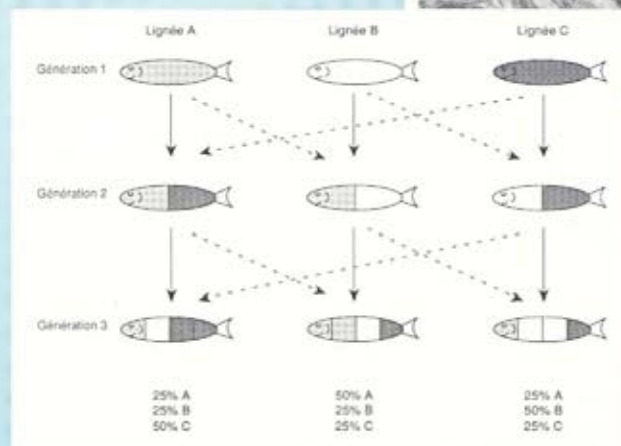
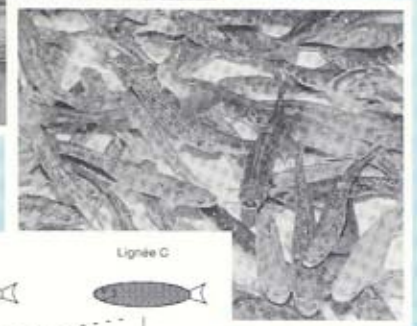


Élevage des salmonidés

**AMÉLIORATION
GÉNÉTIQUE**

AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

Fascicule 2

RÉDACTION

Pierre Dubé¹

Jean-Marie Blanc²

Octobre 1991

¹ Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
Direction de la recherche scientifique et technique
Division de Québec
1665, Boul. Wilfrid-Hamel Ouest, Édifice #2, 1^{er} étage
Québec (Québec)
G1N 3Y7

² Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)
Station d'Hydrobiologie
BP3, F64310
St-Pé -sur-Nivelle
France

RÉVISION

Robert Champagne

Direction du développement et des activités régionales
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Richard Morin

Direction du développement et des activités régionales
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Jacinthe Leclerc

Conseil de l'aquiculture et des pêches du Québec
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

TABLE DES MATIÈRES

2.1	NOTIONS BIOLOGIQUES DE BASE	9
2.2	DOMESTICATION DES SALMONIDÉS	13
2.3	PHÉNOTYPES QUANTITATIFS ET VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE	15
2.4	SÉLECTION GÉNÉTIQUE	17
2.4.1	Introduction	18
2.4.2	Réponse à la sélection	18
2.4.2.1	Héritabilité	18
2.4.2.2	Intensité de sélection	20
2.4.2.3	Variabilité phénotypique	20
2.4.2.4	Exemple	21
2.4.3	Sélection dirigée et objectifs de sélection	21
2.4.4	Sélection génétique pour plusieurs caractères	22
2.4.4.1	Corrélation génétique et méthode du tandem	22
2.4.4.2	Sélection indépendante ou méthode des niveaux de rejet indépendants	24
2.4.4.3	Indices de sélection	24
2.4.4.4	Contraintes et efficacité relative des méthodes	24
2.4.4.5	Exemple	25
2.4.5	Principales méthodes de sélection	26
2.4.5.1	Introduction	26
2.4.5.2	Sélection massale ou individuelle	26
2.4.5.3	Sélection familiale et intrafamiliale	27
2.4.5.4	Sélection combinée	27
2.4.5.5	Avantages et efficacité relative des méthodes	27
2.4.6	Réponses à la sélection observées	28
2.5	CONSANGUINITÉ ET DÉRIVE GÉNÉTIQUE	31
2.5.1	Effectif efficace	32
2.5.2	Consanguinité	32
2.5.3	Dérive génétique	33
2.5.4	Effets nuisibles de la consanguinité	33
2.5.5	Effets cumulatifs de la consanguinité	33
2.5.6	Nombre requis de géniteurs	34
2.5.6.1	Production piscicole destinée au marché de la table	34
2.5.6.2	Maintien de lignées de référence et amélioration génétique	35
2.5.6.3	Aménagement de cours d'eau	35
2.5.7	Pratiques piscicoles	35
2.5.8	Exemple	36

2.6	HYBRIDATION	37
2.6.1	Introduction	38
2.6.2	Hybrides interspécifiques	38
2.6.2.1	Introduction	38
2.6.2.2	Hybrides intergénériques et intragénériques	38
2.6.2.3	Hybrides d'espèces présentes au Québec	38
2.6.2.4	Caractéristiques générales	38
2.6.2.5	Conclusion	40
2.6.3	Hétérosis et hybrides intraspécifiques	40
2.7	INTERACTION GÉNÉTIQUE-ENVIRONNEMENT (VG-E)	43
2.8	CONTRÔLE DE LA MATURATION SEXUELLE PAR VOIE GÉNÉTIQUE	45
2.8.1	Introduction	46
2.8.2	Populations monosexes femelles	46
2.8.2.1	Génération 1: création des néomâles	46
2.8.2.2	Génération 2: population monosex femelle	47
2.8.3	Triploïdie et populations monosexes femelles stériles	47
2.8.3.1	Techniques de triploïdisation	48
2.8.3.2	Monosexes femelles triploïdes	48
2.8.3.3	Caractéristiques des triploïdes en élevage	48
	RÉFÉRENCES	51
	GLOSSAIRE	57

Note: Les mots présentés en caractères gras dans le texte sont définis dans le glossaire.

2.1 NOTIONS BIOLOGIQUES DE BASE

Le **gène** est l'unité de base responsable de l'hérédité. Il contient l'information nécessaire à la fabrication (structure, régulation) d'une protéine constitutive de l'individu. L'expression d'un caractère donné (le **phénotype**) résulte le plus souvent de l'action combinée d'un plus ou moins grand nombre de gènes. Le gène correspond, au niveau moléculaire, à un segment d'une molécule complexe appelée ADN. La molécule d'ADN, composée de plusieurs gènes, forme des structures localisées dans le noyau de la cellule, les **chromosomes**, dont le nombre varie entre les espèces mais demeure à peu près constant à l'intérieur de la même espèce (Figure 1).

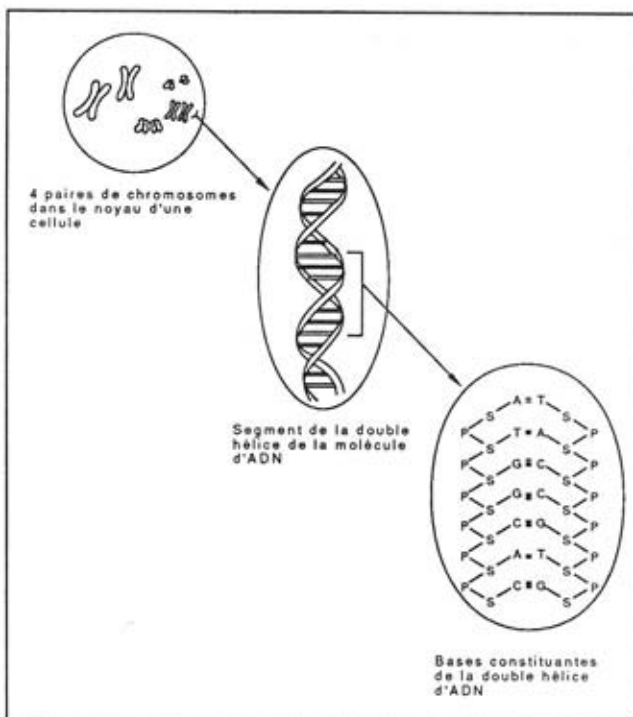


Figure 1. Chromosomes, double hélice et molécule d'ADN. La structure globale de la molécule d'ADN est souvent décrite par la «double hélice d'ADN». Cette molécule est composée d'une série de bases couplées (A-T et C-G) qui sont liées à une double structure composée de sucre (S) et de phosphore (P). Chaque gène possède une séquence linéaire unique des paires de bases (tirée de Tave, 1986a).

Chez la plupart des animaux, les chromosomes sont disposés par paires à l'intérieur de toutes les cellules (cellules **diploïdes**; 2N) à l'exception de celles destinées à la reproduction qui ne contiennent qu'un seul exemplaire de chaque chromosome (cellules **haploïdes**; 1N). Dans chaque cellule diploïde d'un individu, un chromosome de chaque paire provient du père, l'autre, de la mère.

Les gènes peuvent exister sous une ou plusieurs formes et chaque forme d'un gène donné correspond à un allèle. Chez de nombreux êtres vivants, dont les salmonidés, il existe une paire de chromosomes particuliers déterminant le sexe de l'individu et appelés chromosomes sexuels, par opposition aux autres («les autosomes»).

Afin de produire les **gamètes** (cellules reproductrices, soit le spermatozoïde chez le mâle, l'ovule, chez la femelle), les cellules germinales (diploïdes; 2N), situées dans les testicules ou les ovaires, se transforment et subissent plusieurs divisions cellulaires au cours desquelles le nombre de chromosomes est réduit de moitié. Les cellules reproductrices deviennent alors haploïdes (1N). Chez la femelle, les sets de chromosomes excédentaires sont expulsés dans de petits corpuscules, les «**globules polaires**». L'ensemble des processus de divisions cellulaires impliqués dans la formation des spermatozoïdes et des ovules est la **méiose** (Figure 2).

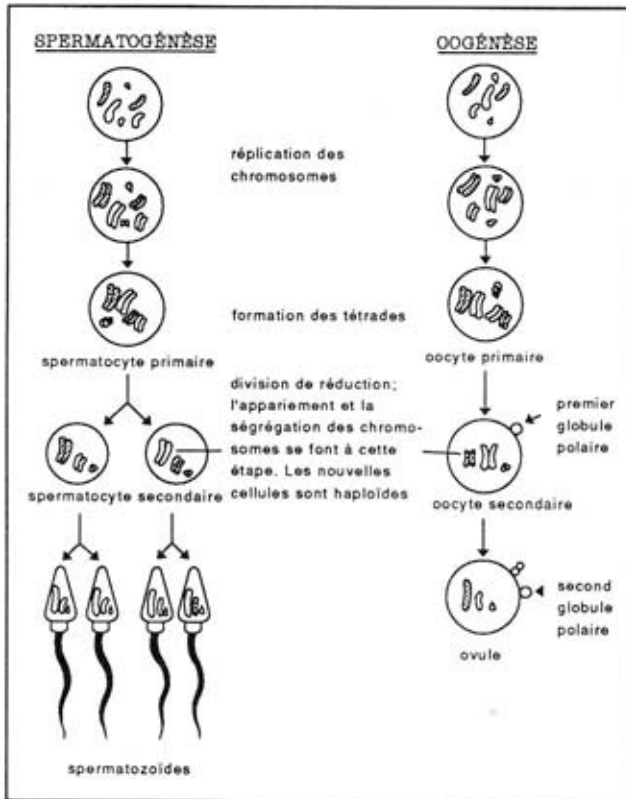


Figure 2. Principales étapes dans la formation des gamètes mâles (spermatogénèse) et femelles (oogénèse; tirée de Tave, 1986a).

2.4 SÉLECTION GÉNÉTIQUE

2.4.1 INTRODUCTION

Lorsque les caractéristiques génétiques d'une population sont connues, l'éleveur dispose de deux principales voies pour les modifier: la première, par le choix de géniteurs parmi la population, ce qui constitue la sélection, la seconde, par le contrôle des croisements entre géniteurs (Falconer, 1989).

La première étape d'un programme de sélection concerne l'acquisition de données statistiques sur les caractères d'intérêt. Parmi les principales statistiques de base, nous retenons:

- la moyenne du caractère,
- la variation du caractère (variance ou sa racine carrée, l'écart-type).

2.4.2 RÉPONSE À LA SÉLECTION

La réponse à la sélection (R), aussi désignée par progrès ou gain génétique, correspond à la supériorité acquise en une génération de sélection (Minvielle, 1990). Elle est liée à trois principaux paramètres:

- 2.4.2.1 L'héritabilité du caractère (h^2)
- 2.4.2.2 L'intensité de sélection (i)
- 2.4.2.3 La variabilité du caractère (s , soit l'écart-type).

La réponse à la sélection peut être déterminée par:

$$R = (i) \times (s) \times (h^2) \quad \text{Équation 4}$$

ou par:

$$R = (S) \times (h^2) \quad \text{Équation 5}$$

où, S est la différentielle de sélection.

2.4.2.1 Héritabilité

Des 3 types de variance génétique, seule V_A peut être exploitée par sélection génétique car seuls les facteurs génétiques additifs peuvent être transmis de façon prévisible (Section 2.3). Un caractère dont V_A est élevée pourra généralement faire l'objet d'amélioration génétique relativement plus rapide. L'indice d'héritabilité (h^2) décrit le pourcentage de la variance phénotypique (V_P) qui est de nature additive (V_A). Il est décrit par:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P} \quad \text{Équation 6}$$

L'héritabilité varie de 0 à 1. Minvielle (1990) précise que bien qu'aucune règle absolue n'existe à ce sujet, il est généralement admis «que l'héritabilité est faible en dessous de 0,2, moyenne entre 0,2 et 0,4, forte au-delà de 0,4». L'héritabilité est rarement supérieure à 0,7. Quelques valeurs d' h^2 sont présentées au Tableau 3.

Un phénotype dont l'héritabilité est faible revêt souvent une importance cruciale en nature, la sélection naturelle en ayant déjà exploité le potentiel héréditaire afin de le rendre le plus efficace. Par exemple, les phénotypes associés à la reproduction ont généralement une héritabilité faible à cause de leur importance dans l'évolution des espèces.

L'héritabilité varie aussi en fonction des facteurs environnementaux, puisque:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P} \quad \text{Équation 6}$$

et que:

$$V_P = V_G + V_E + V_{G-E} \quad \text{Équation 1}$$

alors:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_G + V_E + V_{G-E}} \quad \text{Équation 7}$$

Puisqu'il dépend aussi de facteurs environnementaux, l'indice d'héritabilité devrait être calculé par rapport à la population et l'environnement dans lequel on désire sélectionner. C'est ainsi que l'héritabilité, associée au taux de croissance d'une population de poissons élevés en bassin, ne s'appliquera pas directement à la même population élevée en étang. Par ailleurs, en l'absence de données pertinentes, les indices d'héritabilité établis pour d'autres populations, d'autres environnements, ne pourront être utilisés qu'à titre de guides dans une station d'élevage.

Tableau 3. Indices d'héritabilité (h^2) de quelques caractères chez 3 salmonidés d'élevage.

PHÉNOTYPE	TRUITE ARC-EN-CIEL	OMBLE DE FONTAINE OMBLE CHEVALIER ⁽¹⁾	SAUMON ATLANTIQUE	RÉFÉRENCES
Poids 144-150 jours	0,09; 0,26; 0,50	0,08	—	16-66-109
" 243-280 jours	0,29	0,60	—	16-93
" 300-334 jours	—	—	0,15 à 0,33	91
" 1 an	0,38	—	—	72
" 2 ans	-0,01 à 0,34; 0,32	0,31 à 0,38 (1)	—	51-54-81
" 3-3,5 ans	—	0,49 (1)	0,03 à 0,36 0,34; 0,38	51-54-81
Longueur 150 jours	0,16	—	—	2
" 280 jours	0,37	—	—	2
" 1-1,5 ans	0,20 à 0,24	—	0,03	79-86
" 2 ans	-0,03 à 0,32; 0,26	0,31 à 0,57 (1)	0,07 à 0,36	51-54-79-81
" 3-3,5 ans	—	0,55 (1)	0,15 à 0,33; 0,76	53-80-81
Survie stade oeillé	—	0,09 à 0,16	0,05	59-93
" éclosion	—	0,08 à 0,16	—	93
" 144 jours	—	-0,04 à 0,11	—	93
" 243 jours	—	-0,02 à 0,10	—	93
" alevins	—	—	-0,02; 0,04	59
Âge à la maturité	-0,05 à 0,28	—	0,06; 0,48; 0,66	49-51
	0 à 0,09	—	0,39	51-77
	0,47	—	—	77
% smoltifaction à 1 an	—	—	-0,04; 0,16	92
Consommation O ₂	0,51	—	—	67
Oeufs Grosseur	0,05; 0,20; 0,50	—	—	42-43
" Nombre	0,16; 0,19; 0,67	—	—	42-43
" Volume	0,16; 0,20; 0,76	—	—	42-51
" Nombre/kg	0,20	—	—	42
Facteur K	-0,02 à 0,06	0,07 à 0,53 (1)	-0,12 à 0,04 0,71 à 0,81	53-54-81 80
Chair Rendement	0,01	—	0,03	51
Couleur	0,06	—	0,01	51
% Gras	0,47	—	—	67

2.4.2.2 Intensité de sélection

Tel que discuté précédemment, la réponse à la sélection est décrite par:

$$R = (S) \times (h^2) \quad \text{Équation 5}$$

La différentielle de sélection (S), représente la différence entre la valeur moyenne d'un caractère chez des individus sélectionnés et la valeur moyenne du même caractère pour la population entière, avant sélection. La différentielle de sélection correspond donc à une mesure de la pression de sélection.

La différentielle de sélection peut être définie à son tour par:

$$S = (i) \times (s) \quad \text{Équation 8}$$

où, i est l'intensité de sélection et s , l'écart-type du phénotype.

Le Tableau 4 présente quelques valeurs d'intensité de sélection par rapport au pourcentage de la population sélectionnée.

Tableau 4. Intensité de sélection (i) pour différents pourcentages de population sélectionnée.

SÉLECTIONNÉ (%)	INTENSITÉ i
50	0,80
25	1,27
10	1,76
5	2,06
1	2,67
0,1	3,37

Selon Minvielle (1990), le principal avantage de l'intensité de sélection (i) par rapport à la différentielle de sélection (S) est qu'il permet une comparaison directe des efforts de sélection pour des caractères différents (Tableau 5).

Tableau 5. Écart-type de deux caractères sélectionnés (s), différentielle de sélection (S) et intensité de sélection (i). L'intensité de sélection permet une comparaison directe des efforts de sélection.

CARACTÈRE	s	S	i
Poids	24 g	+ 36 g	1,5
% gras	1,5 %	+ 3,0 %	2,0

2.4.2.3 Variabilité phénotypique

D'après l'équation 4, la sélection sera plus efficace, à héritabilité égale, pour un phénotype à variance élevée. La Figure 3 illustre deux populations avec la même moyenne mais avec deux écart-types différents.

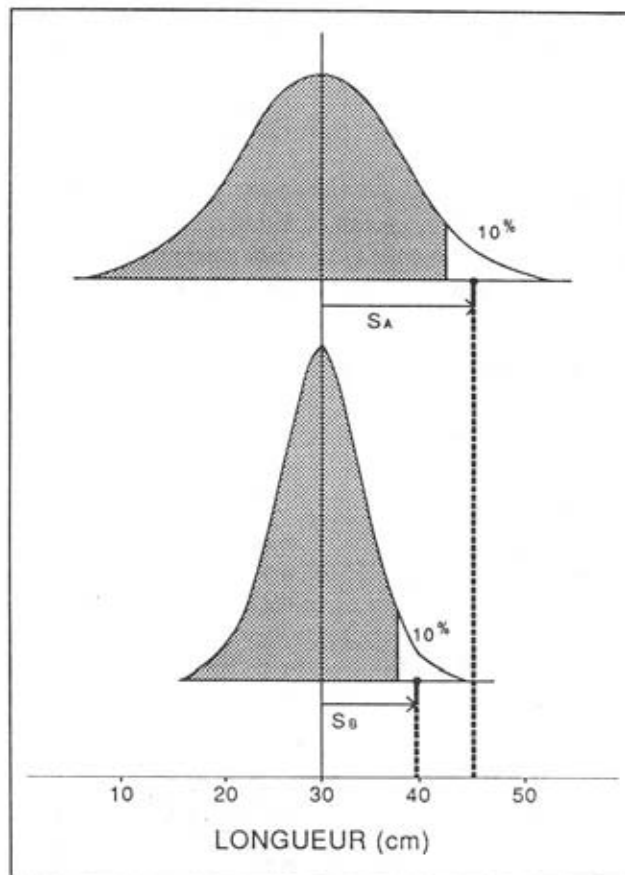


Figure 3. Deux populations caractérisées par une même moyenne (30 cm) mais dont les variances diffèrent. Tous les autres facteurs étant égaux, la sélection sera plus efficace avec la population A, car la variation du caractère est plus grande.

On observe qu'en sélectionnant la même proportion de chaque population (10 %), la différentielle de sélection S_A est plus grande.

Gjedrem (1975) précise que la sélection constitue un moyen efficace pour augmenter la productivité des élevages de poissons, la variabilité de la plupart des

caractères étant plutôt élevée. Les **coefficients de variation** de quelques phénotypes économiquement importants sont présentés au Tableau 6.

Tableau 6. Coefficients de variation (*CV*) et indices d'héritabilité (*h*²) moyens pour quelques phénotypes d'importance pour la production de truite arc-en-ciel et de saumon atlantique (Gjedrem, 1983).

PHÉNOTYPE	TRUITE A-E-C		SAUMON ATLANTIQUE	
	<i>CV</i>	<i>h</i> ²	<i>CV</i>	<i>h</i> ²
Poids, juvéniles	33	0,12	78	0,08
Poids, adultes	22	0,17	27	0,36
Longueur, juvéniles	14	0,24	23	0,14
Longueur, adultes	9	0,17	8	0,41
Rendement en chair	20	0,14	19	0,16
Couleur de la chair	23	0,06	16	0,01
Pourcentage de gras	10	0,47	—	—
Indice de carcasse	6	0,01	4	0,03

¹ *CV* = (Écart-type/moyenne) x 100

2.4.2.4 Exemple

Un éleveur désire initier un programme de sélection pour améliorer le taux de croissance d'une population d'ombles de fontaine. Les poissons, âgés de 18 mois, pèsent 350g en moyenne et l'éleveur sait que l'indice d'héritabilité (*h*²) de ce caractère est de 0,20 pour cette lignée, sur sa ferme. Il sélectionne 50 femelles et 40 mâles âgés de 18 mois, dont les poids moyens respectifs sont 430g et 450g. Quel sera le poids moyen probable des ombles à la prochaine génération, après 18 mois d'élevage dans les mêmes conditions environnementales?

La différentielle de sélection (*S*) correspond à:

$$S = \frac{\text{poids moyen des femelles sélectionnées} + \text{poids moyen des mâles sélectionnés} - \text{poids moyen de la population}}{2}$$

$$S = \frac{430 + 450}{2} - 350$$

$$S = 90 \text{ g}$$

La réponse à la sélection (*R*) sera:

$$R = (S) \times (h^2)$$

$$R = (90 \text{ g}) \times (0,2)$$

$$R = 18,0 \text{ g}$$

La génération suivante (*F*₁) pèsera en moyenne 18g de plus que la génération parentale et les ombles pèseront en moyenne:

$$F_1 = 350 \text{ g} + 18 \text{ g}$$

$$F_1 = 368 \text{ g}$$

2.4.3 SÉLECTION DIRIGÉE ET OBJECTIFS DE SÉLECTION

La sélection dirigée a pour but de changer un ou plusieurs caractères d'une population selon une notion préalable de ce qui est désirable en termes de productivité et de profits.

La première étape d'une sélection dirigée consiste à se définir des buts. Ces derniers, selon Refstie (1987), doivent être établis conjointement par l'industrie et par le consommateur. Un éleveur de truite destinée à l'ensemencement peut désirer un poisson plus facilement capturable, ou au contraire, moins capturable, ou encore avec une meilleure survie, une meilleure croissance. Un éleveur de truite destinée à la table peut désirer une meilleure croissance, une plus grande résistance à la maladie, un faible taux de conversion...

Gjedrem (1983) analyse sommairement l'importance économique relative de quelques critères de sélection pour les salmonidés destinés à la table (Tableau 7).

Tableau 7. Importance économique relative de quelques critères de sélection pour les salmonidés d'élevage (Gjedrem, 1983).

CRITÈRES DE SÉLECTION	IMPORTANCE
Croissance	+++
Qualité de la chair	++
Mortalité (stades précoces)	+
Mortalité (stades adultes)	++
Âge à la maturité	++
Fécondité	0

■ Taux de croissance

Une croissance rapide augmente le taux de roulement des inventaires. Puisque l'héritabilité et le coefficient de variation, associés au taux de crois-

2.6 HYBRIDATION

2.6.1 INTRODUCTION

Alors qu'on utilise la sélection pour produire des géniteurs de meilleure qualité, l'hybridation intervient surtout en dernière génération pour produire des animaux destinés à la consommation. Cette hybridation dite «terminale» a notamment pour buts:

1. d'augmenter la productivité; les résultats sont indépendants de la valeur sélectionnable des parents, et doivent donc être obtenus par «essais et erreurs». Ces essais peuvent être effectués au cours des programmes d'amélioration génétique, ce qui permet de choisir les lignées dont la sélection mérite d'être poursuivie en vue de l'hybridation terminale;
2. d'obtenir des produits uniformes non consanguins, à partir de lignées parentales consanguines;
3. de produire des animaux stériles (hybridation interspécifique uniquement).

Dans certains cas par ailleurs, l'hybridation intraspécifique peut intervenir, en préalable, à l'intérieur d'un programme de sélection (hybridation «initiale»), afin d'accroître la variabilité génétique nécessaire.

2.6.2 HYBRIDES INTERSPÉCIFIQUES

2.6.2.1 Introduction

L'hybridation interspécifique survient rarement en nature car le concept biologique d'une espèce repose sur l'isolation reproductrice des populations. En nature, les mécanismes d'isolement pré-accouplement agissent contre l'hybridation. Ces mécanismes peuvent être éliminés par hybridation artificielle (Naevdal et Dalpadado, 1987).

2.6.2.2 Hybrides intergénériques et intragénériques

Chevassus (1979) présente une synthèse des différents travaux d'hybridation effectués à l'intérieur de 3 genres de salmonidés (Figure 11). Ces résultats montrent que les croisements entre différents genres (**hybrides intergénériques**) donnent généralement de moins bons résultats que ceux effectués à l'intérieur du même

genre (hybrides intragénériques). On voit également pourquoi les truites américaines *Salmo gairdneri* et *S. clarki* sont maintenant classées dans le genre *Oncorhynchus*.

2.6.2.3 Hybrides d'espèces présentes au Québec

Les principales observations concernant les hybrides d'espèces présentes au Québec sont les suivantes:

- Avec le genre *Salvelinus*, l'hybridation intragénérique a des taux de réussite élevés et les produits sont généralement fertiles. En particulier, l'hybride entre l'omble de fontaine (*S. fontinalis*) et le touladi (*S. namaycush*), appelé «moulac» ou «splake», a été utilisé avec succès pour le repeuplement des grands lacs américains (Smith 1970, 1972). Par ailleurs, l'hybride entre l'omble de fontaine et l'omble chevalier (*S. alpinus*) conserverait les qualités respectives de survie et de croissance des espèces parentales.
- Les croisements intergénériques ont des réussites moindres et produisent des hybrides stériles, les gonades présentant toutefois un certain développement chez les mâles. Le saumon atlantique (*Salmo salar*) peut être croisé avec l'omble de fontaine ou l'omble chevalier, la seconde hybridation donnant de meilleurs résultats de survie et une croissance satisfaisante (Refstie et Gjedrem, 1975; Sutterlin *et al.*, 1977). La truite arc-en-ciel peut être croisée avec l'omble de fontaine, l'omble chevalier ou le touladi. Les hybrides n'ont de survies correctes que si l'on utilise la triploïdisation (Section 2.8), et leur croissance est légèrement inférieure à celle de la truite arc-en-ciel (Quillet *et al.* 1988). L'intérêt potentiel de ces hybrides se limiterait à des conditions de milieu particulières (eaux froides, présence de septicémie hémorragique virale par exemple).

2.6.2.4 Caractéristiques générales

Chevassus (1979, 1983), Naevdal et Dalpadado (1987) résument les principales caractéristiques des hybrides interspécifiques:

2.6.2.4.1 Viabilité aux premiers stades de développement

Elle est souvent faible, surtout chez les hybrides intergénériques, et variable d'un parent à l'autre. Par exemple, la survie de la truite «tigre» (tiger trout; *S. trutta* x *S. fontinalis*) correspond à 10-20 % de la survie des témoins à 2 mois; elle varie par ailleurs de 0 % à 43 % à la fin de la résorption du sac vitellin selon les parents utilisés (Blanc et Chevassus, 1979, 1982; Blanc et Poisson, 1983). Toutefois, on a observé que la triploïdie (Section 2.8) a pour effet d'augmenter notablement la

♀ \ ♂		SALVELINUS				SALMO				ONCORHYNCHUS						
		ALPINUS	MALMA	FONTALIS	NAMAYCUSH	TRUTTA	SALAR	GAIRDNERI	CLARKI	MASOU	RHODURUS	TSAWYTSCHA	NERKA	KETA	GORBUSCHA	KISUTCH
SALVELINUS	ALPINUS O. chevalier	C	n+	n+	S	S	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	MALMA Dolly varden		C	n+	S	e	o	o	S	S	o	o	o	o	o	o
	FONTALIS O. de fontaine	n+	n+	C	n+	e	o	o	S	S	S	S	e	o	o	o
	NAMAYCUSH Touladi				C	e	o	e	o	o	o	o	o	o	o	o
SALMO	TRUTTA T. brune	S	S	S	S	C	n-	o	S	S	o	o	o	o	o	o
	SALAR S. atlantique						C	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	GAIRDNERI T. arc-en-ciel	o	e	e	e	n+	e	C	e	e	o	o	o	o	o	e
	CLARKI T. fardée								C	o	o	o	o	o	o	o
ONCORHYNCHUS	MASOU S. masou								C	n+	o	o	o	o	o	o
	RHODURUS		S						n+	C	o	o	o	o	o	o
	TSAWYTSCHA S. chinook										C	o	o	n+	n+	o
	NERKA S. nerka			o	o	o	o	o	o	o	n+	C	n+	n+	e	e
	KETA S. keta										n	n	C	n	n	n+
	GORBUSCHA S. rose										n+	n+	n+	n+	C	n
KISUTCH S. coho			o	o	o	o	o	o	o	o	o	e	o	e	C	C



- Égal ou supérieur au témoin — excellent
- ▨ 40—80 % par rapport au témoin — bon
- ▧ 10—40 % par rapport au témoin — passable
- e Quelques survivants
- o Aucun individu à ce stade
- C Contrôle — espèce pure
- n gamétogénèse normale
- n+ fertilité des gamètes testée en F2 ou par rétrocroisement — résultats positifs
- n- fertilité des gamètes testée en F2 ou par rétrocroisement — résultats négatifs
- S gamétogénèse absente ou réduite morphologiquement — gamètes anormaux

Figure 11. Viabilité et fertilité des hybrides interspécifiques de salmonidés parmi les genres *Salvelinus*, *Salmo* et *Oncorhynchus* (tirée de Chevassus, 1979).

survie de divers hybrides (Chevassus *et al.*, 1983; Scheerer et Thorgaard, 1983; Blanc et Poisson, 1988). Par la suite, la survie de plusieurs hybrides interspécifiques serait assez élevée pour des fins commerciales, du moins si ces hybrides présentent des avantages par ailleurs.

2.6.2.4.2 Viabilité des immatures et des matures

Après une première alimentation, la survie des hybrides est la plupart du temps intermédiaire entre celle des parents. L'hybride hérite dans plusieurs cas de la résistance spécifique de l'un des parents. Par exemple, la grande vulnérabilité de l'omble de fontaine à la furunculose est réduite chez plusieurs hybrides impliquant une autre espèce de salmonidé (Susuki et Fukuda, 1971). Réciproquement, la résistance de la truite arc-en-ciel à la septicémie hémorragique virale est grandement améliorée par hybridation triploïde avec l'omble ou le saumon coho (Chevassus et Dorson, 1990). Par ailleurs, la truite tigre est plus tolérante à l'eau de mer que l'omble de fontaine.

Un des buts de l'hybridation étant de retarder ou d'inhiber la maturation, un tel effet aura en outre des conséquences positives sur la survie.

2.6.2.4.3 Croissance

La croissance des hybrides interspécifiques est, la plupart du temps, intermédiaire entre celle des parents (Blanc et Chevassus, 1982, 1986). L'effet de la «viguer hybride» (hétérosis) ne concerne que les croisements à l'intérieur d'une même espèce (Chevassus, 1983). Bien que de nettes exceptions aient été anciennement rapportées (Skinner, 1938; Brown, 1970), les cas de supériorité hybride ont généralement été démentis, ou du moins relativisés, par des travaux plus récents.

Dans les premiers stades de développement, en eau douce, plusieurs auteurs notent la supériorité de certains hybrides (Suzuki et Fukuda, 1971; Sutterlin *et al.*, 1977; Refstie et Gjedrem, 1975). Cependant, cette supériorité s'estompe le plus souvent à des stades ultérieurs; Suzuki et Fukuda (1971) observent même un taux de croissance inférieur pour ces hybrides à l'automne et en hiver. De plus, Refstie (1983) observe que la croissance supérieure de différents hybrides, faisant intervenir l'omble chevalier (*S. alpinus*) en eau douce, s'estompe après leur passage à l'eau de mer (Tableau 14).

En conclusion, Naevdal et Dalpadado (1987) mentionnent que la croissance des hybrides interspécifiques de salmonidés ne serait pas améliorée par rapport aux espèces parentales sauf à l'intérieur des premiers stades de développement; l'intérêt pratique de ces résultats reste à définir.

Tableau 14. Poids d'hybrides de salmonidés à 11 mois (grammes; Refstie et Gjedrem, 1975) et poids à l'abattage à 4 ans (Kg; Refstie, non publié). Données tirées de Kinghorn (1983b).

PARENT MALE	PARENT FEMELLE			
	O. CHE- VALIER	TRUITE COMMUNE	TRUITE DE MER	SAUMON
A) 11 MOIS				
O. chevalier	55,2	58,2	—	96,5
Truite commune	73,3	41,8	—	7,7
Truite de mer	58,3	24,9	31,8	6,1
Saumon	70,7	7,3	8,8	30,0
B) 4 ANS				
O. chevalier	1,27	1,53	—	3,94
Truite commune	2,07	1,93	—	2,26
Truite de mer	1,50	1,27	1,34	—
Saumon	2,38	—	—	4,17

2.6.2.5 Conclusion

Les principales applications de l'hybridation interspécifique seraient les suivantes:

- Une combinaison de caractères conférant à l'hybride une productivité supérieure. Ainsi, la «robustesse» d'une espèce envers la maladie peut être combinée à la croissance plus rapide d'une seconde.
- La stérilité, afin de prévenir une diminution de croissance en élevage, ou de maintenir un contrôle des populations ensemencées en milieu naturel. Cette stérilité n'est toutefois ni complète (chez les mâles) ni systématique, et doit donc être vérifiée expérimentalement.

Enfin, la mise en marché des hybrides interspécifiques reste pour l'instant limitée, puisque leur apparence, généralement, ne correspond pas aux habitudes des consommateurs.

2.6.3 HÉTÉROSIS ET HYBRIDES INTRASPÉCIFIQUES

La «viguer hybride» ou «hétérosis» est l'effet inverse de celui de la dépression consanguine. Lorsque des lignées consanguines sont croisées, les descendants montrent une amélioration des caractères qui avaient subi une détérioration par consanguinité (Falconer, 1989).

La supériorité ou l'infériorité des hybrides intraspécifiques est mesurée, pour un caractère donné, par l'hétérosis (H):

$$H = \frac{\text{Moyenne des hybrides} - \text{Moyenne des parents}}{\text{Moyenne des parents}} \times 100 \quad \text{Équation 19}$$

Quelques études ont mesuré le potentiel offert par le croisement de souches distinctes d'une même espèce. Les résultats sont très variables et les principales conclusions qui s'en dégagent sont les suivantes:

- Hörstgen-Schwark *et al.* (1986) évaluent la croissance, le taux d'éclosion et la qualité de carcasse de 4 souches de truite arc-en-ciel et de leurs hybrides:
 - des différences significatives existent entre les différentes souches; le développement de souches supérieures par sélection offrirait un potentiel très important;
 - les effets d'hétérosis sont très faibles et par conséquence les croisements systématiques entre souches, non recommandés.
- Linder *et al.* (1983) évaluent le poids et la qualité des carcasses de 5 lignées de truite arc-en-ciel et de leurs hybrides. Leurs résultats montrent avant tout la supériorité de l'une des cinq lignées, les hybrides se situant entre les parents.
- Ayles et Baker (1983) comparent la croissance et la survie de 7 souches et de 6 hybrides correspondants de truite arc-en-ciel dans des lacs utilisés pour fins d'élevage dans les prairies canadiennes. Ils observent une très grande différence entre les souches, soit du simple au double pour le poids moyen et, du simple au triple pour la survie. L'hétérosis a été observé dans certains croisements entre souches d'origines géographiques et génétiques éloignées.
- Webster et Flick (1981) concluent que l'hétérosis est présente chez l'omble de fontaine pour la croissance et la survie dans des croisements entre des souches sauvages du nord du Québec et des souches de l'état de New-York, mais que cet effet est sujet à des variations considérables.

En conclusion, l'effet de l'hétérosis pour la croissance et la survie ne se manifeste qu'occasionnellement chez les salmonidés et ce, à l'encontre de la carpe, où cet effet est beaucoup plus fréquent. Krieg (1989) explique cette différence par le niveau de différenciation génétique qui est plus important entre les populations de carpe, maintenues isolées depuis plus longtemps (par une domestication très ancienne) qu'entre les populations de salmonidés, de création relativement plus récente et qui ont subi un important brassage génétique (échange d'oeufs, de reproducteurs). Krieg (1989) souligne que lorsque ce brassage génétique entre lignées n'a pas été effectué, il est possible d'observer de l'hétérosis. Le croisement entre deux populations de truite-arc-en-ciel isolées depuis plusieurs générations, l'une de Norvège, l'autre des États-Unis, constitue un exemple d'hétérosis à l'appui de cette hypothèse (Figure 12).

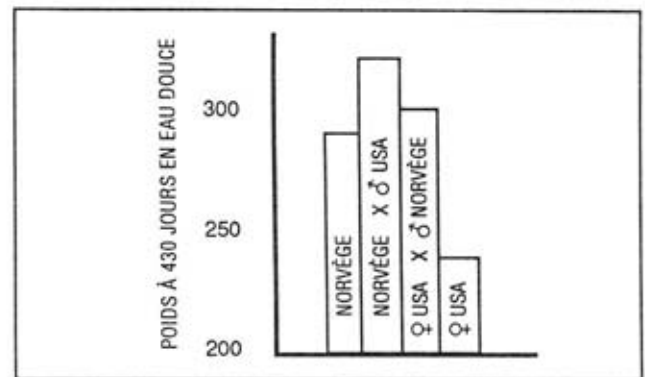


Figure 12. Hétérosis (H) pour la croissance entre deux populations de truites arc-en-ciel provenant de Norvège et des États-Unis (tirée de Krieg, 1989).