Bull. Fr. Pêche Piscic. (1992) **325 :** 47-68

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉLEVAGE DE L'OMBLE CHEVALIER (*SALVELINUS ALPINUS* L.) EN EAU DOUCE.

J. GUILLARD, C. GILLET, A. CHAMPIGNEULLE

Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA, 75 Av. de Corzent, BP 511, 74203 THONON, France.

Reçu le 18 septembre 1992
Accepté le 9 octobre1992

Received 18 September, 1992
Accepted 9 October, 1992

RÉSUMÉ

L'omble chevalier (*Salvelinus alpinus* L.) est un salmonidé d'eau froide. Ses caractéristiques physiologiques et biologiques étant différentes de celles des autres poissons de la même famille, les pratiques d'élevage ne sont pas identiques. Les principaux travaux concernant son élevage en eau douce sont présentés, de la fécondation à la production de poissons adultes à des fins de commercialisation.

Mots-clés : omble chevalier, *Salvelinus alpinus*, élevage, eau douce.

MAIN CHARACTERISTICS OF THE ARCTIC CHARR BREEDING (*SALVELINUS ALPINUS* L.) IN FRESH WATER.

ABSTRACT

The Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. is a cold water salmonidae. Its physiology and biology being different from the other salmonidae species, raising techniques are not the same. The main research results about its breeding in fresh water are reviewed in this paper, from the fecundation to the production of adult fish for trade.

Key-words : Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, breeding, fresh water.

Article available at http://www.kmae-journal.org or http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1992014

INTRODUCTION

L'omble chevalier (*Salvelinus alpinus* L.) est un salmonidé sténotherme d'eau froide ayant une distribution boréale circum polaire, commun dans les régions arctiques et subarctiques de l'Amérique du Nord et de l'Europe. L'espèce peut se rencontrer dans des milieux très différents (lacs, rivières, mers) sous des formes migratrices anadromes ou sédentaires en eau douce ("landlocked"). Sa position taxinomique a été pendant longtemps l'objet de débats, en particulier par suite de cette large distribution géographique, ainsi que de ses formes et modes de vie variables : âge et taille à la maturité sexuelle, époque et lieu de fraie, régime alimentaire,... Les adultes peuvent peser d'une centaine de grammes à plus de 10 kilogrammes. Souvent, dans un même lac, cohabitent plusieurs formes d'omble chevalier (JOHNSON, 1980).

En France, il se trouve en limite sud de son aire de répartition géographique et on le rencontre principalement dans des grands lacs alpins tels que le Léman et le Bourget, où il est autochtone (CHAMPIGNEULLE, 1985). Selon MACHINO (1991), il est également présent dans environ 130 lacs de moyenne montagne où il a été introduit (origines lémanique, autrichienne ou scandinave). Dans les lacs français l'omble chevalier effectue la totalité de son cycle de vie en lac.

Depuis le début du siècle, l'omble chevalier est élevé en pisciculture pour les besoins du repeuplement en lac (CRETTIEZ, 1906), mais ce n'est qu'au cours des années 1970 à 1980 que, devant le besoin de diversifier le marché de la salmoniculture, un intérêt croissant s'est porté sur de nouvelles espèces, et en particulier sur celle-ci.

Dans cet article, nous présenterons une vue d'ensemble des principales connaissances déjà acquises sur l'élevage de l'omble chevalier en eau douce. Ce poisson, avec un taux de croissance spécifique fort même à des basses températures, et une bonne image de marque, possède un potentiel aquacole important en dépit d'une certaine fragilité, si les conditions environnementales ne sont pas respectées. Un certain nombre de problèmes techniques doivent être résolus afin d'en optimiser l'élevage.

1. PRÉSENTATION DE L'OMBLE CHEVALIER

La forme des ombles chevaliers est similaire à celle des autres salmonidés, avec une tête courte et petite. Ses couleurs caractéristiques sont la plupart du temps des flancs rouges et/ou argentés avec des points blancs ; le bord des nageoires pectorales, ventrales et anale est blanc. Durant la période de fraie l'omble chevalier change de robe, spécialement les mâles qui prennent une couleur rouge-orangée, en particulier sur le ventre. Son comportement alimentaire dans le milieu naturel est très variable (planctonophage, benthophage, ichtyophage, mixte), et l'omble se trouve souvent dans des conditions de milieu où les ressources sont limitées. L'omble chevalier se tient souvent en petits bancs, en milieu benthique. Ce comportement est utilisé afin d'exploiter au mieux les agrégats de nourriture. Au sein d'un même lac l'espèce peut occuper différentes niches écologiques ; quand plusieurs formes cohabitent les phénomènes de compétition conduisent souvent à la séparation des types d'alimentation (ERIKSSON et WIKLUND, 1989).

En Suède et en Islande, un programme d'études et de sélection des souches est en cours, portant en particulier sur les aptitudes à l'élevage en pisciculture et sur les performances de croissance. Il est important de noter que des différences sensibles peuvent être observées dans les résultats et les comportements vis-à-vis de la croissance, de la survie, de la maturité sexuelle... Ces différences peuvent provenir d'une variabilité due à la diversité des souches (ADALSTEINSSON *et al.*, 1992) et des conditions d'élevage (JOBLING *et al.*, 1992).

2. CONDITIONS GÉNÉRALES DU MILIEU

Les conditions thermiques pour l'élevage de l'omble chevalier, espèce d'eau froide, ne sont pas très différentes de celles des autres salmonidés. Les exigences varient selon les stades et seront présentées pour les différentes phases d'élevage. L'omble chevalier est sensible à des valeurs de pH trop basses ; un pH situé entre 6 et 7,5 est correct (ERIKSSON et WIKLUND 1989). La concentration d'oxygène dissous dans l'eau ne doit pas être inférieure à 5 mg d'O_2/l d'eau, et le taux de saturation doit être compris entre 60 et 100 %. Les taux de consommation d'oxygène estimés (190 mg O_2/kg/h pour des poissons de 50 g) montrent que

ceux-ci sont plus faibles que ceux rapportés pour d'autres espèces de salmonidés dans les mêmes conditions d'élevage, indiquant que le taux de conversion pourrait être meilleur (JORGENSEN *et al.*, 1991).

La forme des bassins n'a pas encore été spécialement étudiée mais l'on obtient de bons résultats dans les structures habituelles. Le niveau de l'eau dans les bassins lors des premiers nourrissages doit être assez faible (environ 10 cm), et peut être augmenté après ; l'omble chevalier occupe tout le volume d'eau et non uniquement le fond contrairement à d'autres salmonidés. Pour des poissons de 5 à 50 grammes, des bassins de 1 mètre de haut peuvent être utilisés. Les bassins de type autonettoyants sont recommandés, en particulier pour les jeunes stades (STEINER, 1984 ; JOBLING *et al.*, 1992).

3. PREMIERS STADES

3.1. Incubation - éclosion - résorption

Après la fécondation, pratiquée généralement à sec, les œufs sont déposés dans des clayettes et doivent régulièrement être nettoyés pour supprimer les œufs morts et les traitements prophylactiques classiques peuvent être appliqués. Pendant une durée de 12 à 24 h après la fécondation les œufs ne doivent pas être manipulés. A partir du stade œillé les œufs peuvent être manipulés à nouveau sans risque, et transportés à sec avec de la glace, en atmosphère humide (ERIKSSON et WIKLUND, 1989). Les durées de développement sont aussi fonction des souches et de la taille des œufs qui varie en particulier selon l'âge et la taille des femelles. La production d'ovules est de 3.000 à 5.000 par kilogramme de femelle, et le diamètre des ovules va de 3 à 5 mm (ERIKSSON et WIKLUND, 1989).

Une bonne connaissance des durées de développement qui sont fonction de la température, permet d'optimiser les survies, et de contrôler la durée d'incubation. On peut ainsi agir sur les coûts économiques, sur l'étalement et/ou le contrôle des phases de production. Les durées de développement des œufs d'omble chevalier sont liées à la température de l'eau (Tableau I) (JUNGWIRTH et WINKLER, 1984).

Tableau I : Nombre de degrés-jours depuis la fécondation jusqu'à l'éclosion pour différentes températures, d'après JUNGWIRTH et WINKLER (1984).

Table I : Number of day-degrees from the fertilization until hatching for different temperatures, from JUNGWIRTH and WINKLER (1984).

Température (°C)	Durée de développement embryonnaire (degrés-jours)
2	496,6
4	464,8
6	451,2
8	443,2
10	437,0
12	433,2

Différentes courbes ont été établies qui mettent en évidence une mortalité importante à partir d'une température supérieure à 8 °C, et une mortalité totale au delà de 12 °C (Fig. 1) (SWIFT, 1965 ; JUNGWIRTH et WINKLER, 1984). Pour des températures inférieures à 8 °C et supérieures à 3 °C, la mortalité durant la période d'incubation est d'environ 10 à 15 % (JOBLING *et al.*, 1992).

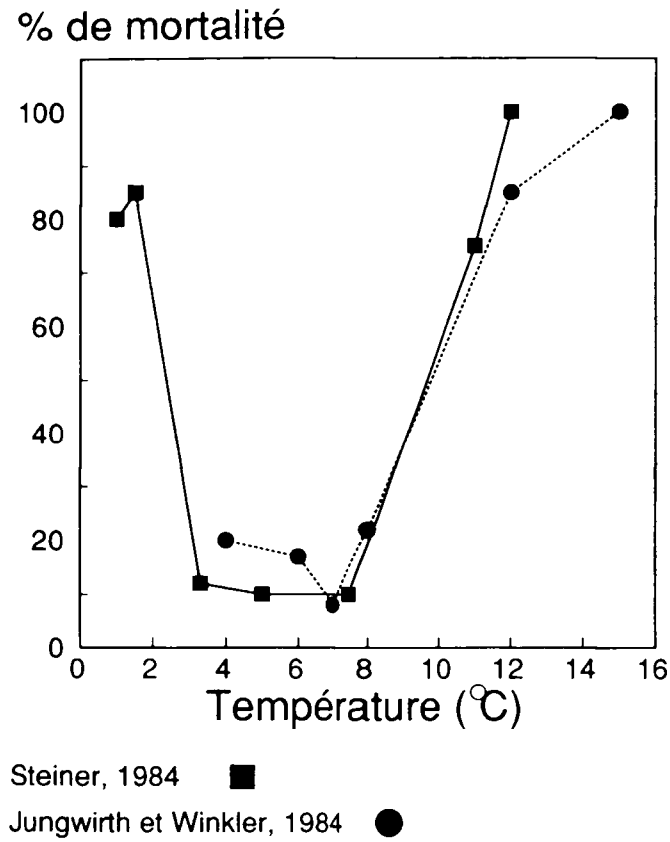

Figure 1 : Mortalité durant le développement des œufs à différentes températures, d'après STEINER,1984 ; JUNGWIRTH et WINKLER, 1984.

Figure 1 : Mortality during the development of eggs at different temperatures, from STEINER, 1984 ; JUNGWIRTH and WINKLER, 1984.

Après éclosion les alevins restent sur le fond ; lorsque les densités sont fortes dans des incubateurs à fond plat il peut y avoir des agglomérations d'alevins vésiculés provoquant de fortes mortalités. Ce problème peut être résolu en ajoutant des barres perpendiculaires supplémentaires pour assurer une meilleure répartition des alevins (MICHOUD, communication personnelle).

Les alevins provenant de gros œufs, plus grands au départ, grandissent plus vite, et ont une mortalité initiale inférieure à ceux qui proviennent d'œufs plus petits. Le sac vitellin est proportionnellement plus gros chez les alevins venant de gros œufs, mais l'on note aussi une proportion d'alevins anormaux plus importante (WALLACE et AASJORD, 1984 (a)).

Une température comprise entre 5 et 8 °C donne les meilleurs résultats tant du point de vue des mortalités que de la vitesse de développement (JOBLING *et al.*, 1992 ; JUNGWIRTH et WINKLER, 1984).

3.2. Les premiers nourrissages

La nourriture extérieure doit être fournie lorsque les poissons commencent à nager,en fonction de la température (Tableau II) (WALLACE et AASJORD, 1984 (b)). Le début du nourrissage se pratique généralement lorsque les premiers individus commencent à nager, à résorption des 2/3 du sac vitellin (STEINER, 1984). Si le fait de commencer le nourrissage avant cette période améliore légèrement les taux de croissance et de survie, il est important de ne pas démarrer trop tard, car dans ce cas les taux sont nettement moins bons (WALLACE et AASJORD, 1984 (b)). STEINER (1984) observe quant à lui que le fait de démarrer de façon précoce le nourrissage n'améliore en rien les taux de croissance et de survie.

Tableau II : Nombre de degrés-jours où 50 % des individus commencent à nager en fonction de la température, d'après WALLACE et AASJORD (1984 (b)).

Table II : Number of day-degrees where 50 % of the fry begin to swim at different temperatures, from WALLACE and AASJORD (1984 (b)).

Température (°C)	Degrés-jours
3	198
4	236
6	270
8	312
10	360
12	420

Les équipements standards de salmoniculture peuvent être utilisés. Pendant la période initiale de nourrissage, la hauteur d'eau dans les bassins ne doit pas excéder environ 10 cm, et la vitesse du courant doit être inférieure à 1 longueur de corps/s (ERIKSSON et WIKLUND, 1989). Un débit minimum de 1,5 l/min/kg pour des poissons jusqu'à 1 g, à une température de 8 °C est conseillé. Des conditions environnementales et d'hygiène médiocres telles que des taux d'oxygène bas, un débit trop fort, des manipulations brutales, un fond trop rugueux, entraînent des mortalités importantes (STEINER, 1984).

Le poids moyen initial des alevins est souvent inférieur à 0,1 g, à comparer avec des poids moyens de 0,25 g à 0,3 g chez les truites arc-en-ciel et les saumons atlantiques ; les problèmes de démarrage sont équivalents voire plus difficiles que pour les autres espèces. Un pourcentage de survie supérieur à 90 % a été obtenu sur la souche Léman en conditions réelles d'exploitation avec de l'aliment sec (CHAMPIGNEULLE et GUILLARD, 1990).

STEINER (1984) recommande un régime à base de zooplancton au début du nourrissage, avec une diminution progressive de cette part. De nombreux auteurs (WALLACE et AASJORD, 1984 (b) ; WALLACE *et al.*, 1988 (b) ; ERIKSSON et WIKLUND, 1989) considèrent qu'une nourriture traditionnelle pour salmonidés avec une distribution fréquente (distributeurs automatiques) donne de bons résultats au démarrage.

DABROWSKI et al. (1992) soulèvent le problème de l'hétérogénéité des origines, qui pourrait entraîner des différences de croissance et de survie selon le régime alimentaire fourni. Si contrairement à STEINER (1984), DABROWSKI *et al.* (1992) considèrent qu'il n'y a pas d'amélioration avec un régime à base de nourriture vivante ces auteurs soulignent l'importance de la qualité (teneur en protéine) de l'aliment. Une baisse minime de la qualité entraîne une acceptation moins facile, d'où une baisse des taux de croissance et de survie qui peut être importante. Des cycles endogènes de croissance ont été mis en évidence, en fonction de différents stimuli (luminosité, rythmes d'alimentation,...) qui pourraient conduire à des améliorations des résultats, directement liées à la qualité des régimes fournis ; les régimes à haute teneur protéique donnent les meilleurs résultats (DABROWSKI *et al.*, 1992).

Du point de vue thermique, une température de 12 °C donne de moins bons résultats qu'à 3 et 8 °C, et WALLACE et AASJORD (1984 (b)) considèrent que 12 °C est une température limite pour le démarrage des alevins, tant au point de vue de la croissance (Fig. 2) que de la survie ; au-dessus de 12 °C la mortalité augmente fortement.

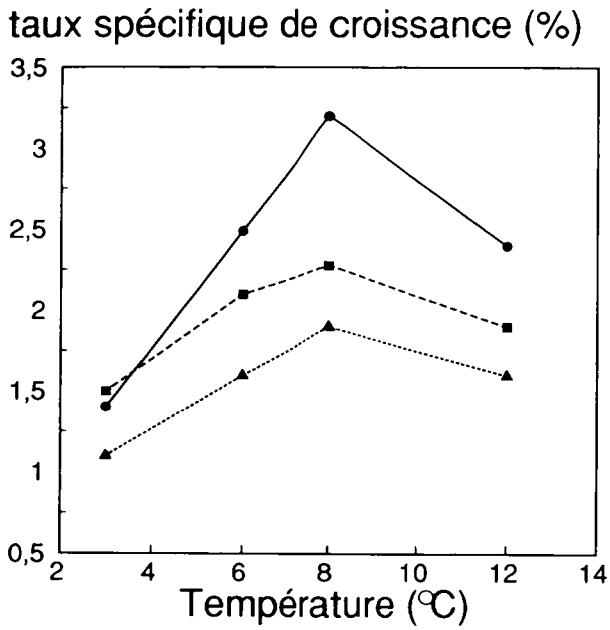

Figure 2 : Relation entre la température et le taux de croissance spécifique pour la période allant de l'éclosion jusqu'à la résorption pour des poissons nourris, d'après WALLACE et AASJORD, 1984 (b).

cercle : depuis l'éclosion ;
carré : aux 2/3 de la résorption ;
triangle : à la fin de la résorption.

Figure 2 : Relation between temperature and specific growth rate from the hatching to the resorption for fish fed, from WALLACE and AASJORD, 1984 (b).

circle : from hatching ;
square : 2/3 of the resorption ;
triangle : at the end of the resorption.

Avec des nourrisseurs automatiques et de bonnes conditions environnementales, les taux de survie peuvent atteindre 95 % (WALLACE *et al.*, 1988 (b)).

4. L'ALIMENTATION

4.1. La taille des particules

La taille des particules joue un rôle important dans les taux spécifiques de croissance des poissons, et il est nécessaire de fournir les tailles adéquates. TABACHEK (1988) définit de la manière suivante les tailles recommandées pour des températures de 11-12 °C (Tableau III) : les meilleurs taux de croissance ont été trouvés chez l'omble chevalier avec des particules représentant 21 % de la bouche pour des poissons de 3 à 7 g, 23-25 % pour ceux de 9 à 12 g, et de 31-33 % pour ceux de 16 à 21 g.

Tableau III : Taille des particules par poids moyen d'ombles chevaliers élevés à 11-12 °C, d'après TABACHEK (1988).

Table III : Size of particles per mean weigth of Arctic charr breeded at 11-12 °C, from TABACHEK (1988).

Poids moyen (g)	Taille moyenne (mm)	Longueur particules (mm)
3	73	1,1-1,3
5	81	1,1-1,5
7	94	1,3-1,85
9	97	1,3-2,2
12	109	1,55-2,2
16	121	2,6-3,1
21	133	>3,1

Pour ERIKSSON et WIKLUND (1989), afin d'obtenir les meilleurs résultats de croissance, le diamètre des particules à employer doit correspondre à environ 2 à 2,5 % de la longueur totale du corps, pour des tailles comprises entre 20 et 40 cm (Tableau IV).

Tableau IV : Diamètre des particules en fonction de la taille du poisson, d'après ERIKSSON et WIKLUND (1989).

Table IV : Diameter of particles according to fish length, from ERIKSSON et WIKLUND (1989).

Taille moyenne (cm)	Diamètre des particules (mm)
20	4
25	6
30	7
35	8
40	9

AASJORD et WALLACE (1980) ont noté qu'une part des mortalités (2 à 14 %) pour les jeunes stades étaient dues à l'absorption de particules cellulosiques de taille supérieure (0,8 à 2,3 mm) à la taille théorique (niveau 0,42 à 0,6 mm), et de forme élargie, pointue et pas toujours digestibles.

4.2. La composition des aliments

Si l'emploi de nourriture commerciale traditionnelle pour salmonidés donne de bons résultats (GJEDREM et GUNNES, 1978 ; JOBLING et WANDSVICK, 1983 (a) ; PAPST et HOPKY, 1984 ; TABACHEK, 1984), on doit pouvoir optmiser l'élevage de l'omble chevalier

en utilisant une alimentation plus spécifique (RINGO, 1989). En particulier il semble que la quantité d'acides gras essentiels nécessaire à l'omble chevalier soit plus forte que pour les autres salmonidés (OLSEN *et al.*, 1991).

TABACHEK (1986) souligne qu'un régime composé de 54 % de protéines, et 20 % de lipides pour des individus de 3,0 à 5,4 g de poids moyen initial, augmente les taux de croissance, de conversion, induit une composition meilleure des tissus, mais que l'on peut descendre jusqu'à un taux de 44 % de protéines en n'ayant qu'une réduction très faible de la croissance. Pour des poissons de 18,5 g de poids initial moyen, un régime avec 43,6 % ou 36 % de protéines donne des résultats de croissance identiques (JOBLING et WANDSVIK, 1983 (b)). D'après ces auteurs le taux de protéines nécessaire est identique à celui de la truite arc-en-ciel. Selon SVËDANG (1991) une mauvaise qualité de l'aliment (% en cellulose élevé) peut diminuer le taux de croissance et modifier le taux de maturation des mâles.

Afin d'améliorer la qualité de présentation des poissons pour le consommateur il est courant en salmoniculture d'incorporer des caroténoïdes dans l'aliment pour augmenter la pigmentation des poissons. Les expériences ont montré que pour des ombles chevaliers d'au moins 17 g, la canthaxanthine se dépose de façon plus satisfaisante que pour d'autres salmonidés tel que le saumon atlantique et la truite arc-en-ciel (CHRISTIANSEN et WALLACE, 1988).

4.3. La quantité d'aliment à fournir

La quantité de nourriture ingérée (QI) (en mg/poisson/jour) est estimée par JORGENSEN *et al.* (1991) par la formule suivante (1) :

$$QI = 1,15\ (1,671 + 3,319\ T)\ P^{0.651} \quad (1)$$

avec T la température en °C comprise entre 1 et 14 °C et P le poids du poisson en grammes compris entre 10 et 600 g.

JOBLING *et al.* (1991) ont publié des tables de la quantité d'aliment ingéré, en pourcentage du poids du corps par jour, pour différentes tailles d'omble chevalier basées sur les estimations obtenues à partir de poissons ayant des taux de croissance indiqués dans le tableau V, et élevés à différentes températures (Tableau VI). Les valeurs données ont été déterminées par radiographie des poissons (JORGENSEN et JOBLING, 1989) et donc ne tiennent pas compte des quantités perdues non ingérées. En pratique il est donc évidemment nécessaire d'augmenter ces quantités, en relation avec les tables classiques de quantité d'aliment à fournir.

Tableau V : Effet du poids moyen (g) et de la température (°C) sur le taux de croissance (%) de l'omble chevalier, d'après JOBLING *et al.* (1991).

Table V : Effect of mean weigth (g) and temperature (°C) on specific growth rate (%) of Arctic charr, from JOBLING *et al.* (1991).

	Température (°C)				
Poids (g)	2 °C	4 °C	6 °C	8 °C	10 °C
10	0,56	1,05	1,53	2,02	2,50
20	0,44	0,82	1,20	1,59	1,96
30	0,38	0,71	1,04	1,37	1,70
50	0,32	0,59	0,87	1,15	1,42
100	0,25	0,47	0,68	0,90	1,12
150	0,22	0,40	0,59	0,78	0,97
200	0,20	0,37	0,54	0,75	0,88
250	0,18	0,34	0,50	0,65	0,81
300	0,17	0,32	0,46	0,61	0,76
400	0,15	0,29	0,42	0,55	0,69
500	0,14	0,27	0,39	0,51	0,63
750	0,12	0,23	0,34	0,44	0,55

Tableau VI : Effet du poids moyen (g) et de la température (°C) sur la quantité d'aliment ingéré (% poids moyen/jour avec une nourriture commerciale) par l'omble chevalier, d'après JOBLING *et al.* (1991).

Table VI : Effect of mean weigth (g) and temperature (°C) on the quantity of ingested food (% mean weight/day with a commercial food) for the Arctic charr, from JOBLING *et al.* (1991).

	Température (°C)				
Poids (g)	2 °C	4 °C	6 °C	8 °C	10 °C
10	0,43	0,77	1,11	1,45	1,79
20	0,34	0,60	0,87	1,14	1,41
30	0,29	0,52	0,76	0,99	1,22
50	0,24	0,44	0,63	0,83	1,02
100	0,19	0,34	0,50	0,65	0,80
150	0,17	0,30	0,43	0,56	0,70
200	0,15	0,27	0,39	0,51	0,63
250	0,14	0,25	0,36	0,47	0,58
300	0,13	0,23	0,34	0,44	0,55
400	0,12	0,21	0,31	0,40	0,50
500	0,11	0,20	0,28	0,37	0,46
750	0,09	0,17	0,25	0,32	0,40

4.4. Modes d'alimentation

Le rythme d'alimentation est un facteur important de croissance chez l'omble chevalier, et en particulier pour les juvéniles, ainsi que dans la phase de démarrage. L'emploi de nourrisseurs automatiques est fortement recommandé (STEINER, 1984 ; JORGENSEN *et al.*, 1991 ; JOBLING *et al.*, 1992).

En distribuant la même quantité de nourriture pendant un cycle de 24 h au lieu de 8 h, CHAMPIGNEULLE *et al.* (1991) constatent que l'hétérogénéité en taille de la population a tendance à diminuer. Lorsque le rythme d'alimentation est réduit, les effets de hiérarchie sont augmentés par un accès restreint à la nourriture. Même s'il n'y a pas de compétition directe entre individus pour l'accès à la nourriture, la présence de gros individus inhibe la croissance des autres. En accélérant les rythmes de distribution on brise les effets des hiérarchies (JOBLING, 1983 (a)).

Une partie non négligeable des aliments peut être prise sur le fond, et ceci aussi bien de jour que de nuit. D'après JORGENSEN et JOBLING (1990), l'omble doit avoir accès à cette partie de la nourriture sur le fond pour maintenir des taux de croissance et de conversion élevés. Les bassins munis de grilles à grosses mailles sur le fond ainsi que les cages sont donc à proscrire pour l'élevage de ce poisson.

5. FACTEURS INFLUENÇANT LA CROISSANCE

Un certain nombre de facteurs environnementaux ou autres peuvent influer sur les résultats de croissance chez l'omble chevalier. Ces différents paramètres induisent des comportements différents chez les poissons, en particulier au niveau des interactions sociales et des effets de hiérarchie qui sont des facteurs primordiaux dans les taux de croissance. Les effets de hiérarchie sont augmentés si l'accès à la nourriture est restreint. L'importance des facteurs comportementaux a été mise en évidence par JOBLING en 1985 qui a constaté une relation positive entre le taux de croissance et la taille initiale des individus, suggérant que le

taux de croissance est déterminé par les interactions sociales entre individus, et particulièrement les phénomènes de dominance. Les interactions sociales liées à la densité, aux rythmes de nourrissage, à la forme des bassins, au courant,... (JOBLING et WANDSVIK, 1983 (a)) exacerbent les tendances de certains individus à taux de croissance faible, déterminés par des facteurs physiologiques et/ou génétiques au profit des gros individus (JOBLING et REINSNES, 1986). D'après ces auteurs le simple contact visuel n'est pas suffisant pour expliquer ces différences, et des facteurs variés (physiologiques, génétiques, comportementaux) interviennent. Des individus petits au départ ont un taux de croissance inférieur même s'ils sont élevés individuellement.

5.1. Le tri

Traditionnellement en salmoniculture, les poissons sont triés afin de respecter de façon optimale les régimes alimentaires et la taille des particules. La rupture des hiérarchies établies à l'intérieur des bassins conduit à un gain important en biomasse en supprimant l'effet négatif des plus gros individus sur les plus petits. Mais chez l'omble chevalier le gain de croissance gagné par des tris successifs ne semble pas évident, et ceci indépendamment de l'âge des poissons. Plusieurs auteurs ont testé l'influence du tri et ceci pour différentes classes de tailles :

— WALLACE et KOLBEINSHAWN (1988) ont élevé pendant 75 jours des poissons de poids moyen initial de 5,5 g divisés en trois groupes : ≤ 5,5 g ; > 5,5 g ; et non triés.

— JOBLING et REINSNES (1987) avec des poissons plus gros : ≤ 30 g ; > 30 g ; et non triés, ceci pendant 5 mois.

— BAARDVICK et JOBLING (1990) avec des individus de taille inférieure ou supérieure à 17 cm, et non triés, et ceci pendant 175 jours.

Les différents auteurs concluent que le gain de biomasse est plus élevé au total pour les poissons non triés par rapport à la somme des poissons triés "petits" plus "grands". Le gain potentiel des "petits" poissons est annulé par les taux moins bons chez les "gros" individus. Les taux de croissance individuelle pour des tailles initiales identiques sont meilleurs chez les poissons non triés.

Les phénomènes de compétition intraspécifique et d'agressivité jouent un rôle majeur dans la croissance de l'omble chevalier. Les interactions entre individus apparaissent comme plus fortes dans le cas de poissons de taille proche, par rapport à des individus de taille très hétérogène, expliquant ainsi les différents résultats. JOBLING et WANDSVIK (1983 (a)) soulignent que le mélange de poissons provenant de groupes d'individus triés n'affecte ni l'appétit, ni les taux de conversion individuels. Quelles que soient les conditions du milieu l'hétérogénéité à l'intérieur des groupes augmente, et cette augmentation provoque la diminution du taux de croissance chez les plus petits individus de chaque lot. La pratique du tri ne doit donc pas être trop fréquente et doit être limitée à la rationalisation de l'élevage (JOBLING *et al.*, 1992). CHAMPIGNEULLE *et al.* (1991) constatent par ailleurs l'intérêt d'un tri précoce pour la production de préestivaux dans le cadre d'une pisciculture de production pour le repeuplement. La sélection au niveau du tri se fait surtout entre individus de corpulences différentes ; le tri précoce (avant 1-2 g) favorise l'obtention de grands estivaux, homogènes en taille et ayant un bon coefficient de condition.

5.2. La lumière

Selon les saisons, mais aussi en fonction de l'âge, de la souche d'origine, les rythmes d'activité de l'omble chevalier sont variables (LINNER *et al.*, 1990). Il a été observé pour l'omble chevalier,dans les conditions scandinaves, que pendant le printemps, l'automne et l'hiver les pics d'activité d'alimentation correspondent à la tombée du jour, et que la majorité de la nourriture est consommée pendant la nuit. Durant l'été les rythmes d'activité sont équivalents à ceux de la truite arc-en-ciel, mais différents de ceux du saumon (JORGENSEN et JOBLING, 1989) (Fig. 3).

Pour des juvéniles d'omble chevalier (1,4 g de poids initial moyen), un éclairement de 50 lux a donné des résultats meilleurs en terme de croissance et de survie que des intensités lumineuses supérieures (200 et 700 lux), ou inférieures à 10 lux (WALLACE *et al.*, 1988 (a)).

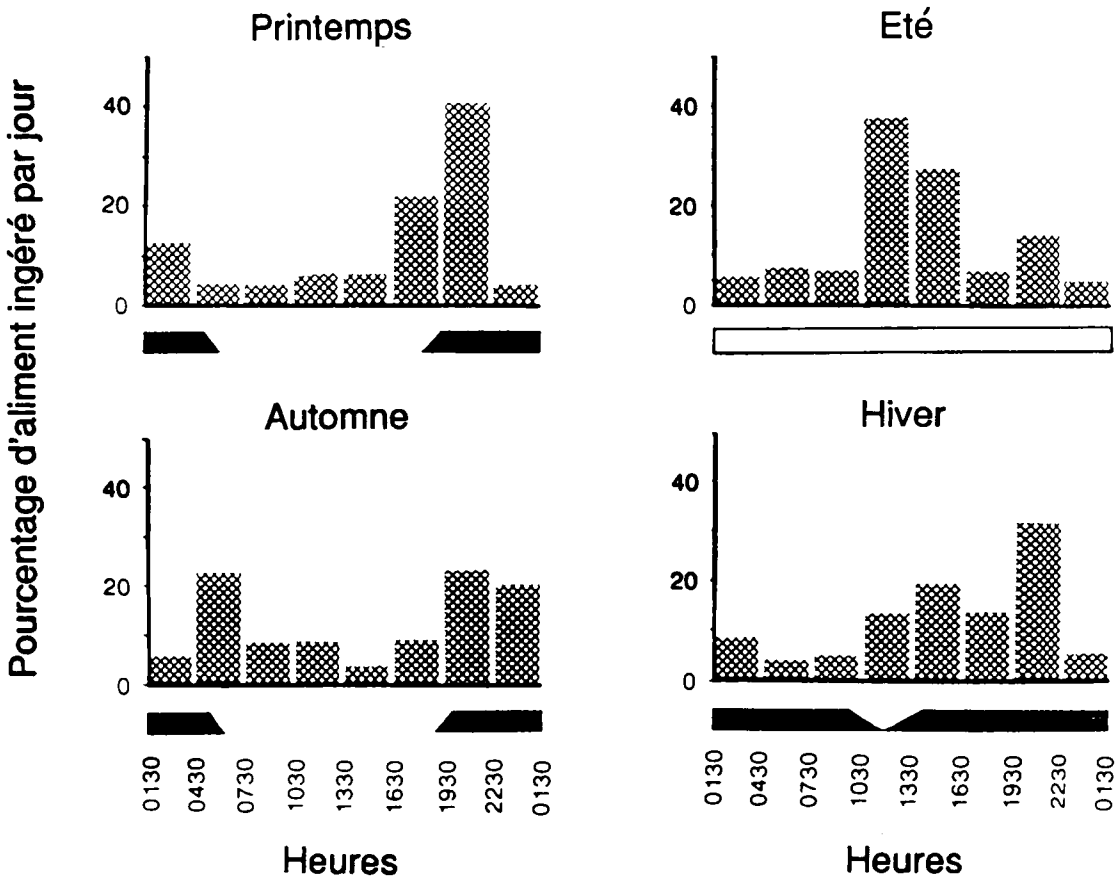

Figure 3 : Pourcentage d'aliment ingéré par jour durant des laps de temps de 3 heures. Les mesures ont été réalisées à différentes saisons en conditions simulées de longueur de jour. Les bandes noires horizontales indiquent la période d'obscurité, d'après JORGENSEN et JOBLING, 1989.

Figure 3 : Percentage of ingested food by day during 3 hours periods. The measures were done at different seasons in simulated natural daylength condition. The dark horizontals bars show the obscurity, from JORGENSEN and JOBLING, 1989.

Les capacités visuelles de l'omble chevalier aux faibles conditions d'éclairement apparaissent comme une adaptation aux conditions environnementales naturelles (région arctique et lac profond) (LINNER *et al.*, 1990). Des conditions d'éclairement continu semblent être défavorables pour la majorité des souches d'omble chevalier scandinaves (BARNUNG, 1989). L'élevage dans ces conditions constantes d'éclairement et de température a permis de mettre en évidence des rythmes endogènes de croissance, avec des cycles d'environ 6 mois (JOBLING, 1987).

Les différentes expériences citées ont été réalisées en Scandinavie où les cycles lumineux sont différents de ceux qui existent en France, et les intensités maximales beaucoup moins fortes que dans nos régions. Elles mettent en évidence la nécessité de couvrir les bassins à nos latitudes.

5.3. Les densités

Les taux de croissance des poissons sont directement liés à la densité. Lors des premiers stades de nourrissage les densités importantes de poisson donnent des résultats de croissance

meilleurs et des taux de mortalité plus faibles. Les poissons élevés à des densités de 25 à 50 alevins/l ont des résultats moins bons que ceux élevés dans des densités plus fortes (70 à 250 alevins/l). Pour des ombles chevaliers plus grands (poids moyen de 5,5 g), le taux de croissance est corrélé positivement avec la densité de poissons, et ceci jusqu'à 37 kg de poisson par m^3 (WALLACE *et al.*, 1988 (b)) (Fig. 4).

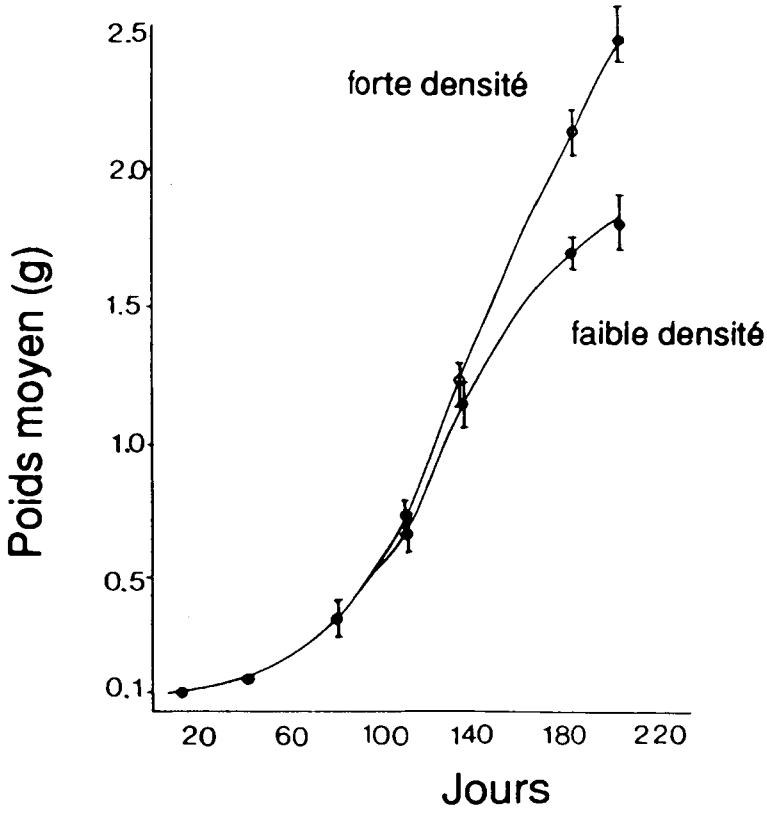

Figure 4 : Résultats de croissance d'alevins d'omble chevalier élevés dans des groupes de densités faibles (≤ 50 i./l) ou fortes (≥ 70 i./l), pendant 220 jours, d'après WALLACE *et al.*, 1988 (b).

Figure 4 : Growth in groups of Arctic charr fry, held at high (≥ 70 n./l) and low (≤ 50 n./l) stocking densities during the first 220 days of exogenous feeding, from WALLACE *et al.*, 1988 (b).

Plusieurs auteurs (JOBLING *et al.* ; 1992 ; BAARDVIK et JOBLING, 1990 ; WALLACE *et al.*, 1988 (b)) ont confirmé ces constatations, et on a pu tester expérimentalement des densités allant jusqu'à 225 kg/m^3 mais il semble qu'au-dessus de 70 à 80 kg/m^3 de nombreux problèmes commencent à se manifester en particulier d'ordre pathologique (BARNUNG, 1989 ; JOBLING *et al.*, 1992). Les fortes densités de poisson font que les comportements de compétition, d'agressivité sont en partie inhibés, en faveur d'un comportement en banc (WALLACE *et al.*, 1988 (b)).

5.4. Le courant

De la même manière que les densités influent directement sur les taux de croissance, ceux-ci sont corrélés positivement à la vitesse du courant. Pour des alevins de taille initiale moyenne de 26 mm et de poids moyen de 0,13 g, la croissance est meilleure chez des individus soumis à des courants par rapport à ceux maintenus en eau stagnante. L'exercice soutenu entraîne une différence dans la composition des tissus, avec une diminution des lipides au profit des protéines. Des différences de poids de plus de 20 % en 189 jours sont observées (CHRISTIANSEN *et al.*, 1989).

Les différences de croissance peuvent être dues à différents facteurs : prise d'aliments plus importante, meilleur taux de conversion des aliments, et surtout diminution des phénomènes d'agression interindividuels par un comportement en banc. CHRISTIANSEN et JOBLING (1990) ont confirmé et affiné ces résultats en procédant à des examens radiographiques de poissons pour évaluer les quantités de nourriture avalées. Le maximum de croissance, pour des ombles chevaliers de poids moyen de 20 g et de longueur moyenne de 13 cm, est observé pour une vitesse d'environ 1,75 lp/s (longueur de poisson/seconde).

5.5. Duoculture

La pratique de l'élevage en duoculture, par exemple saumon atlantique et omble chevalier, a montré aussi l'importance du comportement sur les taux de croissance. Par la diminution des interactions intraspécifiques les effets sont bénéfiques dans ce type d'élevage (NORTVEDT et HOLM, 1988 ; HOLM, 1989).

5.6. Effet de la température et résultats de croissance

De par ses origines arctiques l'omble chevalier est un salmonidé sténotherme d'eau froide, qui même à des températures très basses voisines de 0 °C présente des taux de croissance non nuls. ERIKSSON et WIKLUND (1989) citent des taux de croissance de l'ordre de 0,3 %/j pour des températures de 0,3 °C.

Evidemment, les taux de croissance vont être fonction de la température de l'eau, mais il existe aussi des cycles endogènes qui varient en fonction des saisons (JOBLING, 1987).

JOBLING (1983, b) décrit par l'équation (2) les taux de croissance d'un omble chevalier en fonction de la température, d'après des données recueillies dans un grand nombre de pisciculture, avec des poissons nourris avec de l'aliment de type commercial, de poids moyen compris entre 10 et 600 g, pour une température comprise entre 1 et 14 °C :

$$C = 7{,}5\ (0{,}0219 + 0{,}0727\ T) + P^{-0.325} \quad (2)$$

où C est le taux spécifique de croissance (% du poids/j), P le poids en grammes, et T la température en degrés Celsius.

Pour des individus de poids initial de 18 g, élevés pendant 6 mois à une température constante de 10 °C, le taux de croissance (5-6 %/j) est aussi bon que pour d'autres salmonidés élevés dans les mêmes conditions. Au bout de ce laps de temps, les individus pèsent 135 g. A une température de 14 °C, le taux spécifique de croissance est de 7,5 %/j, et c'est un des taux de croissance les plus forts parmi les salmonidés (JOBLING, 1983 (b)).

En 1964, SWIFT avait trouvé que le taux optimal de croissance était atteint entre 12 et 14 °C. WANDSVIK et JOBLING (1982) ont montré que pour trois températures (2,9 ; 8,4 ; 13,1 °C) la meilleure croissance était obtenue à 13,1 °C, avec des souches scandinaves. PAPST et HOPSKY (1984) pour une température d'élevage de 13 °C ont des poissons qui passent en 209 jours de 2,2 g à 158,1 g de poids moyen.

Pour JOBLING *et al.* (1992) si le taux de croissance entre 4 et 8 °C est satisfaisant, l'optimum se situe entre 12 et 15 °C, les températures supérieures donnant des résultats très vite décroissants (Fig. 5). On notera aussi les résultats obtenus par ERIKSSON et WIKLUND (1989) pour deux températures différentes (Fig. 6).

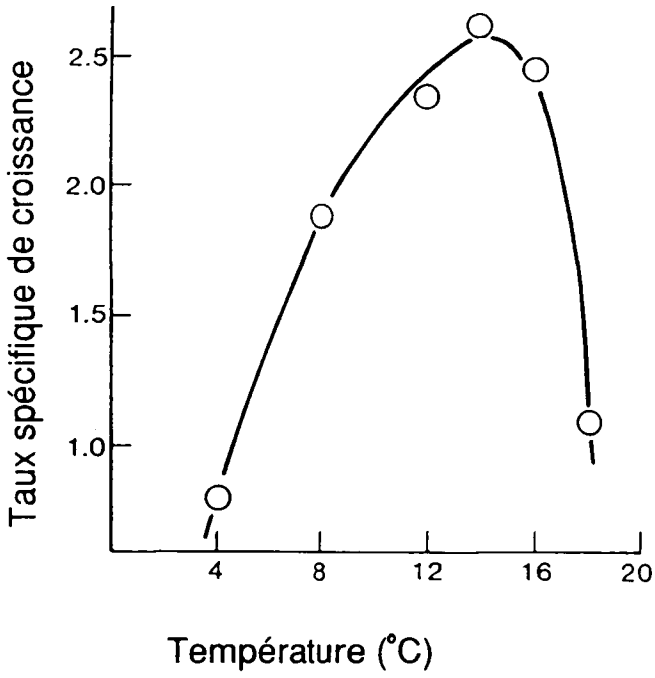

Figure 5 : Effet de la température sur les taux de croissance de l'omble chevalier, d'après JOBLING *et al.*, 1992).

Figure 5 : Effect of temperature on specific growth rate of Arctic charr, from JOBLING *et al.*, 1992.

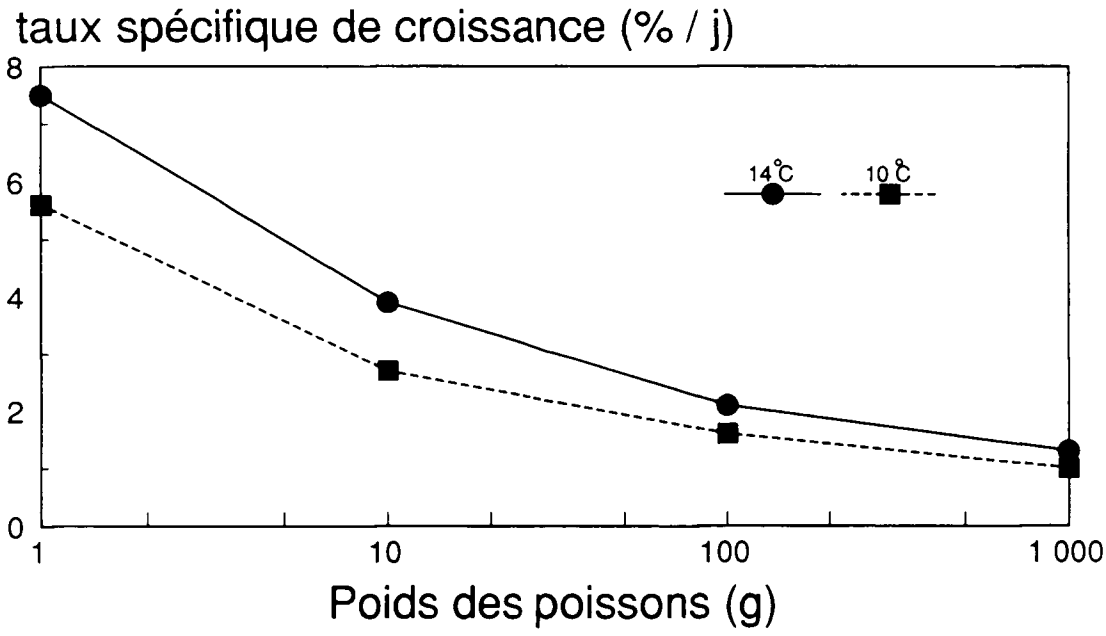

Figure 6 : Taux spécifique de croissance d'omble chevalier de différentes tailles élevés à deux températures différentes, d'après ERIKSSON et WIKLUND, 1989.

Figure 6 : Specific growth rates of Arctic charr from different lengths in two different temperatures, from ERIKSSON and WIKLUND, 1989.

Si effectivement les auteurs s'accordent pour dire qu'en conditions expérimentales les taux de croissance sont les meilleurs entre 12 et 15 °C, ils constatent aussi qu'à partir de 14-15 °C la vulnérabilité aux maladies augmente de façon importante. En structures d'élevage les conditions optimales, tant du point de vue mortalité que croissance se situent dans la gamme 10-13 °C (JOBLING *et al.*, 1992 ; ERIKSSON et WIKLUND , 1989). On notera aussi que les températures optimales pour la croissance sont différentes de celles qui le sont pour le début du nourrissage. GJEDREM et GUNNES (1978) ont comparé la croissance de plusieurs salmonidés à partir des premiers nourrissages, et constatent que pour la période juvéniles en eau douce l'omble chevalier a des performances équivalentes à celles de la truite arc-en-ciel.

Pour la souche Léman de nombreux problèmes pathologiques, en particulier la furonculose, s'intensifient à partir de 10 °C. Au delà de cette température le niveau de concentration en oxygène et les débits doivent être augmentés (GILLET, données non publiées). Du point de vue de la qualité organoleptique du poisson il semble qu'un grossissement plus lent à des températures inférieures à 10 °C soit favorable.

6. LES MALADIES

L'omble chevalier est sensible à diverses maladies virales, bactériennes, et parasitaires. Les symptômes observés et les traitements employés sont proches de ceux qui le sont chez les autres salmonidés. L'omble chevalier est très sensible au stress : des manipulations excessives, des densités trop faibles, une profondeur ou un débit d'eau insuffisants, une propreté des bassins médiocre, une température trop élevée, une alimentation de qualité moyenne, sont autant de facteurs qui peuvent déclencher ou accélérer les problèmes pathologiques (TURNBULL, 1992).

Il semble que parmi les principaux virus qui affectent les salmonidés (Septicémie Hémorragique Virale, Nécrose Hématopoïétique Infectieuse, Nécrose Pancréatique Infectieuse) seul le dernier touche l'omble (DORSON *et al.*, 1991). Il faut noter que la furonculose, due à la bactérie *Aeromonas salmonicida*, existe sous une forme chronique chez la plupart des individus. Cette maladie peut provoquer des dégâts importants, en particulier lorsque le poisson subit un stress.

L'infection peut revétir deux formes : une dite typique et une autre dite atypique. Les symptômes et lésions communs sont des hémorragies superficielles à la base des nageoires et sur le ventre, ainsi qu'une perte de vigueur et d'appétit. Dans la forme typique ces symptômes sont suivis du développement d'"abcès", qui ne sont pas présents dans la forme atypique (ERIKSSON et WIKLUND, 1989).

Différents types de pathologies classiques peuvent se déclarer surtout lors des premiers stades lorsque les paramètres du milieu sont inadéquats et en particulier lorsque la température dépasse 12 °C (WALLACE et AASJORD, 1984 (b)). Pour les poissons plus grands les risques de maladie augmentent fortement lors de stress et lorsque la température dépasse 12-13 °C.

Le "syndrôme de la vessie natatoire" est très fréquent chez l'omble, provoquant des mortalités et des diminutions des taux de croissance, lorsque les conditions du milieu d'élevage sont sub-optimales et que les poissons sont stressés (VIEIRA, 1989 ; JOBLING *et al.*, 1992).

Des problèmes de pathologie oculaire se manifestent aussi en conditions sub-optimales d'élevage et lorsque la température dépasse 9 °C (HEITZ, 1984). Des déformations osseuses, par fusion des vertèbres de la partie caudale ont été également observées sans pouvoir en déterminer l'origine (génétique, problèmes lors du développement embryonnaire, mauvaise alimentation,...).

7. MATURITÉ SEXUELLE ET ÉLEVAGE DES GÉNITEURS

On trouve des mâles matures dès la deuxième année, mais en faible proportion. Les femelles sont souvent matures plus tard que les mâles. La maturation sexuelle réduit les taux de croissance et c'est l'un des facteurs qui entraîne les différences de taille importantes entre les individus, ceux-ci appartenant à des groupes de statuts de maturation différents (JOBLING et BAARDVIK; 1991). Pour les souches du Léman et du Bourget, en élevage, la plupart des mâles sont matures à 1+ (GILLET, 1991).

La maturation sexuelle est très variable selon les origines, de même que la date de fraie et le lieu. En général, la fraie se déroule en automne, ou pendant l'hiver; dans des eaux

peu profondes près de la rive ou dans les ruisseaux adjacents, ou comme dans les lacs alpins à de grandes profondeurs (jusqu'à 120 m dans le Léman) dans les zones d'omblières. Les poissons mâles adoptent un comportement territorial très marqué, et les activités de cour peuvent durer longtemps. Plusieurs nids, constitués de graviers pour recouvrir les œufs, peuvent être construits par une femelle (RUBIN, 1990).

GILLET (1991) a montré que le déroulement des ovulations chez l'omble chevalier, origine Léman, est contrôlé par la température de l'eau (Fig. 7). Lorsque celle-ci dépasse 10 °C, l'ovulation est inhibée, ce qui fait de l'omble chevalier un cas original parmi les salmonidés où aucun effet de la température sur l'ovulation n'avait été mis en évidence jusqu'à présent. Après un transfert de 10 °C à 5 °C à la fin de l'automne, les femelles ovulent rapidement et sont bien synchronisées. A une température intermédiaire de 8 °C, les ovulations sont désynchronisées, et la période de reproduction s'étale sur plus de deux mois.

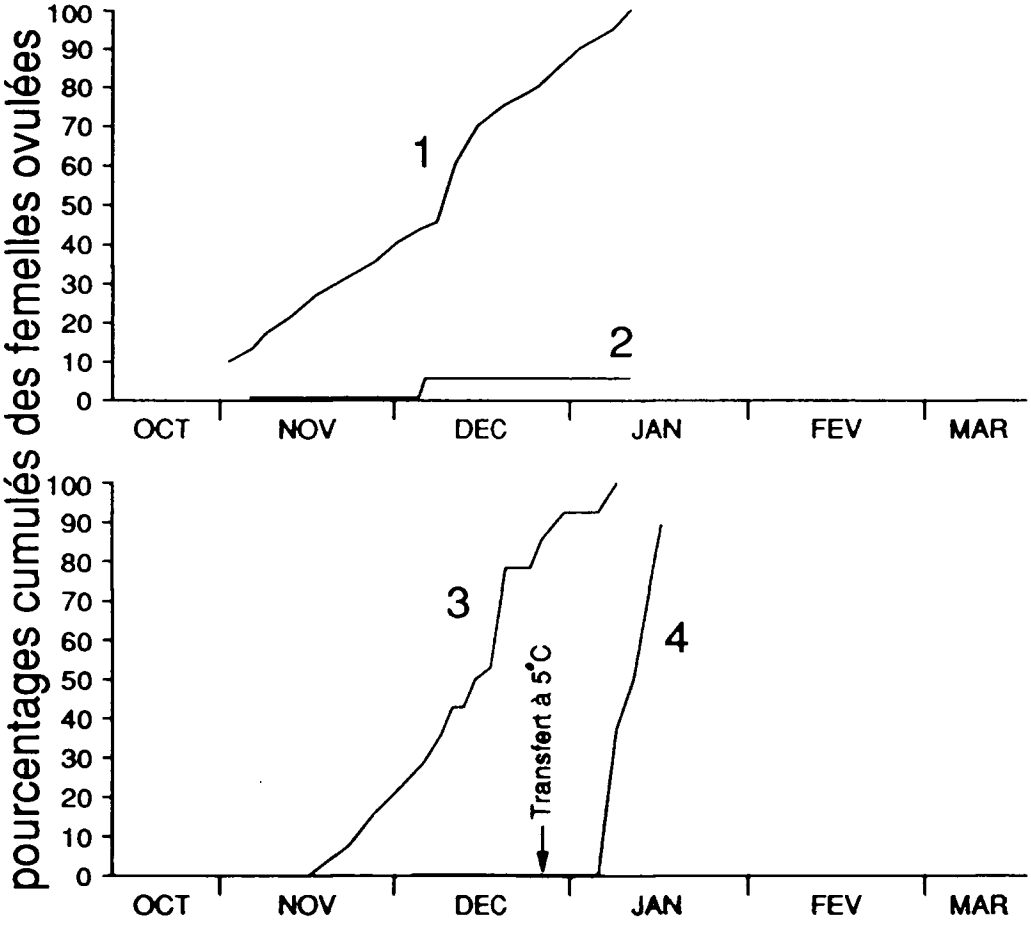

Figure 7 : Effets d'une stabulation à différentes températures en automne sur les taux d'ovulation chez l'omble chevalier, d'après GILLET et BRETON, 1992.
groupe 1 : 5 °C depuis le 1 septembre 1989.
groupe 2 : 10 °C depuis le 1 septembre 1989.
groupe 3 : 5 °C depuis le 1 octobre 1990.
groupe 4 : 10 °C depuis le 1 octobre 1990 et transfert à 5 °C le 29 décembre.

Figure 7 : Effects of stabulation at different temperatures in autumn, on the ovulation rate for the Arctic charr, from GILLET and BRETON, 1992.
group 1 : 5 °C from the 1st september 1989.
group 2 : 10 °C from the 1st september 1989.
group 3 : 5 °C from the 1st october 1990.
group 4 : 10 °C from the 1st october 1990, and 5 °C the 29th december.

GILLET et BRETON (1992) ont constaté qu'il est possible d'induire et de synchroniser les ovulations des ombles chevaliers par l'injection d'analogues du GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone). Lorsque la température de l'eau est élevée, ≥ 10 °C, il est nécessaire de renforcer la stimulation endocrinienne en utilisant des doses plus élevées de GnRH ou en injectant des formules retard. Dans ce cas le GnRH est libéré progressivement, prolongeant pendant plus d'une semaine la stimulation de la sécrétion gonadotrope.

Jusqu'à une période récente, la viabilité des œufs produits par les ombles chevaliers en élevage était souvent très médiocre en comparaison de ceux issus des géniteurs sauvages capturés sur les frayères (PAPST et HOPKY, 1984). Une température inadaptée semble être en cause ; en effet la surmaturation des ovules chez l'omble chevalier est très rapide lorsque la température de l'eau est supérieure à 5 °C (GILLET, 1991) (Fig. 8). A 5 °C, les ovules conservent une bonne aptitude à la fécondation pendant une semaine environ, donc pendant une durée plus courte que dans le cas de la truite arc-en-ciel. Il est donc indispensable de contrôler les géniteurs d'omble chevalier au moins une fois par semaine pendant la période de reproduction.

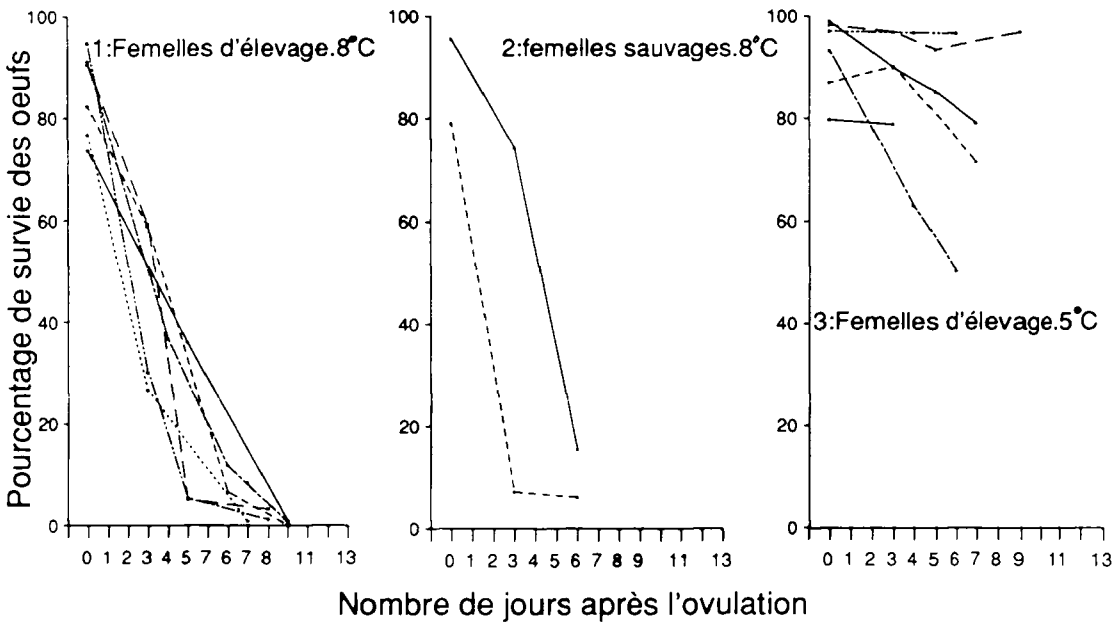

Figure 8 : Effets de la température de l'eau sur la vitesse de la surmaturation des ovules d'omble chevalier. Chaque courbe représente une femelle différente, d'après GILLET et BRETON, 1992.

Figure 8 : Effects of the water temperature on the speed of the surmaturation of the ova of Arctic charr. Each curve shows a different female, from GILLET and BRETON, 1992.

La photopériode agit sur les différentes étapes de la gamétogenèse de l'omble chevalier de la même manière que chez les autres espèces de salmonidés étudiées jusqu'à présent. Les jours longs stimulent le démarrage de la gamétogenèse, et les jours courts en accélèrent les dernières étapes, et stimulent l'émission des gamètes. A l'inverse les jours longs ralentissent la fin de la gamétogenèse et provoquent une désynchronisation des ovulations. Il est possible de retarder de 1,5 mois la période de ponte des ombles chevaliers en les conditionnant à partir de la mi-août en jours longs (17 H. Jour - 7 H. Nuit). A partir de la mi-décembre, les géniteurs sont retransférés en photopériode naturelle. Dans ces conditions les ovulations se produisent de la mi-janvier au début du mois de février. Lorsque les animaux sont maintenus en jours longs pendant la période de fraie, les femelles sont très désynchronisées, et les ovulations s'étalent jusqu'à la fin du mois de mars.

En utilisant différentes manipulations photopériodiques successives il semble possible d'obtenir toute l'année des œufs viables d'omble chevalier, à condition de respecter ses exigences thermiques pendant la fraie (GILLET et BRETON, 1992).

8. PRODUCTION ACTUELLE

Depuis les années 80 la production d'omble chevalier prend de l'essor, principalement dans les pays scandinaves et au Canada ; cependant il est encore trop tôt pour juger du potentiel économique et de l'état des marchés. Actuellement les productions étrangères sont de l'ordre de quelques centaines de tonnes, mais des prévisions laissent prévoir des chiffres de l'ordre du millier de tonnes pour les années à venir (RICHARDSEN, 1992 ; VIEIRA, 1989).

Après une première phase de production restreinte, quelques piscicultures scandinaves produisent de grosses quantités. Actuellement une grande partie de la production est vendue localement, mais dans le futur des exportations vers les pays européens (Allemagne, Suisse et France principalement), sont envisagées. Ces exportations se feront en sus des juvéniles destinés au repeuplement, avec des souches qui ne sont pas forcément adaptées à nos milieux. Une partie des producteurs se tourne vers les possibilités d'élevage en mer et en cages, mais apparemment de nombreux problèmes existent encore pour ces formes d'élevage. Le produit peut se présenter sous différentes formes : vivant, éviscéré, fumé, congelé,... et à différentes tailles comme pour les autres salmonidés (RICHARDSEN, 1992).

En Scandinavie où ce poisson est très connu, il est considéré comme aussi bon que le saumon, sinon plus ; le poisson d'élevage possède une texture ferme et un bon goût qui le place comme un produit de haute qualité (OTTOSSON, 1992 ; RICHARDSEN, 1992).

En France, la pêche professionnelle de l'omble chevalier en lacs représente environ 20 à 30 tonnes (CHAMPIGNEULLE *et al.*, 1991). Une étude prospective a été menée au Canada sur l'interaction entre les produits sauvages, provenant de la pêche, et ceux d'élevage. Il est encore trop tôt pour prévoir l'évolution des deux produits, et les conséquences sur les prix. Il apparaît que les deux types de produits peuvent être complémentaires et voir leurs prix augmenter (SMITH, 1989).

Actuellement en France, certains pisciculteurs élèvent avec succès de l'omble chevalier, en faible quantité, et des marchés locaux existent. Sur des marchés plus lointains où ce poisson n'est pas connu les débouchés sont plus difficiles.

OTTOSSON (1992) souligne bien que pour que le développement de la pisciculture de l'omble chevalier ne suive pas les mêmes voies que celle des autres salmonidés, il faut offrir un produit qui reste unique, différent et surtout de qualité.

9. CONCLUSION

Les performances de croissance de l'omble chevalier, comparables sinon meilleures que celles des autres salmonidés en eau froide, en font un bon candidat pour la diversification de la salmoniculture. Son comportement et sa biologie sont différents de ceux des autres salmonidés, et font que les conditions de son élevage ne sont pas identiques. En particulier son comportement agressif et territorial entraîne des variations de croissance très marquées entre les individus, posant des problèmes de rationalisation de l'élevage. Un certain nombre de facteurs du milieu peuvent être modifiés pour diminuer les conflits au niveau de l'accès à la nourriture et favoriser le comportement en bancs. L'élevage dans des bassins couverts autonettoyants, avec des densités d'environ 50-70 kg/m^3, un courant suffisant, des nourrisseurs automatiques permettent d'optimiser la production. Ses besoins en aliment de qualité supérieure augmentent légèrement son coût de production.

La majorité des différentes études citées dans cet article ont été réalisées à petite échelle (conditions expérimentales) et en Scandinavie. La diversité des origines et des conditions du milieu font que certains comportements et résultats seront susceptibles d'être différents, lors du changement d'échelle des productions et du passage aux conditions françaises.

Sa sensibilité à certaines pathologies (furonculose principalement) et au stress sont des inconvénients majeurs pour l'élevage. Si les conditions environnementales ne sont pas respectées, et en particulier le régime thermique, les risques de mortalité peuvent augmenter

de façon importante. Le régime thermique adéquat pour les différents stades est le suivant, en terme de croissance et de survie :

incubation - éclosion	4- 7 °C
éclosion - début de nourrissage	7- 8 °C
début de nourrissage - 1 g	8-10 °C
> 1 g	10-14 °C

On notera cependant qu'à partir de 10 °C les risques pathologiques augmentent de façon très importante.

Cette contrainte fait que l'élevage de l'omble chevalier ne peut être pratiqué que dans des sites qui répondent vraiment aux normes définies, en particulier thermiques. Certains sites inexploités, ou peu rentables à cause de la faible température de l'eau pourraient être ainsi valorisés par la production de ce salmonidé, dont les qualités organoleptiques semblent préservées lors de son élevage sur aliment sec en eau froide. De petites productions, en complément d'autres activités pourraient être pratiquées dans des zones de moyenne montagne sur des sites favorables, avec pour objectif une production de qualité débouchant sur des marchés locaux et/ou de haut de gamme.

REMERCIEMENTS

Ce travail fait partie d'un "Projet de Développement de la Pisciculture de Salmonidés en Eau Froide en région Rhône-Alpes", soutenu activement par l'ADAPRA, et financé par le Conseil Régional Rhône-Alpes.

BIBLIOGRAPHIE

AASJORD D., WALLACE J., 1980. Observation of gastric obstruction during early feeding of Arctic charr, *Salvelinus alpinus,* (Salmonidae). *Aquaculture, 19,* 87-91.

ADALSTEINSSON S., HILMARSDOTTIR T., SRAVARSSON E., PETURSDOTTIR T., 1992. Comparison of fifteen strains of Arctic charr *(Salvelinus alpinus)* in Iceland. Aquaculture of Arctic charr and brown trout. *In* S. Adalsteinsson Ed., Reykjavik, *sous presse.*

BAARDVIK B.M., JOBLING M., 1990. Effect of size-sorting on biomass gain and individual growth rates in Arctic charr *(Salvelinus alpinus). Aquaculture, 90,* 11-16.

BARNUNG T., 1989. Activity report, jan. 01-dec. 30, 1988. Arctic charr rearing project. Rapport/Notat. Abver. 8905, 10 p.

CHAMPIGNEULLE A., 1985. Analyse bibliographique des problèmes de repeuplement en omble chevalier *(Salvelinus alpinus),* truite fario *(Salmo trutta)* et corégones *(Coregonus sp.)* dans les grands plans d'eau. Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles. *In* D. Gerdeaux et R. Billard Ed. 187-217, INRA Publ., Paris.

CHAMPIGNEULLE A., GUILLARD J., 1990. Programme pilote et recherches appliquées au pacage lacustre de salmonidés. Rapp. Institut de Limnologie, I.L. 55-90, 25 p.

CHAMPIGNEULLE A., GUILLARD J., ROJAS-BELTRAN R., 1991. Programme pilote et recherches appliquées au pacage lacustre de salmonidés. Rapp. Institut de Limnologie, I.L. 61-91, 78 p.

CHRISTIANSEN J.S., JOBLING M., 1990. The behaviour and the relationship between food intake and growth of juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus,* (L.), subjected to sustained exercises. *Can. J. Zool., 68,* 2185-2191.

CHRISTIANSEN J.S., RINGO E., JOBLING M., 1989. Effects of sustained exercise on growth and body composition of first-feeding fry of Arctic charr, *Salvelinus alpinus,* (L.). *Aquaculture, 79,* 323-335.

CHRISTIANSEN J.S., WALLACE J.L., 1988. Deposition of Canthaxanthine and muscle lipid in two size groups of Arctic charr, *Salvelinus alpinus,* (L.). *Aquaculture, 69,* 69-78.

CRETTIEZ M.J., 1906. La culture de l'omble chevalier du lac Léman. Métis et hybrides de ce salmonidé. *Compte rendu de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences,* sect. Zool., Congrès de Lyon, 438-506.

DABROWSKI K., KRUMSCHNABEL G., PAUKKU M., LABANOWSKI J., 1992. Cyclic growth and activity of pancreatic enzymes in alevins of Arctic charr *(Salvelinus alpinus* L.). *Fish. Biol., 40,* 511-521.

DORSON M., CHEVASSUS B., TORHY C., 1991. Comparative susceptibility of three species of charr and of rainbow trout x charr triploid hybrids to several pathogenic salmonid viruses. *Dis. aquat. Org., 11,* 217-224.

ERIKSSON L.O., WIKLUND B.S., 1989. Culturing of Arctic charr. Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Science, Special Publication, 20 p.

GILLET C., 1991. Egg production in an Arctic charr *(Salvelinus alpinus* L.) brood stock : effects of temperature on the timing of spawning and the quality of eggs. *Aquat. liv. Resour. 4,* (1), 109-116.

GILLET C., BRETON B., 1992. Research work on Arctic charr in France. Aquaculture of Arctic charr and brown trout. *In* S. Adalsteinsson Ed., Reykjavik, *sous presse.*

GJEDREM T., GUNNES K., 1978. Comparison of growth rate in Atlantic salmon, Pink salmon, Arctic charr, Sea trout and Rainbow trout under Norwegian farming conditions. *Aquaculture, 13,* 135-141.

HEITZ P., 1984. Etude expérimentale de trois cas de pathologie oculaire chez l'omble chevalier *(Salvelinus alpinus)* et la truite arc-en-ciel *(Salmo gairdneri).* Thèse Vétérinaire, Lyon, 135 p.

HOLM J.C., 1989. Mono and duo-culture of juvenile Atlantic salmon *(Salmo salar)* and Arctic charr *(Salvelinus alpinus). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46,* 697-704.

JOBLING M., 1983 (a). Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish. Biol., 23,* 177-185.

JOBLING M., 1983 (b). Influence of body weight and temperature on growth rates of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish. Biol., 22,* 471-478.

JOBLING M., 1985. Physiological and social constraints on growth of fish with special reference to Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *Aquaculture, 44,* 83-90.

JOBLING M., 1987. Growth of Arctic charr *(Salvelinus alpinus* L.) under conditions of constant light and temperature. *Aquaculture, 60,* 243-249.

JOBLING M., BAARDVIK B.M., 1991. Patterns of growth of maturing and immature Arctic charr *Salvelinus alpinus* L., in a hatchery population. *Aquaculture, 94,* 343-354.

JOBLING M., JORGENSEN E.H., CHRISTIANSEN J.S., ARNESEN A.M., PALSSON J.O., 1992. Investigation of growth requirements and aquaculture potential of Arctic charr *(Salvelinus alpinus).* Aquaculture of Arctic charr and brown trout. *In* S. Adalsteinsson Ed., Reykjavik, *sous presse.*

JOBLING M., PALSSON J.O., JORGENSEN E.H., 1991. Special handling enhances Arctic charr potential. *Fish. Farmer,* January / February 1991, 42-45.

JOBLING M., REINSNES T.G., 1986. Physiological and social constraints on growth of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L., an investigation of factors leading to stunting. *J. Fish Biol., 28,* 379-384.

JOBLING M., REINSNES T.G., 1987. Effect of sorting in size-frequency distributions and growth of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *Aquaculture, 60,* 27-31.

JOBLING M., WANDSVIK A., 1983 (a). Effect of social interactions on growth rates and conversion efficiency of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish. Biol., 22,* 577-584.

JOBLING M., WANDSVIK A., 1983 (b). Quantitative protein requirements of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish. Biol., 22,* 705-712.

JOHNSON L., 1980. The Arctic charr, *Salvelinus alpinus. In* Charrs, salmonid fishes of the genus *Salvelinus* (Perspectives in vertebrate sciences). E.K. Balon Ed., The Hague, Netherlands, 15-98.

JORGENSEN E.H., JOBLING M., 1989. Patterns of food intake in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., monitored by radiography. *Aquaculture, 81,* 155-160.

JORGENSEN E.H., JOBLING M., 1990. Feeding modes in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. : the importance of bottom feeding for the maintenance of growth. *Aquaculture, 86,* 379-385.

JORGENSEN E.H., JOBLING M., CHRISTIANSEN J.S., 1991. Metabolic requirements of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L., under hatchery conditions. *Aquaculture and Fisheries Management, 22,* 377-378.

JUNGWIRTH M., WINKLER H., 1984. The temperature dependence of embryonic development of grayling *(Thymallus thymallus),* Danube salmon *(Hucho hucho),* Arctic charr *(Salvelinus alpinus)* and brown trout *(Salmo trutta fario). Aquaculture, 38,* 315-327.

LINNER J., BRÄNNÄS E., WIKLUND B.S., LUNDQUIST H., 1990. Dial and seasonal locomotor activity patterns in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish. Biol., 37,* 675-685.

MACHINO Y., 1991. Répartition géographique de l'omble chevalier *(Salvelinus alpinus)* en France. Diplôme Supérieur de Recherches (Sciences Naturelles). Univ. J. Fourier, Grenoble I, 438 p.

NORTVEDT R., HOLM J.C., 1988. Behaviour and growth rate gain in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. and Atlantic salmon parr (Salmo salar) in mono and duo-culture when reared under two different densities. ICES C.M 1988/F, 26, ref. 11,14 p.

OLSEN R.E., HENDERSON R.J., RINGO E., 1991. Lipids of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. (I). Dietary induced changes in lipid class and fatty acid composition. *Fish Physiology and Biochemistry, 9 (2),* 151-164.

OTTOSON H., 1992. Icelandic efforts marketing Arctic charr. Aquaculture of Arctic charr and brown trout. *In* S. Adalsteinsson Ed., Reykjavik, *sous presse.*

PAPST M.H., HOPKY G.E., 1984. Development of an Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. brood stock. *Aquaculture, 43,* 323-331.

RICHARDSEN R., 1992. Marketing of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. Aquaculture of Arctic charr and brown trout. *In* S. Adalsteinsson Ed., Reykjavik, *sous presse.*

RINGO E., 1989. The effect of linoleic acid (18:2 N-6) on lipid and protein digestibility and growth in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *Physiol. Ecol. Japan,* Spec., 1, 473-482.

RUBIN J.F., 1990. Biologie de l'omble chevalier *(Salvelinus alpinus)* dans le Léman (Suisse). Thèse Docteur ès Sciences en Biologie. Univ. de Lausanne, 169 p.

SMITH R., 1989. Market interaction of Canadian farmed and wild Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *Economic and Commercial Analysis Directorate Report, 22,* 89 p.

STEINER V., 1984. Experiments towards improving the culture of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.. Biology of the Arctic charr. Proceedings of the International Symposium on Arctic charr, Winnipeg, Manitoba, May 1981, 509-521. *In* L. Johnson and B.L. Burns Ed., Univ. Manitoba Press, Winnipeg.

SVEDÄNG H., 1991. Effects of food quality on maturation in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *J. Fish. Biol., 39,* 495-504.

SWIFT D.R., 1964. The effect of temperature and oxygen on the growth rate of the Windermere charr *(Salvelinus alpinus willughbii).* Comp. Biochem. Physiol., 12, 179-183.

SWIFT D.R. 1965. Effect of temperature on mortality and rate of development of the eggs of the Windermere charr *(Salvelinus alpinus). J. Fish. Res. Bd. Canada, 22 (4),* 913-917.

TABACHEK J.L., 1984. Evaluation of grower diets for intensive culture of two strains of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1281, IV, 21 p.

TABACHEK J.L., 1986. Influence of dietary protein and lipid levels on growth, body composition and utilization efficiencies of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.. *J. Fish. Biol., 29,* 139-151.

TABACHEK J.L., 1988. The effect of feed particle size on the growth and feed efficiency of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.. *Aquaculture, 71,* 319-330.

TURNBULL J.F., 1992. Diseases in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. and brown trout, *Salmo trutta* L., in aquaculture. Aquaculture of Arctic charr and brown trout. *In* S. Adalsteinsson Ed., Reykjavik, *sous presse.*

VIEIRA D.P., 1989. Commercial production of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.. *Bull. Assoc. Aquac. Canad., 3,* 43-44.

WALLACE J.C., AASJORD D., 1984 (a). An investigation of the consequences of egg size for the culture of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.. *J. Fish. Biol., 24,* 427-435.

WALLACE J.C., AASJORD D., 1984 (b). The initial feeding or Arctic charr *Salvelinus Alpinus* L. alevins at different temperatures and under different feeding regimes. *Aquaculture, 38,* 19-33.

WALLACE J.C., KOLBEINSHAWN A.G., 1988. The effect of size grading on subsequent growth in fingerling Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.. *Aquaculture, 73,* 93-100.

WALLACE J.C., KOLBEINSHAWN A.G., AASJORD D., 1988 (a). Observations on the effect of light intensity on the growth of Arctic charr fingerlings (*Salvinus alpinus* L.) and Salmon fry *(Salmo salar). Aquaculture, 72,* 81-84.

WALLACE J.C., KOLBEISHAWN A.G., REINSNES T.G., 1988 (b). The effects of stocking density on early growth in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.. *Aquaculture, 73,* 101-110.

WANDSVIK A., JOBLING M., 1982. Observations on growth rates of Arctic charr *Salvelinus alpinus* L., reared at low temperature. *J. Fish. Biol., 20,* 689-699.