	ε	o		
OMBLE DE FONTAINE (Salvelinus fontinalis)	n <sup>+</sup>	T	ε	o	o		ε
TRUITE FARIO (Salmo trutta)	s	s	T	n <sup>-</sup>	o		o
SAUMON ATLANTIQUE (Salmo salar)	ε	n <sup>-</sup>	n <sup>-</sup>	T	o		o
TRUITE ARC-EN-CIEL (Salmo gairdneri)	o	ε	ε	ε	T		ε
SAUMON COHO (Oncorhynchus kisutch)						T	n <sup>+</sup>
SAUMON CHINOOK (Oncorhynchus tsawyscha)		o	o	o	o	ε	T

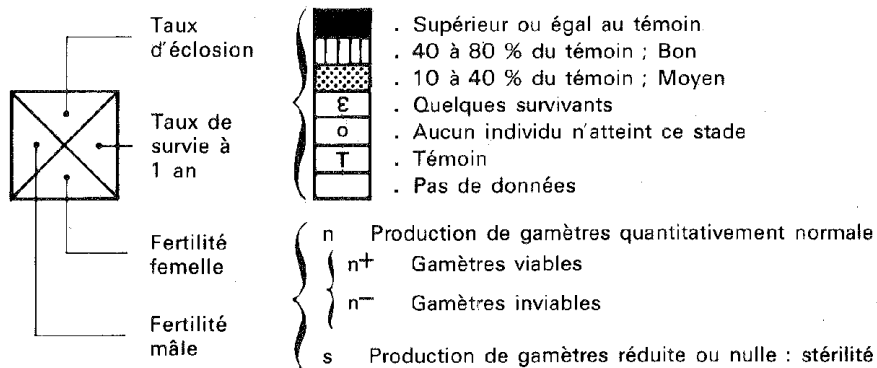


Fig. 1

Quelques possibilités d'hybridation chez les Salmonidés : les hybrides stériles (S) présentent généralement une faible viabilité (d'après CHEVASSUS, 1979).

matozoïdes viables. Par contre, les femelles ne développent qu'un ovaire de taille extrêmement réduite et conservent l'aspect typique d'animaux immatures.

Il apparaît donc difficile d'utiliser cette seule technique pour produire à grande échelle des animaux stériles. Nous verrons ultérieurement qu'elle peut par contre, combinée à la triploïdisation, offrir de nouvelles perspectives.

## II - LA TRIPLOÏDISATION

Pour comprendre ce qui suit, il apparaît nécessaire de rappeler quelques données génétiques de base sur

les phénomènes de fécondation et de gaméto-genèse (fabrication des spermatozoïdes et des ovules).

### 1) Quelques données biologiques de base

Lors de la fécondation se réunissent deux gamètes, le spermatozoïde et l'ovule. L'œuf fécondé contient donc deux stocks génétiques, l'un issu du mâle et l'autre de la femelle. Il est donc **diploïde**. En subissant une série de divisions cellulaires appelées **mitoses**, il conduit à un embryon entièrement composé de cellules diploïdes. Parmi ces cellules, un groupe particulier, les **cellules germinales** se différencient pour produire ultérieurement les gamètes par une série de divisions particulières appelées **meïose**. Au cours de cette meïose, les

deux stocks génétiques initialement issus des parents mâle et de la femelle se combinent pour donner naissance à un seul stock composite, regroupant des éléments issus de deux parents. Il y a donc élimination de la moitié du matériel génétique présent dans les cellules germinales. De ce fait, les cellules résultant de la méiose, qui ne comprennent qu'un seul stock génétique, sont dites cellules **haploïdes**. C'est le cas du spermatozoïde.

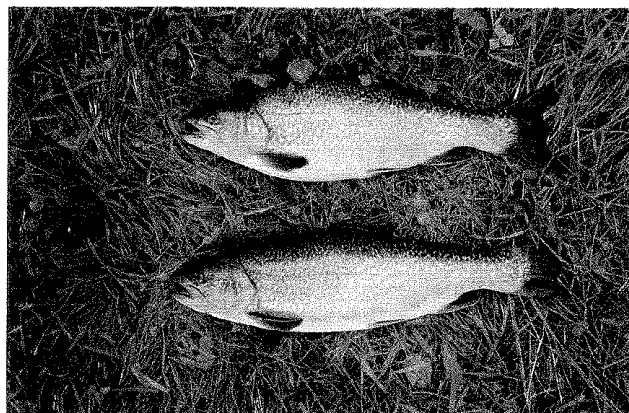


Fig. 2

Hybride "tiger" (Femelle truite fario x mâle omble de fontaine (Photo D. MARIE).

Par contre l'ovule, lorsqu'il est pondu, n'a pas achevé sa méiose et contient encore **deux stocks génétiques**. Ce n'est que lors de la fécondation que l'ovule expulse alors l'un de ces deux stocks dans un petit corpuscule appelé **globule polaire**.

Un certain nombre d'anomalies de ce processus peuvent conduire à l'apparition d'animaux **triploïdes** dont les cellules contiennent non pas deux, mais trois stocks génétiques. C'est le cas notamment lorsque, à la suite d'une méiose anormale, l'un des deux gamètes n'est pas haploïde mais diploïde, ou lorsque deux spermatozoïdes parviennent à pénétrer dans l'ovule (phénomène de polyspermie). Ce phénomène est généralement rare. Cependant, alors qu'il ne conduit chez les Mammifères qu'à des embryons inviables, il apparaît chez les poissons comme compatible avec la survie des animaux, un certain nombre de triploïdes naturels ayant été décrits chez les Salmonidés (CUELLAR et UYENO, 1972 ; THORGAARD et GALL, 1979). En outre, ces triploïdes se révèlent stériles, ou plus exactement la fréquence des triploïdes parmi les animaux stériles semble relativement élevée (THORGAARD et GALL, 1979).

Il semblait donc intéressant d'explorer cette voie et de rechercher des méthodes permettant d'accroître notablement la fréquence des animaux triploïdes dans une population.

## 2) Méthodes d'obtention

Nous avons souligné précédemment que l'ovule, lors de la fécondation, contenait encore deux stocks génétiques. Les recherches se sont donc concentrées sur la possibilité d'empêcher l'ovule d'expulser son globule polaire par des traitements physiques ou chimiques appropriés. Des études antérieures chez les Amphibiens (voir notamment la revue de CHOURROUT, 1982) ou chez d'autres poissons comme l'Épinoche (SWARUP, 1958) ou la plie (PURDOM, 1969) fournissaient un certain nombre de données préliminaires.

Trois types de traitements ont été appliqués :

— Des **chocs thermiques froids** de longue durée (LINCOLN et al, 1974 ; CHOURROUT, 1980) à des températures voisines de 0° C. Leur efficacité semble faible chez les Salmonidés et il serait sans doute nécessaire d'explorer des températures plus basses pour obtenir des résultats intéressants.

— Des **traitements à très haute pression** (400 à 500 atmosphères) pendant des durées de quelques minutes. Les résultats apparaissent satisfaisants (CHOURROUT, 1984) mais l'utilisation de ces traitements dans la pratique apparaît problématique.

— Des **chocs thermiques chauds** de courte durée. CHOURROUT (1980) fut le premier à obtenir des résultats convaincants en appliquant des chocs chauds de 10 mn à des températures comprises entre 25 et 28° C. Ultérieurement, plusieurs auteurs ont confirmé ces résultats (LINCOLN et SCOTT, 1983) et exploré d'autres combinaisons durée x température (THORGAARD et al., 1981 ; CHOURROUT et QUILLET, 1982). Il semble en effet possible d'obtenir des résultats voisins en appliquant des températures plus élevées pendant des temps plus courts ou au contraire de rallonger la durée du choc pour rester à des températures plus modérées. C'est cette dernière solution que nous conseillons (CHEVASSUS et al., 1983), d'une part parce qu'elle semble donner un plus fort pourcentage d'animaux viables et d'autre part parce qu'elle semble mieux adaptée à une utilisation sur de grandes quantités d'œufs.

## 3) Caractéristiques des animaux obtenus

L'application du choc thermique standard (20 mm à 26° C, après une incubation de 25 mm à 10° C) se traduit chez la truite arc-en-ciel par un certain nombre de mortalités précoces lors du développement embryonnaire, de l'éclosion et de la résorption de la vésicule. Le bilan sur plusieurs expériences (Figure 3) indique une perte de 15 à 20% par rapport au témoin lorsque l'on dénombre les alevins viables 100 jours après la fécondation. Parmi ces alevins, la quasi-totalité est triploïde dans les essais à petite échelle (59 sur 60 dans l'expérience de CHOURROUT et QUILLET, 1982).

Ultérieurement, et jusqu'à la maturation sexuelle, il ne semble pas exister d'écart significatif de survie entre les triploïdes et les diploïdes. L'éclosion apparaît légèrement plus tôt dans les lots triploïdes. Cependant, le poids moyen des alevins éclos ou en fin de résorption n'est pas modifié par la triploidie. Par contre, on observe lors des premiers jours d'alimentation un démarrage de croissance légèrement plus lent chez les animaux triploïdes, (HAPPE, 1983) qui conduit à 100 jours à un écart de 10 à 20% en leur défaveur. Cet écart reste sensiblement constant jusqu'à environ 18 mois, âge auquel commence la maturation sexuelle des animaux témoins diploïdes. Avant cette période, les taux de croissance et indices de transformation apparaissent très voisins chez les diploïdes et les triploïdes (BRICOUT, 1983).

Lors de la reproduction des témoins, on observe chez les triploïdes des caractéristiques voisines de celles des hybrides stériles : le mâle connaît une croissance testiculaire importante et produit parfois un sperme très dilué. Ce sperme, utilisé pour féconder des ovules, conduit à des avortements massifs (LINCOLN et SCOTT, 1984). Bien que la taille des testicules soit légèrement

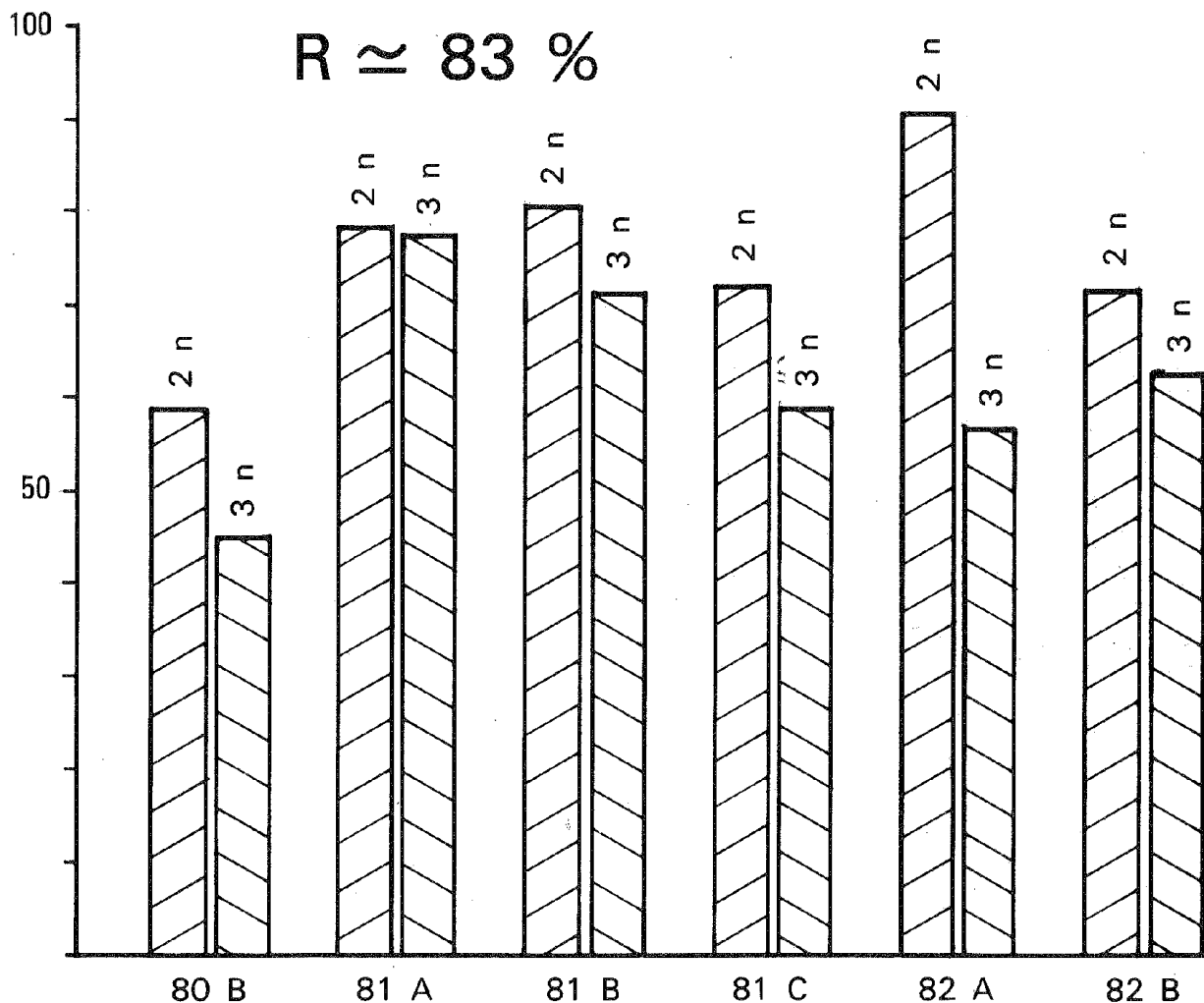


Fig. 3

Survie comparée (taux de survie à 100 jours en % des ovules inséminés) des truites diploïdes (2 n) et triploïdes (3 n).

inférieure à celle observée chez les mâles normaux (fig. 4 et 6), les mâles triploïdes présentent pour l'essentiel les caractéristiques morphologiques et physiologiques d'animaux matures (Fig. 5). En particulier, les teneurs en tissu adipeux des viscères et les réserves adipeuses du muscle apparaissent extrêmement faibles (Fig.4).

Chez les femelles par contre, l'ovaire se présente le plus souvent sous forme d'un mince filament quasi dépourvu d'ovocytes visibles, dont le poids représente moins de 0,1% du poids de l'individu (Figure 6 et 7). Les réserves adipeuses des viscères et du muscle sont élevées. De ce fait le gain lié à la stérilité ne se répercute qu'en partie sur le rendement en carcasse des animaux (Figure 4). Enfin, l'aspect extérieur de ces femelles stériles est celui d'un animal immature.

Corrélativement, la croissance apparaît sensiblement différente selon les sexes. Les mâles triploïdes subissent un ralentissement de croissance marqué, alors que les femelles poursuivent leur croissance pendant la période hivernale. De ce fait, ces femelles présentent après l'hiver un poids moyen supérieur de 10 à 20% à celui des animaux diploïdes ayant maturé.

De même, les mortalités qui affectent généralement les animaux en période de maturation apparaissent

extrêmement limitées chez les femelles triploïdes alors qu'elles peuvent affecter notablement les mâles.

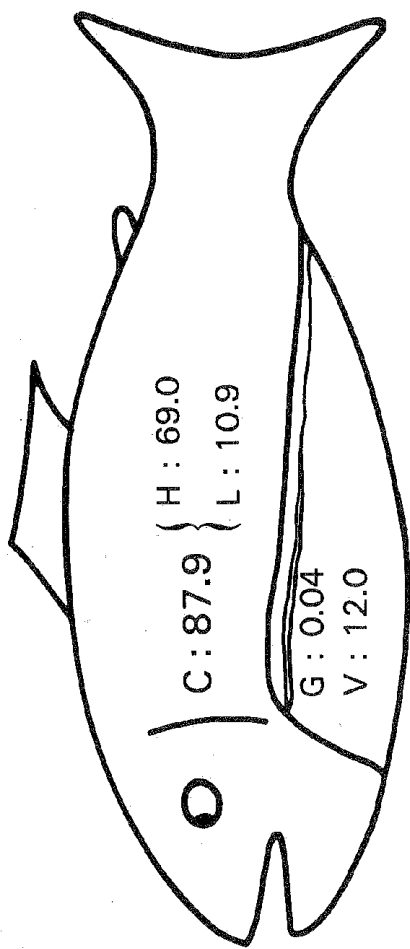
En conclusion, il apparaît donc sur la base de ces résultats que la triploïdisation peut être utilisée efficacement pour obtenir des animaux stériles, mais que son effet n'apparaît réellement intéressant que dans le sexe femelle.

Or des méthodes génétiques permettant d'obtenir des populations ne contenant que des femelles ont été proposées sensiblement dans le même temps par divers chercheurs (OKADA et al., 1979 ; JOHNSTONE et al., 1979 ; CHEVASSUS et al., 1979 a). Nous les présentons maintenant.

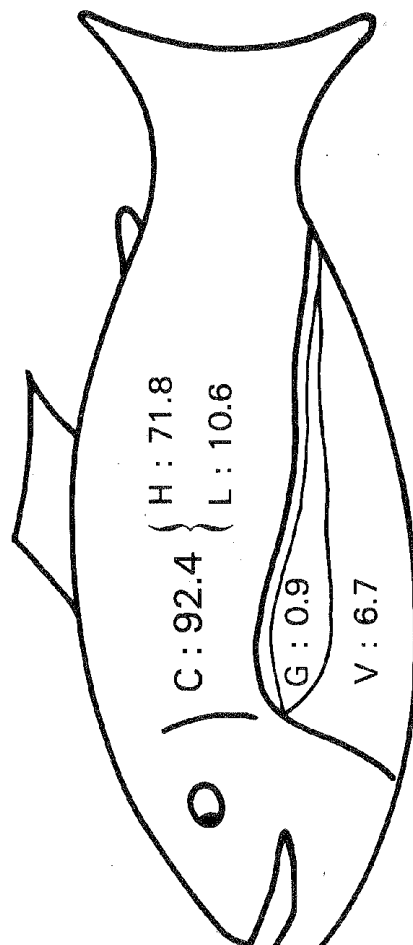
### III - LES POPULATIONS MONOSEXES

#### 1) Rappel sur le déterminisme du sexe

Chez les salmonidés, les résultats de plusieurs auteurs (THORGAARD G.H., 1977 ; OKADA et al., 1979 ; JOHNSTONE et al., 1979 ; CHOURROUT et QUILLET, 1982) concordent pour montrer que le sexe des animaux est déterminé génétiquement à la fécondation d'une manière voisine de celle connue chez les mammifères : si la femelle produit des ovules qui sont

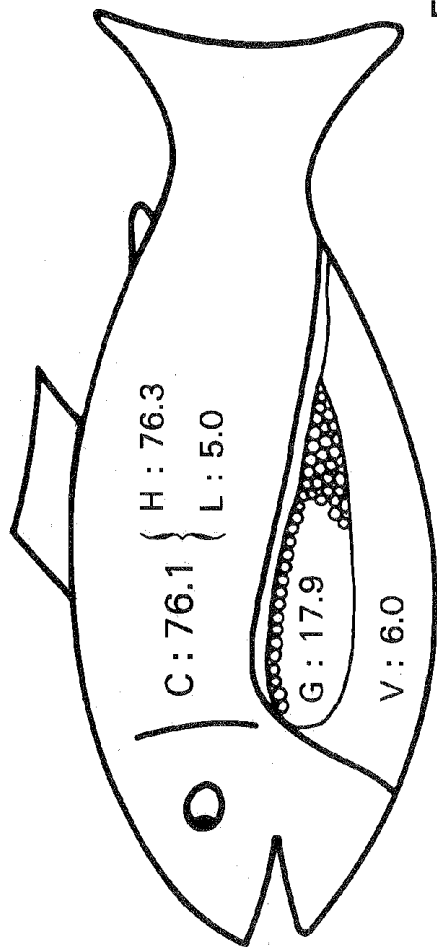


FEMELLE

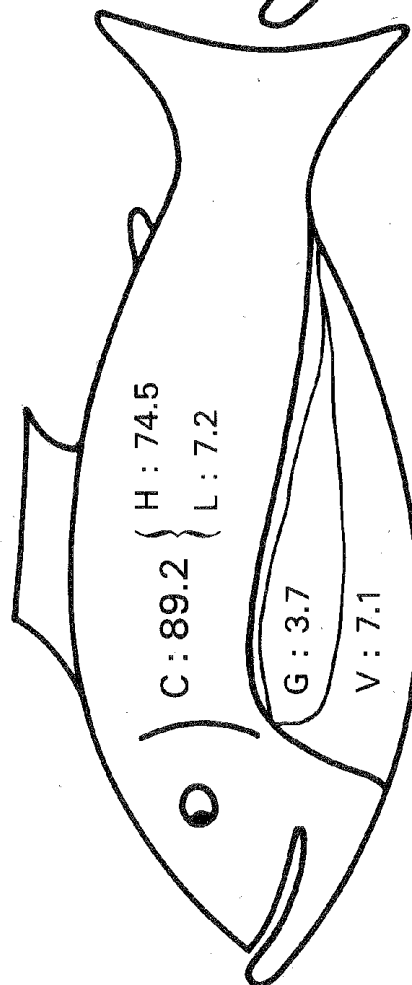


MALE

TRIPLOIDES



FEMELLE



MALE

DIPLOIDES

Fig. 4

Comparaison de la composition corporelle de truites arc-en-ciel diploïdes et triploïdes de 3 ans.  
 C,G,V : poids relatif (en %) de la carcasse, de la gonade et des viscères (C + G + V = 100).  
 H : Teneur en eau du muscle (en %).  
 L : Teneur en Lipides du muscle (en %).

tous de même type, noté X, le mâle produit deux types de spermatozoïde notés X et Y : X conduira à une femelle, notée XX, alors que la fécondation par un spermatozoïde Y conduira à un mâle, noté XY.



Fig. 5 : Tête de mâle arc-en-ciel triploïde de 3 ans. On retrouve toutes les caractéristiques des animaux matures (couleur sombre, développement du maxillaire inférieur).

Ces deux types de spermatozoïdes sont en proportions sensiblement égales dans le sperme, ce qui conduit généralement à un nombre voisin de mâles et de femelles dans les populations.

## 2) Méthodes de production

On serait donc tenté, pour obtenir des populations monosexes femelles, de n'utiliser que des spermatozoïdes X. Cependant, aucune méthode ne permet à l'heure actuelle de séparer, ni même de distinguer les spermatozoïdes X et Y dans le sperme d'un mâle normal.

Par contre, de nombreux résultats (JALABERT et al., 1975 ; JOHNSTONE et al., 1978) montrent que des traitements hormonaux précoces peuvent transformer partiellement ou totalement des femelles en mâles fonctionnels. Ces femelles étant XX ne fournissent que des spermatozoïdes X et leur descendance ne comprend donc que des femelles.

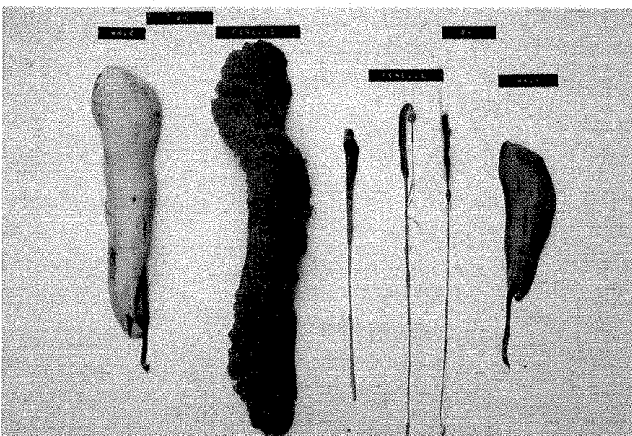


Fig. 6 : Gonades de truites arc-en-ciel de 4 ans. De gauche à droite : mâle triploïde, femelles triploïdes (3 exemplaires), femelle diploïde et mâle diploïde (Photo D. MARIE).

D'où le principe de la méthode : **produire des populations monosexes femelles par le croisement entre des femelles normales et des "neomâles", femelles transformées en mâles par un traitement hormonal** (généralement 0 à 60 jours).

Toute la difficulté résidait dans l'impossibilité de distinguer parmi les alevins en début d'alimentation les mâles et les femelles, afin de ne soumettre que ces dernières au traitement hormonal.

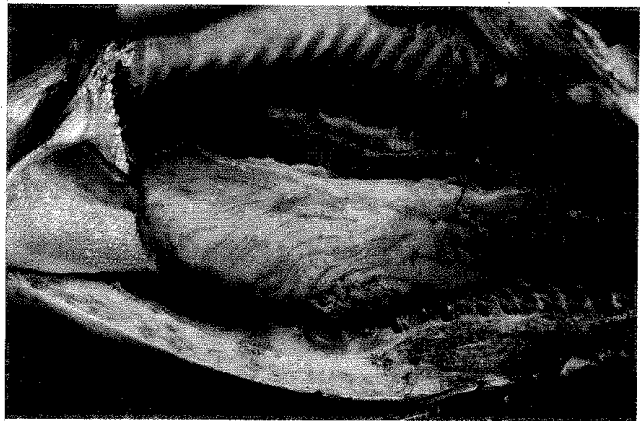


Fig 7 :

Femelle triploïde de Truite arc-en-ciel : l'ovaire se présente comme un mince filament le long de la vessie natatoire. On notera l'importance des dépôts adipeux (Photo D. MARIE).

Pour résoudre ce problème, deux voies ont été explorées :

— La première (OKADA et al., 1979 ; JOHNSTONE et al., 1979) consiste à soumettre une population normale d'alevins mâles et femelles au traitement hormonal. Lors de la maturation sexuelle, on observera une proportion extrêmement forte de mâles dans cette population. On pourra alors marquer individuellement ces mâles et utiliser leur sperme pour féconder des femelles normales. Les mâles normaux, non affectés par le traitement, donneront une descendance normale, contenant des mâles et des femelles. Par contre, les neomâles, femelles génétiques inversées en mâles seront détectés par leur descendance entièrement femelle. Cette méthode relativement longue et lourde (au niveau du testage individuel des mâles) peut être légèrement simplifiée par l'observation suivante : il apparaît que, parmi tous les individus présentant un aspect de mâle mature, un certain nombre ne fournissent pas de sperme par pression abdominale. L'autopsie révèle généralement un testicule développé mais diverses anomalies du canal déférent conduisant le sperme du testicule à la papille génitale. Une technique simple consistant à dilacérer le testicule dans un dilueur approprié (dilueur 532 additionné de 2 g de chlorure de potassium) permet de collecter les spermatozoïdes et de réaliser la fécondation. (Ceci suppose néanmoins de sacrifier les animaux qui ne peuvent donc être utilisés qu'une seule fois). Or il semble (JOHNSTONE et al., 1978) que les neomâles soient plus abondants dans cette catégorie d'individus anormaux que parmi les mâles "fonctionnels", ce qui permet de réduire le nombre d'individus à tester. On peut améliorer cette technique et s'affranchir presque totalement de la nécessité du testage en remarquant que certains mâles anormaux présentent parfois dans leurs gonades des zones femelles résiduelles (JALABERT et

al., 1975). Ces hermaphrodites (figure 9) sont donc à tester en priorité, avec une forte probabilité d'obtenir une descendance monosexue femelle.

— La deuxième méthode consiste à utiliser la gynogenèse diploïde, mise au point chez les Salmonidés par CHOURROUT (1980). Cette méthode permet d'obtenir le développement d'un ovule à la suite d'une "pseudo-fécondation" par un spermatozoïde préalablement inactivé par des rayonnements ultra-violets ou gammas. Les alevins obtenus, qui n'ont reçu leur matériel génétique que de leur mère, sont tous de sexe femelle (CHOURROUT et QUILLET, 1982). Ils peuvent donc

être soumis au traitement hormonal, tous les mâles obtenus pouvant être considérés comme des "neomâles" sans recourir à un testage individuel ou au sacrifice des animaux (figure 8).

### 3) Entretien de la population

Quelle que soit la méthode utilisée pour obtenir les premiers neomâles (gynogenèse, testage individuel ou détection des mâles anormaux), l'entretien d'une population monosexue est ensuite relativement simple : il suffit de prélever dans la descendance des premiers neomâles quelques milliers d'alevins qui seront soumis à leur tour au traitement hormonal pour produire de

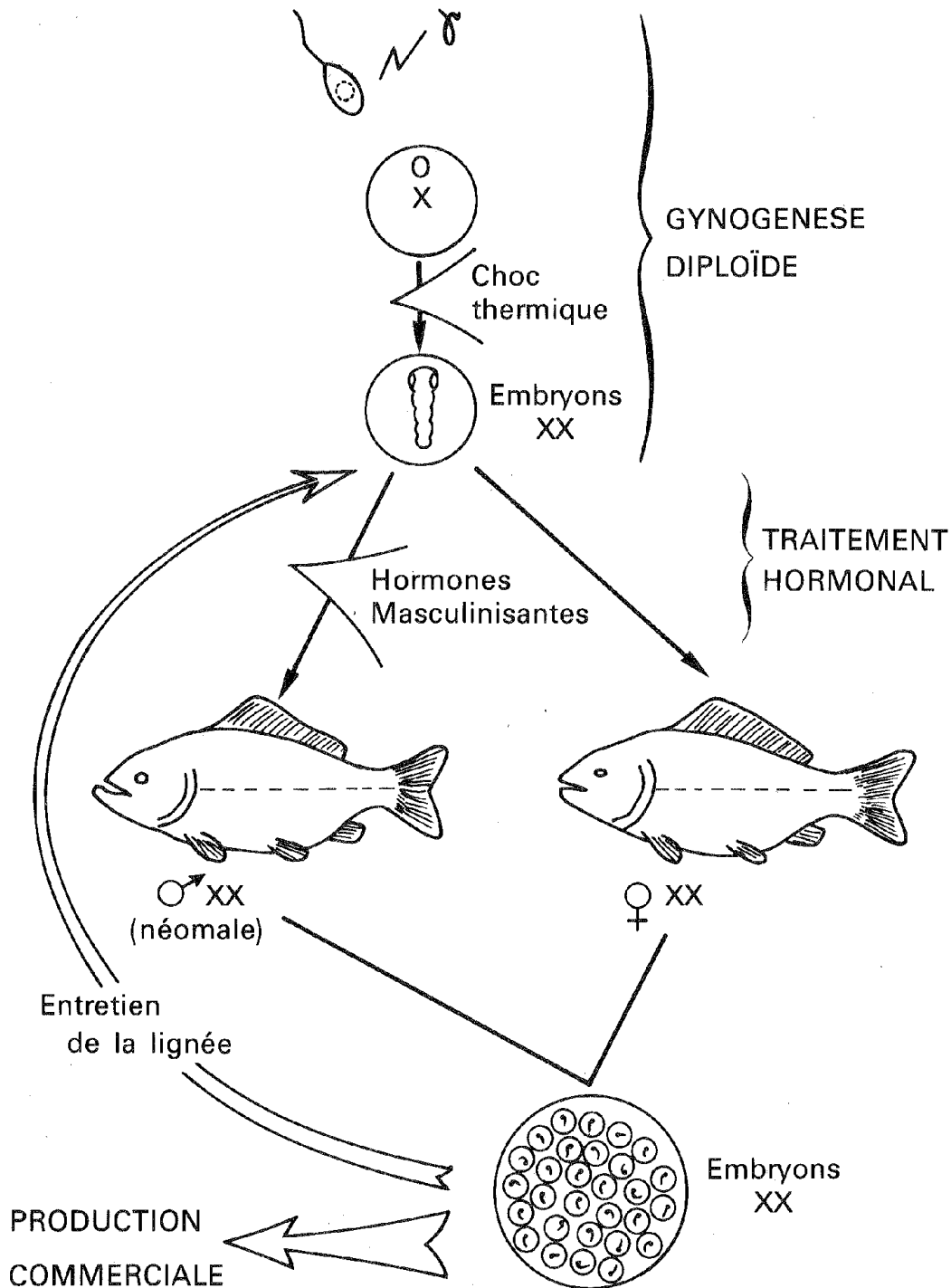


Fig. 8

Méthode de sexage génétique utilisant la gynogenèse : les alevins obtenus sont tous de sexe génétique femelle et peuvent être soumis au traitement hormonal pour produire des neomâles (d'après CHEVASSUS, 1979).



nouveaux neomâles. Cependant, les traitements actuellement disponibles (utilisant généralement la Methyltestosterone) n'apparaissent pas pleinement satisfaisants : si il est vrai que le taux de masculinisation est généralement élevé, la majorité des mâles présente les anomalies précédemment décrites et ne peuvent donc être utilisés qu'une fois (figure 10). Seuls 10 à 20 % des mâles fournissent du sperme en quantité suffisante par pression abdominale et peuvent être utilisés comme des mâles normaux.

Cependant cette technique nous semble d'ores et déjà transposable dans la pratique. Elle peut être utilisée seule pour produire des femelles fertiles, soit pour obtenir un meilleur rapport des sexes parmi les géniteurs, soit pour éliminer le problème de la maturation précoce des mâles dans les populations d'élevage. Elle peut être également combinée avec la triploïdisation pour produire des femelles stériles, avec les avantages décrits précédemment.

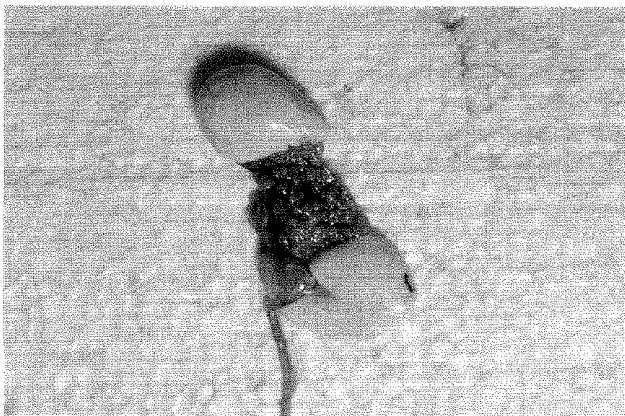


Fig 9 :

Gonade d'individu "hermaphrodite" : on note la présence de zones femelles résiduelles au milieu du testicule.

Il nous faut pour terminer revenir sur l'hybridation, dans la mesure où l'application des techniques de triploïdisation modifie notablement les conclusions que nous avions tirées sur les hybrides diploïdes.

#### IV - LES HYBRIDES TRIPLOÏDES

##### 1) Méthode d'obtention

A partir du moment où nous disposons de méthodes permettant de conserver lors de la fécondation les deux stocks génétiques maternels, il apparaissait tentant de les appliquer à la suite d'un croisement interspécifique, afin d'étudier les caractéristiques d'individus hybrides triploïdes recevant deux stocks de l'espèce maternelle et un stock de l'espèce paternelle. Un certain nombre d'observations permettait en effet de penser que de tels hybrides pouvaient présenter une meilleure viabilité que celle des hybrides diploïdes. CAPANNA et al. (1974) avaient notamment montré que les rares survivants du croisement entre la truite arc-en-ciel femelle et l'omble de fontaine mâle étaient triploïdes et avaient reçus deux stocks génétiques de leur mère.

Nous avons donc appliqué le choc thermique standard à la suite de diverses hybridations entre la truite arc-en-ciel femelle et les mâles de diverses espèces de Salmonidés (CHEVASSUS et al. 1983) et observé le résultat escompté (figure 11). Les hybrides triploïdes obtenus présentent systématiquement une viabilité supérieure à celle des hybrides diploïdes, que ce soit en utilisant comme mâle la truite fario, l'omble de fontaine ou le saumon coho (*Oncorhynchus Kisutch*), ce résultat étant confirmé maintenant dans de nombreux cas (SCHEERER et THORGAARD, 1983).

##### 2) Caractéristiques des hybrides triploïdes

Cette amélioration du taux de survie n'est cependant pas suffisante pour placer les hybrides triploïdes au même niveau de viabilité précoce que les triploïdes de truite arc-en-ciel. De même, leur croissance est généralement intermédiaire entre celles des espèces parentales et donc inférieure à celle de la truite arc-en-ciel. Enfin, ces hybrides présentent une stérilité qui s'exprime selon les mêmes modalités que celles observées chez les truites arc-en-ciel triploïdes : le mâle manifeste une croissance testiculaire et seule la femelle conserve les caractéristiques d'un animal immature (figure 12).

CATÉGORIE	FRÉQUENCE (en % du total)
Animaux présentant une gonade de type mâle (par sexage à l'âge de 6 mois) *.	74,8
Animaux présentant à 2 ans un phénotype de mâle mature.	69,2
Animaux fournissant du sperme par massage abdominal (toujours de phénotype mâle nature).	27,2
Animaux "fonctionnels" : le sperme est abondant (1 cc) et présente la même concentration que celui des témoins.	13,6

\* 100% de femelles dans le lot témoin non traité.

Fig. 10

Résultats du traitement d'un lot d'alevins monosexes femelle par la methyltestosterone (3 mg/kg d'aliment pendant 800 Degré-jours) : le taux de mâles "fonctionnels" est de l'ordre de 10 à 20%.

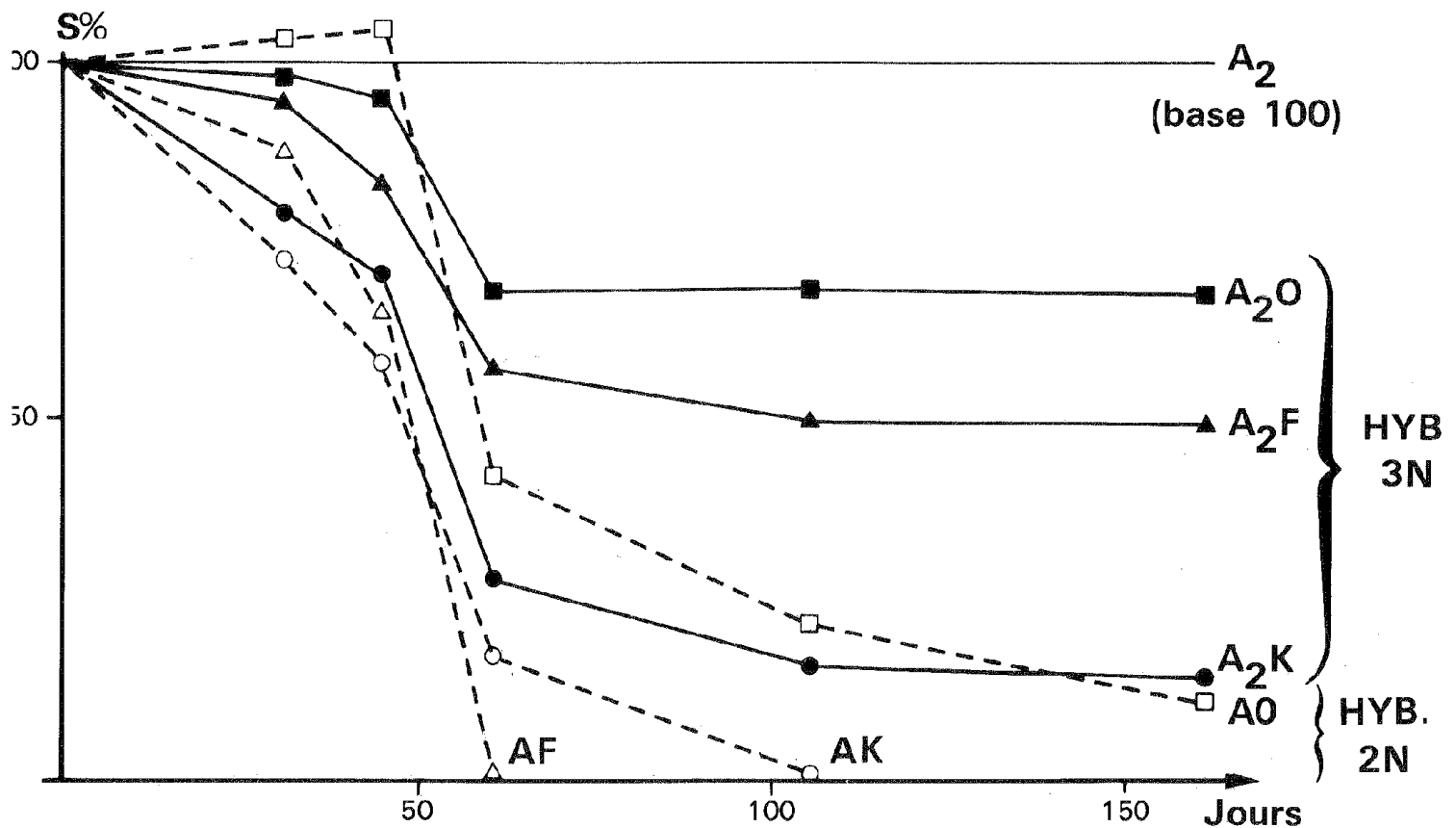


Fig. 11

Taux de survie des hybrides diploïdes et triploïdes comparativement au témoin arc-en-ciel (A 2).

AO et A <sub>2</sub> O :	Hybrides diploïdes et triploïdes	truite arc-en-ciel	x	Omble de fontaine.
AF et A <sub>2</sub> F :	" "	" "	x	Truite fario.
AK et A <sub>2</sub> K :	" "	" "	x	Saumon coho.

Cependant, ces hybrides peuvent présenter un réel intérêt lorsqu'ils possèdent totalement ou partiellement une caractéristique de l'espèce paternelle. Ainsi la résistance à la septicémie hémorragique virale (S.H.V.) qui apparaissait comme une caractéristique du saumon coho, avait été mise en évidence chez les quelques hybrides diploïdes obtenus entre cette espèce et la truite arc-en-ciel (ORD et al., 1976). DORSON et CHEVASSUS

(1985) ont pu montrer récemment que cette résistance existait également chez les hybrides triploïdes, ce qui peut constituer un avantage déterminant par rapport à la truite arc-en-ciel dans des régions fortement infestées.

## CONCLUSIONS

L'utilisation et la combinaison des différentes méthodes que nous avons présentées devraient permettre à court terme d'obtenir des animaux mieux adaptés à une production régulière et importante de grosses truites. Il importera dans l'avenir de s'attacher à vulgariser ces méthodes, afin qu'elles deviennent rapidement utilisables par tout pisciculteur intéressé par ces problèmes.

## REMERCIEMENTS

De nombreuses données de cet article correspondent à des données non encore publiées obtenues en collaboration avec divers chercheurs permanents ou temporaires de PIFREMER et de l'INRA. Nous remercions en particulier J.-M. BLANC, J.-P. BRICOUT, G. BURGER, A. DEVAUX, A. HAPPE, F. KRIEG, I. NANSOUR et H. POISSON.



Fig. 12

Un exemple d'Hybride triploïde : Individus mâle (en haut) et femelle (en bas) résultant du croisement de la truite arc-en-ciel et de l'omble de fontaine.

## BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

(Les articles notés \* peuvent demandés au Laboratoire de Physiologie des Poissons I.N.R.A. 78350 JOUY-EN-JOSAS).

- \* BILLARD R., 1983. Sur quelques possibilités de maîtriser la reproduction chez les poissons teleostéens. *La Pisc. Fr.*, 67, 15-33.
- \* BOURLIER A., BILLARD R., 1984. Delayed gametogenesis and spawning in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) kept under permanent light during the first and second reproductive cycles. *Aquaculture*, 43, (in press).
- BRICOUT J.-P., 1983. Comparaison du comportement alimentaire d'individus diploïdes et triploïdes chez la truite arc-en-ciel. Mémoire de stage ISA Beauvais.
- BYE V., LINCOLN R., 1981. Get ride of the males and let the female prosper. *Fish Farmer*, 4, n° 8, 22-24.
- CAPANNA E., CATAUDELLA S., VOLPE R., 1974. Un ibrido intergenerico tra trota iridea e salmerino di lonte (*Salmo gairdneri* x *Salvelinus fontinalis*). *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.*, 29, 101-106.
- \* CHEVASSUS B., 1979. Hybridization in Salmonids : Results and perspectives. *Aquaculture*, 17, 113-128.
- \* CHEVASSUS B., CHOURROUT D., JALABERT B., 1979 a. Le contrôle de la reproduction chez les Poissons. I. Les populations monosexes. *Bull. Fr. Pisc.*, 274, 18-31.
- \* CHEVASSUS B., BLANC J.-M., CHOURROUT D., 1979 b. Le contrôle de la reproduction chez les Poissons. II. Reproduction différée et stérilité. *Bull. Fr. Pisc.*, 274, 32-46.
- \* CHEVASSUS B., 1983. Hybridization in fish. *Aquaculture*, 33, 245-262.
- \* CHEVASSUS B., GUYOMARD R., CHOURROUT D., QUILLET E., 1983. Production of viable hybrids in Salmonids by triploidization. *Génét., Sé., Evol.*, 15, 519-532.
- \* CHEVASSUS B., QUILLET E., CHOURROUT D., 1983. Note technique : obtention d'animaux triploïdes chez la truite arc-en-ciel. *Bull. Fr. Piscic.*, 290, 161-164.
- \* CHOURROUT D., 1980. Thermal induction of diploid gynogenesis and triploidy in the eggs of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson). *Reprod. Nutr. Dev.*, 20, 727-733.
- \* CHOURROUT D., 1982. La gynogenèse chez les vertébrés. *Repro., Nutr., Dévelop.*, 22, 713-734.
- \* CHOURROUT D., QUILLET E., 1982. Induced gynogenesis in the rainbow trout : Sex and survival of progenies. Production of all triploid populations. *Theo. Appl. Genet.*, 63, 201-205.
- CUELLAR O., UYENO T., 1972. Triploidy in rainbow trout. *Cytogenetics*, 11, 508-515.
- DORSON M., CHEVASSUS B., 1985. Etude de la réceptivité d'hybrides triploïdes truite arc-en-ciel x saumon coho à la nécrose pancréatique infectieuse et à la septicémie hémorragique vitole. *Bull. Fr. Pisc.* (sous presse).
- GRENN J.-R., 1881. Hybridizing Fishes. *Trans. Am. Fish. Cult. Assoc.*, New York, 10, 5-9.
- HAPPE A., 1983. Comparaison des performances de survie et de croissance précoce d'individus diploïdes et triploïdes chez la truite arc-en-ciel. Mémoire de fin d'études ISA Lille.
- HUNTER G.-A., DONALDSON E.-M., GOETZ F.-W., EDGELL P.-R., 1982. Production of All Female and Sterile coho Salmon, and experimental evidence for male heterogamety. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 111, 367-372.
- \* JALABERT R., BILLARD, CHEVASSUS B., 1975. Preliminary experiment on sex control in trout ; production of sterile fishes and simultaneous self-fertilizable hermaphrodites. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 15, 19-28.
- JOHNSTONE R., SIMPSON T.-H., WALKER A.-F., 1978. Sex reversal in salmonid culture. *Aquaculture*, 13, 115-134.
- JOHNSTONE R., SIMPSON T.-H., YOUNGSON A.-F., WHITEHEAD C., 1979. Sex reversal in salmonid culture. II - the progeny of sex reversed rainbow trout. *Aquaculture*, 18, 13-19.
- LINCOLN R.-F., AULSTAD D., GRAMMELTVEDT A., 1974. Attempted triploid induction atlantic salmon (*salmo salar*) using cold shocks. *Aquaculture*, 4, 287-297.
- LINCOLN R.-F., SCOTT A.-P., 1983. Production of all-female triploid rainbow trout. *Aquaculture*, 30, 375-380.
- LINCOLN R.-F., SCOTT A.-P., 1984. Sexual maturation in triploid rainbow trout, *salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 25, 385-392.
- OKADA H., MATUMOTO, YAMASAKI F., 1979. Functional masculinization of genetic females in rainbow trout. *Bull. jap. Soc. Sci. Fish.*, 45, 413-419.
- ORD W.-M., LE BERRE M., DE KINDELIN P., 1976. Viral hemorrhagic septicemia : Comparative susceptibility of rainbow trout (*salmo gairdneri*) and hybrids (*salmo gairdneri* x *Oncorhynchus Kisutch*) to experimental infection. *J. Fish Res. Bd. Can.*, 33, 1205-1208.
- SCHEERER P.-D., THORGAARD G.-H., 1983. Increased survival in salmonid hybrids by induces triploidy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40, 2040-2044. (in press).
- SWARUP H., 1958. Production of triploidy in *Gasterosteus aculeatus*. *J. Genet.*, 56, 129-142.
- TASHIRO F., 1972. Effects of irradiation 60 Co gamma-ray on the maturation of rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 38, 793-797.
- THORGAARD G.-H., 1977. Heteromorphic sex chromosomes in male rainbw trout. *Science*, 196, 900-902.
- THORGAARD G.-H., GALL G.A.E., 1979. Adult triploids in a rainbow trout family. *Genetics*, 93, 961-973.
- THORGAARD G.-H., JASWIN M.-E., STIER A.-R., 1981. Polyploidy induced by heat shock in rainbow trout. *Trans. Amer. Fish Soc.*, 110, 546-550.
- VAN DEN HURK R., SLOF G.-A., 1981. A morphological and experimental study of gonadal sex differentiation in the rainbow trout, *salmo gairdneri*. *Cell. Tissue Res.*, 218, 487-497.