

# **Détermination du taux de croissance du loup tacheté (*Anarhichas minor*) de souche québécoise**

Denis Chabot, Arianne Savoie, France Dufresne et  
Nathalie R. Le François

Direction régionale des Sciences  
Pêches et Océans Canada  
Institut Maurice-Lamontagne  
850 route de la Mer  
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

2012

**Rapport technique canadien des sciences  
halieutiques et aquatiques 3016**



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

**Canada**

## **Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques**

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications à part entière. Le titre exact figure au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la base de données *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de Rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de Rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de Rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

## **Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences**

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Rapport technique canadien  
des sciences halieutiques et aquatiques 3016

2012

DÉTERMINATION DU TAUX DE CROISSANCE DU LOUP TACHETÉ (*ANARHICHAS MINOR*)  
DE SOUCHE QUÉBÉCOISE

par

Denis Chabot<sup>1</sup>, Arianne Savoie<sup>2</sup>, France Dufresne<sup>1</sup> et Nathalie R. Le François<sup>3</sup>

Direction régionale des Sciences  
Pêches et Océans Canada  
Institut Maurice-Lamontagne  
850, route de la Mer  
Mont-Joli (Québec)  
G5H 3Z4

---

<sup>1</sup> Chabot et Savoie partagent le titre de premier auteur.

<sup>2</sup> Département de biologie, Université du Québec à Rimouski, 300 Allée des Ursulines, Rimouski, QC, G5L 3A1, Canada

<sup>3</sup> Biodôme de Montréal, 4777 Ave Pierre-De Coubertin, Montréal, QC, H1V 1B3, Canada

© Sa majesté la Reine du Chef du Canada, 2012  
N° de cat. Fs 97-6/3016-PDF ISSN 1488-545X

On devra citer la publication comme suit :

Chabot, D., Savoie, A., D., Dufresne, F. & Le François, N.R. 2012. Détermination du taux de croissance du loup tacheté (*Anarhichas minor*) de souche québécoise. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3016 : viii + 68 p.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	v
RÉSUMÉ	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	3
Matériel biologique	3
Fertilisation, incubation et prégrossissement au CAMGR	3
durée de l'expérience de croissance à l'IML	7
traitement des poissons et conditions d'élevage à l'IML	7
Conditions physico-chimiques à l'IML	10
Nourriture et ration	12
suivi de la croissance	13
analyses génétiques	13
Calculs	13
Analyses statistiques	14
RÉSULTATS	16
Taux de croissance durant les premiers 30 jours	16
Masse à l'âge	16
Taux de croissance spécifique	25
Taux de survie à l'IML	32
Rations et Taux de conversion alimentaire	32
Effets parentaux sur la croissance	33
DISCUSSION	37
Masse finale	37
Masse à l'âge	39
Facteurs pouvant avoir influencé le taux de croissance	40
Taux de survie	44
Taux de conversion alimentaire	45
Effets parentaux	46
Projections vers les tailles commerciales de 1.5 et 3 kg	47
Perspectives et recommandations	49
CONCLUSIONS	52
REMERCIEMENTS	53
BIBLIOGRAPHIE	54
ANNEXE 1 PARASITES OBSERVÉS DURANT L'EXPÉRIENCE	59
ANNEXE 2 ANALYSES GÉNÉTIQUES	61
ANNEXE 3 ÉTUDES ISLANDAISES ET NORVÉGIENNES	63

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Résumé des principaux détails et événements concernant la ponte, l'incubation et la production d'alevins des familles composant les cohortes 1 et 2 de loups tachetés. _____	4
Tableau 2. Conditions physico-chimiques de l'eau durant l'incubation des œufs au CAMGR. _____	5
Tableau 3. Conditions physico-chimiques de l'eau durant le prégrossissement des juvéniles au CAMGR. _____	5
Tableau 4. Qualité de l'eau dans les grandes auges utilisées à l'Institut Maurice-Lamontagne pour l'élevage des loups tachetés à partir de janvier 2010 (cohorte 1) et juin 2010 (cohorte 2) jusqu'à juin 2011. _____	12
Tableau 5. Masse, longueur et condition (K) au jour 30 postéclosion pour chacune des familles de loup tacheté produites au CAMGR pour ce projet. _____	16
Tableau 6. Masse, longueur et facteur de condition (K) de la Cohorte 1 au Centre Aquicole Marin de Grande-Rivière (janvier à mai 2009) et à l'Institut Maurice-Lamontagne (juin 2009 à juin 2011). _____	17
Tableau 7. Masse, longueur et facteur de condition (K) de la Cohorte 2 au Centre Aquicole Marin de Grande-Rivière (avril à août 2009) et à l'Institut Maurice-Lamontagne (septembre 2009 à juin 2011). _____	19
Tableau 8. Comparaison de la masse à l'âge des deux classes de taille de la cohorte 1. _____	23
Tableau 9. Comparaison de la masse moyenne des deux cohortes de 2009. _____	25
Tableau 10. Ration hebdomadaire (gramme par poisson et par kg), facteur de conversion alimentaire (FCR), taux de croissance spécifique (SGR) des loups tachetés de la cohorte 1. _____	27
Tableau 11. Ration hebdomadaire (gramme par poisson et par kg), facteur de conversion de la nourriture (FCR), taux de croissance spécifique (SGR) des loups tachetés de la cohorte 2. _____	29
Tableau 12. Masse finale moyenne ( $\pm$ écart type) des loups tachetés le 9 juin 2011, (cohorte 1, 878 j; cohorte 2, 792 j), après le retrait de 5, 10 ou 15 % d'individus ayant eu une mauvaise croissance. _____	38
Tableau 13. Loci utilisés pour le génotypage à la famille. _____	62

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Température observée durant le prégrossissement des juvéniles au Centra Aquicole Marin de Grande-Rivière.	6
Figure 2.	Grande auge utilisée pour la cohorte 2 à partir juin 2010.	8
Figure 3.	Schéma montrant les principaux événements et ajustements durant l'expérience de croissance du loup tacheté menée à l'Institut Maurice-Lamontagne.	9
Figure 4.	Densité pour chaque cohorte de loups tachetés durant l'expérience de croissance réalisée à l'Institut Maurice-Lamontagne.	10
Figure 5.	Photopériode utilisée pour l'élevage des loups tachetés à l'Institut Maurice-Lamontagne.	11
Figure 6.	Température de l'eau des bassins des deux cohortes de loup tacheté durant l'expérience de croissance menée à l'Institut Maurice-Lamontagne.	11
Figure 7.	Comparaison de la masse à l'âge pour quatre années de production de loups tachetés de souche québécoise.	20
Figure 8.	Croissance en masse pour toute la durée de l'expérience menée à l'IML.	21
Figure 9.	Comparaison de la masse à l'âge des classes de taille « gros » et « petits » de la cohorte 1 des loups tachetés de souche québécoise élevés à l'IML.	22
Figure 10.	Comparaison de la croissance des cohortes 1 et 2.	24
Figure 11.	Relation entre le taux de croissance spécifique (SGR) et l'âge ou la masse des loups tachetés de souche québécoise.	31
Figure 12.	Effectifs pour chaque cohorte de loup tacheté en fonction du temps. Les tracés commencent à la date d'arrivée des poissons à l'IML.	32
Figure 13.	Relation entre le taux de conversion alimentaire et l'âge ou la masse des loups tachetés de souche québécoise élevés à l'IML.	34
Figure 14.	Masse moyenne finale (à 878 j) des loups tachetés de la cohorte 1 en fonction de l'assignation parentale femelle.	35
Figure 15.	Masse moyenne finale (à 878 j) des loups tachetés de la cohorte 1 en fonction de l'assignation parentale mâle.	35
Figure 16.	Masse moyenne finale des loups tachetés de la cohorte 2 en fonction de l'assignation parentale mâle.	36
Figure 17.	Courbes de croissance des loups tachetés de souche québécoise et comparaison avec les courbes de croissance obtenues pour les souches norvégienne et islandaise.	39
Figure 18.	Comparaison de la relation entre le SGR et l'âge ou la masse pour des loups tachetés de souche québécoise ou de souches norvégienne ou islandaise.	41
Figure 19.	Influence possible d'événements susceptibles d'avoir réduit le taux de croissance des loups tachetés de souche québécoise élevés au CAMGR et à l'IML.	43
Figure 20.	Événements qui sont susceptibles d'avoir influencé le taux de survie durant l'élevage des loups tachetés de souche québécoise à l'Institut Maurice-Lamontagne.	45
Figure 21.	Projections de croissance des loups tachetés de souche québécoise élevés à l'IML jusqu'aux tailles commerciales de 1.5 et 3 kg selon plusieurs scénarios.	48
Figure 22.	Loups tachetés de souche québécoise se concentrant dans l'extrémité d'une auge de 2 x 6 m où est située l'arrivée d'eau.	52
Figure 23.	Frottis de mucus de loup tacheté montrant <i>Trichodina</i> sp. et <i>Gyrodactylus</i> sp.	60
Figure 24.	Masse à l'âge de loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise.	65
Figure 25.	Masse à l'âge de loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise durant les premiers 750 j de croissance.	66

- Figure 26. Relation entre le taux de croissance spécifique (SGR) et l'âge médian pour les loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise. \_\_\_\_\_ 67
- Figure 27. Relation entre le taux de croissance spécifique (SGR) et la masse estimée entre deux pesées, pour les loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise. \_\_\_\_\_ 68

## RÉSUMÉ

Chabot, D., Savoie, A., Dufresne, F. & Le François, N.R. 2012. Détermination du taux de croissance du loup tacheté (*Anarhichas minor*) de souche québécoise. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3016 : viii + 68 p.

L'objectif principal de ce projet était de déterminer le taux de croissance de loups tachetés de souche québécoise durant un cycle complet de croissance, soit de la taille « prégrossissement » (15 g) jusqu'à la taille commerciale (1–1.2 kg), dans des conditions se rapprochant d'un élevage commercial. Des juvéniles de loup tacheté produits au Centre Aquacole Marin de Grande-Rivière sont arrivés à l'Institut Maurice-Lamontagne à 7 g (cohorte 1, 122 j postéclosion) et 15 g (cohorte 2, 145 j). À environ 1 an, la cohorte 1 a été séparée en deux groupes, « gros » et « petits ». Étant donné le peu d'effet apparent de cette pratique, la cohorte 2 ne fut pas séparée en deux groupes. À la fin du projet, les 3 groupes (cohorte 1 « gros » à 815 j, cohorte 1 « petits » à 812 j et cohorte 2 à 726 j) pesaient 766.3, 627.8 et 708 g, respectivement. Le taux de survie a été de 85.3 et 92.2 % pour les cohortes 1 et 2, respectivement. Ces résultats sont en deçà de l'objectif initial, mais les taux de croissance sont parmi les meilleurs obtenus à date sur un an pour la souche québécoise, et ils sont les premiers à être établis sur deux ans. Un ralentissement de croissance a été observé entre 400 et 500 j. qui a coïncidé avec une infestation aux *Trichodina* sp et *Gyrodactylus* sp. chez la cohorte 1, et à une période de manipulations plus fréquentes pour la cohorte 2. L'ensemble des analyses suggère que le potentiel de croissance soit similaire pour les souches québécoise, norvégienne et islandaise de loup tacheté. Les scénarios examinés pour estimer le temps requis pour atteindre la masse visée pour les marchés américains (1.5 kg) et québécois (3 kg) ont donné un intervalle de 989 à 1083 j et 1349 à 1494 j, respectivement. Un potentiel d'amélioration de croissance par sélection génétique a été démontré chez le loup tacheté de souche québécoise. La croissance pourrait aussi être améliorée avec le développement d'une nourriture plus appropriée pour l'élevage du loup (flottante, moins riche en lipides) et une amélioration de la qualité des œufs issus des populations domestiques.

## ABSTRACT

Chabot, D., Savoie, A., Dufresne, F. & Le François, N.R. 2012. Détermination du taux de croissance du loup tacheté (*Anarhichas minor*) de souche québécoise. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3016 : viii + 68 p.

The main objective of this study was to assess the growth rate of spotted wolffish of Quebec origin during a complete production cycle, i.e. from small juveniles (15 g) to commercial size fish (1–1.2 kg), in conditions approaching that of a commercial aquaculture facility. Juvenile spotted wolffish were produced at the Centre Aquacole Marin de Grande-Rivière and sent to the Maurice Lamontagne Institute at 7 g (cohort 1, 122 days post-hatching) and 15 g (cohort 2, 145 d). After about 1 year, the cohort 1 was sorted in two groups (“large” and “small”). Since sorting did not appear to improve performance of small fish in cohort 1, the cohort 2 was not sorted. At the end of the project, the 3 groups of fish (cohort 1 “large”, 815 d, cohort 1 “small”, 812 d, and cohort 2, 726 d) weighed 766.3, 627.8 and 708 g, respectively. Survival rate was 85.3 and 92.2 % for the two cohorts. Growth rate was slower than anticipated, yet it was among the best obtained so far over the first year for spotted wolffish of Quebec origin, and the first measured over two years. Growth rate was slower during the period 400 to 500 d. This period corresponded to an infestation by *Trichodina* sp. and *Gyrodactylus* sp. in cohort 1, and to increased frequency of manipulations and disturbances for cohort 2. Overall, the growth potential appears similar for spotted wolffish of Quebec, Norwegian and Icelandic origin. Scenarios constructed to estimate the time to reach the size favoured by the American (1.5 kg) and Québec (3 kg) markets was 989 to 1083 d and 1349 to 1494 d, respectively. The potential for productivity improvements through genetic selection has been demonstrated for Quebec spotted wolffish. Growth could also be improved if an artificial diet tailored to the needs of spotted wolffish was developed (floating and with a lower lipid content) and better egg quality could be obtained from captive domestic broodstock populations.

## INTRODUCTION

Le secteur de l'aquaculture présente une croissance mondiale soutenue depuis une cinquantaine d'années et représente près de 50 % de l'approvisionnement mondial en produits aquatiques (FAO, 2008). En 2008, la production aquacole mondiale était d'environ 65 millions de tonnes (FAO, 2008) dont 144 000 tonnes produites au Canada<sup>4</sup>. La production canadienne est largement dominée par le saumon Atlantique (*Salmo salar*). Le Québec accuse un retard considérable dans le domaine avec une production annuelle d'environ 2000 tonnes se limitant principalement à l'élevage de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) et l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) en eau douce. Les seuls élevages en eau salée sont la moule bleue (*Mytilus edulis*) et le pétoncle géant (*Placoepecten magellanicus*) (MAPAQ, 2010).

Pourtant, suite à la surexploitation des ressources maritimes et à l'effondrement de l'industrie de la pêche pour plusieurs espèces, le Québec se voit dans l'obligation de pallier à la demande toujours croissante en produits aquatiques. À ce titre, l'aquaculture constitue selon plusieurs organismes de développement économique une réelle opportunité qui permet d'une part de réduire les pressions exercées sur les populations naturelles et d'autre part de relancer et de maintenir des emplois reliés au domaine des pêches tout en développant d'autres créneaux de l'économie des régions. Les autorités ministérielles considèrent l'aquaculture commerciale comme un axe stratégique à développer dans toutes les régions de la province (MAPAQ, 2010).

Le Québec présente un très grand potentiel pour l'élevage en milieu marin, possédant plus de 1200 km de côtes propices à l'implantation de sites maricoles (Le François et al., 2002b). Pourtant, moins de 30 % des produits aquacoles en provenance du Québec sont d'origine marine et ces derniers sont composés à 98 % de moules bleues (*Mytilus edulis*). Ainsi, l'industrie maricole québécoise repose sur un nombre très restreint d'espèces et cela lui confère un niveau de vulnérabilité très élevé. Une diversification de l'industrie est donc souhaitable. À ce titre, l'un des objectifs du *Plan de développement sectoriel en aquaculture commerciale 2010–2013* est de favoriser la diversification des espèces d'élevage en eau salée (MAPAQ, 2010).

Le loup tacheté (*Anarhichas minor*) est un poisson marin présentant un potentiel d'élevage intéressant pour l'est du Canada (Le François et al., 2002a; Le François et al., 2010b). Il a fait l'objet d'efforts de recherche concertés dans l'est du Québec depuis 1999 en vue de la diversification de la production maricole québécoise (Le François et al., 2002b; Le François et al., 2004a; Desjardins et al., 2006; Savoie et al., 2006; Desjardins et al., 2007; Desrosiers et al., 2008; Savoie et al., 2008; Lamarre et al., 2009; Gaudreau et al., 2009; Lamarre et al., 2010; Savoie et al., 2011). Ses caractéristiques de domestication très désirables du point de vue biotechnique sont : une ontogénie précoce, de bonnes performances de croissance à basse température, une résistance aux maladies, une tolérance aux densités élevées et un comportement en captivité très calme (Foss et al., 2004). Par ailleurs, ces mêmes caractéristiques en font une espèce toute désignée pour l'obtention d'un label écoresponsable ou de développement durable (Le François et al., 2010a), ce qui pourrait procurer une plus-value de l'ordre de 10–15 % selon Laflamme et al. (2005). Le loup tacheté est reconnu comme une espèce dont la chair est très savoureuse et appréciée (Falk-Petersen et al., 1999; Le François et al., 2002b; Foss et al., 2004; Le François et al., 2004a; Blier & Le François, 2010) et serait désigné comme produit de niche sur le marché de la consommation (Richardsen & Johansen, 2002; Laflamme et al., 2005). Le loup tacheté a été gagnant du prix meilleur nouveau produit au Boston Seafood Show en 2000.

Des revenus supplémentaires pourraient venir du cuir, un produit recherché (Ingram & Dixon, 1994; Falk-Petersen et al., 1999; Le François et al., 2002b; Foss et al., 2004; Le François et al., 2004a; Grey et al., 2006;

---

<sup>4</sup> Pêches et Océans Canada, Statistiques des pêches canadiennes 2008, <http://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/commercial/cfs/2008/section2-fra.htm>

Blier & Le François, 2010) et de certaines biomolécules extraites des sous-produits (enzymes digestives, polypeptides antimicrobiens, protéines antigel) (Le François et al., 2004a; Desjardins et al., 2006; Desjardins et al., 2007; Desrosiers et al., 2008; Ferraro et al., 2010).

Un projet de ferme pilote pour procéder à des essais de production ciblant les poissons marins et l'intégration de la technologie de la recirculation en eau salée est à l'étude dans la région du Bas-Saint-Laurent (ADRA/UQAR, 2006)<sup>5</sup>. Les essais de prégrossissement, réalisés à ce jour à l'UQAR révélaient que les performances de croissance de la population québécoise en captivité seraient similaires, sinon supérieures, aux taux de croissance obtenus dans le cadre de travaux norvégiens et islandais. Par contre, les taux de croissances mesurés jusqu'à présent sur la souche québécoise ne couvrent que la période allant de l'éclosion à l'atteinte d'une taille d'environ 200 g et ne portaient pas sur un grand nombre de familles. Selon un constat partagé entre les artisans de la R&D et les instances décisionnelles impliquées dans le programme de R&D sur le loup tacheté depuis ses débuts en 1998, l'obtention de données de croissance couvrant le stade de prégrossissement jusqu'à l'atteinte d'un poids référence fixé entre 1–1.2 kg<sup>6</sup> est essentiel pour la détermination du potentiel de commercialisation du loup tacheté de souche québécoise.

L'objectif principal de ce projet est de décrire le taux de croissance de loups tachetés de souche québécoise durant un cycle complet de croissance, soit de la taille « prégrossissement » (15 g) jusqu'à la taille commerciale (1–1.2 kg), dans des conditions se rapprochant d'un élevage commercial et pour une production pilote d'environ 500 kg. Avec les connaissances actuelles sur l'espèce, cet objectif est jugé réalisable en 20 mois d'élevage, avec au départ environ 600 loups tachetés de 15 g.

Les objectifs secondaires sont de déterminer le taux de conversion alimentaire et d'utiliser des outils génétiques pour identifier la famille de chaque individu et ainsi vérifier si certaines familles se démarquent au niveau du taux de croissance.

Ces travaux permettront d'acquérir les données scientifiques sur les performances de croissance de la souche québécoise de loup tacheté sur une période qui s'apparente à un cycle de production commerciale. Ces informations seront ensuite utilisées dans un modèle bioéconomique qui permettra de statuer sur la viabilité économique et l'intérêt, dans les conditions actuelles, de cette espèce comme candidate pour la diversification de l'industrie maricole québécoise (Colette et Champagne)<sup>7</sup> et, le cas échéant, de la pertinence d'implanter une ferme pilote dans l'est du Québec et d'impliquer le secteur privé. Un rapport concernant la caractérisation de quelques sites potentiels a également été produit pour stimuler l'implantation d'une installation pilote et ou commerciale ciblant le loup tacheté avec des partenaires privés associés au dossier (Forest et al., 2012).<sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> ADRA Groupe conseil/UQAR. 2006. Ferme pilote d'élevage de poissons marins à Pointe-au-Père. Plan d'affaire. Présenté à : Conférence régionale des élus-BSL et la Société de développement de l'industrie maricole. 66 pp.

<sup>6</sup> Il aurait été préférable de poursuivre l'élevage jusqu'à l'atteinte de la masse commerciale jugée optimale pour le marché anglophone (Toronto et Boston), soit 1.5–2 kg (Laflamme et al., 2005), mais la durée du projet ne le permettait pas. Il était par contre anticipé qu'une masse moyenne de 1 à 1.2 kg était atteignable durant la période expérimentale et constituerait une bonne estimation du taux de croissance jusqu'à 1.5 kg.

<sup>7</sup> Colette, J.P. et Champagne, R. 2012. Scénarios et coûts d'établissement et de production d'éventuelles stations piscicoles de loup tacheté (*Anarhichas minor*). Rapport UQAR, 85 pp.

<sup>8</sup> Forest, C., Jalbert, J.-M. et Le François, N.R. 2012. Analyse sommaire de sites potentiels pour l'établissement d'une production de loup tacheté dans l'Est-du-Québec (Bas-Saint-Laurent et Gaspésie). Document de travail, Direction régionale de la Gaspésie, MAPAQ 10 pp.

# MÉTHODES

## MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Les spécimens de loup tacheté utilisés pour cette expérience ont été produits au Centre Aquacole Marin de Grande-Rivière (CAMGR, maintenant Mérinov inc.). L'incubation, et le prégrossissement ont eu lieu au CAMGR, et l'expérience de croissance à l'Institut Maurice-Lamontagne (IML). Les œufs et poissons juvéniles issus du croisement d'une femelle avec un nombre variable de mâles forment une famille. Sept familles ont été utilisées pour ce projet. Six familles dont la date d'éclosion moyenne était rapprochée ont été regroupées pour former la cohorte 1, et la dernière famille est demeurée séparée pour former la cohorte 2. Les sections suivantes donnent les conditions d'élevage au CAMGR et à l'IML.

## FERTILISATION, INCUBATION ET PRÉGROSSISSEMENT AU CAMGR

La fertilisation et l'incubation des œufs de même que l'alevinage ont eu lieu au CAMGR. L'identité de chaque géniteur utilisé pour la constitution d'une famille a été notée. Chaque géniteur avait été préalablement génotypé et un éloignement génétique parental maximal était préconisé lors de l'appariement des mâles et des femelles. Ces croisements ont été déterminés par l'utilisation de la banque de génotypage réalisée dans le cadre d'un précédent projet de recherche en collaboration avec le Dr. F. Dufresne (Université du Québec à Rimouski). Les produits sexuels ont été extraits en effectuant une pression latéro-ventrale de l'avant vers l'arrière du poisson anesthésié (benzocaïne à 50 mg l<sup>-1</sup>, Le François & Archer, 2007). Les œufs et la semence ainsi récupérés ont été maintenus à 4 °C en attendant la fertilisation. La fertilisation a été effectuée en mélangeant les œufs et la semence périodiquement sur une période de 6 heures dans un contenant propre. Afin de simplifier la présentation des résultats, les œufs et juvéniles provenant d'une même femelle sont considérés comme une famille, même si la semence de plusieurs mâles a été utilisée. Sept femelles et 21 mâles ont produits sept familles. Chaque femelle a été croisée avec 2 à 6 mâles. Cinq mâles ont été croisés avec deux femelles chacun. Les croisements ayant donné lieu aux différentes familles, la date de ponte des différentes familles ainsi que le nombre approximatif et le diamètre moyen des œufs sont données au Tableau 1

La température, la salinité et la teneur en oxygène dissous ont été mesurées à plusieurs reprises durant l'incubation (Tableau 2). La température a été gardée près de la température idéale de 5 à 6 °C (Falk-Petersen et al., 1999; Hansen & Falk-Petersen, 2001b; Le François & Archer, 2007; Le François et al., 2010b). L'incubation s'est déroulée normalement. Deux incubateurs ont été utilisés afin de réduire les risques associés à une défaillance. Les œufs des différentes familles ont été distribués aléatoirement (par famille) dans les deux incubateurs, sauf ceux de la famille J8, très nombreuse, qui a été répartie dans les deux incubateurs. Les œufs ont été désinfectés périodiquement à toutes les deux semaines pendant les premiers 100 jours de l'incubation pour réduire la prolifération bactérienne et fongique et augmenter le taux de survie. L'agent de désinfection utilisé fut le glutaraldéhyde (1,5-Pentanedial, C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>) à une concentration de 150 ppm pendant 5 min. Pour plus de détails voir Le François & Archer (2007) et Le François et al. (2010b).

La durée de l'incubation pour les familles 31J, 166J, J9, J47, J7, J12 et J8 a été de 168, 160, 157, 163, 164, 134 et 160 jours, soit 1025, 976, 958, 929, 935, 817 et 944 degrés-jours respectivement (la température moyenne des deux incubateurs a été utilisée pour la famille J8).

Tableau 1. Résumé des principaux détails et événements concernant la ponte, l'incubation et la production d'alevins des familles composant les cohortes 1 et 2 de loups tachetés. La cohorte 1 était plus hétéroclite que la cohorte 2, étant issue de plusieurs femelles, et ces juvéniles avaient un âge moyen variable au moment de la formation de la cohorte.

Parents	Cohorte 1						Cohorte 2
	♀ 31J* ♂ B21 - 10BN*	♀ 166J* ♂ 197B* - 200B*	♀ J9 ♂ 25B* - 150B* - B5 - B12 - B10	♀ J47 ♂ 17B* - 197B* - 198B* - B55 - B17 - B15	♀ J7 ♂ 200B* - 198B* - B5 - B17 - B23	♀ J12 ♂ 131B* - B4	♀ J8 ♂ 161B* - 157B* - 148B* - 199B*
Date de la ponte / Hatching date	25-06-08	03-07-08	09-07-08	18-08-08	24-08-08	29-08-08	24-10-08
Nombre d'œufs approximatif / Approximate egg number	6533	3900	9841	15217	11125	11429	12133
Diamètre des œufs / Egg diameter (mm)	5.4	5	5.6	5.9	5.7	5.9	5.8
Date début éclosion / Date first hatch	09-12-08	09-12-08	12-12-08	27-01-09	03-02-09	09-01-09	01-04-09
Survie en fin d'incubation / Incubation survival (%)	1.33	1.41	3.29	4.07	0.319 <sup>◇</sup>		6.7
Nb éclos / Nb hatched	87	55	324	620	72		814
Survie juvéniles / Juvenile survival (%)	5.75	27.27	32.10	32.74	73.61		30.09
Nb inclus dans cohorte 1 / Nb included in cohort 1	5	15	104	203	46		
Âge lors de la création de la cohorte 1 (jours postéclosion) / Age when cohort 1 was formed (days post-hatching)	99	99	96	49	45		
Masse moyenne à la formation de la cohorte 1 / Average mass when cohort 1 was created (g)	0.966	1.229	1.645	0.309	0.24		
Age lors de la dernière pesée avant la formation de la cohorte 1 / Age at last weighing before formation of cohort 1	90	90	90	30	30		

\* Indique un géniteur né en captivité au CAMGR

◇ Les familles J7 et J12 ont été mélangées à ce stade vu le faible nombre d'individus de la famille J7

Tableau 2. Conditions physico-chimiques de l'eau durant l'incubation des œufs au CAMGR.

	Incubateur / Incubator 1					Incubateur / Incubator 2				
	Moyenne Mean	ET SD	Min	Max	N	Moyenne Mean	ET SD	Min.	Max.	N
Température										
Temperature (°C)	5.7	0.5	4.3	7.5	153	6.1	0.9	4.5	11.4	187
Salinité / Salinity	29.5	1.3	25.3	31.4	153	29.1	1.5	25.4	31.4	186
Oxygène dissous										
Dissolved oxygen (% sat.)	93.6	2.4	84	100	153	93.6	2.5	87	100	186

Les poissons nouvellement éclos ont été transférés dans des bassins d'alevinage de faible profondeur d'eau et à débit/vélocité très faibles (Strand et al., 1995; Le François et al., 2010b). Un aliment pré-formulé (*INVE Lansy*, taille 0.2–0.4 mm) a aussi été distribué à l'aide de nourrisseurs à courroies automatiques sur 12 heures, car une nourriture artificielle est considérée suffisante dès la résorption du sac vitellin chez cette espèce (Le François et al., 2010b). Cependant, des nauplii d'artémies (Great Salt Lake Artemia cysts, Artemia International LLC, Fairview, TX, USA) enrichies d'acides gras essentiels (*Easy DHA Selco*, *INVE Aquaculture, Inc.*, Salt Lake City, UT, USA) ont aussi été offertes durant les 30 premiers jours suivant l'éclosion afin de maximiser le nombre de juvéniles qui seraient disponibles pour l'essai de croissance à l'IML.

Les différentes familles ont été élevées séparément pour une durée d'environ 90 jours (sauf quelques familles à éclosion plus tardive), afin de faire un suivi de la survie et de la croissance pour chacune des familles durant les premiers jours de développement. Deux cohortes ont par la suite été créées en mélangeant les familles dont l'éclosion était simultanée ou rapprochée. Ceci avait pour but d'éviter de trop grandes disparités de taille pouvant causer des problèmes de hiérarchie, du cannibalisme et une complexification de la distribution alimentaire (taille du granulé vs taille des poissons). La cohorte 1, qui comporte 22 croisements différents a donc été formée des familles issues des femelles J9, 31J, 166J, J47, J12, J7 (6 femelles et 17 mâles). La cohorte 2 a été composée d'œufs provenant d'une seule femelle (J8) croisée avec 4 mâles (Tableau 1). Pour la suite, l'âge des poissons sera toujours exprimé en jours depuis l'éclosion, en utilisant le 12 janvier 2009 et le 8 avril 2009 comme date d'éclosion moyenne pour les cohortes 1 et 2, respectivement. Pour la cohorte 1, cette date correspond à la date d'éclosion moyenne des différentes familles, pondérée par le nombre d'individus de chaque famille au moment du mélange. Dans le cas de la cohorte 2, cette date correspond au pic d'éclosion de l'unique famille impliquée.

Les paramètres physico-chimiques (température, oxygène dissous et salinité) ont été mesurés quotidiennement durant la période d'alevinage (Tableau 3; Figure 1).

Tableau 3. Conditions physico-chimiques de l'eau durant le prégressissement des juvéniles au CAMGR.

	Cohorte / Cohort 1					Cohorte / Cohort 2				
	Moyenne Mean	ET SD	Min	Max	N	Moyenne Mean	ET SD	Min.	Max.	N
Température										
Temperature (°C)	8.9	0.8	6.6	10.5	222	9.4	0.4	8.2	10.3	208
Salinité / Salinity	29.9	1.0	26.7	31.4	222	28.2	1.1	26.7	30.7	208
Oxygène dissous										
Dissolved oxygen (% sat.)	91.2	4.2	81	102	150	92.6	4.1	81	100	208

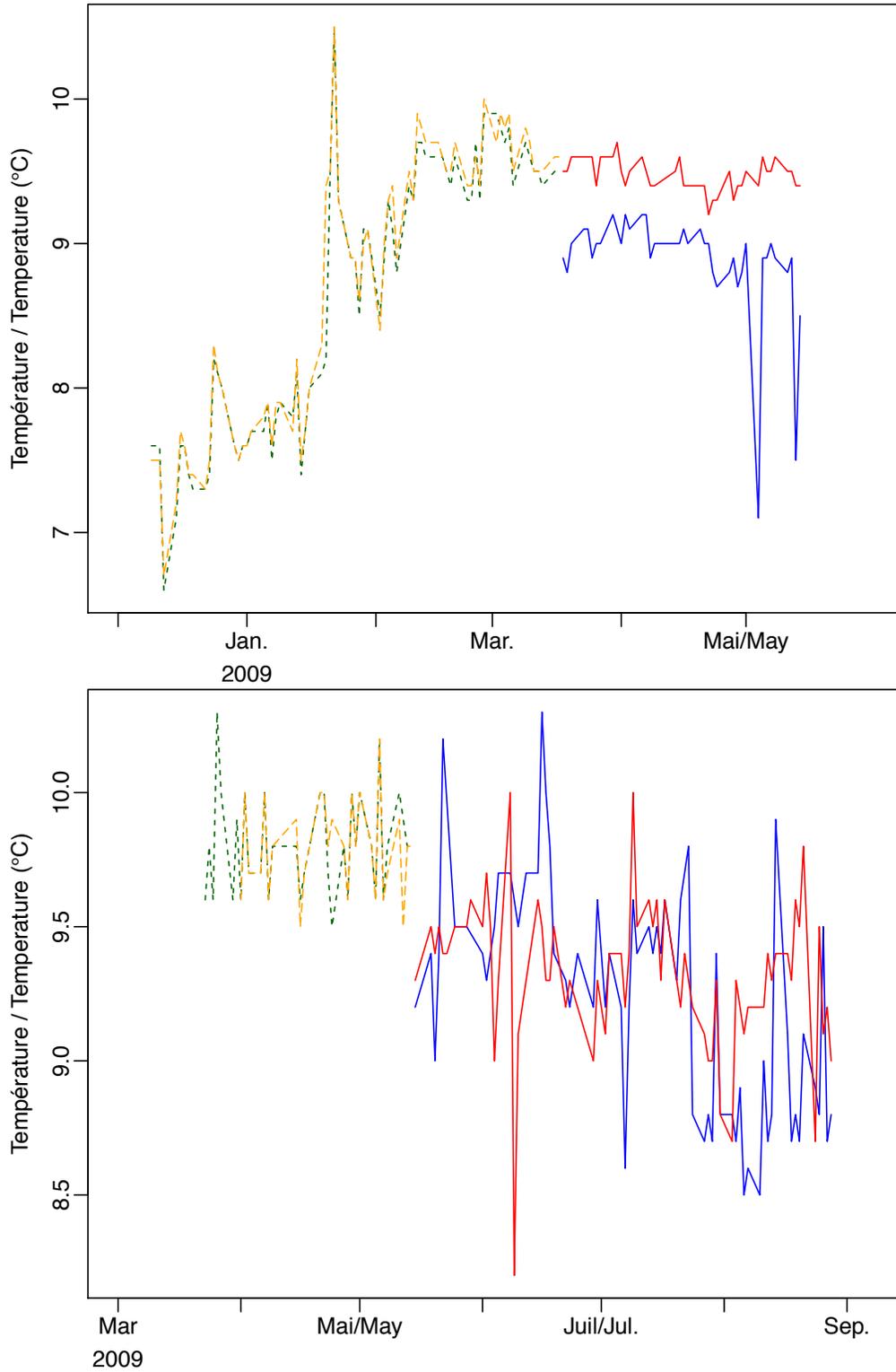


Figure 1. Température observée durant le prégrossissement des juvéniles au Centra Aquicole Marin de Grande-Rivière. Haut : cohorte 1; bas : cohorte 2. Chaque cohorte a été élevée dans quatre bassins différents, représentés par quatre types de lignes.

## DURÉE DE L'EXPÉRIENCE DE CROISSANCE À L'IML

Les individus de la cohorte 1 (n = 292) ont été transférés à l'Institut Maurice-Lamontagne (IML) le 14 mai 2009, quand ils ont atteint environ 122 jours et pesaient en moyenne 7.4 g. Ceux de la cohorte 2 (n = 245) ont été transférés le 31 août, alors qu'ils avaient 145 jours et pesaient en moyenne 14.9 g. L'expérience de croissance a pris fin avec la pesée du début d'avril 2011 (le 7 avril pour la cohorte 1 et le 4 avril pour la cohorte 2), alors que les loups avaient environ deux ans. Cependant, les élevages se sont poursuivis pendant deux mois supplémentaires dans les mêmes bassins et avec des conditions similaires. Le niveau de supervision était cependant réduit. Dans ces conditions, deux accidents n'ont pu être évités et ont causé la mort de plusieurs poissons (voir « Survie à l'IML » dans la section Résultats). Comme l'un des objectifs était de déterminer le taux de croissance jusqu'à une taille commerciale, ces deux mois supplémentaires ont tout de même fourni de l'information précieuse sur la croissance du loup tacheté de souche québécoise.

## TRAITEMENT DES POISSONS ET CONDITIONS D'ÉLEVAGE À L'IML

À leur arrivée, les juvéniles ont été placés dans de petites auges (bassins rectangulaires étroits et peu profonds, appelés en anglais « raceway tanks ») de 0.6 x 2 x 0.29 m, avec 0.18 cm de profondeur d'eau. Ces auges étaient en circuit ouvert et utilisaient l'eau de mer pré-filtrée de l'IML, stérilisée par une lampe UV. Pour chaque auge, un contrôleur électronique (Micromega CN77000 Temperature/Process Controller, Omega, Stanford, CT, USA) couplé à une valve de mélange et à une sonde de température permettaient de régler la température de chaque auge ( $\pm 0.1$  °C) en mélangeant de l'eau chaude avec de l'eau froide. Deux thermopompes de 5 HP avec échangeurs de chaleur en titane permettaient de garder une réserve d'eau chaude à  $\sim 10$  °C et une autre d'eau froide à  $\sim 4$  °C.

Le 8 décembre 2009, la cohorte 1 a été séparée en deux groupes, soit les « petits » (100 g et moins) et les « gros » (plus de 100 g), afin de contrôler la disparité de taille au sein d'un même bassin et possiblement éviter l'établissement d'une hiérarchie. Le 15 mars 2010, la cohorte 2 a aussi été triée, cette fois en trois groupes : « gros », « petits » et « mélangés ». Le troisième groupe, représentant l'absence de tri, devait servir à évaluer l'impact du tri sur la croissance. Cependant les installations n'avaient pas été conçues pour conserver plusieurs petits groupes et des problèmes survenaient avec les cloisons (de la nourriture et même des loups passaient d'un compartiment à l'autre). De plus, le tri n'a pas amélioré de façon notable la croissance du groupe des « petits » de la cohorte 1 après plus de 100 jours. Il fut donc décidé de regrouper les trois classes de la cohorte 2 le 16 juillet 2010. Compte tenu de la courte période sur laquelle la cohorte 2 a été séparée en 3 classes, nous avons traité les données comme si les loups de cette cohorte avaient toujours formé un seul groupe. Par contre, les deux groupes de la cohorte 1 ont été conservés jusqu'à la fin du projet et furent traités séparément dans la section Résultats.

Le 20 janvier 2010, les deux classes de la cohorte 1 (masse moyenne de 103.0 et 150.9 g pour les « petits » et « gros », respectivement) ont été transférées dans deux bassins plus grands (1.5 x 3 x 0.45 m, 0.28 m de profondeur d'eau). Le 22 juin 2010, la cohorte 2 (une seule classe, masse moyenne de 202.2 g) a été transférée dans un grand bassin (2 x 6 x 0.45 m, 0.28 m de profondeur d'eau, Figure 2).

La température des 2 auges de taille moyenne et de la grande auge était contrôlée à l'aide de deux thermopompes (5 et 2 HP respectivement) installées en série et, lorsque nécessaire en hiver, un chauffe-eau de 40 kW. Le taux de recirculation était de 50 % (sauf exception, voir plus loin) et l'eau était filtrée à l'aide d'un filtre à tambour et stérilisée par une lampe UV.

En mars 2010, une infestation parasitaire a causé un ralentissement de la consommation de nourriture et de la croissance et même la mort de quelques poissons. Il a fallu quelques semaines pour identifier le problème (une infestation sévère aux *Trichodina* et *Gyrodactylus*) et trouver un traitement effectif (Annexe 1). Le problème a

été résolu le 21 avril 2010 et n'a touché que la cohorte 1. Des tests périodiques ont été effectués par la suite afin de traiter dès l'apparition de parasites. Ce ne fut requis qu'à une seule occasion.



Figure 2. Grande auge utilisée pour la cohorte 2 à partir juin 2010.

À l'été 2010, des travaux ont été effectués à la salle des bassins de l'IML. Ces travaux ont causé un niveau de bruit de loin supérieur à la situation normale, parfois du bruit très fort accompagné de vibrations au niveau des bassins. De plus, des ouvriers circulaient parfois tout près des bassins de loups. Les principales étapes de l'expérience sont résumées à la Figure 3.

Tout au long de l'expérience, la densité était ajustée mensuellement en fonction de la masse des individus en ajustant la position d'une paroi amovible. Une densité de  $10 \text{ kg m}^{-2}$  fut utilisée à la réception des poissons à l'IML. La densité fut augmentée graduellement à  $20 \text{ kg m}^{-2}$  jusqu'à l'atteinte de  $100 \text{ g}$  de masse moyenne, puis à  $30 \text{ kg m}^{-2}$  dans les grands bassins<sup>9</sup>. Il avait été prévu d'atteindre  $40 \text{ kg m}^{-2}$  dans les grands bassins, en accord avec les travaux de Tremblay-Bourgeois et al. (2010), Jonassen (2002) et Imsland et al. (2009), mais il a été impossible d'obtenir la nourriture flottante initialement prévue pour l'expérience de croissance. Après avoir obtenu un avis favorable (Dr. Santosh Lall, nutritionniste des poissons marins, NRC, Halifax, Nouvelle-Écosse, Canada), nous avons jugé préférable de garder la densité à  $30 \text{ kg m}^{-2}$  afin de faciliter la recherche de nourriture sur le fond. Les densités désirées et réalisées sont montrées en fonction de la date à la Figure 4.

<sup>9</sup> Sauf pour environ un mois en avril 2010 où la densité fut ramenée à  $20 \text{ kg/m}^2$  pour la cohorte 1, lorsqu'une baisse de croissance fut observée mais que la cause, une infestation parasitaire, n'avait pas encore été identifiée.

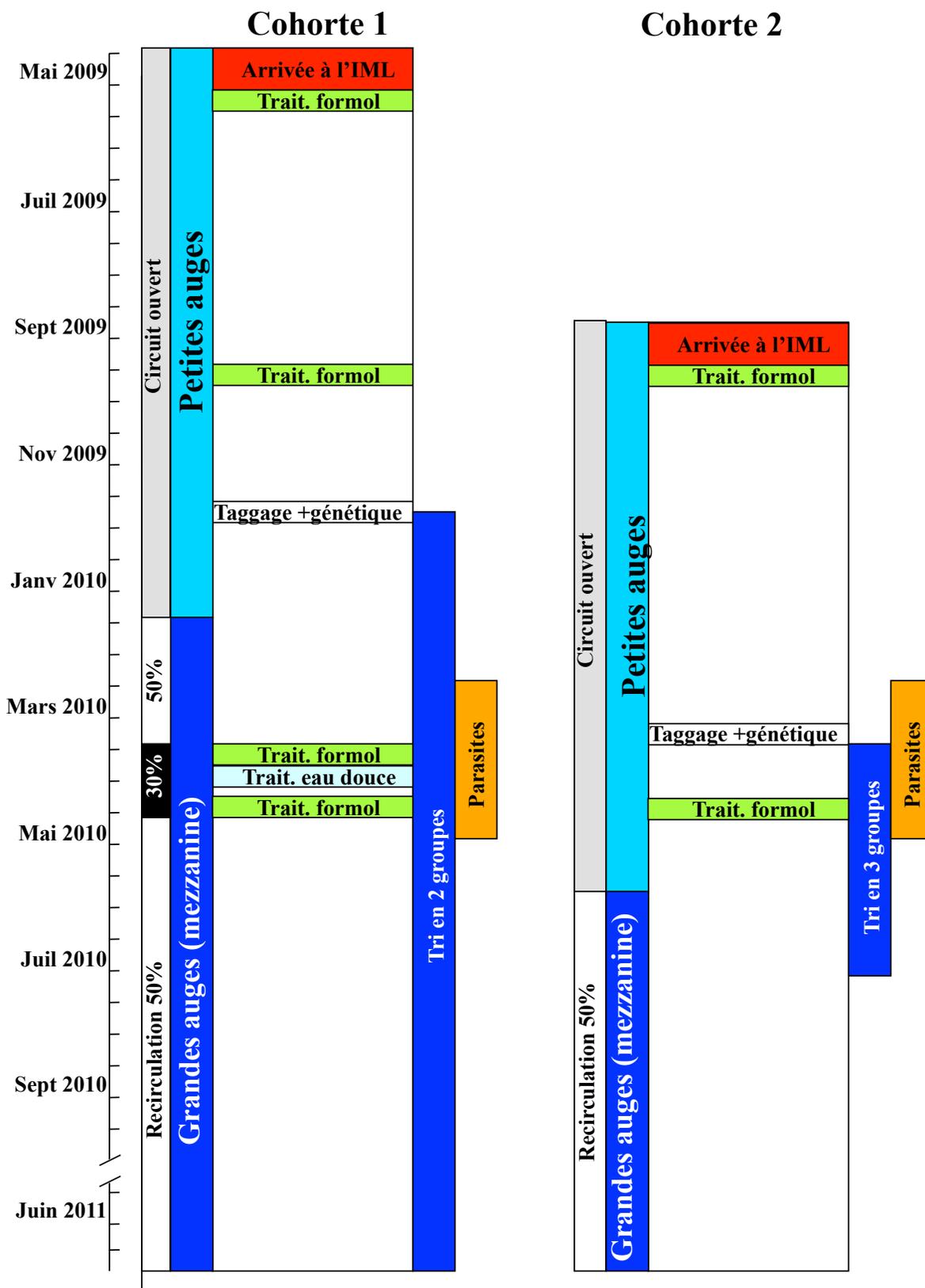


Figure 3. Schéma montrant les principaux évènements et ajustements durant l'expérience de croissance du loup tacheté menée à l'Institut Maurice-Lamontagne.

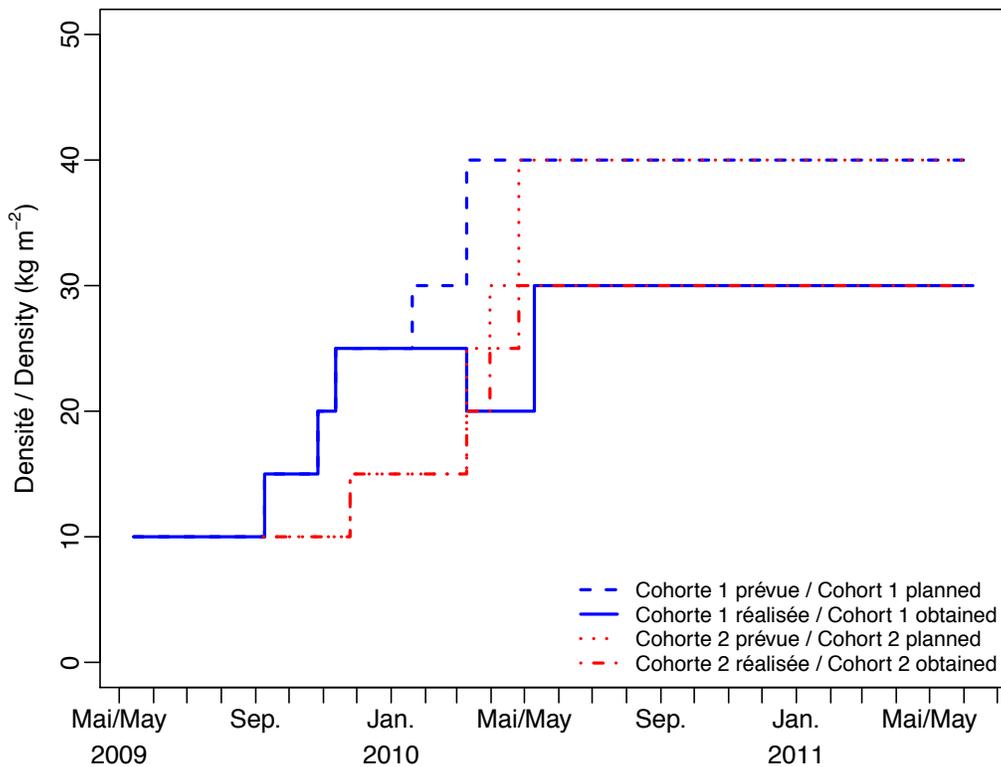


Figure 4. Densité pour chaque cohorte de loups tachetés durant l'expérience de croissance réalisée à l'Institut Maurice-Lamontagne. La densité augmentait avec la taille des individus, mais fut gardée en deçà des valeurs prévues pour faciliter la consommation d'une nourriture non-flottante.

## CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES À L'IML

Le débit était ajusté afin d'obtenir un taux de remplacement d'environ 1.5 changement d'eau à l'heure dans chaque bassin. Le taux de recirculation a été maintenu à 50 %, sauf durant la période d'infestation parasitaire, quand il fut réduit à 30 % (Figure 3).

L'intensité lumineuse était d'environ 50–100 lux. Il avait été prévu d'utiliser une photopériode constante (16 : 8) pour cette expérience, mais la salle des bassins de l'IML ne pouvait accommoder un éclairage différent pour les bassins de loups tachetés durant la première année du projet. De mai 2009 à mai 2010, les poissons ont donc été exposés à la photopériode naturelle en vigueur. De juillet 2010 jusqu'à la fin de l'expérience (9 juin 2011), une photopériode fixe de 16:8 (jour/nuit) a été en vigueur (Figure 5).

La température optimale pour la croissance du loup tacheté varie en fonction de la taille (Imslund et al., 2006). À partir des recommandations d'Imslund et al. (2006), pour les souches norvégienne et islandaise, et Lamarre et al. (2010) pour la souche québécoise, l'équation suivante a été obtenue :

$$T_{\text{opt}} = 11.727 \times \text{masse}^{-0.0915} \quad (\text{eq. 1})$$

À titre indicatif, la  $T_{\text{opt}}$  est de 10.1 °C pour des individus de 5 g, diminue graduellement à 7.4 °C pour des individus de 150 g et à 6.0 °C pour des individus de 1.5 kg. En général, la température à laquelle les loups étaient exposés était proche de la température cible (Figure 6).

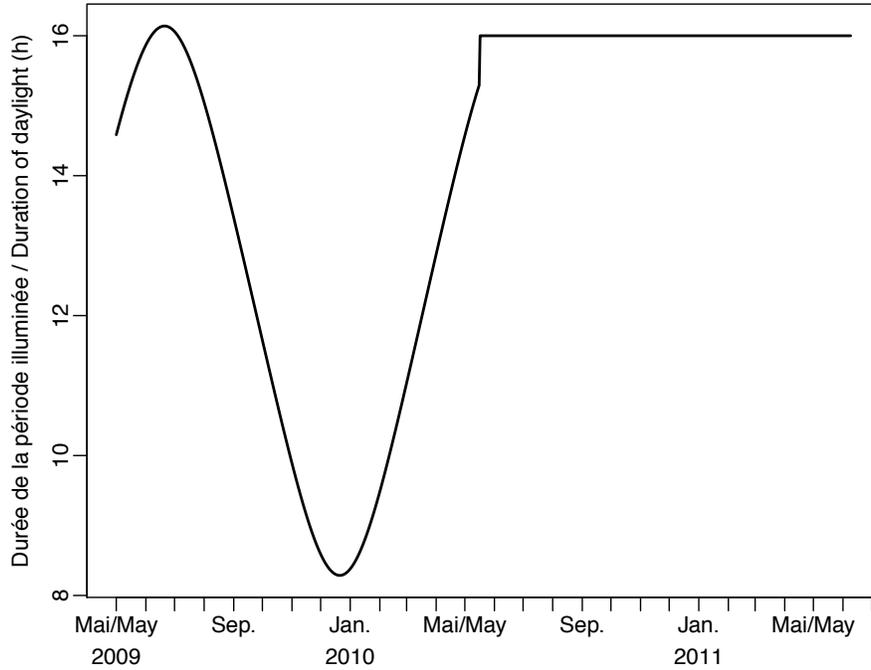


Figure 5. Photopériode utilisée pour l'élevage des loups tachetés à l'Institut Maurice-Lamontagne. La photopériode naturelle fut utilisée de mai 2009 à mai 2010. Une photopériode constante conçue pour maximiser la consommation de nourriture a été utilisée du 17 mai 2010 au 9 juin 2011.

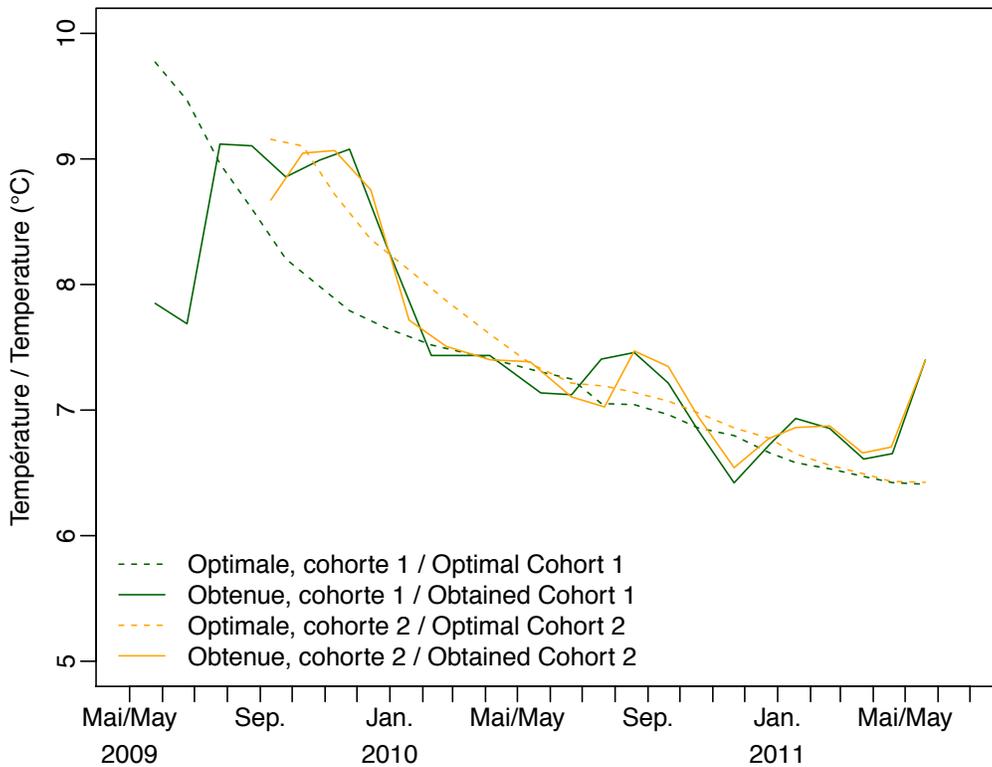


Figure 6. Température de l'eau des bassins des deux cohortes de loup tacheté durant l'expérience de croissance menée à l'Institut Maurice-Lamontagne. La température désirée dépend de la taille des individus.

Le principal écart entre température désirée et température réalisée s'est produit la cohorte 1 : la température fut de plus de 1 °C trop élevée à l'été 2009, puis un peu plus de 1 °C trop froide à l'automne 2009. Nous n'avons pu déterminer la cause de ces écarts, mais le système de thermorégulation était suffisamment performant pour atteindre la température cible. Il est possible qu'une erreur ait été faite lors du calcul ou de la programmation de la température cible durant cette période. À partir de la fin de l'automne 2009 jusqu'au printemps 2011, la température obtenue a toujours été près de la température optimale, avec quelques petits écarts causés par des limitations du système de thermorégulation, comme par exemple une température trop élevée d'environ 0.5 °C en août et septembre 2010.

La salinité était celle de l'eau de mer nouvelle à la salle des bassins de l'IML et n'était pas contrôlée (Tableau 4). Un système d'approvisionnement en air était installé dans les petites et grandes auges pour maintenir l'oxygène dissous à des valeurs élevées partout dans les bassins et aussi réduire le risque de baisse rapide d'oxygène dissous en cas d'interruption momentanée de l'arrivée d'eau. Le suivi de la teneur en oxygène dissous a été effectué périodiquement à l'aide d'une sonde YSI Pro Plus Quatro modèle 60500, (YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA) (Tableau 4). L'ammoniaque, les nitrites et les nitrates ont été mesurés (trousse Hach (HACH Company, Loveland, CO, USA) à plusieurs reprises dans les grandes auges seulement, les petites auges étant en circuit ouvert. Les teneurs en produits azotés ont toujours été faibles (Tableau 4). Le pH a été mesuré avec le même instrument que pour l'oxygène dissous et les résultats ont toujours été près de 8 (Tableau 4).

Tableau 4. Qualité de l'eau dans les grandes auges utilisées à l'Institut Maurice-Lamontagne pour l'élevage des loups tachetés à partir de janvier 2010 (cohorte 1) et juin 2010 (cohorte 2) jusqu'à juin 2011.

	Moyenne ± ET Mean ± SD	Min	Max	N
Salinité / Salinity	27.3 ± 1.32	21.3	31.6	6651
Oxygène dissous Dissolved oxygen (% sat.)	83.3 ± 7.8	68	100	52
pH	8.1 ± 0.11	7.9	8.3	96
Ammoniac (mg l <sup>-1</sup> TAN)	0.08 ± 0.14	0	0.80	31
Nitrites (mg l <sup>-1</sup> )	0.01 ± 0.01	0	0.05	31
Nitrates (mg l <sup>-1</sup> )	0	0	0	31

## NOURRITURE ET RATION

Les poissons étaient nourris à satiété du lundi au vendredi de 8 h à 4 h avec de la moulée Skretting Europa 15 de taille 2, 3 et 4 mm et Skretting Europa 18 de taille 6, 9 et 12 mm. Ces moulées ne demeurent que quelques secondes à la surface de l'eau. La composition de la Skretting Europa 15 est de 55 % de protéines, 15 % de matières grasses, 11.42 % de cendres et 7.5 % d'humidité. La composition de la Skretting Europa 18 est de 50 % de protéines, 18 % de matières grasses, 10.34 % de cendres et 7.9 % d'humidité. Les poissons étaient nourris à l'aide de nourrisseurs automatiques. En complément, de la nourriture était distribuée à la main, environ cinq à sept fois par jour. Le nourrissage cessait lorsqu'il y avait accumulation de nourriture dans le bassin. La quantité de nourriture distribuée chaque jour était notée. La petite quantité de nourriture non consommée constituait une source d'erreur inévitable dans le calcul du taux de consommation (i.e. la nourriture excédentaire n'était pas quantifiée).

La moulée était entreposée au congélateur (-20 °C) pour un maximum de 5 mois avant d'être utilisée. La taille du granulé à administrer était réévaluée après la détermination mensuelle de la masse moyenne selon la charte d'utilisation commerciale obtenue auprès de Tomma Marinfisk A/S (Mme Inger Andreassen, gestionnaire de la production). Deux tailles de granules étaient distribuées simultanément pour introduire graduellement une nouvelle taille.

## SUIVI DE LA CROISSANCE

Une mesure de masse moyenne a été réalisée dès le premier jour postéclosion (j) et par la suite tous les 30 jours. À l'atteinte d'une masse moyenne d'environ 100 g (le 8 décembre 2009 pour la cohorte 1 et le 15 mars 2010 pour la cohorte 2), tous les individus ont été marqués individuellement à l'aide d'un étiquette PIT (Passive Integrated Transponder, Biomark, Idaho, USA, 8.4 mm) inséré dans le muscle, au-dessous de la nageoire dorsale. Par la suite, un suivi individuel était possible. Dépendamment de la taille du groupe ou de la famille, entre 10 et 40 poissons ont été choisis aléatoirement à chaque mois pour la détermination de la longueur et de la masse. Quand les poissons devaient être anesthésiés (marquage, pesées mensuelles), le métomidate (Aquacalm, Western Chemicals, WA, USA) était utilisé (5 mg l<sup>-1</sup>), combiné à du Vidalife<sup>®</sup> (Western Chemical Inc.) afin de réduire les risques de blessure et d'irritation de la peau.

## ANALYSES GÉNÉTIQUES

Au moment du marquage, un peu de tissu de la nageoire caudale était prélevé pour les analyses génétiques. La méthode utilisée est décrite à l'Annexe 2. L'objectif était d'identifier le père et la mère de chaque poisson et ainsi de déterminer si le génotype était lié au taux de croissance et au taux de survie. L'analyse de parenté a comparé tous les parents potentiels avec tous les descendants en retournant une probabilité pour chacun des parents potentiels. L'assignation parentale était acceptée lorsque le seuil de 80 % de confiance était atteint. Aux fins de comparaisons statistiques, seules les familles comportant 3 individus ou plus ont été conservées. Les autres ont été retirées des analyses.

## CALCULS

L'indice de condition de Fulton « K » (Ricker, 1975) de chaque poisson était calculé comme suit :

$$K = M \times 100 \cdot L^{-3} \quad (\text{Eq. 2})$$

où M est la masse en g et L la longueur en cm.

Le taux de conversion alimentaire (Feed Conversion Ratio, FCR) (Lovell, 1998) pour l'ensemble des poissons d'un bassin était calculé ainsi :

$$\text{FCR} = I (M_f - M_i)^{-1} \quad (\text{Eq. 3})$$

où I est la masse de nourriture ingérée durant une période de temps spécifiée, M<sub>f</sub> est la masse moyenne des poissons à la fin de la période et M<sub>i</sub> la masse moyenne au début (g).

Le taux de croissance spécifique (Specific Growth Rate, SGR, en % j<sup>-1</sup>), basé sur le taux de croissance instantané, (IGR) (Hopkins, 1992; Elliott & Hurley, 1995; Peck et al., 2003) était calculé pour un groupe de poissons par ces équations :

$$\text{IGR} = [\ln(M_f) - \ln(M_i)] \cdot (t_2 - t_1)^{-1} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\text{SGR} = 100 \cdot (e^{\text{IGR}} - 1) \quad (\text{Eq. 5})$$

où  $M_f$  et  $M_i$  sont la masse moyenne des loups aux temps  $t_2$  et  $t_1$ , respectivement, et  $\ln$  est le logarithme naturel (base  $e$ ).

Le SGR varie en fonction de la masse des poissons. Jobling (1983) et Elliott et Hurley (1995) indiquent que cette relation est linéaire après transformation logarithmique de SGR et de la masse.

$$\ln(\text{SGR}) = a \cdot \ln(M_{\text{est}}) + b \quad (\text{Eq. 6})$$

Comme recommandé par Ricker (1979) et Elliott et Hurley (1995), nous avons estimé la masse entre deux pesées ( $M_{\text{est}}$ ) plutôt que de prendre la masse au début ou à la fin d'une période de mesure de la croissance afin de déterminer la relation entre SGR et masse :

$$M_{\text{est}} = M_i \cdot (e^{(\ln(M_f) - \ln(M_i))} - 1) \cdot [\ln(M_f) - \ln(M_i)]^{-1} \quad (\text{Eq. 7})$$

De même, la relation entre SGR et l'âge des poissons était linéaire après transformation logarithmique des deux variables. Dans ce cas, nous avons utilisé l'âge médian ( $A_{\text{median}}$ ) entre la première et la seconde pesée pour modéliser la relation entre SGR et âge :

$$\ln(\text{SGR}) = a \cdot \ln(A_{\text{median}}) + b \quad (\text{Eq. 8})$$

La relation entre la masse et l'âge ( $A$ ) a été modélisée de deux façons. La première est une fonction de puissance, montrée après transformation permettant l'analyse par simple régression linéaire :

$$\ln(M) = a \cdot \ln(A) + b \quad (\text{Eq. 9})$$

Finalement, un modèle de croissance Gompertz, permettant un ralentissement de la croissance alors que les poissons vieillissent, a été calculé par régression non linéaire et la fonction SSgompertz de R (R Development Core Team, 2011) :

$$M = M_{\infty} \cdot e^{(-b_2 \cdot b_3^A)} \quad (\text{Eq. 10})$$

où  $M_{\infty}$  la masse asymptotique,  $b_2$  et  $b_3$  sont des paramètres qui ajustent le taux de croissance et le point d'inflexion.

## ANALYSES STATISTIQUES

Le postulat de normalité a été vérifié par les tests de Shapiro-Wilk et d'Agostino-Pearson (D'Agostino et al., 1990) et celui d'homoscédasticité par le test de Brown-Forsythe (Brown & Forsythe, 1974).

La masse moyenne des différents groupes fut comparée à chaque date de pesée par un test de  $t$  unidirectionnel (classe « gros » > classe « petits », ou cohorte 2 > cohorte 1). Quand une comparaison souffrait d'hétéroscédasticité, un test de  $t$  de Welch, ne requérant pas des variances égales, a été utilisé (Quinn & Keough, 2002). Comme plusieurs comparaisons étaient réalisées, la correction de Šidák a été appliquée pour conserver le risque global d'erreur  $\alpha$  à 0.05 (Quinn & Keough, 2002; Abdi, 2007).

Une ANOVA à un facteur a été réalisée afin de déterminer l'effet parental du mâle ou de la femelle sur la masse finale des individus. Le test d'Agostino-Pearson a été utilisé pour tester la normalité et le test de Brown-Forsythe pour tester l'homogénéité des variances. Un test post-hoc de Tuckey a par la suite été réalisé pour les comparaisons par paires lorsque les conditions d'application étaient respectées, sinon le test post-hoc de Games-Howell était utilisé. Dans le cas de la cohorte 2, seul l'effet parental du mâle a été évalué, car cette famille était issue d'une seule femelle.

Les données d'indice de condition K au jour 30 ont été transformées (racine carrée) pour remplir les conditions d'application du test.

La relation entre FCR et l'âge des poissons a été étudiée par régression linéaire (Quinn & Keough, 2002). La même technique a été utilisée pour étudier la relation entre le taux de croissance spécifique et l'âge ou la masse, après transformation logarithmique des variables.

Tous les tests statistiques ont été effectués avec le logiciel R version 2.13.1 (R Development Core Team, 2011). Le package *lawstat* (Noguchi et al., 2009) a été utilisé pour le test de Brown-Forsythe.

## RÉSULTATS

### TAUX DE CROISSANCE DURANT LES PREMIERS 30 JOURS

Au jour 30 postéclosion, les juvéniles issus de la femelle J47 avaient la plus grande masse moyenne, et la différence de masse était significative par rapport à plusieurs autres familles (Tableau 5). De plus, les juvéniles de cette famille ont aussi connu une bonne croissance en longueur et avaient une condition intermédiaire au jour 30.

Tableau 5. Masse, longueur et condition (K) au jour 30 postéclosion pour chacune des familles de loup tacheté produites au CAMGR pour ce projet. Moyenne  $\pm$  écart type. Des exposants différents dénotent une différence significative entre les familles.

Cohorte Cohort	Famille Family	Masse Mass (g)	Longueur Length (cm)	K
1	31J	0.17 $\pm$ 0.02 <sup>ad</sup>	2.56 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	1.02 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>
1	166J	0.17 $\pm$ 0.02 <sup>ad</sup>	2.74 $\pm$ 0.17 <sup>ac</sup>	0.82 $\pm$ 0.13 <sup>be</sup>
1	J9	0.20 $\pm$ 0.04 <sup>de</sup>	2.80 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	0.91 $\pm$ 0.17 <sup>ea</sup>
1	J47	0.31 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	3.39 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	0.80 $\pm$ 0.14 <sup>bce</sup>
1	J7+J12	0.24 $\pm$ 0.03 <sup>ce</sup>	3.25 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	0.70 $\pm$ 0.07 <sup>cd</sup>
2	J8	0.26 $\pm$ 0.07 <sup>bc</sup>	3.3 $\pm$ 0.52 <sup>b</sup>	0.70 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>

### MASSE À L'ÂGE

Un sous-échantillon de loups tachetés des deux cohortes était pesé à chaque mois. Les masses, longueurs et conditions moyennes obtenues aux jours d'échantillonnage sont montrées aux Tableaux 5 et 6 pour les cohortes 1 et 2, respectivement.

Jusqu'à 100 j, la croissance de la cohorte 2009 fut similaire à celle observée chez trois autres cohortes de souche québécoise élevées au CAMGR (Figure 7). Entre 100 et 250 j, la croissance de la cohorte de 2009 était supérieure à celle des cohortes de 2006 et 2008, mais similaire à celle de 2007. Après 250 j, la croissance observée chez la cohorte de 2009 était de loin supérieure à celle observée aux deux seules années où les observations ont continué aussi longtemps, soit en 2006 et 2008. Après environ un an postéclosion, tous les loups ont été pesés et les masses moyennes pour la cohorte 1 « gros » (330 j), cohorte 1 « petits » (330 j) et cohorte 2 (341 j) étaient de 127.3  $\pm$  21.6 g, 79.5  $\pm$  17.5 g et 113.6  $\pm$  43.0 g respectivement (Tableaux 5 et 6).

La croissance des deux cohortes a continué d'être bonne durant la seconde année, en particulier celle de la cohorte 2, qui a grandi plus rapidement que les deux classes de taille de la cohorte 1 à partir d'environ 550 j postéclosion (Figure 8). L'augmentation de masse moyenne a ralenti chez les trois groupes à l'âge de 400 à environ 500 j. Les quelques cas de perte apparente de masse (« gros » : jours 511 et 815, « petits », jour 567) ne sont pas significatifs, il s'agissait donc de variabilité normale considérant les petits effectifs pesés à chaque date. Les dates où tous les individus d'un groupe ont été pesés sont indiquées sur cette figure.

Tableau 6. Masse, longueur et facteur de condition (K) de la Cohorte 1 au Centre Aquicole Marin de Grande-Rivière (janvier à mai 2009) et à l'Institut Maurice-Lamontagne (juin 2009 à juin 2011). Les résultats sont présentés sans tenir compte de la classe de taille, d'abord, puis pour les classes « gros » et « petits ».  $\bar{x}$  = moyenne, ET = écart type.

Date	Classe Class	Âge Age (j)	Masse / Mass			Longueur / Length		Condition K	
			$\bar{x}$	ET / SD	N	$\bar{x}$	ET / SD	$\bar{x}$	ET / SD
2009-01-09		30	0.2	0.07	75	3.0	0.37	0.82	0.159
2009-03-18		65	0.6	0.53	40	4.0	0.93	0.72	0.151
2009-04-17		95	3.5	2.06	40	8.2	7.76	0.90	0.161
2009-05-12		120	7.3	3.01	40	10.3	10.82	1.07	0.201
2009-06-09		148	10.4	3.58	20	9.5	1.32	1.22	0.285
2009-07-09		178	18.9	6.17	42	11.9	1.46	1.08	0.091
2009-08-10		210	29.5	12.26	43	14.2	1.81	0.97	0.094
2009-09-09		240	49.6	14.51	40	16.8	1.69	1.01	0.093
2009-10-13		274	66.8	16.10	40	18.4	1.28	1.05	0.080
2009-11-10		302	87.2	25.25	40	20.1	1.74	1.04	0.095
2009-12-08		330	106.2	30.99	272	21.5	1.99	1.04	0.093
2010-01-20		373	128.7	35.58	54	22.6	2.40	1.08	0.101
2010-03-02		414	151.0	43.42	50	24.2	2.38	1.03	0.104
2010-05-10		483	176.8	62.90	50	25.8	3.29	0.99	0.140
2010-06-07		511	192.3	51.61	50	26.8	2.19	0.97	0.070
2010-07-06		540	259.3	62.27	41	29.0	2.40	1.05	0.112
2010-08-02		567	262.9	88.06	44	29.2	2.84	1.01	0.086
2010-09-07		603	297.6	96.53	51	30.1	3.48	1.06	0.129
2010-10-04		630	351.5	118.26	249	31.7	3.18	1.06	0.104
2010-11-01		658	388.0	133.99	50	32.4	3.40	1.09	0.099
2010-12-13		700	483.7	186.80	50	34.2	4.00	1.17	0.298
2011-01-05		723	552.1	180.85	50	35.7	3.47	1.17	0.094
2011-01-31		749	598.9	198.77	51	36.9	3.44	1.15	0.123
2011-03-10		787	663.4	271.02	52	38.1	4.29	1.15	0.154
2011-04-06		814	720.8	248.88	76	39.2	3.84	1.15	0.126
2011-05-02		840	737.0	250.13	247	39.6	3.82	1.14	0.122
2011-06-09		878	829.1	271.05	223	41.1	3.95	1.15	0.127
2009-12-08	gros	330	127.3	21.59	152	22.8	1.05	1.07	0.069
2010-01-20	gros	373	150.9	23.19	29	24.1	0.99	1.08	0.073
2010-03-02	gros	414	182.6	25.77	25	26.1	1.00	1.03	0.090
2010-05-10	gros	483	218.3	53.10	25	27.9	2.59	1.00	0.163
2010-06-07	gros	511	212.9	44.72	25	27.8	1.76	0.98	0.050
2010-07-06	gros	540	279.2	61.34	22	30.1	2.21	1.01	0.082
2010-08-02	gros	567	298.2	84.90	23	30.4	2.51	1.04	0.070
2010-09-07	gros	603	349.5	81.13	25	31.9	2.71	1.07	0.138
2010-10-04	gros	630	394.7	113.77	149	33.0	2.62	1.07	0.095

Date	Classe Class	Âge Age (j)	Masse / Mass			Longueur / Length		Condition K	
			$\bar{x}$	ET / SD	N	$\bar{x}$	ET / SD	$\bar{x}$	ET / SD
2010-11-01	gros	658	446.4	133.34	25	34.1	2.76	1.09	0.103
2010-12-13	gros	700	581.6	185.60	25	36.6	3.16	1.14	0.112
2011-01-05	gros	723	625.4	175.11	25	37.2	3.11	1.19	0.088
2011-01-31	gros	749	676.4	178.16	26	38.3	3.03	1.18	0.092
2011-03-10	gros	787	776.8	299.34	25	40.2	3.72	1.14	0.137
2011-04-07	gros	815	766.3	243.92	51	40.2	3.30	1.15	0.109
2011-05-02	gros	840	805.2	250.35	148	40.8	3.50	1.15	0.111
2011-06-09	gros	878	903.3	262.76	125	42.4	3.50	1.16	0.119
2009-12-08	petits	330	79.5	17.48	120	19.9	1.70	0.99	0.102
2010-01-20	petits	373	103.0	29.77	25	21.0	2.52	1.09	0.127
2010-03-02	petits	414	119.5	33.36	25	22.4	1.93	1.03	0.117
2010-05-10	petits	483	135.4	40.98	25	23.8	2.55	0.98	0.114
2010-06-07	petits	511	171.7	50.58	25	25.9	2.21	0.96	0.085
2010-07-06	petits	540	236.3	56.44	19	27.8	2.05	1.09	0.130
2010-08-02	petits	567	224.2	75.73	21	28.0	2.70	0.98	0.094
2010-09-07	petits	603	247.7	83.88	26	28.4	3.30	1.04	0.121
2010-10-04	petits	630	287.1	93.18	100	29.7	2.91	1.05	0.115
2010-11-01	petits	658	329.6	108.48	25	30.8	3.22	1.09	0.096
2010-12-13	petits	700	385.8	129.65	25	31.8	3.27	1.19	0.409
2011-01-05	petits	723	478.9	157.90	25	34.3	3.27	1.14	0.096
2011-01-31	petits	749	518.2	189.59	25	35.4	3.28	1.12	0.144
2011-03-10	petits	787	558.4	193.74	27	36.1	3.89	1.15	0.170
2011-04-04	petits	812	627.8	237.08	25	37.1	4.08	1.17	0.156
2011-05-02	petits	840	635.1	213.35	99	37.8	3.61	1.13	0.138
2011-06-09	petits	878	734.6	252.53	98	39.5	3.90	1.15	0.137

Tableau 7. Masse, longueur et facteur de condition (K) de la Cohorte 2 au Centre Aquicole Marin de Grande-Rivière (avril à août 2009) et à l'Institut Maurice-Lamontagne (septembre 2009 à juin 2011). Cette cohorte n'a pas été séparée en classes « gros » et « petits ».  $\bar{x}$  = moyenne, ET = écart type.

Date	Âge Age (j)	Masse / Mass			Longueur / Length		Condition K	
		$\bar{x}$	ET / SD	N	$\bar{x}$	ET / SD	$\bar{x}$	ET / SD
2009-05-01	23	0.3	0.07	20	3.3	0.23	0.69	0.089
2009-06-01	54	1.3	0.37	40	5.2	0.47	0.86	0.065
2009-07-01	84	4.6	1.42	40	7.4	0.72	1.10	0.155
2009-08-05	119	10.3	2.66	40	9.7	0.81	1.12	0.094
2009-08-27	141	14.9	3.47	40	11.0	0.89	1.12	0.105
2009-09-28	173	15.9	3.86	41	11.6	0.82	0.99	0.075
2009-10-26	201	25.5	7.00	40	13.7	1.13	0.97	0.077
2009-11-25	231	40.4	13.38	42	15.5	1.67	1.05	0.082
2010-01-04	271	55.8	16.86	40	17.5	1.62	1.00	0.089
2010-02-04	302	78.0	28.43	51	19.1	2.25	1.06	0.100
2010-03-02	328	98.1	32.49	50	21.0	2.18	1.03	0.080
2010-03-15	341	113.6	42.96	226	21.8	2.50	1.04	0.102
2010-04-26	383	159.8	49.63	57	24.5	2.27	1.05	0.085
2010-05-31	418	202.2	63.35	55	26.3	2.36	1.07	0.096
2010-07-13	461	209.5	93.68	58	26.8	3.62	1.02	0.235
2010-08-02	481	226.3	108.03	36	27.8	3.11	0.99	0.139
2010-09-07	517	251.8	117.54	48	28.8	3.27	0.98	0.147
2010-10-04	544	290.8	111.62	226	29.9	2.99	1.03	0.142
2010-11-01	572	351.7	130.54	47	31.4	3.11	1.08	0.132
2010-12-13	614	400.9	162.70	48	32.4	3.83	1.10	0.124
2011-01-05	637	491.2	174.06	48	34.2	3.62	1.18	0.154
2011-01-31	663	571.1	148.87	49	36.6	2.53	1.14	0.104
2011-03-10	701	638.2	185.07	50	37.6	3.12	1.16	0.123
2011-04-04	726	708.7	239.45	48	38.4	3.62	1.19	0.131
2011-05-02	754	717.9	255.63	223	38.9	3.73	1.16	0.144
2011-06-09	792	830.3	299.63	220	40.7	4.01	1.18	0.186

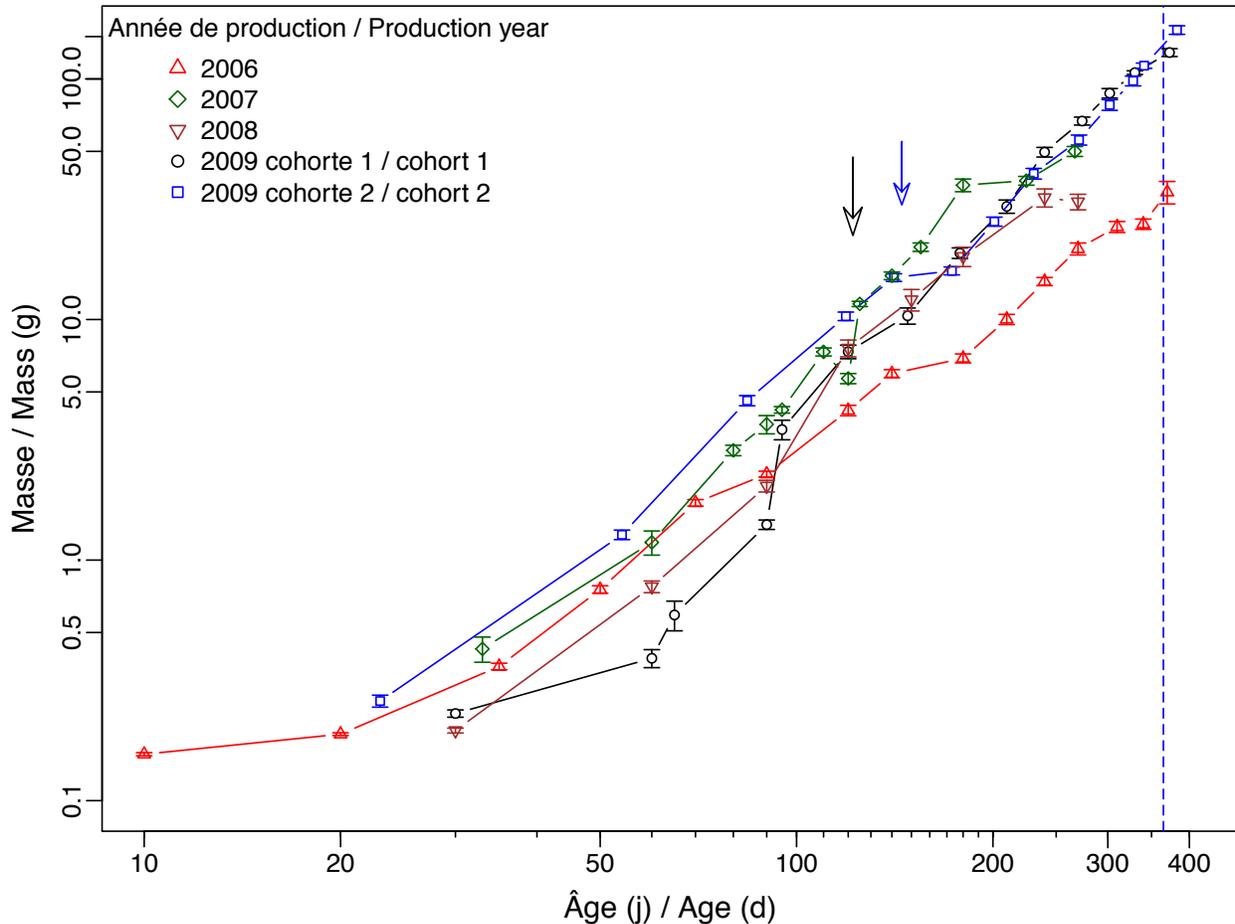


Figure 7. Comparaison de la masse à l'âge pour quatre années de production de loups tachetés de souche québécoise. Barres d'erreur = erreur type. Ligne verticale = 365 j. Flèche noire : arrivée de la cohorte 1 de 2009 à l'IML. Flèche bleue : arrivée de la cohorte 2 à l'IML. Une échelle logarithmique est nécessaire pour distinguer les différences de masse aux plus jeunes âges.

Après 2 ans, les « gros » (N = 26) et « petits » (N = 25) loups de la cohorte 1 pesaient en moyenne  $676.4 \pm 178.2$  et  $518.2 \pm 196.6$  g, respectivement, alors que la masse moyenne était de  $717.9 \pm 255.6$  g pour la cohorte 2 (N = 223, tous les individus ont été pesés). À la fin de l'expérience, au début d'avril, un sous-échantillon de loups a été pesé et les masses moyennes pour la cohorte 1 « gros » (815 j), la cohorte 1 « petits » (812 j) et la cohorte 2 (726 j) étaient de  $766.3 \pm 243.9$  g,  $627.8 \pm 237.1$  g et  $708.7 \pm 239.5$  g respectivement. À la fin des deux mois supplémentaires, le 9 juin 2011, les masses moyennes à 878 j pour la cohorte 1 « gros » et « petits » et à 792 j pour la cohorte 2 étaient de  $903.3 \pm 262.8$  g,  $734.6 \pm 252.5$  g et  $830.3 \pm 299.6$  g respectivement. Pour la cohorte 1 « gros », ce résultat inclut les 12 poissons qui sont morts lors de l'interruption de l'arrivée d'eau qui s'est produite durant la nuit du 9 juin.

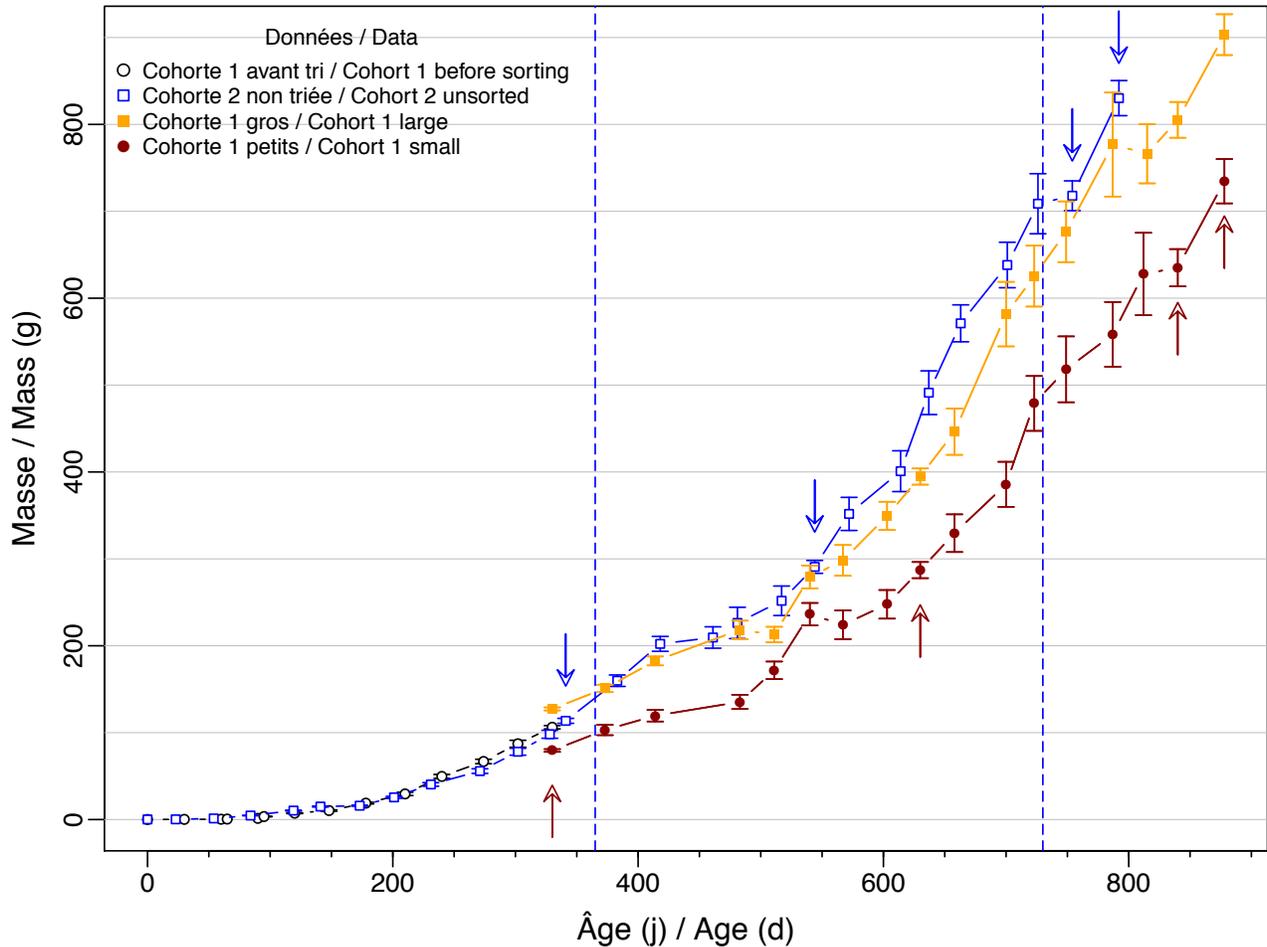


Figure 8. Croissance en masse pour toute la durée de l'expérience menée à l'IML. Pour chaque cohorte, les deux derniers points ont été obtenus en mai et juin 2011, après la fin de l'expérience, le 4 avril 2011. Les lignes pointillées verticales représentent 1 et 2 ans postéclosion, respectivement. Les flèches indiquent les jours où tous les individus d'un bassin ont été pesés plutôt qu'un sous-échantillon. Barres d'erreur = erreur type.

La séparation de la cohorte 1 en deux classes de taille avait pour objectif de favoriser la croissance des plus petits loups. Ce bénéfice n'a pas été réalisé. En effet, la différence de taille entre les deux classes est demeurée significative à toutes les pesées sauf deux, selon les tests de  $t$  (Figure 9 et Tableau 8). L'écart de masse entre les deux classes a augmenté durant la seconde année de l'expérience. Par contre la masse des « petits » était plus proche de celle des « gros », en proportion, après un an d'élevage séparé, ce qui pourrait être interprété comme une légère amélioration de la croissance chez les « petits » loups. La séparation de cette cohorte en deux groupes n'a pas eu d'effet prononcé sur la croissance des petits loups.

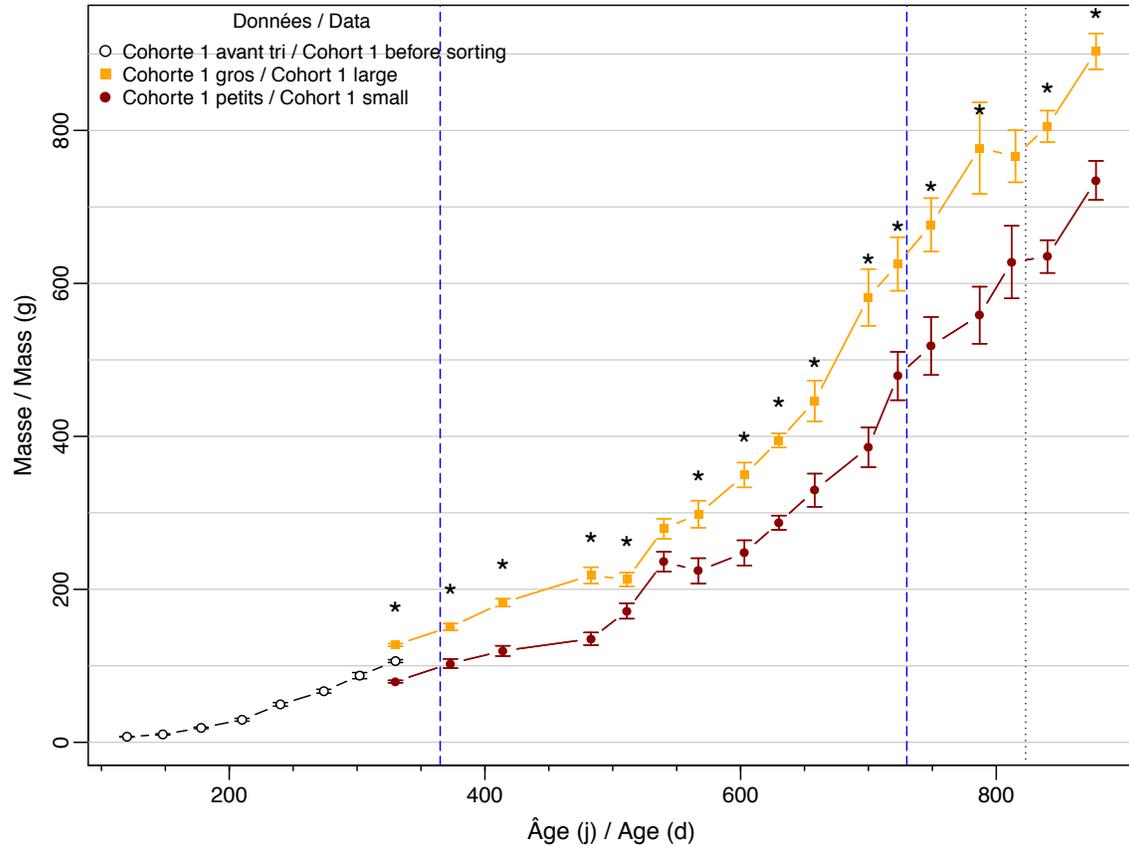


Figure 9. Comparaison de la masse à l'âge des classes de taille « gros » et « petits » de la cohorte 1 des loups tachetés de souche québécoise élevés à l'IML. Les différences significatives sont indiquées par un astérisque. Les lignes verticales bleues indiquent 1 et 2 ans postéclosion, respectivement. La ligne verticale noire pointillée indique la fin de l'expérience. Les loups ont par la suite été gardés dans des conditions semblables, mais avec une supervision moindre. Barres d'erreur = erreur type.

Tableau 8. Comparaison de la masse à l'âge des deux classes de taille de la cohorte 1.  $M_g$  et  $M_p$  représentent la masse des groupes « petits » et « gros », respectivement. P est la probabilité que la différence de masse entre les deux groupes soit significative selon un test de  $t$ . Un astérisque dans la colonne de droite indique que la différence est significative avec la correction de Šidák.

Age (j / d)	$M_g - M_p$ $M_l - M_s$	$M_p \cdot M_g^{-1}$ $M_s \cdot M_l^{-1}$	$t$	d.l. d.f.	P	Šidák
330	47.9	0.62	20.20	269.81	< 0.0001	*
373	47.9	0.68	6.52	52	< 0.0001	*
414	63.1	0.65	7.48	48	< 0.0001	*
483	82.9	0.62	6.18	48	< 0.0001	*
511	41.1	0.81	3.05	48	0.0019	*
540	42.9	0.85	2.33	39	0.0125	
567	74.1	0.75	3.06	42	0.0019	*
603	101.8	0.71	4.40	49	< 0.0001	*
630	107.6	0.73	8.17	247	< 0.0001	*
658	116.8	0.74	3.40	48	0.0007	*
700	195.9	0.66	4.33	48	< 0.0001	*
723	146.5	0.77	3.11	48	0.0016	*
749	158.3	0.77	3.07	49	0.0018	*
787	218.5	0.72	3.10	50	0.0018	*
814	138.5	0.82	2.37	74	0.0109	
840	166.5	0.79	5.59	245	< 0.0001	*
878	168.7	0.81	4.86	221	< 0.0001	*

Les deux classes de taille de la cohorte 1 ont été combinées afin de permettre une comparaison statistique entre les cohortes 1 et 2 (Figure 10). La masse moyenne des deux cohortes était comparée à chaque fois que des données étaient disponibles pour les deux cohortes à un âge similaire (11 j d'écart maximum). La masse moyenne de la cohorte 2 était significativement supérieure à celle de la cohorte 1 dans presque tous les cas (Figure 10, Tableau 9).

Deux modèles de croissance ont été calculés pour les loups tachetés de source québécoise, en combinant les deux cohortes. Le premier modèle, une fonction de puissance (régression linéaire après transformation logarithmique de la masse et de l'âge) reflète très bien les données (Figure 10) :

$$\ln(M) = 2.475 \cdot \ln(A) - 9.90130 \quad (r^2 = 0.98) \quad (\text{Eq. 11})$$

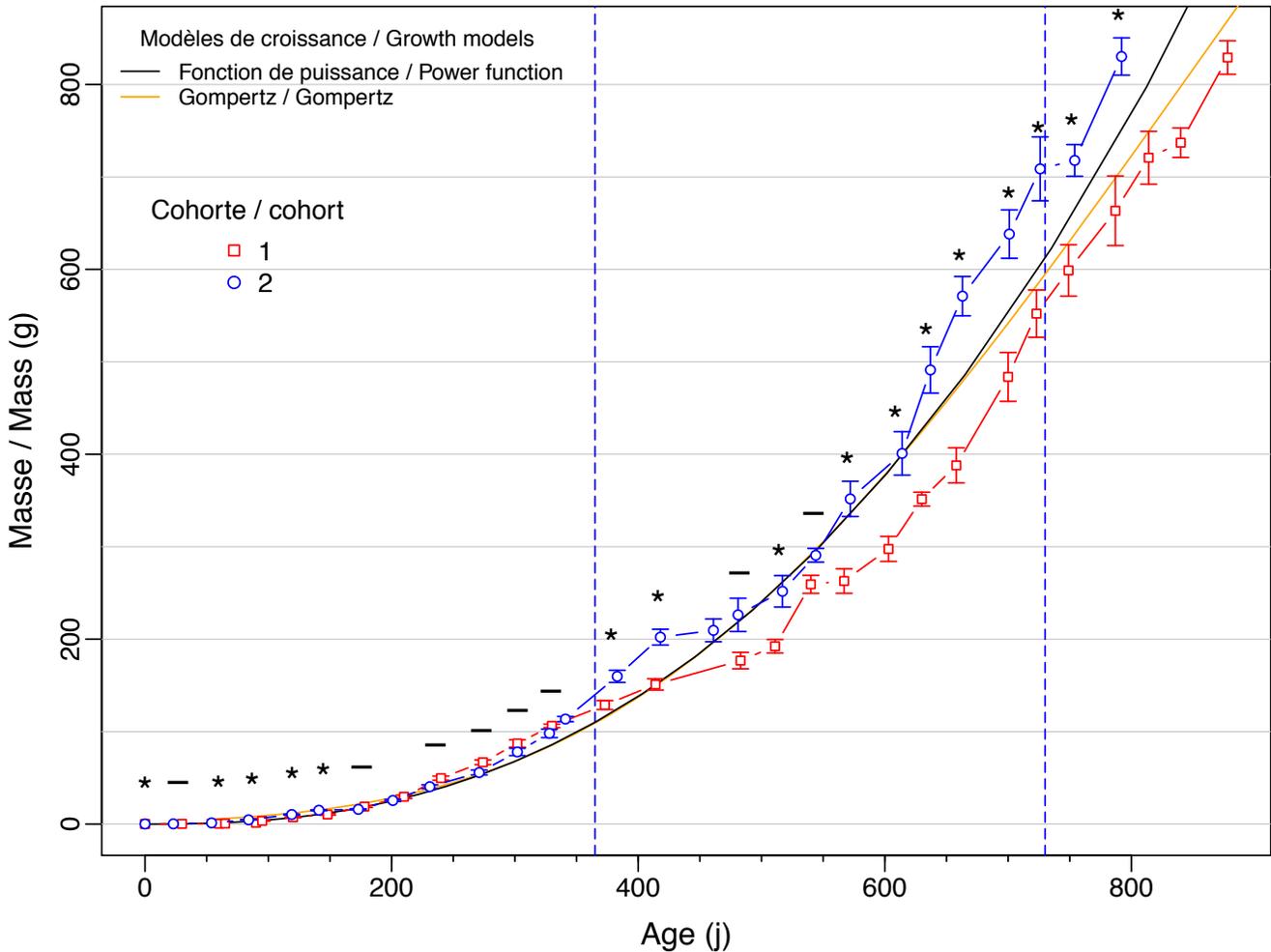


Figure 10. Comparaison de la croissance des cohortes 1 et 2. Pour les cas où les deux cohortes avaient été pesées à un âge similaire ( $\pm 11$  j), un test de  $t$  unidirectionnel a été effectué (cohorte 2 > cohorte 1). Les différences significatives sont montrées par des astérisques, les autres par des traits. Deux modèles ont été ajustés aux données de croissance des deux cohortes ensemble, soit une fonction de puissance (Eq. 10) et un modèle Gompertz (Eq. 11). Barres d'erreur = erreur type.

Le modèle de Gompertz ajusté aux données est le suivant :

$$M = 2293.9 \cdot e^{(-6.87,0.998^A)} \quad (r^2 = 0.97) \quad (\text{Eq. 12})$$

Ce modèle souffre cependant de l'absence de très gros loups. En effet, l'estimation de la taille asymptotique,  $M_\infty$ , est d'environ 2.3 kg, ce qui n'est pas réaliste. En effet, nous avons des loups de près de 10 kg à l'IML et des géniteurs de 13 kg sont mentionnés dans Falk-Petersen et al. (1999). De plus, des masses de 10–12 kg ont été estimées pour des loups capturés dans le nord-ouest de l'Atlantique à partir de relations longueur–masse (Templeman, 1986). Contrairement aux deux autres modèles, qui étaient analysés par régression linéaire après transformation, le modèle de Gompertz est non linéaire et le  $r^2$  ne reflète pas le pourcentage de variance expliquée par le modèle ni la qualité de l'ajustement (Spiess & Neumeyer, 2010). Il ne faut donc pas utiliser le  $r^2$  élevé de ce modèle comme critère de qualité. Pour ces raisons, le modèle de puissance est préférable au modèle Gompertz pour décrire la relation entre masse et âge chez le loup tacheté durant la période expérimentale.

Tableau 9. Comparaison de la masse moyenne des deux cohortes de 2009. P est la probabilité que la cohorte 2 ait une masse supérieure à celle de la cohorte 1, selon un test de  $t$  unidirectionnel. Un astérisque dans la colonne de droite indique si cette différence est significative avec la correction de Šidák, qui visait à garder le risque d'erreur de type 1 à 0.05 pour l'ensemble des comparaisons. Pour chaque comparaison, l'écart maximum d'âge entre les deux cohortes était de 11 j.

Age coh. 1 j / d	Age coh. 2 j / d	$t$	d.l. d.f.	P	Šidák
30	23	3.60	68	0.0003	*
64 + 65	54	1.68	93	0.0479	
90	84	8.72	97	< 0.0001	*
120	119	13.72	45.19	< 0.0001	*
148	141	4.68	78	< 0.0001	*
178	173	4.77	58	< 0.0001	*
240	231	-2.63	69.08	0.9947	
274	271	-3.00	80	0.9982	
302	302	-3.01	78	0.9982	
330	328	-1.61	89	0.9441	
373	383	-1.68	320	0.9531	
414	418	3.80	101.64	0.0001	*
483	481	4.86	95.98	< 0.0001	*
511	517	2.46	51.96	0.0086	
540	544	3.22	63.91	0.0010	*
567	572	2.57	94.52	0.0058	
603	614	3.83	81.09	0.0001	*
630	637	3.81	75.51	0.0001	*
658	663	5.33	55.65	< 0.0001	*
700	701	6.43	97	< 0.0001	*
723	726	4.15	98	< 0.0001	*
749	754	3.66	96	0.0002	*
787	792	3.11	272	0.0010	*

## TAUX DE CROISSANCE SPÉCIFIQUE

Les SGR obtenus à chaque pesée sont montrés au

Tableau 10 pour la cohorte 1, sans distinguer les deux classes ainsi que pour les deux classes de taille séparément. Les SGR pour la cohorte 2 sont présentés au Tableau 11. On note un mauvais taux de croissance le premier mois suivant l'arrivée de chaque cohorte à l'IML, en particulier pour la cohorte 2, qui pourrait être le résultat du stress (transport en camion, adaptation à de nouveaux bassins, éclairage différent, etc.). Il semble cependant y avoir eu quelques pesées non représentatives durant les deux années du projet, ce qui se traduit alors par deux SGR anormaux consécutifs, l'un trop haut et l'autre trop faible. Ceci s'est parfois même traduit par une perte de masse (SGR négative) entre deux dates (Figure 8, périodes 483 à 511 j et 787 à 815 j chez les « gros », période 540 à 567 j chez les « petits »). Les autres cas étaient moins extrêmes mais les SGR obtenus sont tout de même peu crédibles. Pour cette raison, les SGR ont été recalculés en ignorant trois pesées chez la cohorte 1 non triée, deux pesées chez la cohorte 1 « gros », trois pesées pour la cohorte 1 « petits », et trois pesées pour la cohorte 2 (Tableaux 9 et 10).

Les SGR étaient beaucoup plus élevés chez les très jeunes loups tachetés, puis diminuaient avec l'âge. La relation entre SGR et âge était linéaire lorsque les deux variables étaient transformées en logarithme (Figure 11). Les plus jeunes loups (< 50 j) ont été exclus de cette relation, car l'erreur expérimentale sur la mesure de masse (et donc SGR) est plus grande dans ces cas. De plus, il est possible que ces poissons ne s'alimentaient pas encore de façon optimale. Finalement, notre cohorte 1 était composée de plusieurs familles et la date moyenne d'éclosion différait entre les familles. Ces variations d'âge d'éclosion n'ont pas d'impact lorsqu'on parle de loups âgés de plusieurs mois, mais sont importantes pour des très jeunes loups. La relation entre le SGR et l'âge est (Figure 11) :

$$\ln(\text{SGR}) = 5.987 - 1.082 \cdot \ln(A_{\text{median}}) \quad (r^2 = 0.76) \quad (\text{Eq. 13})$$

(les variables et paramètres sont expliqués dans la section « Calculs »). Le SGR était aussi une fonction linéaire de la masse, après transformation logarithmique des deux variables (Figure 11) :

$$\ln(\text{SGR}) = 2.289 - 0.531 \cdot \ln(M_{\text{est}}) \quad (r^2 = 0.71) \quad (\text{Eq. 14})$$

Le taux de croissance était bas immédiatement après l'arrivée de la cohorte 2 à l'IML ainsi qu'entre les âges 400 et 500 j, environ, pour les deux cohortes.

Tableau 10. Ration hebdomadaire (gramme par poisson et par kg), facteur de conversion alimentaire (FCR), taux de croissance spécifique (SGR) des loups tachetés de la cohorte 1. Les résultats sont montrés sans tenir compte de la séparation en deux classes de taille, puis pour chaque classe de taille. Les mesures de masse moyenne de loups pour certaines dates étaient suspectes, soit trop hautes ou trop basses comparativement aux pesées précédentes ou subséquentes, donnant deux SGR extrêmes consécutifs, un élevé et un faible. Les trois colonnes de droites, marquées « † », excluent les pesées suspectes. Quand une pesée est suspecte, la pesée précédente et la pesée subséquente sont utilisées pour calculer un SGR plus fiable.

Classe	Période (j)	Durée (j)	Ration par semaine Weekly ration		FCR	SGR	Période <sup>†</sup> (j)	Durée <sup>†</sup> (j)	FCR <sup>†</sup>	SGR <sup>†</sup>
Class	Period (d)	Duration (d)	$\frac{g}{g} \frac{p^{-1}}{f^{-1}} \frac{sem^{-1}}{w^{-1}}$	$\frac{g}{g} \frac{kg^{-1}}{kg^{-1}} \frac{sem^{-1}}{w^{-1}}$			Period <sup>†</sup> (d)	Duration <sup>†</sup> (d)		
	0-30	30				2.44	0-30	30		2.44
	30-65	35				2.73	30-65	35		2.73
	65-95	30				6.09	65-95	30		6.09
	95-120	25				3.02	95-120	25		3.02
	120-148	28				1.24				
	148-178	30				2.02	120-178	58		1.64
	178-210	32	1.8	76.2	0.77	1.40	178-210	32	0.77	1.40
	210-240	30	2.7	69.5	0.57	1.75	210-240	30	0.57	1.75
	240-274	34	2.4	41.5	0.68	0.88	240-274	34	0.68	0.88
	274-302	28	3.8	49.2	0.74	0.95	274-302	28	0.74	0.95
	302-330	28	3.8	39.5	0.80	0.71	302-330	28	0.80	0.71
	330-373	43	3.8	32.8	1.05	0.45	330-373	43	1.05	0.45
	373-414	41	5.0	35.9	1.31	0.39	373-414	41	1.31	0.39
	414-483	69	4.9	29.8	1.86	0.23	414-483	69	1.86	0.23
	483-511	28	6.3	34.3	1.64	0.30	483-511	28	1.64	0.30
	511-540	29				1.04				
	540-567	27				0.05	511-567	56		0.56
	567-603	36	11.2	40.0	1.66	0.34	567-603	36	1.66	0.34
	603-630	27	11.3	34.8	0.81	0.62	603-630	27	0.81	0.62
	630-658	28	11.3	30.6	1.24	0.35	630-658	28	1.24	0.35
	658-700	42	13.7	31.6	0.86	0.53	658-700	42	0.86	0.53
	700-723	23	15.0	29.1	0.72	0.58	700-723	23	0.72	0.58
	723-749	26	11.9	20.8	0.95	0.31	723-749	26	0.95	0.31
	749-787	38	13.2	20.9	1.11	0.27	749-787	38	1.11	0.27

Classe	Période (j)	Durée (j)	Ration par semaine Weekly ration		FCR	SGR	Période <sup>†</sup> (j)	Durée <sup>†</sup> (j)	FCR <sup>†</sup>	SGR <sup>†</sup>
Class	Period (d)	Duration (d)	$\text{g p}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g f}^{-1} \text{w}^{-1}$	$\text{g kg}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g kg}^{-1} \text{w}^{-1}$			Period <sup>†</sup> (d)	Duration <sup>†</sup> (d)		
	787-814	27	13.9	20.1	0.93	0.31				
	814-840	26	15.0	20.6	3.44	0.09	787-840	53	1.49	0.20
	840-878	38	18.3	23.4	1.08	0.31	840-878	38	1.08	0.31
gros	330-373	43	4.0	28.8	1.04	0.40	330-373	43	1.04	0.40
gros	373-414	41	5.7	34.4	1.06	0.47	373-414	41	1.06	0.47
gros	414-483	69	5.5	27.7	1.53	0.26	414-483	69	1.53	0.26
gros	483-511	28	6.8	31.7	-5.06	-0.09				
gros	511-540	29				0.94	483-540	57		0.43
gros	540-567	27				0.24	540-567	27		0.24
gros	567-603	36	12.0	37.2	1.21	0.44	567-603	36	1.21	0.44
gros	603-630	27	11.6	31.2	0.99	0.45	603-630	27	0.99	0.45
gros	630-658	28	11.5	27.4	0.89	0.44	630-658	28	0.89	0.44
gros	658-700	42	14.7	28.9	0.65	0.63	658-700	42	0.65	0.63
gros	700-723	23	16.4	27.3	1.24	0.32	700-723	23	1.24	0.32
gros	723-749	26	12.5	19.2	0.91	0.30	723-749	26	0.91	0.30
gros	749-787	38	14.0	19.4	0.76	0.36				
gros	787-815	28	14.5	18.8	-5.53	-0.05	749-815	66	1.49	0.19
gros	815-840	25	15.5	19.8	1.43	0.20	815-840	25	1.43	0.20
gros	840-878	38	19.6	23.0	1.08	0.30	840-878	38	1.08	0.30
petits	330-373	43	3.7	40.4	0.95	0.61	330-373	43	0.95	0.61
petits	373-414	41	4.1	37.0	1.46	0.36	373-414	41	1.46	0.36
petits	414-483	69	4.0	31.3	2.47	0.18				
petits	483-511	28	5.6	36.6	0.61	0.85	414-511	97	1.18	0.37
petits	511-540	29	7.4	36.7	0.47	1.11				
petits	540-567	27	7.8	33.9	-2.48	-0.20	511-567	56	1.16	0.48
petits	567-603	36	10.0	42.5	2.19	0.28	567-603	36	2.19	0.28
petits	603-630	27	10.8	40.6	1.06	0.55	603-630	27	1.06	0.55
petits	630-658	28	11.0	35.8	1.04	0.49	630-658	28	1.04	0.49
petits	658-700	42	12.2	34.1	1.30	0.38	658-700	42	1.30	0.38
petits	700-723	23	12.9	30.1	0.46	0.94	700-723	23	0.46	0.94

Classe	Période (j)	Durée (j)	Ration par semaine Weekly ration		FCR	SGR	Période <sup>†</sup> (j)	Durée <sup>†</sup> (j)	FCR <sup>†</sup>	SGR <sup>†</sup>
Class	Period (d)	Duration (d)	$\text{g p}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g f}^{-1} \text{w}^{-1}$	$\text{g kg}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g kg}^{-1} \text{w}^{-1}$			Period <sup>†</sup> (d)	Duration <sup>†</sup> (d)		
petits	723-749	26	11.2	22.4	1.06	0.30	723-749	26	1.06	0.30
petits	749-787	38	11.9	22.2	1.61	0.20	749-787	38	1.61	0.20
petits	787-812	25	12.7	21.5	0.65	0.47				
petits	812-840	28	14.5	23.0	8.04	0.04	787-840	53	1.35	0.24
petits	840-878	38	16.6	24.3	0.91	0.38	840-878	38	0.91	0.38

Tableau 11. Ration hebdomadaire (gramme par poisson et par kg), facteur de conversion de la nourriture (FCR), taux de croissance spécifique (SGR) des loups tachetés de la cohorte 2. Les mesures de masse moyenne de loups pour certaines dates étaient suspectes, soit trop hautes ou trop basses comparativement aux pesées précédentes ou subséquentes, donnant deux SGR extrêmes consécutifs, un élevé et un faible. Les trois colonnes de droites, marquées « † », excluent les pesées suspectes. Quand une pesée est suspecte, la pesée précédente et la pesée subséquente sont utilisées pour calculer un SGR plus fiable.

Période (j)	Durée (j)	Ration par semaine Weekly ration		FCR	SGR	Période <sup>†</sup> (j)	Durée <sup>†</sup> (j)	FCR <sup>†</sup>	SGR <sup>†</sup>
Period (d)	Duration (d)	$\text{g p}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g f}^{-1} \text{w}^{-1}$	$\text{g kg}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g kg}^{-1} \text{w}^{-1}$			Period <sup>†</sup> (d)	Duration <sup>†</sup> (d)		
0-23	23				3.16	0-23	23		3.16
23-54	31				5.27	23-54	31		5.27
54-84	30				4.37	54-84	30		4.37
84-119	35				2.33	84-119	35		2.33
119-141	22				1.70				
141-173	32	0.7	43.1	3.09	0.20	119-173	54		0.81
173-201	28	1.4	67.3	0.57	1.70	173-201	28	0.57	1.70
201-231	30	2.2	67.8	0.63	1.54	201-231	30	0.63	1.54
231-271	40	1.8	38.8	0.69	0.81	231-271	40	0.69	0.81
271-302	31	2.9	43.4	0.57	1.09	271-302	31	0.57	1.09

Période (j)	Durée (j)	Ration par semaine Weekly ration		FCR	SGR	Période <sup>†</sup> (j)	Durée <sup>†</sup> (j)	FCR <sup>†</sup>	SGR <sup>†</sup>
Period (d)	Duration (d)	$\text{g p}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g f}^{-1} \text{w}^{-1}$	$\text{g kg}^{-1} \text{sem}^{-1}$ $\text{g kg}^{-1} \text{w}^{-1}$			Period <sup>†</sup> (d)	Duration <sup>†</sup> (d)		
302-328	26	3.9	44.0	0.71	0.89				
328-341	13	4.3	40.5	0.51	1.13	302-341	39	0.63	0.97
341-383	42	5.6	41.2	0.72	0.82	341-383	42	0.72	0.82
383-418	35	7.8	43.4	0.92	0.67	383-418	35	0.92	0.67
418-461	43	6.8	33.1	5.71	0.08				
461-481	20				0.39	418-481	63		0.18
481-517	36	6.8	28.5	1.37	0.30	481-517	36	1.37	0.30
517-544	27	8.6	31.8	0.85	0.54	517-544	27	0.85	0.54
544-572	28	8.7	27.3	0.57	0.68	544-572	28	0.57	0.68
572-614	42	11.4	30.4	1.39	0.31	572-614	42	1.39	0.31
614-637	23	14.5	32.8	0.53	0.89	614-637	23	0.53	0.89
637-663	26	13.1	24.7	0.61	0.58	637-663	26	0.61	0.58
663-701	38	14.2	23.5	1.15	0.29	663-701	38	1.15	0.29
701-726	25	15.6	23.3	0.79	0.42				
726-754	28	15.6	21.9	6.82	0.05	701-754	53	1.49	0.22
754-792	38	19.2	24.9	0.93	0.38	754-792	38	0.93	0.38

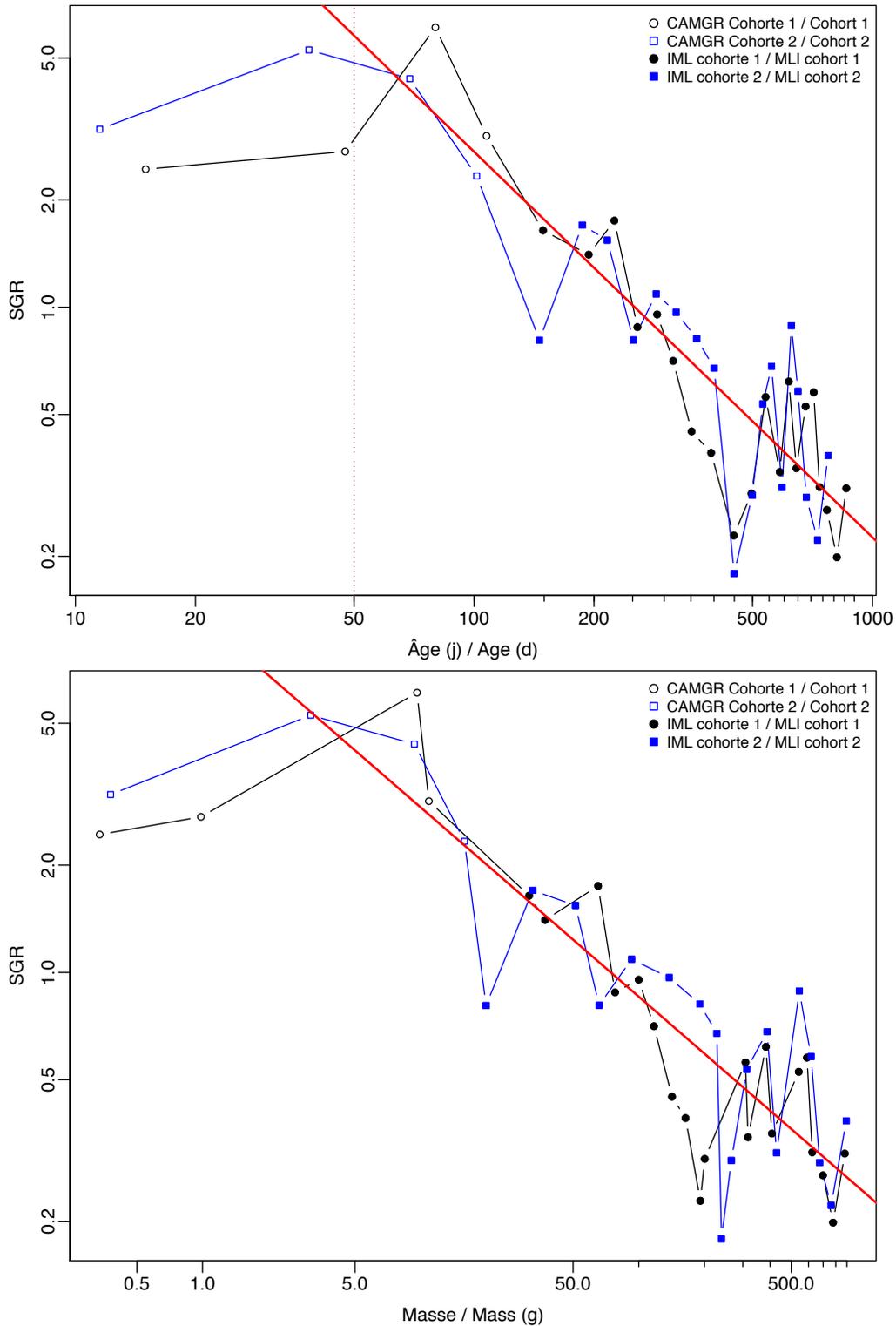


Figure 11. Relation entre le taux de croissance spécifique (SGR) et l'âge ou la masse des loups tachetés de souche québécoise. Les cohortes 1 et 2 étaient combinées pour le calcul de la régression (Eq. 13). L'âge ou la masse médian(e) de chaque intervalle est utilisé sur l'abscisse. Seuls les SGR fiables (marqués d'un † aux Tableaux 9 et 10) ont été utilisés. Les données obtenues à des âges médians de moins de 50 j ont été exclues des modèles (deux premières pesées de chaque cohorte).

## TAUX DE SURVIE À L'IML

Il y a eu peu de pertes durant la période expérimentale (mai 2009 à avril 2011) (Figure 12). La période de mars à avril 2010 constitue cependant une exception. L'expérience s'est terminée les 4 et 6 avril 2011 pour les cohortes 1 et 2 respectivement, quand un sous-échantillon de poissons a été pesé. Il demeurait alors 249 poissons de la cohorte 1 et 226 de la cohorte 2. Pour la cohorte 1, il s'agit d'un taux de survie de 85.3 % après 23 mois à l'IML. Le taux de survie de la cohorte 2 fut de 92.2 % après 19 mois à l'IML. Les deux mois d'observation qui ont suivi la fin de l'expérience, avec supervision réduite, ont été caractérisés par un taux de mortalité accru. Le taux de survie au 9 juin 2011 était de 72.3 et 89.6 % pour les cohortes 1 et 2, respectivement.

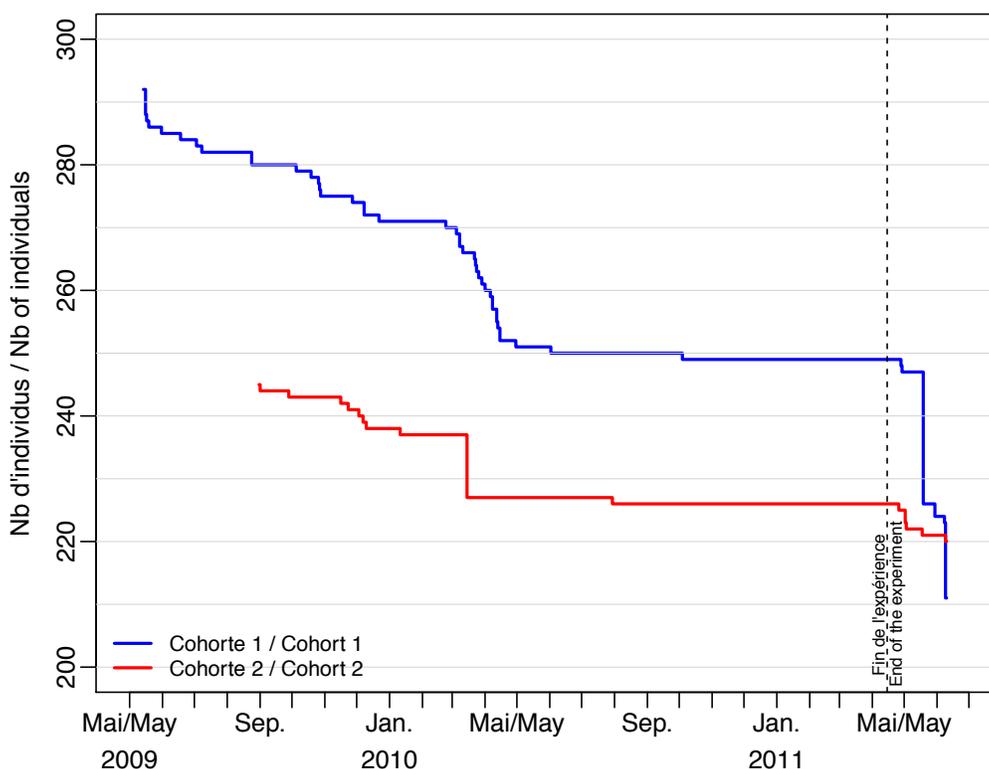


Figure 12. Effectifs pour chaque cohorte de loup tacheté en fonction du temps. Les tracés commencent à la date d'arrivée des poissons à l'IML.

## RATIONS ET TAUX DE CONVERSION ALIMENTAIRE

Les rations hebdomadaires moyennes (nourriture consommée) ont augmenté à mesure que les loups grossissaient, si exprimées en g de nourriture par poisson, mais à l'inverse, elles ont diminué lorsqu'exprimées en g de nourriture par kg de poisson (Tableaux 9 et 10). La nourriture offerte ne fut pas quantifiée durant les premiers mois d'élevage de la cohorte 1. Des données fiables sont disponibles à partir du jour 178. Entre les jours 178 et 302, les rations moyennes étaient plus élevées (42–76 g de nourriture par kg de poisson) que les autres (presque toujours entre 20 et 40 g de nourriture par kg de poisson,

Tableau 10). La même chose fut observée chez les loups de la cohorte 2 : la consommation a varié de 38.8 à 67.8 g de nourriture par kg de poisson entre les jours 173 et 328, mais habituellement entre 20 et 40 g durant le reste de l'expérience (Tableau 11).

La consommation totale durant une période entre deux pesées a été utilisée pour calculer le taux de conversion alimentaire, FCR (Tableaux 9 et 10). Des valeurs extrêmes (négatives ou supérieures à 3) sont associées à une valeur suspecte de masse des poissons au début ou à la fin de la période de calcul. Comme pour les SGR, des certains FCR aberrants ont pu être corrigés en éliminant une pesée dont les résultats étaient suspects (échantillon non représentatif) et en recalculant le FCR sur un intervalle plus long. Le FCR moyen était  $1.12 \pm 0.26$  et  $1.20 \pm 0.41$  pour les deux classes de la cohorte 1. Il n'y avait aucune différence entre les taux de conversions observés chez les « gros » et les « petits » loups de la cohorte 1 ( $t = -0.7$ , 20 ddl,  $p = 0.52$ ).

En ne tenant pas compte de la classe, le FCR moyen était  $1.07 \pm 0.38$  pour la cohorte 1, et  $0.85 \pm 0.33$  pour la cohorte 2. Cette différence n'était pas significative ( $t = 1.82$ , 32 ddl,  $p = 0.079$ ).

Une relation significative a été établie entre le FCR (cohortes 1 et 2 combinées) et l'âge ainsi qu'entre le FCR et la masse des loups tachetés (Figure 13). Cette relation doit cependant être interprétée avec précaution. Même si elle a été calculée après transformation logarithmique de toutes les variables, il y a encore une augmentation de la dispersion pour les plus grandes valeurs de la variable prédictrice (âge ou masse).

## **EFFETS PARENTAUX SUR LA CROISSANCE**

Les assignations parentales (individus à la famille) se sont révélées plus ardues que prévu pour la cohorte 1. En effet, la forte similarité génétique entre les géniteurs potentiels et leur grand nombre ont diminué la puissance des analyses jusqu'alors employées. Il a été convenu de rejeter les assignations ne présentant pas un niveau de certitude suffisant ( $< 80\%$ ) afin d'avoir une analyse plus fiable. Ainsi, pour la cohorte 1, l'assignation de la mère a été possible dans 133 cas sur 272 tandis que l'assignation du père a été possible dans 62 cas sur 272.

Les analyses statistiques révèlent un effet parental significatif de la femelle sur la masse finale (jour 878 postéclosion) des individus ( $p = 0.02$ ) (Figure 14). On peut constater que la masse des rejetons de la femelle J47 est plus élevée que celle des rejetons de la femelle J9. Les individus issus de la femelle J47 ont en outre tendance à avoir une masse plus élevée que l'ensemble des autres individus, bien que la différence n'était pas significative. Le gain en masse par jour ( $\text{g jour}^{-1}$ ) final de la famille J8 (cohorte 2) a été comparé à celui des familles des 5 femelles composant la cohorte 1 et un gain significativement plus élevé en masse était observé pour la femelle J8 comparativement à la femelle J9. Aucune autre différence n'était décelée entre les femelles de la cohorte 1 et celle de la cohorte 2.

L'effet parental du père était aussi significatif ( $p = 0.002$ ) chez la cohorte 1 (Figure 15). Plusieurs familles présentent des performances similaires, mais le géniteur 131B, par exemple, a produit une descendance qui a atteint une masse moyenne plus élevée ( $1172.2 \pm 73.1$  g) que celle des mâles 17B ( $737.4 \pm 74.5$  g), B21 ( $588.5 \pm 62.2$  g), B23 ( $668.2 \pm 373.5$  g) B4 ( $690.6 \pm 157.2$  g) et B55 ( $674.2 \pm 226.1$  g).

La cohorte 2 était issue d'une seule femelle et l'assignation du père a été possible dans 214 cas sur 223. Seuls trois des quatre géniteurs potentiels ont été identifiés, indiquant qu'un des géniteurs (199B) n'a pas contribué à la fertilisation des œufs. Il se pourrait que la semence utilisée ne fût pas de qualité ou de quantité suffisante. Les analyses statistiques n'ont pas révélé d'effet parental du père ( $p = 0.076$ ), mais on remarque que la masse finale des individus issus des mâles 157B et 161B était plus élevée, quoique la différence n'était pas significative (Figure 16).

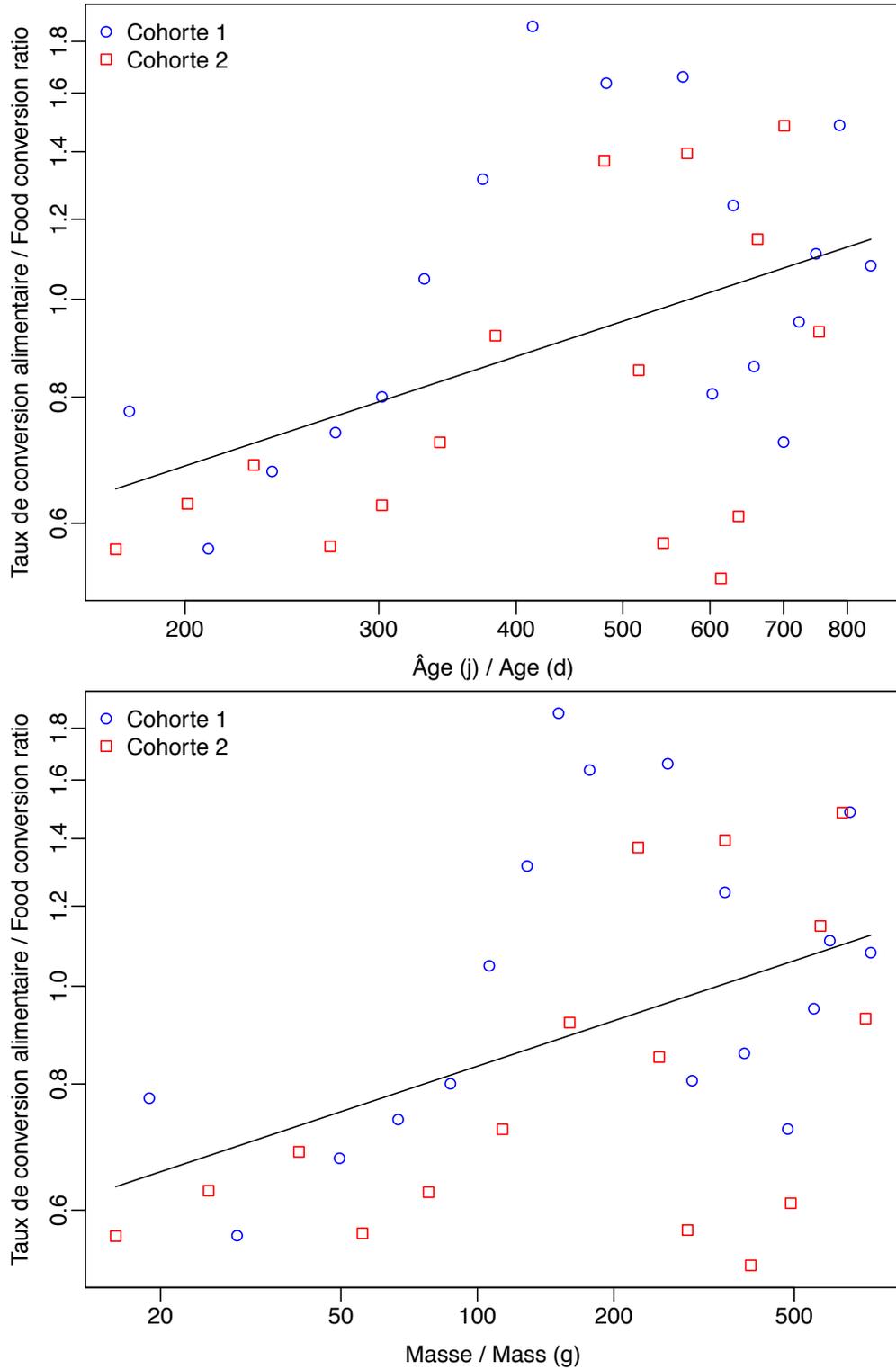


Figure 13. Relation entre le taux de conversion alimentaire et l'âge ou la masse des loups tachetés de souche québécoise élevés à l'IML. Relation avec l'âge :  $\ln(\text{FCR}) = -2.287 + 0.360 \cdot \ln(\text{âge})$ ,  $F_{[1,32]} = 9.17$ ,  $p = 0.005$ ,  $r^2 = 0.22$ . Relation avec la masse :  $\ln(\text{FCR}) = -0.871 + 0.149 \cdot \ln(\text{masse})$ ,  $F_{[1,32]} = 8.68$ ,  $p = 0.006$ ,  $r^2 = 0.21$ .

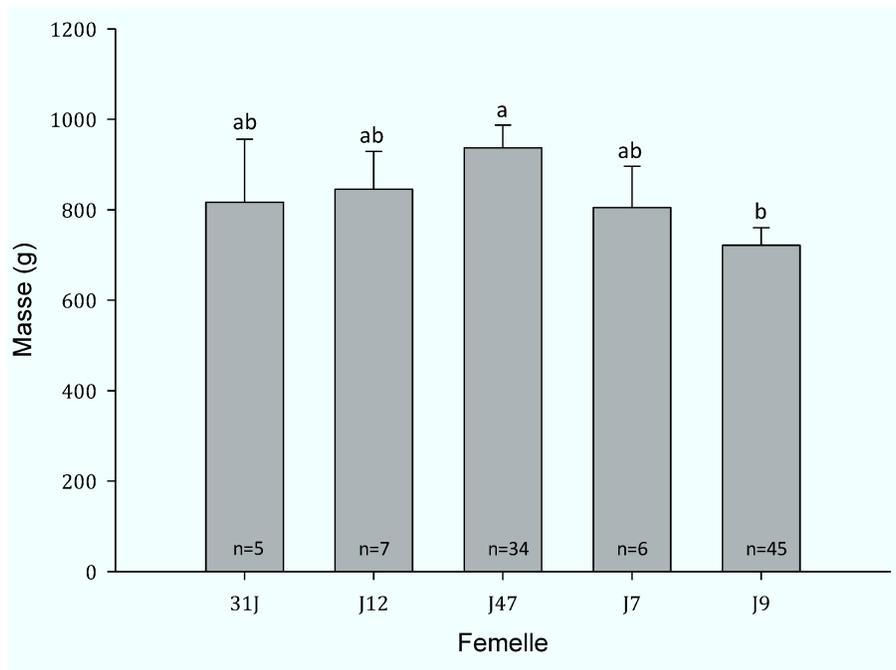


Figure 14 Masse moyenne finale (à 878 j) des loups tachetés de la cohorte 1 en fonction de l'assignation parentale femelle. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

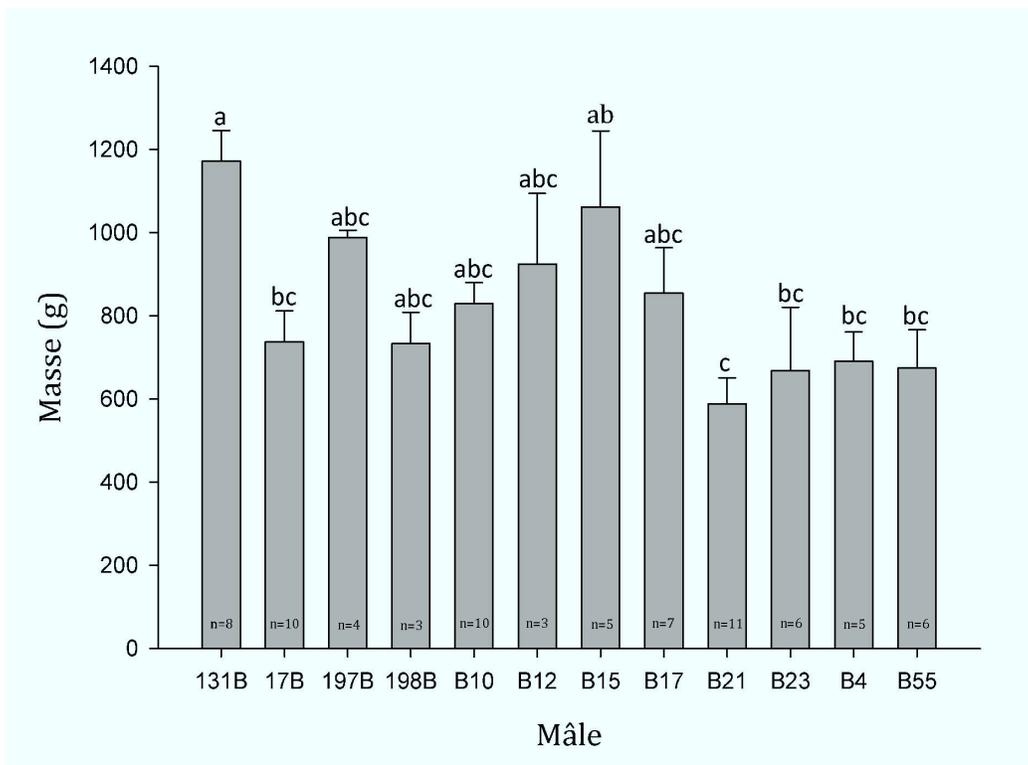


Figure 15. Masse moyenne finale (à 878 j) des loups tachetés de la cohorte 1 en fonction de l'assignation parentale mâle. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

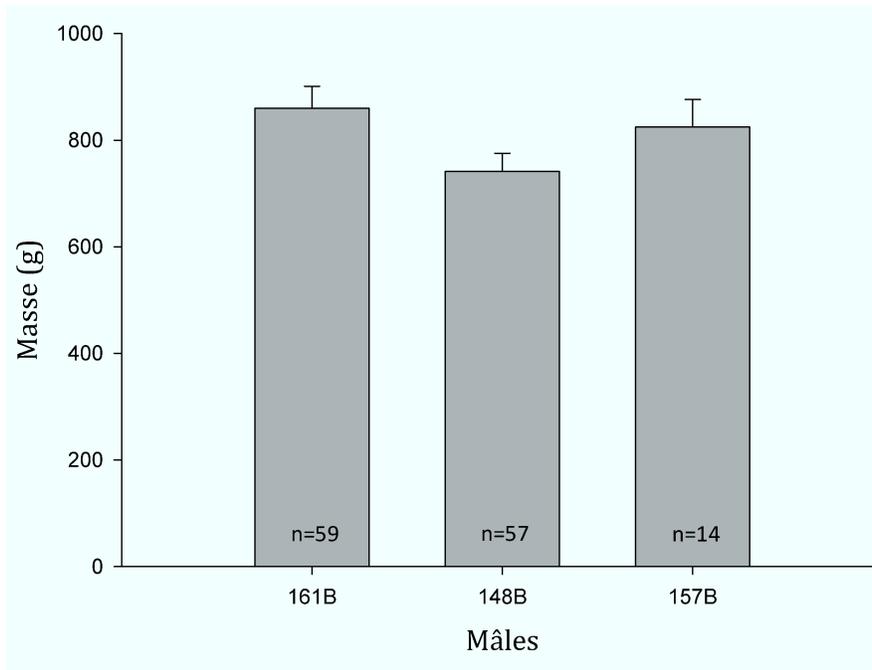


Figure 16. Masse moyenne finale des loups tachetés de la cohorte 2 en fonction de l'assignation parentale mâle. Les barres d'erreurs représentent l'erreur type.

## DISCUSSION

### MASSE FINALE

L'objectif principal de cette étude était de déterminer le taux de croissance de loups tachetés de souche québécoise durant un cycle complet de croissance, soit de la taille « prégrossissement » (15 g) jusqu'à la taille commerciale (1–1.2 kg), dans des conditions se rapprochant d'un élevage commercial et pour une production pilote d'environ 500 kg.

Cet objectif a été partiellement atteint. La croissance de loups tachetés de souche québécoise a bien été observée sur la période visée (20 mois). Il s'agit de la seule étude permettant de déterminer le taux de croissance de cette souche sur plus d'un an en conditions se rapprochant de celles d'un élevage commercial. La seule autre étude où les mêmes individus de loups tachetés ont été suivis sur plusieurs années est celle de Falk-Petersen et al. (1999). Ces animaux pesaient 700 g après 2 ans, un résultat similaire au nôtre (environ 680, 520 et 720 g pour les « gros » et les « petits » loups de la cohorte 1 et pour la cohorte 2 respectivement), même si les conditions d'élevage ne sont pas expliquées en détail et que les loups n'étaient pas de souche québécoise, mais plutôt norvégienne.

La masse finale fut en deçà des prévisions, qui étaient de 1 à 1.2 kg. La masse à la fin de l'expérience (début d'avril 2011) était d'environ 770, 630 et 710 g pour les classes « gros » et « petits » de la cohorte 1 et la cohorte 2. Les loups étaient alors âgés de 815, 812 et 726 j, respectivement. Les loups ont pu être observés pendant deux autres mois. La masse finale (9 juin 2011) des loups tachetés était d'environ 900 g pour la classe « gros » de la cohorte 1 et 830 g pour la cohorte 2 (878 et 792 j, respectivement). Elle était de 735 g pour la classe « petits » de la cohorte 1. Il faut noter que la masse finale observée chez la cohorte 1 aurait pu être plus grande si un accident n'avait causé la mort de 21 loups le 19 mai, des loups dont la masse moyenne était de 1032.6 g. Si ces loups sont inclus dans le calcul de la masse moyenne des « gros » loups du 9 juin 2011, le résultat est de 922 g. Ces loups auraient vraisemblablement continué de grossir entre le 19 mai et le 9 juin, il s'agit donc ici d'un minimum. Il n'en demeure pas moins que la masse finale combinée des deux groupes de cette cohorte (829 g) est en deçà de la cible, même si la durée de croissance a légèrement dépassé les 20 mois. La cohorte 1 est arrivée à l'IML à 7 g, mais a atteint 15 g autour du 1<sup>er</sup> juillet 2009. À la fin prévue du projet (début d'avril 2011), elle avait donc bénéficié de 21 mois de grossissement à l'IML à partir du point de départ de 15 g. Au 9 juin, l'élevage avait duré 23 mois. La cohorte 2 est arrivée à l'IML à la fin d'août 2009 et pesait déjà 15 g. La période de grossissement à l'IML a duré 19 mois jusqu'au début d'avril 2011, et 21 mois au 9 juin 2011.

Nos résultats ont été influencés par le fait que les poissons qui s'alimentaient mal (queues de lot) ont été conservés dans l'élevage et ont contribué à faire baisser la masse moyenne obtenue en fin d'expérience. En industrie, les poissons s'alimentant mal sont normalement éliminés à très jeune âge. Afin d'estimer ce qu'aurait pu être la masse finale moyenne si les individus s'alimentant mal avaient été éliminés, nous avons recalculé la masse moyenne finale après avoir éliminé les 5, 10 et 15 % des individus ayant la plus petite masse finale. Cette analyse est basée sur l'hypothèse que ces mêmes individus auraient été identifiables durant la phase de prégrossissement ou au début de la phase de grossissement à l'IML. Les masses moyennes après 2 ans seraient entre 2–3 et 7–9 % plus élevées si entre 5 à 15 % des poissons avaient été éliminés (Tableau 12). Cette procédure nous rapproche d'une masse moyenne de 1 à 1.2 kg.

Afin de pouvoir évaluer si ces résultats sont décevants ou si les objectifs étaient déraisonnables, nous avons répertorié à l'annexe 3 les masses à l'âge de loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise provenant d'études publiées depuis la fin des années 1990. Comme pour les données de la présente étude, des modèles de croissance et des relations entre SGR et l'âge ou la masse ont été calculés pour des loups de souches norvégienne et islandaise. Il faut être prudent en comparant les résultats de l'Annexe 3 à ceux de la présente étude car il y a une différence fondamentale entre ces études. Notre étude porte sur les mêmes loups pendant

plus de deux ans et est sensible à toute baisse de croissance obtenue durant l'étude, c'est-à-dire qu'après un épisode de mauvaise croissance et sans croissance compensatoire, la masse à l'âge est forcément réduite pour toutes les dates ultérieures. À une exception près, soit l'étude de Falk-Petersen et al. (1999), les données pour les souches norvégienne et islandaise proviennent de nombreuses études différentes, ayant chacune une durée de quelques mois seulement. Il est peu probable qu'un épisode de mauvaise croissance, si présent, aurait une grande influence sur l'ensemble des résultats de l'Annexe 3.

Tableau 12. Masse finale moyenne ( $\pm$  écart type) des loups tachetés le 9 juin 2011, (cohorte 1, 878 j; cohorte 2, 792 j), après le retrait de 5, 10 ou 15 % d'individus ayant eu une mauvaise croissance. Ces calculs visent à estimer l'impact qu'aurait eu le retrait de loups à mauvaise croissance, les « queues de lot », durant les premiers mois de l'élevage.

% enlevés		Cohorte 1 Petits (n=98)	Cohorte 1 Gros (n=125)	Cohorte 2 (n=220)
% removed		Cohort 1 Small	Cohort 1 Large	Cohort 2
0	Masse moyenne	734.6 $\pm$ 252.5	903.3 $\pm$ 262.8	830.3 $\pm$ 299.6
	Nb individus enlevés	5	6	11
5	Masse minimale	376.2	513.4	406.9
	Masse moyenne	757.6 $\pm$ 238.1	926.1 $\pm$ 248.0	858.0 $\pm$ 280.6
10	Nb individus enlevés	10	13	22
	Masse minimale	428.2	574.6	440.3
15	Masse moyenne	778.6 $\pm$ 227.4	949.8 $\pm$ 236.2	882.2 $\pm$ 268.4
	Nb individus enlevés	15	19	33
15	Masse minimale	452.3	640.9	511.4
	Masse moyenne	799.0 $\pm$ 217.7	969.8 $\pm$ 226.7	905.4 $\pm$ 257.9

Les modèles de l'annexe 3 prédisent l'atteinte d'une masse moyenne de 1 kg à 751 j (modèle Gompertz) et 860 j (modèle fonction de puissance). L'objectif de 1.2 kg, quant à lui, aurait nécessité 797 ou 922 j, selon le choix du modèle. Nos cohortes avaient 815 et 726 j (cohortes 1 et 2, respectivement) au début d'avril, à la fin prévue du projet, et 878 et 792 j après les deux mois supplémentaires. L'objectif de 1–1.2 kg était donc possible en théorie avec les pratiques actuelles, mais seulement sans accident ni incident pendant deux ans. Ce ne fut pas le cas dans la présente étude et les facteurs ayant pu causer des ralentissements de croissance sont discutés ci-dessous. Il est aussi démontré ci-dessous que le potentiel de croissance des loups de souche québécoise est semblable à celui des loups de souches norvégienne et islandaise et que l'objectif initial est plausible avec des améliorations zootechniques, qui seront discutées plus loin. Nous rapportons aussi ci-dessous des projections de croissance de la souche québécoise jusqu'à des tailles commerciales de 1.5 et 3 kg.

L'étude avait pour cible une production pilote de 500 kg. La biomasse totale était de 342.1 kg au début de mai 2011 et de 367.7 kg au 9 juin 2011, à laquelle on pourrait ajouter 22 kg pour les 21 poissons morts accidentellement le 19 mai. Ceci correspond à 80 % de la cible, mais ce résultat ne peut-être interprété car la biomasse finale ne dépendait pas seulement du taux de croissance et du taux de survie observés durant l'étude, mais aussi du nombre initial de loups juvéniles produits au CAMGR, qui n'était pas sous notre contrôle.

## MASSE À L'ÂGE

Les résultats de notre étude représentent la plus longue période d'élevage en conditions contrôlées chez des loups de souche québécoise. Les taux de croissance obtenus avec les deux cohortes de 2009 étaient bien meilleurs que ceux observés avec les cohortes de 2006 et 2008, et similaires à ceux obtenus avec la cohorte de 2007. Les cohortes de 2006 à 2008 n'ont pas été suivies plus d'un an. La masse à l'âge des deux cohortes de 2009 était similaire à celle de loups de souches norvégienne et islandaise (Annexe 3) de 200 à 400 j (Figure 17). Malgré le ralentissement observé chez les deux cohortes de la souche québécoise entre les jours 400 et 500, la masse à l'âge de la cohorte 2 est demeurée comparable à celle des loups de souches norvégienne et islandaise durant toute la durée de l'expérience. La cohorte 1 dans son ensemble (les deux classes de taille combinées) a cependant moins bien performé.

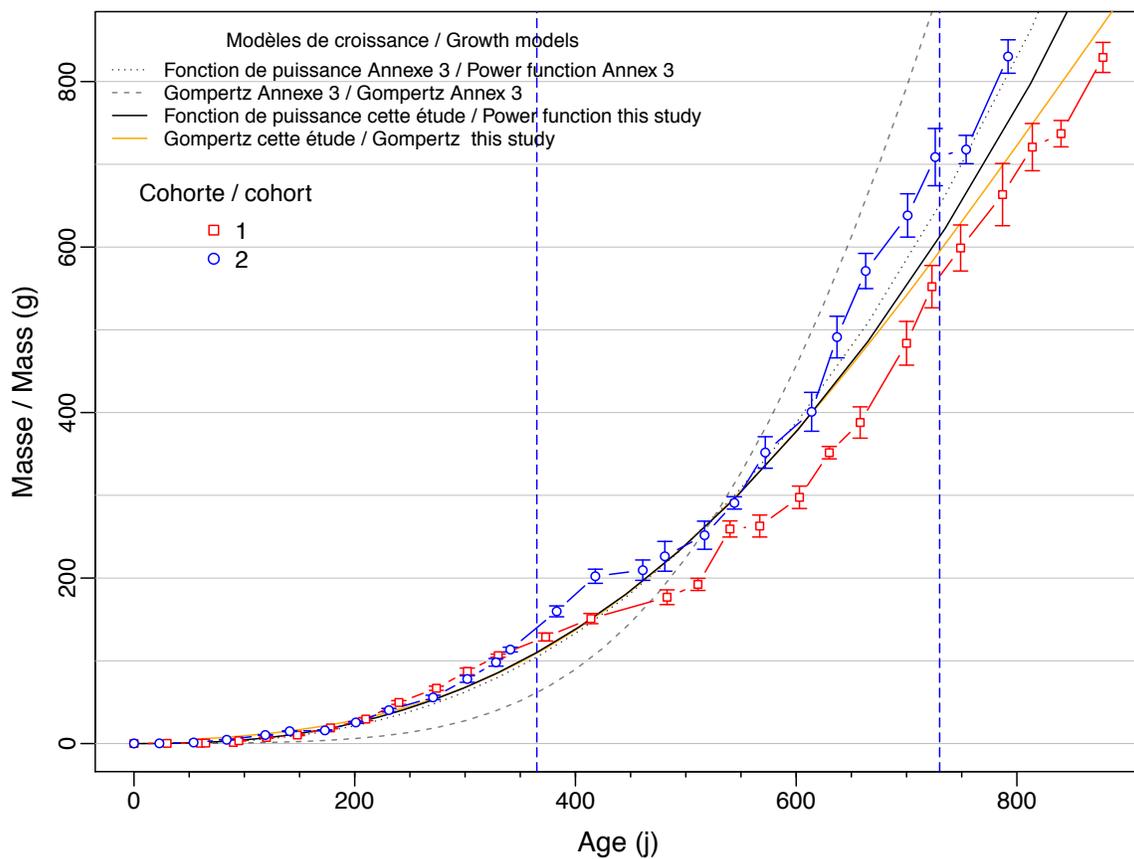


Figure 17. Courbes de croissance des loups tachetés de souche québécoise et comparaison avec les courbes de croissance obtenues pour les souches norvégienne et islandaise. Les courbes de croissance pour la souche québécoise ont été calculées en combinant les données des deux cohortes. Un modèle de type fonction de puissance ainsi qu'un modèle de type Gompertz sont montrés. L'Annexe 3 décrit les données des souches norvégienne ou islandaise et la construction des deux mêmes types de modèles de croissance. Les lignes verticales bleues indiquent 1 et 2 ans postéclosion, respectivement. Barres d'erreur = erreur type.

Le modèle de croissance de type fonction de puissance, qui explique le mieux la croissance des loups de souche québécoise, est pratiquement identique au même modèle ajusté aux données de l'Annexe 3 pour les âges 0 à 600 j, puis devient légèrement inférieur pour les loups plus âgés (Figure 17). Le ralentissement de croissance observé entre les jours 400 et 500 chez les deux cohortes de souche québécoise est responsable pour ce léger affaissement de la courbe de croissance pour la souche québécoise par rapport à celle obtenue à partir des données de l'Annexe 3.

## FACTEURS POUVANT AVOIR INFLUENCÉ LE TAUX DE CROISSANCE

Il était prévu d'utiliser de la nourriture flottante pour cette étude. La plupart des études norvégiennes et islandaises menées sur le loup tacheté rapportent l'utilisation d'un granulé flottant (Foss et al., 2002; Jonassen, 2002; Imsland et al., 2006; Imsland et al., 2009). Les granules flottants sont avantageux parce que très visibles et faciles à cueillir dans des auges à faible profondeur d'eau. À l'inverse, dès que la densité est élevée, les loups peuvent avoir de la difficulté à repérer les granules qui se déposent sur le fond. Des changements récents des règles d'importation ont empêché l'acquisition d'une moulée flottante pour notre étude. Nous avons dû utiliser la moulée Skretting Europa 15 et 18, selon la taille des loups. Nous avons réduit légèrement la densité d'élevage afin d'éviter une possible incidence sur la croissance. Les bons FCR que nous avons obtenus suggèrent que cette stratégie a fonctionné car il y aurait eu peu de gaspillage (nourriture non consommée). Il est possible que les loups auraient consommé encore plus de nourriture si elle avait flotté plus longtemps.

Durant les 150 premiers jours, le SGR était plus bas, à âge égal, chez les loups de souche québécoise que chez ceux de souches norvégienne ou islandaise (Figure 18). De plus, malgré l'amélioration des pratiques zootechniques, comme le changement de formulation alimentaire lors des premiers stades (Nutramarine vs INVE), il y a peu de différences en masse à l'âge entre les cohortes de 2006 à 2009 pour les 150 premiers jours (Figure 7). La cohorte 2 de 2009 a bien performé, de même que la cohorte de 2007. Mais la cohorte 1 de 2009 était caractérisée par de petites masses à l'âge. Il se pourrait que ceci soit dû à l'imprécision de l'âge moyen chez les très jeunes loups de cette cohorte, qui était formée de 6 familles. Le Tableau 1 montre qu'il y avait presque deux mois d'écart entre le début de l'éclosion de la première et de la dernière famille composant cette cohorte. La pesée à 30 j fut réalisée sur chaque famille individuellement et l'âge est juste. Mais aux autres pesées, l'âge était obtenu par différence entre la date et la date moyenne d'éclosion des six familles. Le rejet des plus jeunes loups (< 50 j) avant de calculer les régressions entre le SGR et l'âge ou la masse a atténué le problème.

La comparaison des SGR de très jeunes loups (50 à 150 j) des différentes souches suggère des conclusions différentes si on compare des loups d'âge ou de masse similaire (Figure 18). À âge égal, la régression obtenue avec la souche québécoise donne des SGR inférieurs à ceux de la régression basée sur les loups de souches norvégienne et islandaise. Pourtant, les SGR des très jeunes loups des différentes souches sont pratiquement identiques lorsque des loups de masse similaire sont comparés. Il semble que les loups des souches norvégienne et islandaise aient eu une masse à l'âge plutôt basse entre 0 et 200 j. Les loups plus petits ayant un SGR élevé, la courbe SGR à l'âge est alors plus élevée, mais en réalité la croissance pour une masse donnée était identique à celle obtenue dans la présente étude. Il semble donc que la masse à l'âge des très jeunes loups soit avantageuse pour la souche québécoise. Et elle pourrait probablement être améliorée, car la température de l'eau était probablement sous-optimale au CAMGR : elle était de 9–9.5 la plupart du temps, avec même une période plus froide en début d'élevage pour la cohorte 1 (Figure 1). Or l'équation 1 suggère que les températures auraient dû être autour de 12.5 °C à 0.5 g et de 10.1 °C à 5 g. Une croissance sous-optimale en bas âge peut avoir des effets durables. Il a été observé chez la morue franche (*Gadus morhua*) que des retards de croissance provoqués par des conditions sous-optimales en jeune âge peuvent avoir des répercussions jusqu'à deux à trois ans plus tard (Imsland et al., 2007). Une amélioration zootechnique durant le prégrossissement pourrait donc influencer le taux de croissance du loup tacheté jusqu'à l'atteinte de la taille commerciale. Cette remarque tient aussi pour les souches norvégienne et islandaise, les études consultées révélant que les loups étaient très petits à l'âge en dessous de 200 j environ.

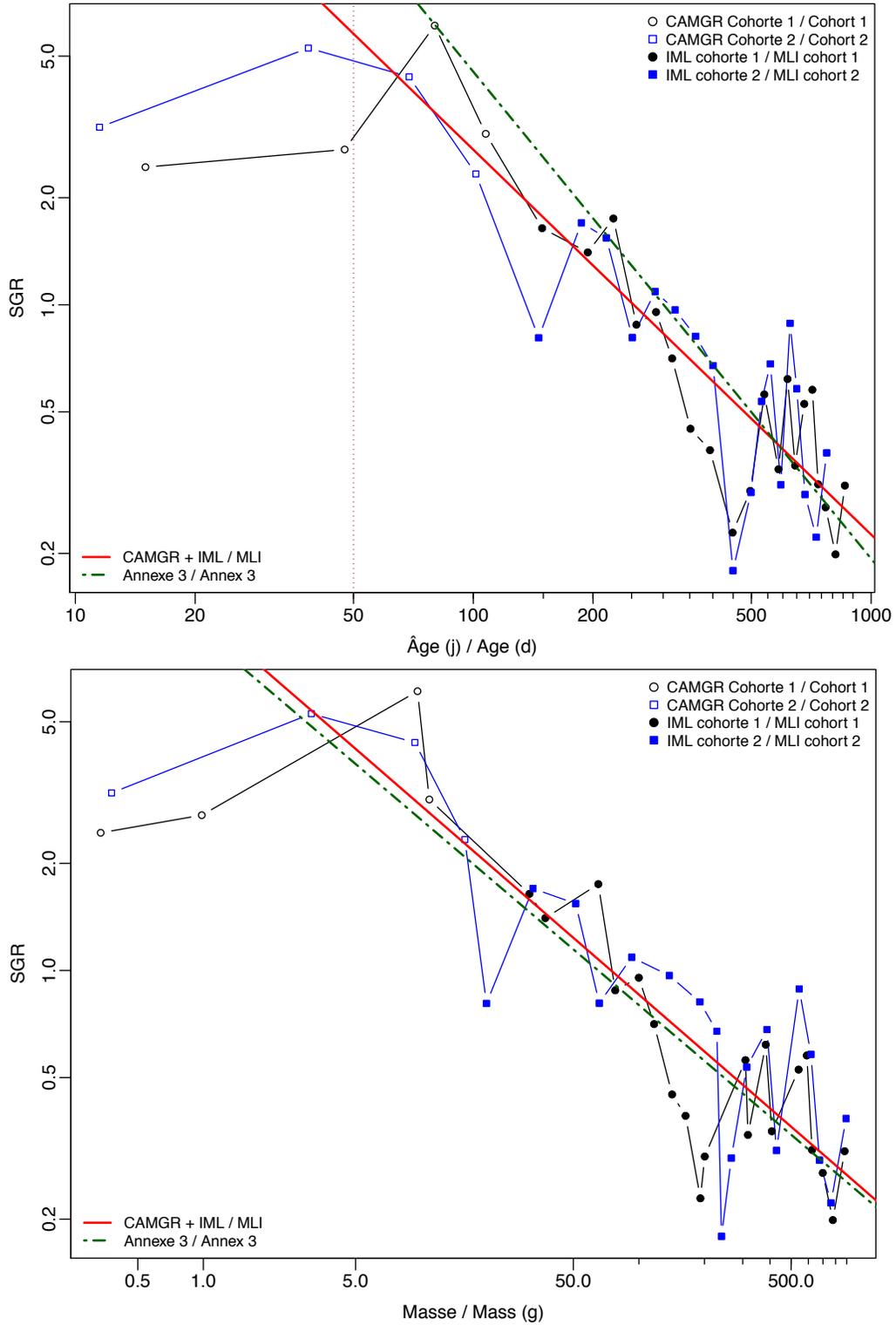


Figure 18. Comparaison de la relation entre le SGR et l'âge ou la masse pour des loups tachetés de souche québécoise ou de souches norvégienne ou islandaise. Les données et le calcul des régressions pour les souches norvégienne et islandaise sont à l'Annexe 3.

Pour les deux cohortes, un ralentissement important a été observé alors que les loups étaient âgés entre 400 et 520 j environ (Figure 17; Figure 18). Quelques événements sont survenus durant l'expérience et qui étaient susceptibles d'avoir ralenti la croissance. Même si une relation de cause à effet ne peut être démontrée hors de tout doute, certaines périodes de faible croissance étaient associées avec de tels événements (Figure 19). Le transport du CAMGR à l'IML et la période d'acclimatation aux conditions de l'IML n'ont pas semblé stresser les loups de la cohorte 1, leur SGR durant cette période étant près de la droite de régression. Par contre, le SGR de la cohorte 2 mesuré durant la période qui inclut le transport et l'acclimatation à l'IML était très faible.

En mars 2010, une infestation aux *Tricodina* et *Gyrodactylus* a été découverte dans les bassins des classes « gros » et « petits » de la cohorte 1 (Annexe 1). Cette infestation a causé la mort de plusieurs loups (voir les résultats pour la Survie). Il est clair qu'elle a aussi ralenti la croissance des loups survivants (Figure 19), ce qui concorde avec la baisse de consommation de nourriture qui fut l'un des indices qu'un problème existait (Annexe 1). Les SGR étaient aussi bien inférieurs à la droite de régression durant les deux mois précédents, ce qui suggère que l'infestation a débuté environ deux mois avant d'être détectée.

La cohorte 2 n'a pas été touchée par l'infestation parasitaire. Par contre elle a aussi subi un ralentissement de croissance autour des jours 400–500 (Figure 19). Ces poissons ont été anesthésiés, marqués et séparés en trois groupes au jour 356, traités au formol au jour 378, déménagés en grand bassin au jour 440 et remis en un seul groupe au jour 464. Durant la période où ils étaient maintenus en trois groupes, une partie de la nourriture offerte sortait des trois enclos et n'était pas disponible aux poissons. Certains poissons parvenaient à s'échapper et n'avaient pas toujours accès à de la nourriture. La fréquence de manipulations sur ces poissons était donc accrue durant cette période. Le ralentissement de croissance de la cohorte 2 chevauche aussi le début de la période de travaux au système de climatisation de la salle des bassins de l'IML. Comme la croissance de la cohorte 1 n'a pas fléchi durant ces travaux, les conditions à la salle des bassins ne peuvent être considérées comme particulièrement mauvaises durant cette période. Les manipulations effectuées sur la cohorte 2 sont la cause la plus probable pour le ralentissement de croissance observé entre 400 et 500 j.

La période de deux mois qui a suivi la fin de l'expérience, soit du début d'avril au début de juin 2011, fut caractérisée par un niveau réduit de soins. Il s'est produit des accidents matériels durant cette période et le taux de survie en a souffert (voir ci-dessous). Cependant il n'y a aucune indication que le taux de croissance des deux cohortes ait ralenti durant ces derniers mois d'observation (Figure 19).

Le SGR à l'âge était supérieur pour la souche québécoise que pour les souches norvégienne et islandaise pour les loups de plus de 600 j (Figure 18). De plus, pour toutes les tailles de loups, à masse égale, le SGR était légèrement supérieur dans la présente étude que pour les données de l'Annexe 3 (Figure 18).

Les poissons qui ont subi une période de faible croissance suite à de mauvaises conditions environnementales ou une faible disponibilité de nourriture ont souvent une croissance accélérée, dite croissance compensatoire, quand ils se retrouvent dans des conditions favorables (Ali et al., 2003). Foss & Imsland (2002) ont observé une période de croissance supérieure à la normale lorsque des loups tachetés furent retournés à des conditions normales, après une période de croissance lente provoquée par une exposition chronique à de faibles valeurs en oxygène dissous. Il est possible que les nombreuses valeurs de SGR situées au-dessus des deux modèles pour la période 500–700 j, après la période de faible croissance (400–500 j) représente de la croissance compensatoire (Figure 18). Si croissance compensatoire il y a eu, l'effet fut mineur, la taille à l'âge conservant un retard après des épisodes de mauvaise croissance (Figure 17).

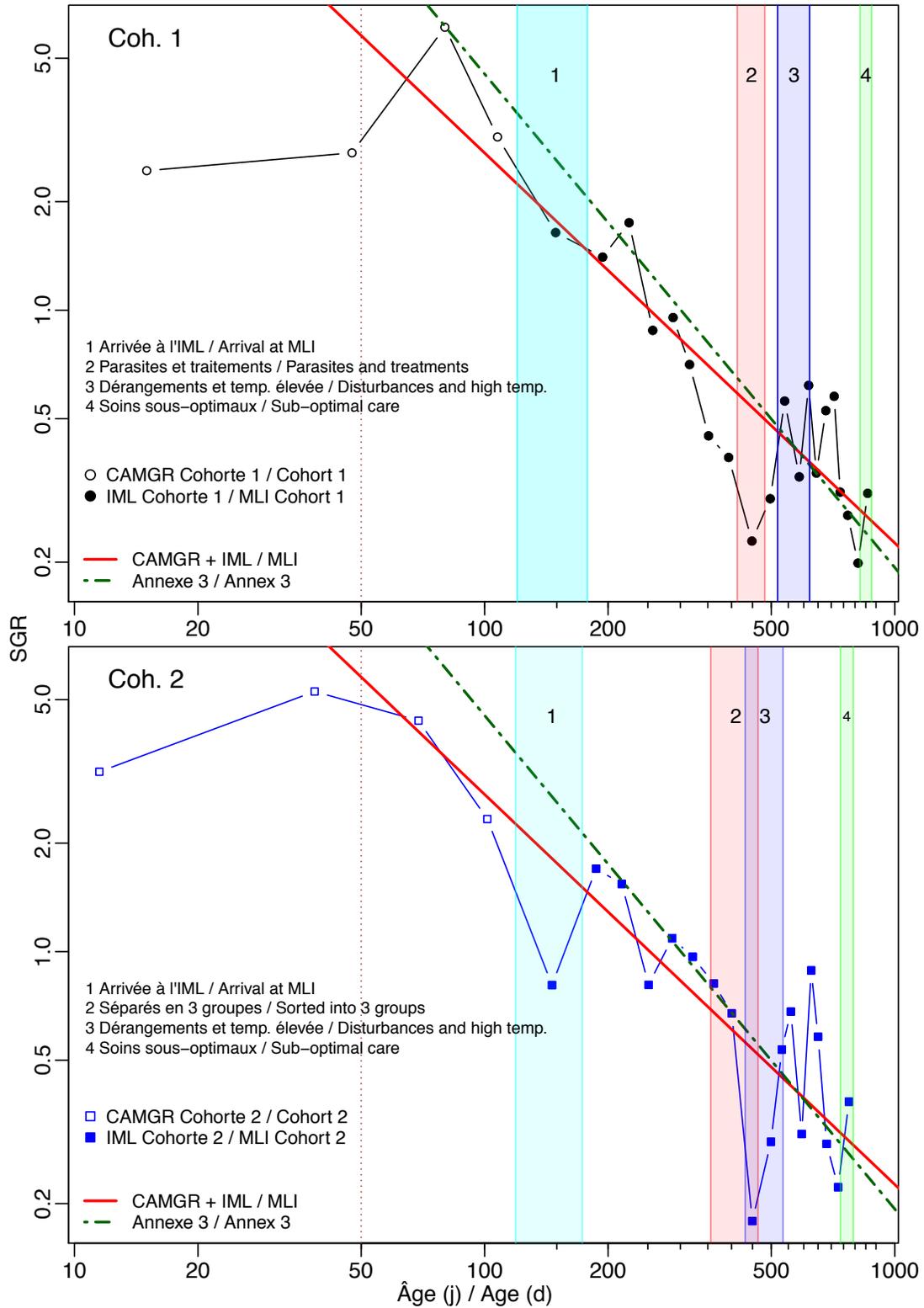


Figure 19. Influence possible d'évènements susceptibles d'avoir réduit le taux de croissance des loups tachetés de souche québécoise élevés au CAMGR et à l'IML.

Il est possible que l'infestation aux *Trichodina* et *Gyrodactylus* ait laissé des séquelles empêchant ou diminuant une croissance compensatoire. Selon les vétérinaires consultées (Dre. Wong, Biodôme de Montréal et Dre. Lafaille, Clinique vétérinaire de l'Université de Montréal), une infestation sévère à ces parasites peut entraîner des dommages permanents aux branchies. Des fusions lamellaires ont d'ailleurs été observées sur les poissons examinés au moment de l'infestation. Ces dommages permanents peuvent réduire l'efficacité des échanges respiratoire des poissons, ce qui pourrait réduire leur taux de croissance. Ceci pourrait avoir contribué au taux de croissance inférieur observé chez la cohorte 1 par rapport à la cohorte 2, cette dernière n'ayant pas été touchée par l'infestation. Considérant l'importance que pourrait avoir la croissance compensatoire sur le rendement, il serait important d'étudier quels types de facteur causant une diminution temporaire du taux de croissance sont suivis d'une croissance compensatoire chez cette espèce et de quantifier cette croissance compensatoire.

L'ensemble des données et analyses suggère que le potentiel de croissance des souches québécoise, norvégienne et islandaise soit très similaire. Des conditions d'élevage sous-optimales ou des dérangements, comme ceux suggérés aux paragraphes précédents, auraient provoqué des taux de croissance inférieurs au potentiel de la souche québécoise durant certaines périodes dans notre étude. Des périodes de croissance sous-optimale sont probablement inévitables dans tout élevage de longue durée, par exemple en industrie. Ainsi, les masses à l'âge et les taux de croissance que nous avons obtenus ne doivent pas être interprétés comme le taux de croissance maximal de la souche québécoise, mais plutôt comme un taux de croissance typique de ce qui se produirait en industrie avec les conditions que nous avons réunies au cours de cet essai de croissance prolongé. Des améliorations zootechniques et génétiques permettraient probablement une amélioration du taux de croissance.

## TAUX DE SURVIE

Le taux de survie entre l'arrivée à l'IML et la fin prévue du projet (le début d'avril 2011), a été excellent : 85 et 92 % pour les cohortes 1 et 2, respectivement, et ce malgré le fait qu'aucune sélection n'a été effectuée dans le présent projet : même les individus qui étaient très maigres (queues de lot) ont été conservés et certains sont morts durant l'expérience.

La période de mars à avril 2010 constitue cependant une exception, et ce pour les deux cohortes mais pour des raisons différentes. La cohorte 1 a subi une infestation aux *Trichodina* et *Gyrodactylus*. Quatorze poissons du groupe « petits » et deux du groupe « gros » sont morts avant que les traitements n'aient réussi à éliminer les parasites. Les parasites impliqués, *Trichodina sp.* et *Gyrodactylus sp.* s'accrochent à la peau et aux branchies des poissons causant une irritation et éventuellement une porte d'entrée aux bactéries (A. Lafaille, DMV, Université de Montréal, communication personnelle). La fréquence de ventilation du poisson devient plus rapide, ce qui suggère que l'accumulation de ces parasites sur les branchies engendre une augmentation de la sécrétion de mucus, ce qui nuit à la réoxygénation du sang (hypoxie).

Lors d'un décompte complet des poissons de la cohorte 2 effectué le 15 mars 2010, il manquait 12 poissons. Ceci apparaît comme une mortalité massive à cette date (Figure 21), mais ces 12 poissons sont morts entre le début de septembre 2009 et le 15 mars 2010, sans que les carcasses ne soient découvertes. Une explication possible est le cannibalisme ou un passage accidentel dans le drain du bassin.

Le taux de mortalité a aussi augmenté après la fin de l'expérience. Un premier accident a causé une réduction importante de l'arrivée d'eau aux bassins, réduction qui a été le plus sévère dans le cas du bassin de la classe « gros » de la cohorte 1. Cet accident a causé la mort de 21 loups. Un accident semblable s'est produit le 9 juin, tuant 12 autres loups (Figure 20). Cinq autres loups sont morts en mai et juin 2011, sans que la cause ne puisse être identifiée. Le taux de survie au 9 juin 2011 n'était plus que 72.3 et 89.6 % pour les cohortes 1 et 2, respectivement. Comme les conditions expérimentales étaient différentes en mai et juin 2011 et qu'elles étaient plus éloignées des conditions qui caractériseraient un élevage commercial, le taux de survie au 6 avril 2011 devrait être utilisé pour modéliser le taux de survie en élevage commercial.

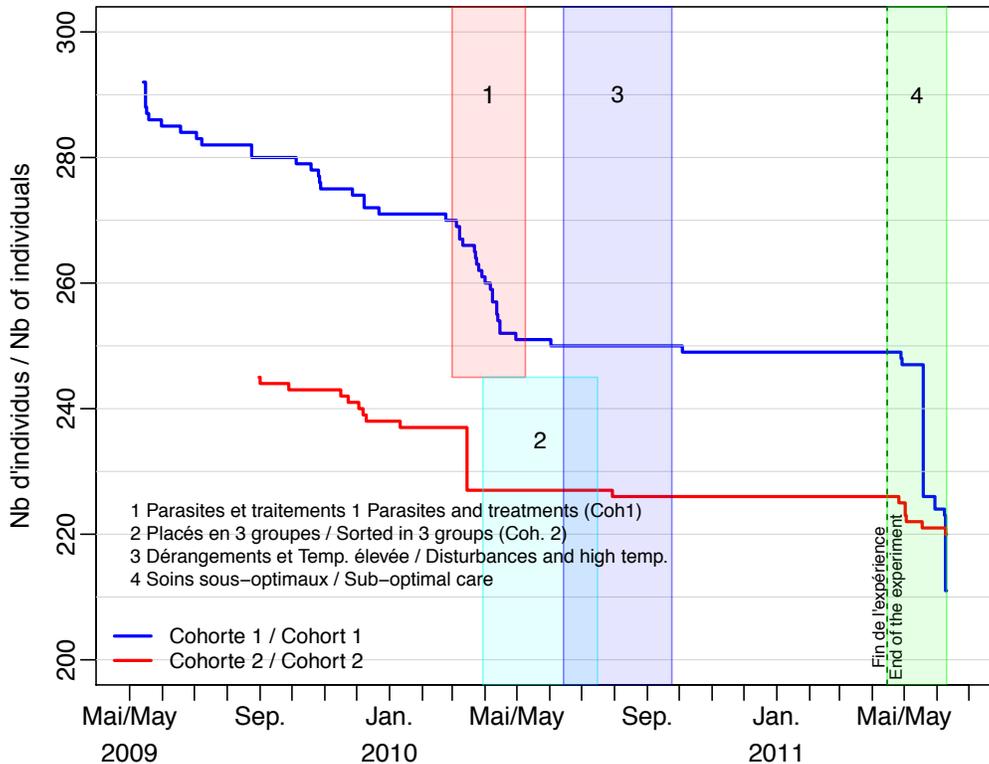


Figure 20. Événements qui sont susceptibles d’avoir influencé le taux de survie durant l’élevage des loups tachetés de souche québécoise à l’Institut Maurice-Lamontagne. Deux accidents ont causé la perte de plusieurs loups tachetés de la cohorte 1 les 19 mai et 9 juin 2011, alors que la supervision était réduite.

Des précautions visant à détecter les infestations parasitaires à leur début permettraient d’améliorer le taux de survie par rapport à nos résultats. L’expérience acquise lors de l’infestation parasitaire qui a frappé la cohorte 1 à la fin de l’hiver 2010 explique probablement le meilleur taux de survie obtenu avec la cohorte 2.

## TAUX DE CONVERSION ALIMENTAIRE

La ration ou consommation de nourriture en g de nourriture par kg de poisson, était plus élevée chez les petits que les gros loups (Tableau 1). Cette différence pourrait indiquer un appétit proportionnellement plus grand chez les plus jeunes loups. Elle pourrait aussi résulter de l’augmentation de taux métabolique accompagnant la température plus élevée qui était en vigueur quand les loups étaient plus petits. À cette augmentation du métabolisme il faut le fait que les petits poissons consommant plus d’oxygène (donc d’énergie) par gramme de tissu que les grands poissons (Peters, 1983; Clarke & Johnston, 1999). Il est aussi possible qu’il y ait eu une proportion plus élevée de perte avec la moulée plus fine offerte aux petits loups, car la nourriture offerte en surplus n’était pas mesurable et la nourriture non consommée constitue une source d’erreur inévitable dans le calcul de la ration et du taux de conversion (FCR).

Les FCR moyens établis durant cette étude étaient près de l’unité, un bon taux de conversion alimentaire qui implique qu’il y avait peu de gaspillage de nourriture, même si la nourriture n’était pas flottante. Nous avons réduit la densité de loups dans les bassins pour contrer le risque que la nourriture cale au fond et soit cachée par les loups. Les résultats suggèrent que cette stratégie a fonctionné.

Nos valeurs de FCR se comparent avantageusement à ce qui a déjà été rapporté pour cette espèce. Ainsi les FCR étaient toujours  $< 1$  pour les loups  $< 300$  j ou  $< 100$  g (Figure 13). Foss et al. (2001) ont observé des FCR variant de 0.61 à 0.65 chez des loups tachetés de souche norvégienne pesant 80–200 g et exposés à quatre niveaux de salinité. Chez les loups plus âgés, les FCR de la présente étude variaient entre environ 0.5 et 1.8. Chez des loups tachetés de souche islandaise de 135–400 g, Imsland et al. (2006) ont obtenu des FCR de 0.90 à 1.25 à des températures variant de 4 à 12 °C (densité initiale de  $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ). La température optimale pour le FCR s'est d'ailleurs avérée pratiquement la même que pour la croissance, soit  $\sim 7.5$  °C pour des loups de 130–135 g et 6.5 °C pour des loups de 360–380 g. Finalement, Imsland et al. (2009) ont obtenu des FCR variant de 1.52 à 3.45 chez de gros loups tachetés de souche islandaise (3.5–5 kg) élevés à des densités de 50, 70 et  $90 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , la conversion étant meilleure (petites valeurs) aux plus hautes densités. Les résultats pour les loups de souches norvégienne et islandaise supportent la relation positive établie dans notre étude entre le FCR et l'âge ainsi que la masse. Une telle augmentation du taux de conversion (perte d'efficacité alimentaire) avec une augmentation de la taille des poissons a été observée chez le flétan de l'Atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*) (Björnsson & Tryggvadóttir, 1996) et la morue franche (Björnsson et al., 2001). La tendance vers une détérioration du taux de conversion chez les plus gros spécimens n'est pas universelle, l'inverse ayant été observé chez le saumon atlantique (FCR passant de 2.22 à 0.83 en 12 semaines d'élevage, Handeland et al., 2008). Cette espèce semble difficilement comparable au loup, car une autre relation est inversée entre les deux espèces, le SGR du saumon augmentant avec la taille (Handeland et al., 2008), alors que nous n'avons observé aucun effet significatif de la taille.

Les FCR que nous avons obtenus sont avantageux comparés à ceux obtenus avec le flétan de l'Atlantique (2 à 5, Björnsson & Tryggvadóttir, 1996) et de la morue (0.6 à 4, Björnsson et al., 2001), procurant un avantage au loup tacheté par rapport à ces deux autres espèces d'eau froide quant au coût de la nourriture, sachant que le poste de dépense associé à l'alimentation en aquaculture est généralement  $> 50$  %.

## EFFETS PARENTAUX

En général, la cohorte 2 a connu une meilleure croissance que la cohorte 1. À presque toutes les occasions où des données étaient disponibles pour les deux cohortes à un âge similaire, il y avait une différence significative en faveur de la cohorte 2. À l'IML, la cohorte 2 a presque toujours eu des SGR comparables à ceux des souches norvégienne et islandaise. Comme les conditions d'élevage ont été très similaires pour les deux cohortes, mais que la cohorte 2 constitue la portée d'une seule femelle, qui n'a par ailleurs pas contribué d'œufs à la cohorte 1, cette différence constitue une première évidence d'effet parental chez le loup de souche québécoise.

Le volet génétique de la présente étude visait à aller plus loin, en reliant l'identification de la famille à la masse finale observée. L'objectif était de statuer sur le potentiel d'un programme de sélection pour la croissance. Il n'a pas été possible de génotyper tous les individus, mais les résultats pour les individus dont un ou deux géniteurs ont été identifiés sont révélateurs : il est clair que la croissance n'était pas égale pour les rejetons de toutes les mères ni tous les pères. Ceci démontre que même parmi le petit nombre de géniteurs utilisés pour la présente étude, un potentiel d'amélioration du taux de croissance par sélection génétique existe. Un programme de sélection génétique bien orienté pourrait permettre des gains en croissance de l'ordre de 10–50 % (exemple : 131B vs B21).

À titre d'exemple, une étude portant sur le saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*) a démontré qu'après quatre générations de sélection génétique, un gain de 60 % sur la masse finale était réalisé (Hershberger et al., 1990). Des programmes de sélection génétique à grande échelle ont permis des améliorations de 10–20 % par génération chez plusieurs espèces de poisson dont le poisson-chat (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) (Dunham & Brummet, 1999), la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) (Gjerde, 1986), le saumon (*Salmo salar* L.) (Gjerde, 1986) et le tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) (Basiao & Doyle, 1999). Il est toutefois impératif, pour arriver à de tels gains, d'avoir accès à un nombre suffisant de géniteurs de qualité et présentant un niveau d'hétérogénéité génétique adéquat (Brentsen & Olesen, 2002). Parmi les géniteurs de loup tacheté dont la

progéniture a survécu jusqu'à la fin de l'expérience, les femelles J8 et J47, et dans une moindre mesure 31J, J12 et J7, ainsi que les mâles 131B et B15 semblent particulièrement prometteurs.

## PROJECTIONS VERS LES TAILLES COMMERCIALES DE 1.5 ET 3 KG

La prolongation des essais de croissance jusqu'à la taille commerciale (1.5–2 kg pour le marché anglophone (Toronto et Boston) et 2–5 kg pour le marché québécois (Montréal et Québec) (voir Laflamme et al., 2005) n'a pas pu être réalisée en partie à cause de contraintes temporelles et financières. Le développement de modèles économiques requiert des projections de croissance, y compris à partir des résultats obtenus dans la présente étude.

Les modèles basés sur l'Annexe 3 ne requièrent pas d'extrapolation puisque des loups de plus de 5 kg ont été mesurés. Ils démontrent qu'il faudrait entre 850 et 1000 j pour atteindre 1.5 kg, et entre 1175 et 1300 j pour atteindre 3 kg (Figure 21A). Avec toutes les précautions qu'une extrapolation implique, le modèle fonction de puissance développé dans la présente étude (Eq. 11) prédit que les loups tachetés auraient atteint 1.5 et 3 kg à 1050 et 1400 j, respectivement (Figure 21B).

Il est aussi possible de prendre un âge et une masse de départ plausibles, comme 150 j et 15 g, et de calculer une croissance quotidienne, ajustant de jour en jour le SGR selon l'âge (Eq. 13) ou la masse (Eq. 14). Avec cette méthode, les loups tachetés atteindraient 1.5 kg à 989–996 j, et 3 kg à 1349–1407 g (Figure 21C). Cette dernière méthode peut encore mieux épouser la trajectoire de croissance observée dans la présente étude si le point de départ est un poisson de 700 g âgé de 765 j, soit la masse moyenne des deux cohortes à l'âge commun le plus élevé disponible dans la présente étude. Un tel loup atteindrait 1.5 kg à 1083 j, et 3 kg à 1481–1494 j (Figure 21D).

En mars 2012, une opportunité s'est offerte pour évaluer la validité des projections proposées à la Figure 21. Un groupe de 25 loups des cohortes 1 et 2 a été pesé le 23 mars 2012 ( $1635.9 \pm 502.519$  g). Les deux cohortes étaient élevées dans le même bassin depuis l'automne 2011 et n'étaient plus distinguées. L'âge moyen des cohortes 1 et 2 pour cette date est 1123 j, pour un  $SGR = 0.236$  entre le 9 juin 2011 et le 23 mars 2012. Durant cette période, les conditions de croissance n'étaient pas optimales. La fréquence de nourrissage a été variable, mais nettement plus faible que durant l'expérience. La température a été en général plus froide que la température optimale, afin de réduire les besoins en nourriture. Malgré les conditions de croissance sous-optimales, cette valeur est proche de toutes les trajectoires calculées à la Figure 21, sauf celle du modèle Gompertz ajusté aux données de l'Annexe 3. La méthode utilisée à la Figure 21D est la plus proche de la valeur du 23 mars 2012. Ceci suggère que le scénario du panneau D sous-estimerait la performance quand des conditions d'élevages optimales sont respectées, et que le modèle de Gompertz basé sur les données de l'Annexe 3 ne s'applique pas à la production 2009 de loups tachetés de souche québécoise ayant servi à notre expérience.

Les travaux récents de Dupont-Cyr (2012) sur le cycle de reproduction suggèrent un gain de 2 kg en 18 mois d'élevage pour des loups tachetés de souche québécoise d'une masse initiale de 1 kg. Cette performance est tout à fait comparable à toutes les projections obtenues à partir de nos données, où le passage de 1 à 3 kg se fait en 14–20 mois environ (Figure 21). Selon Falk-Petersen et al. (1999), le loup tacheté peut atteindre la masse de 2.7 kg en trois ans alors que la compagnie privée Troms Steinbit A/S (Stonglandseidet, Norvège, communication personnelle) fait état de l'atteinte de 4.2 kg en trois ans à 4–8 °C. Ce taux de croissance est très rapide et aucune donnée publiée ne s'en approche, pas même celles de Falk-Petersen et al. (1999), dont la courbe de croissance, fournie avec très peu de détails, est pourtant dans une classe à part. Ces excellents résultats obtenus à partir des souches norvégienne et islandaise permettent cependant de donner de la crédibilité aux projections produites à la Figure 21, qui ne paraissent pas particulièrement optimistes.

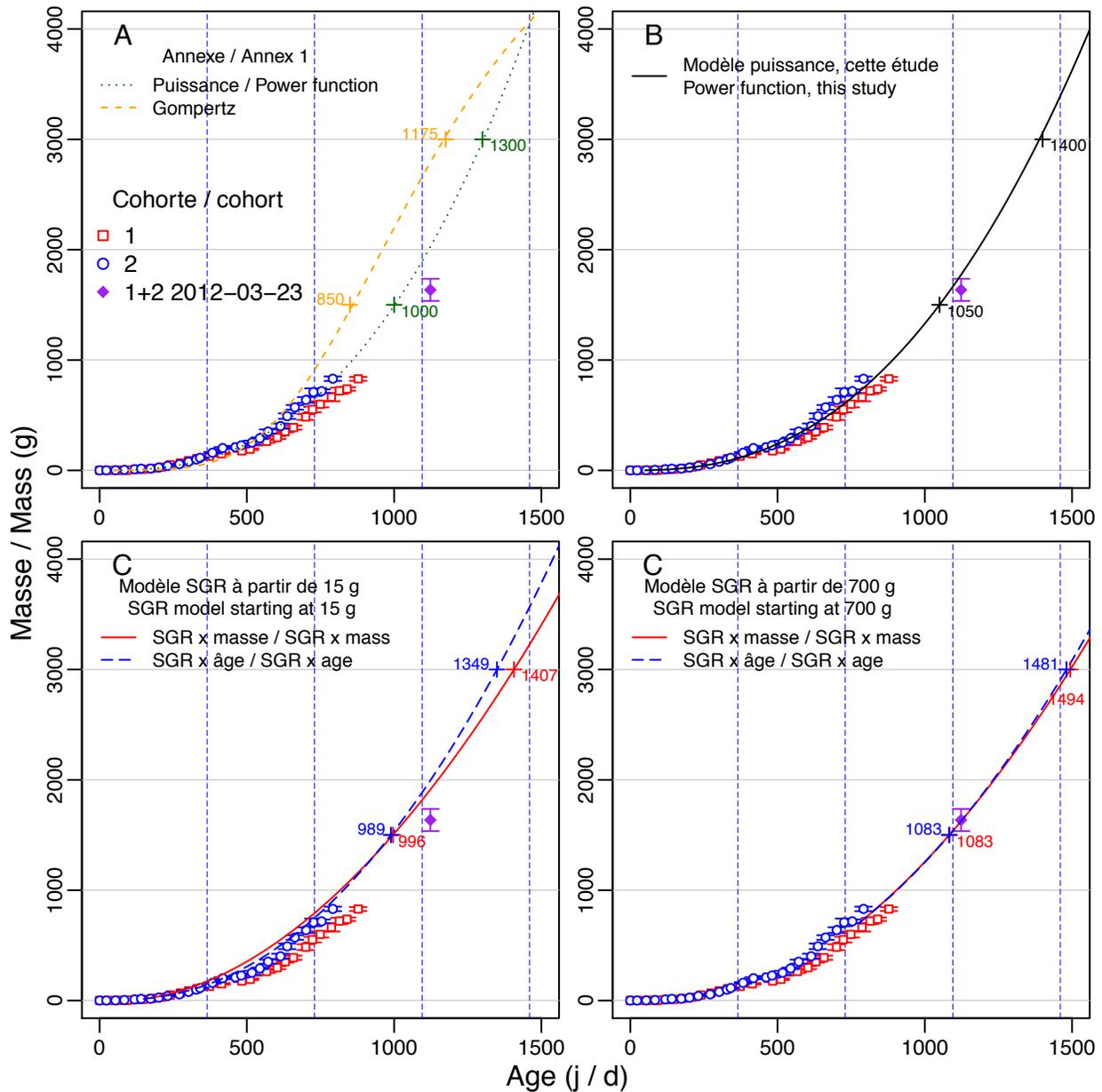


Figure 21. Projections de croissance des loups tachetés de souche québécoise élevés à l'IML jusqu'aux tailles commerciales de 1.5 et 3 kg selon plusieurs scénarios. Les chiffres inscrits près des trajectoires correspondent à l'âge en jour à l'atteinte des deux masses commerciales. Une valeur obtenue en mars 2012, neuf mois après la fin de l'étude, permet d'évaluer la justesse des trajectoires, car cette valeur est jugée « conservatrice », les conditions d'élevage ayant été sous-optimales durant ces neuf mois. A) Modèles fonction de puissance (Eq. 14) et Gompertz (Eq. 15) ajustés aux données de l'Annexe 1; B) Modèle fonction de puissance obtenu dans la présente étude (Eq. 10); C) Poisson de départ de 15 g à 150 j bénéficiant d'un gain quotidien calculé à partir de la relation entre le SGR et l'âge (Eq. 12) ou la masse (Eq. 13); D) Poisson de départ de 700 g à 775 j bénéficiant d'un gain quotidien calculé à partir de la relation entre le SGR et l'âge (Eq. 12) ou la masse (Eq. 13).

## PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Les résultats de cette étude sont très encourageants dans le contexte du développement de l'élevage commercial de cette espèce. Les taux de croissance obtenus dans la présente étude sont comparables à ceux obtenus à partir de loups de souche norvégienne ou islandaise pendant 500 des 800 jours de l'étude (200 à 400 puis 500 à 800 j). De plus, la relation entre le SGR et la masse est identique pour les trois souches, démontrant que leur potentiel de croissance est le même. De bonnes croissances sont cependant conditionnelles au maintien de conditions optimales, conditions qui sont beaucoup mieux identifiées qu'il y a une dizaine d'années, grâce aux nombreuses études des chercheurs Québécois, Norvégiens et Islandais. Nous entrevoyons plusieurs pistes pour améliorer la croissance des loups tachetés.

Il n'existe pas présentement de nourriture développée spécifiquement pour le loup tacheté et qui tient compte du stade de vie (prégrossissement, grossissement, reproduction). Non seulement les nourritures disponibles actuellement au Canada ne sont pas de type « flottant ». Les moulees Skretting Europa 15 et Europa 18 que nous avons utilisées contenaient 15 et 18 % de lipides, respectivement. Quelques spécimens ont été analysés pour confirmer l'infestation parasitaire. Ils souffraient de lipidose hépatique, condition qui est symptomatique d'une alimentation trop grasse. Le loup est une espèce maigre (3 %) au même titre que la morue et l'aiglefin, ce qui suggère que l'apport en lipides dans l'alimentation doit être limité comparativement à des espèces plus grasses telles que les salmonidés (Dr. Santosh Lall, NRC-Halifax, comm. pers.). Pour l'alimentation du loup tacheté, Svasand et al. (2004) et Foss et al. (2004) suggèrent des teneurs en lipides de 11–15 %. Des travaux supplémentaires sur le contenu en lipides de l'alimentation des loups tachetés sont cependant requis, car certains auteurs n'ont pas observé d'impacts négatifs avec une alimentation riche en lipides (28–35 %, Papoutsoglou & Lyndon, 2006) ou ont même obtenu les meilleurs taux de croissance documentés chez l'espèce avec une alimentation contenant pourtant 25 % de lipides (Imstrand et al., 2006). Les travaux de Savoie et al. (2006, 2011) suggèrent que de meilleures performances pourraient être obtenues en ajoutant des hydrolysats de protéines à la formulation alimentaire des loups tachetés. Comme les nourritures Skretting Europa n'ont pas été développées pour le loup mais pour le flétan, il est possible que l'appétence ne soit pas maximale. Cette dernière qualité peut grandement influencer le taux de croissance vu son influence sur le taux de consommation.

Un meilleur contrôle de la photopériode pourrait améliorer la croissance, en particulier pour les jeunes stades qui ont les taux de croissance maximums et ont besoin de s'alimenter fréquemment. En effet, la photopériode n'a pas pu être de 16 : 8 durant la première année à l'IML, alors que plusieurs auteurs (Gines et al., 2004; Biswas et al., 2005; Burke et al., 2005; Biswas et al., 2006) ont suggéré qu'une période d'illumination plus longue favorisait la consommation de nourriture et la croissance chez les poissons. Notons cependant que la croissance était comparable avec les souches norvégienne et islandaise durant la période 200 à 400 j. Cette période correspond à la période juillet 2009 à février 2010 pour la cohorte 1 et de septembre 2009 à avril 2010 pour la cohorte 2, soit quand la période diurne était beaucoup plus courte que 16 heures. Il est impossible de déterminer si ceci démontre qu'une photopériode plus courte peut être compensée par une distribution plus fréquente de nourriture durant les heures diurnes, ou si nos résultats auraient pu être améliorés avec une photopériode plus longue.

Plusieurs travaux suggèrent une possible augmentation de la croissance lorsque la salinité est intermédiaire (~15). Ceci est bien documenté chez la morue atlantique (*Gadus morhua*) (Provencher et al., 1993; Lambert et al., 1994; Koedijk et al., 2010). Par ailleurs, Le François et al. (2004a) ont détecté des gains en croissance chez les groupes de loups atlantiques exposés à 14 de salinité pour une période prolongée (16 mois). Cependant, Foss et al. (2001) et Magnussen et al. (2008) n'ont pas observé de gain significatif à des salinités intermédiaires chez *A. minor*. Ils suggèrent tout de même qu'*A. minor* est une espèce euryhaline démontrant de très bonnes capacités osmorégulatrices. Son élevage pourrait donc être réalisé avec une proportion élevée d'apports en eau douce (40–50 %) à partir de lacs ou de rivières à proximité et/ou se pratiquer dans une zone étendue du littoral estuarien sans effets négatifs sur la croissance. Cette salinité réduite pourrait contribuer à contrôler les infestations parasitaires de type *Gyrodactylus* et *Trichodina* sp.

L'effet du tri en classes de tailles homogènes mérite d'être étudié, car la présente étude n'était pas conçue pour vérifier statistiquement l'effet du tri sur la croissance. Nous n'avons pas observé après la formation de deux classes de taille sœur les loups tachetés de la cohorte 1. En fait la croissance de la classe « gros » n'était pas meilleure que celle de la cohorte 2, non triée. Ceci suggère que le phénomène de hiérarchie est peu présent chez cette espèce et que des opérations de triage (sauf chez les très jeunes stades) ne sont pas indispensables. L'importance de trier les poissons a été démontrée chez certaines espèces telles le saumon (*Salmo salar* L.) (Gunnes, 1976), la plie japonaise (*Paralichthys olivaceus*) (Dou et al., 2003), le poisson-lapin (*Siganus rivulatus*) (Ghanawi et al., 2010). Mais d'autres études ne démontrent aucun avantage au tri (et même parfois un effet négatif) chez l'omble arctique (*Salvelinus alpinus*) (Wallace & Kolbeinshavn, 1973), la morue (Lambert & Dutil, 2001) et la sole du Sénégal (*Solea senegalensis*) (Salas-Leiton et al., 2010).

Même si les étapes réalisées au CAMGR ne faisaient pas partie de l'expérience réalisée à l'IML, elles sont pertinentes à l'évaluation de la faisabilité économique de l'élevage du loup tacheté de souche québécoise. Le succès d'incubation et le taux de survie durant les premières semaines suivant l'éclosion étaient faibles (0.3 à 6.7 % selon la famille, Tableau 1). De tels taux de survie sont rapportés dans la littérature (Falk-Petersen et al., 1999; Falk-Petersen & Hansen, 2003). Des travaux sont nécessaires afin d'améliorer cet aspect et ainsi améliorer la rentabilité d'une production commerciale. Au CAMGR, les conditions de captivité et de conditionnement des géniteurs d'origine sauvage étaient imparfaites pour l'obtention de gamètes de qualité, surtout en période critique de maturation ovarienne dans les mois précédents la reproduction (période estivale) (Le François et al., 2004b). Les températures optimales des géniteurs se situent en deçà de 6 °C. Au CAMGR, un seul des quatre bassins pour géniteurs pouvait être gardé aussi froid, les autres étant exposés à des températures de 8–10 °C. Comme la densité doit être plus faible pour des géniteurs d'origine sauvage, un nombre réduit de loups bénéficiait de la température optimale. Les femelles reproductrices d'origine sauvage (voir Tableau 1) présentaient des pédigrées et des conditions de fécondité très variables et étaient probablement assez âgés pour avoir dépassé leur période de reproduction maximale, en nombres et en qualité d'œufs, l'âge optimal étant estimé à 5–9 ans (Andreasse, 2002).

L'obtention d'une production d'œufs et de juvéniles de qualité (meilleurs taux de survie et croissance) passera nécessairement par l'accès à un stock de géniteurs nés en captivité (stock domestique) conditionnés de façon optimale (moulée commerciale adaptée et température mieux contrôlée, avec possiblement décalage photopériodique pour l'obtention de deux pontes). Le stress relié à la captivité serait alors minimal et une plus grande densité de loups pourrait être maintenue dans le bassin à température optimale. Ce stock existe, appartient à l'UQAR et est maintenu aux installations de Mérinov inc. Ce stock en était à sa première saison de reproduction en 2007, alors que le pic de qualité des œufs produits par ses femelles serait en principe obtenu à la troisième saison c.-à-d. 2010 (Dupont Cyr, 2012). Un meilleur contrôle de la température dans les autres bassins du CAMGR permettrait aussi d'augmenter le succès de reproduction.

Un programme d'optimisation des protocoles de désinfection des œufs devrait être envisagé. Actuellement le glutaraldéhyde est utilisé pour désinfecter les œufs deux fois par mois durant la période d'incubation. Il est possible que le glutaraldéhyde durcisse l'enveloppe de l'œuf (le chorion) et aussi qu'il interfère avec le moment de l'éclosion. Ce phénomène pourrait en partie expliquer le manque de réceptivité à l'aliment et conséquemment la mortalité élevée au stade première alimentation chez le loup tacheté. Des tests sur cet effet et sur d'autres désinfectants sont nécessaires.

Le taux de survie des alevins était très variable (5.8–73.6 %), conformément à ce qui est généralement décrit dans la littérature (Falk-Petersen et al., 1999; Hansen & Falk-Petersen, 2001a). Durant les premiers 30–45 j postéclosion, les mortalités étaient imputables en presque totalité aux individus qui s'alimentaient peu ou pas et qui dépérissaient (queues de lot). Dès que la masse a atteint quelques grammes, le taux de mortalité est devenu très faible dans cette étude. La sélection génétique pourrait avoir des effets positifs pour la survie durant l'incubation, l'apprentissage de l'alimentation et la croissance des juvéniles. Par exemple, en contexte

commercial, Tomma Marinfisk A/S opérait sur un stock de géniteurs domestiques avec le pourcentage de 20–30 % de survie, de l'incubation à la première alimentation (I. Andreassen et A.K. Imsland, comm. pers.).

Dupont-Cyr (2012) suggère que la maturation sexuelle a un impact négatif sur la croissance des femelles en captivité, et ce chez les deux espèces de loups, *Anarhichas minor* et *A. lupus*. En milieu naturel, aucune étude n'établit de différence entre les sexes. En captivité, la croissance des mâles du loup tacheté est peu ou pas influencée par la maturation des gonades, si bien qu'ils atteignent une masse ~15–20 % supérieure à celle des femelles suite à une première reproduction. Cette tendance se confirme par la suite, lors d'une deuxième saison de reproduction. On soupçonne que la captivité délesté les mâles de leur obligation de garder la masse d'œufs fécondés durant la totalité de la période d'incubation (c.-à-d. 1000 degrés-jours), période durant laquelle ils s'alimenteraient très peu en milieu naturel, ce qui leur confère une croissance stable tout au cours de leur cycle de vie. La femelle n'a pas cet avantage puisqu'elle produira les œufs nécessaires à la propagation et la survie de l'espèce autant en milieu naturel qu'en condition de captivité. Ceci suggère qu'une production commerciale produisant du poisson de poids supérieur à 1 kg pourrait obtenir un gain significatif en productivité en utilisant un stock constitué uniquement de mâles. Des travaux préliminaires visant à distinguer les sexes à l'aide de techniques relevant de la morphométrie géométrique sont en cours en collaboration avec le Dr. Richard Cloutier (UQAR).

Même si cette étude s'est déroulée à une densité moyenne (30 kg m<sup>-2</sup>), il sera facile d'augmenter la densité sans augmenter le stress dans de futurs travaux. En effet, les loups des deux cohortes, rassemblés dans un seul bassin (Figure 2) depuis l'automne 2011, ont tendance à se concentrer dans l'extrémité du bassin où se situe l'arrivée d'eau, à des concentrations estimées à 55–60 kg m<sup>-2</sup> (Figure 22), et ce même si une moitié du bassin demeure très peu peuplée (moins de 10 kg m<sup>-2</sup>), et ce de façon spontanée. Ces loups pèsent en moyenne environ 2 kg. Ceci laisse présager qu'il serait possible d'obtenir de bons rendements sans stresser les poissons de cette taille, en utilisant des densités pouvant aller jusqu'à 90 kg m<sup>-2</sup>, comme dans l'étude d'Imsland et al. (2009). Il serait cependant essentiel d'utiliser de la nourriture flottante à ces densités élevées.

## CONCLUSIONS

Les objectifs de cette étude étaient d'accroître les connaissances sur le loup tacheté afin d'assister d'éventuels investisseurs commerciaux, les organismes subventionnaires, et le gouvernement dans leur prise de décision concernant le développement de l'industrie anarhichole au Québec. En particulier, le taux de croissance entre la phase de prégrossissement et la taille commerciale devait être déterminé pour la première fois chez le loup tacheté de souche québécoise.

Nous avons démontré une nette amélioration des taux de croissance obtenus avec la souche québécoise depuis 2006. De plus, les taux de croissance obtenus dans la présente étude sont similaires aux valeurs obtenues pour les souches norvégienne et islandaise, même si la masse à l'âge était inférieure pour la souche québécoise après 500 j à cause d'un ralentissement temporaire observé entre 400 et 500 j. Compte tenu que plusieurs pistes pour améliorer la croissance des loups tachetés existent, les taux de croissance obtenus dans cette étude sont très encourageants. Les projections pour l'atteinte de masses commerciales sont aussi encourageantes, suggérant que la taille pour le marché de Boston (1.5 kg) serait atteinte en environ 3 ans, et celle du marché québécois et français (3 kg) en 4 ans.



Figure 22. Loups tachetés de souche québécoise se concentrant dans l'extrémité d'une auge de 2 x 6 m où est située l'arrivée d'eau. Cette photo fut prise le 28 mai 2012 et la masse moyenne était estimée à environ 1.8–2 kg. La densité à cette extrémité du bassin était d'environ 55–60 kg m<sup>-2</sup>, alors qu'il y avait beaucoup d'espace disponible à l'autre extrémité du bassin.

Notre étude a déterminé le taux de croissance pour deux cohortes issues du programme de recherche sur le loup tacheté de l'UQAR aux installations du CAMGR et de l'IML. Ces cohortes ont été élevées dans des conditions

se rapprochant de celles d'un élevage commercial et le taux de croissance s'est avéré similaire à ce qui a été observé chez des loups de souches islandaise et norvégienne. Ce taux de croissance fut accompagné d'un excellent taux de survie. Ces résultats vont permettre la réalisation d'une étude de faisabilité économique basée sur de solides données biologiques.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs tiennent en premier lieu à souligner l'aide indispensable apportée par Jérôme Gagnon et Tanya Hansen tout au long de cette expérience. Leur compétence technique et les soins prodigués aux animaux étaient indispensables à la réussite de ce projet. Tony Grenier, responsable de la reproduction et de l'alevinage à Grande-Rivière, a aussi grandement contribué à ce projet. Nous remercions en outre Bernard Chenard et François Tremblay pour leurs judicieux conseils lors de la réalisation du montage expérimental. Roland Vergilino a aussi été d'une aide précieuse lors des analyses génétiques. Cette étude a été rendue possible grâce au financement du PCRDA (Programme Coopératif de Recherche et de Développement en Aquaculture) de Pêches et Océans Canada, du MDEIE (Ministère du Développement Économique, de l'Innovation et de l'Exportation), de la SODIM (Société de Développement de l'Industrie Maricole) du MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec), du Biodôme de Montréal et de l'UQAR (Université du Québec à Rimouski). Nous remercions Richard Larocque et Grant Vandenberg ainsi que les arbitres anonymes qui ont révisé le document au nom de la SODIM : tous ont contribué à améliorer le rapport technique et nous avons apprécié leur contribution.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abdi H. 2007. The Bonferroni and Šidák corrections for multiple comparisons. In *Encyclopedia of Measurement and Statistics* (N. Salkind, ed.), Sage, Thousand Oaks (CA), USA pp. 103-107.
- Ali M., Nicieza A. & Wootton R.J. 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries*, **4**, 147-190.
- Andreasse I. 2002. Broodstock management and egg quality — experience from a commercial practice. Atelier sur le loup de mer : un partenariat productif, UQAR, Rimouski, Québec, Canada. 3-4 juin 2002.
- Basiao Z.U. & Doyle R.W. 1999. Test of size specific mass-selection for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., cage farming in the Phillipines. *Aquaculture Research*, **10**, 373-378.
- Biswas A.K., Seoka M., Inoue Y., Takii K. & Kumai H. 2005. Photoperiod influences the growth, food intake, feed efficiency and digestibility of red sea bream (*Pagrus major*). *Aquaculture*, **250**, 666-673.
- Biswas A.K., Seoka M., Tanaka Y., Takii K. & Kumai H. 2006. Effect of photoperiod manipulation on the growth performance and stress response of juvenile red sea bream (*Pagrus major*). *Aquaculture*, **258**, 350-356.
- Björnsson B. & Tryggvadóttir S.V. 1996. Effects of size on optimal temperature for growth and growth efficiency of immature Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, **142**, 33-42.
- Björnsson B., Steinarsson A. & Oddgeirsson M. 2001. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science*, **58**, 29-38.
- Blier P.U. & Le François N.R. 2010. Valorization of aquaculture by-products. In *Finfish aquaculture diversification* (N. R. Le François, M. Jobling, C. Carter and P. U. Blier, eds.), CABI International, Oxfordshire, UK pp. 546-555.
- Brentsen H.B. & Olesen I. 2002. Designing aquaculture mass selection programs to avoid high inbreeding rates. *Aquaculture*, **204**, 349-359.
- Brown M.B. & Forsythe A.B. 1974. Robust tests for equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, **69**, 364-367.
- Burke M.G., Kirk M.R., MacBerth N.A., Bevan D.J. & Moccia R.D. 2005. Influence of photoperiod and feed delivery on growth and survival of first-feeding Arctic charr. *North American Journal of Aquaculture*, **67**, 344-350.
- Clarke A. & Johnston N.M. 1999. Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. *Journal of Animal Ecology*, **68**, 893-905.
- D'Agostino R.B., Belanger A. & D'Agostino R.B.J.r. 1990. A suggestion for using powerful and informative tests of normality. *American Statistician*, **24**, 316-321.
- Desjardins M., Le François N.R., Fletcher G.L. & Blier P.U. 2006. Seasonal modulation of plasma antifreeze protein levels in Atlantic (*Anarhichas lupus*) and spotted wolffish (*A. minor*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **335**, 142-150.
- Desjardins M., Le François N.R., Fletcher G.L. & Blier P.U. 2007. High antifreeze protein levels in wolffish (*Anarhichas lupus*) make them an ideal candidate for culture in cold, potentially ice laden waters. *Aquaculture*, **272**, 667-674.

- Desrosiers V., Le Francois N.R., Tveiten H., Andreassen I. & Blier P.U. 2008. Ontogenesis of catabolic and energy metabolism capacities during the embryonic development of spotted wolffish (*Anarhichas minor*). *Comparative Biochemistry and Physiology - Part B: Biochemistry & Molecular Biology*, **150**, 200-206.
- Dou S.-Z., Masuda R., Tanaka M. & Tsukamoto K. 2003. Size hierarchies affecting the social interactions and growth of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, **233**, 237-249.
- Dunham R.A. & Brummet R.E. 1999. Response of two generations of selection to increased body weight in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, compared with hybridization with blue catfish, *I. furcatus*, males. *Journal of Applied Aquaculture*, **9**.
- Dupont Cyr BA 2012. Compression du cycle reproducteur du loup de mer (*Anarhichas lupus et A. minor*). M. Sc. thesis. Département de biologie, Université Laval, Québec, QC. 99p.
- Elliott J.M. & Hurley M.A. 1995. The functional relationship between body size and growth rate in fish. *Functional Ecology*, **9**, 625-627.
- Falk-Petersen I.B. & Hansen T.K. 2003. Early ontogeny of the spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). *Aquaculture Research*, **34**, 1059-1067.
- Falk-Petersen I.-B., Hansen T.K., Fieler R. & Sunde L.M. 1999. Cultivation of the spotted wolffish, *Anarhichas minor* (Olafsen) – A new candidate for cold-water fish farming. *Aquaculture Research*, **30**, 711-718.
- FAO 2008. World review of fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy. 1-84 p.
- Ferraro V., Cruz I.B., Jorge R.F., Malcata F.X., Pintado M.E. & Castro P.M.L. 2010. Valorisation of natural extracts from marine source focused on marine by-products: A review. *Food Research International*, **43**, 2221-2233.
- Foss A. & Imsland A.K. 2002. Compensatory growth in the spotted wolffish *Anarhichas minor* (Olafsen) after a period of limited oxygen supply. *Aquaculture Research*, **33**, 1097-1101.
- Foss A., Evensen T.H. & Øiestad V. 2002. Effects of hypoxia and hyperoxia on growth and food conversion efficiency in the spotted wolffish *Anarhichas minor* (Olafsen). *Aquaculture Research*, **33**, 437-444.
- Foss A., Evensen T.H., Imsland A.K. & Øiestad V. 2001. Effects of reduced salinities on growth, food conversion efficiency and osmoregulatory status in the spotted wolffish. *Journal of Fish Biology*, **59**, 416-426.
- Foss A., K. Imsland A., Falk-Petersen I.B. & Øiestad V. 2004. A review of the culture potential of spotted wolffish *Anarhichas minor* Olafsen. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **14**, 277-294.
- Gaudreau C.M., Le François N.R., Ditlecadet D., Tveiten H. & Blier P.U. 2009. Characterization of the early-stages of the wolffish hybrid *Anarhichas minor* x *Anarhichas lupus*: conservation and aquaculture applications. *Aquatic living resources*, **22**, 371-377.
- Ghanawi J., Saoud P. & Shalaby S.M. 2010. Effect of size sorting on growth performance of juvenile spinefoot rabbitfish, *Siganus rivulatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **41**, 565-573.
- Gines R., Afonso J.M., Arguello A., Zamorano M.J. & Lopez J.L. 2004. The effects of long-day photoperiod on growth, body composition and skin colour in immature gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Research*, **35**, 1207-1212.
- Gjerde B. 1986. Growth and reproduction in fish and shellfish. *Aquaculture*, **57**, 37-55.
- Grey M., Blais A.M., Hunt B. & Vincent A.C.J. 2006. The USA's international trade in fish leather, from a conservation perspective. *Environmental Conservation*, **33**, 100-108.

- Gunnes K. 1976. Effect of size grading young Atlantic salmon (*Salmo salar*) on subsequent growth. *Aquaculture*, **9**, 381-386.
- Handeland S.O., Imsland A.K. & Stefansson S.O. 2008. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture*, **283**, 36 - 42.
- Hansen T.K. & Falk-Petersen I.B. 2001a. Effects of egg disinfection and incubation temperature on early life stages of spotted wolffish. *Aquaculture International*, **9**, 333-344.
- Hansen T.K. & Falk-Petersen I.B. 2001b. The influence of rearing temperature on early development and growth of spotted wolffish *Anarhichas minor* (Olafsen). *Aquaculture Research*, **32**, 369-378.
- Hershberger W.K., Myers J.M., Iwamoto R.N., McAuley W.C. & Saxton A.M. 1990. Genetic changes in the growth of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in marine net-pens, produced by ten years of selection. *Aquaculture*, **85**, 187-197.
- Hopkins K.D. 1992. Reporting fish growth: a review of the basics. *Journal of the World Aquaculture Society*, **23**, 173-179.
- Imsland A.K., Foss A., Koedijk R., Folkvord A., Stefansson S.O. & Jonassen T.M. 2007. Persistent growth effects of temperature and photoperiod in Atlantic cod *Gadus morhua*. *Journal of Fish Biology*, **71**, 1371-1382.
- Imsland A.K., Foss A., Sparboe L.O. & Sigurdsson S. 2006. The effect of temperature and fish size on growth and feed efficiency ratio of juvenile spotted wolffish *Anarhichas minor*. *Journal of Fish Biology*, **68**, 1107-1122.
- Imsland A.K., Gunnarsson S., Foss A., Sigurdsson B. & Sigurdsson S. 2009. Stocking density and its influence on growth of spotted wolffish, *Anarhichas minor*, in shallow raceways. *Journal of the World Aquaculture Society*, **40**, 762-770.
- Ingram P. & Dixon G. 1994. Fishskin leather: an innovative product. *Journal of the Society of Leather Technologies and Chemists*, **79**, 103-106.
- Jobling M. 1983. Growth studies with fish — overcoming the problems of size variation. *Journal of fish biology*, **22**, 153-157.
- Jonassen T.M. 2002. Effects of photoperiod, stocking density and diet on growth in young spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). *Aquaculture International*, **10**, 411-420.
- Kalinowski S.T., Taper M.L. & Marshall T.C. 2007. Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular ecology*, **16**, 1099-1106.
- Koedijk R.M., Le François N.R., Blier P.U., Foss A., Folkvord A., Ditlecadet D., Lamarre S.G., Stefansson S.O. & Imsland A.K. 2010. Ontogenetic effects of diet during early development on growth performance, myosin mRNA expression and metabolic enzyme activity in Atlantic cod juveniles reared at different salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **156**, 102-109.
- Laflamme J., Michaud J.C., Lévesque M. & Le François N.R. 2005. Potentiel commercial et technico-financier de l'élevage du loup de mer tacheté au Québec, 81 + 8 annexes pp.
- Lamarre S.G., Blier P.U., Driedzic W.R. & Le François N.R. 2010. White muscle 20S proteasome activity is negatively correlated to growth rate at low temperature in the spotted wolffish *Anarhichas minor*. *Journal of Fish Biology*, **76**, 1565-1575.

- Lamarre S.G., Le François N.R., Driedzic W.R. & Blier P.U. 2009. Protein synthesis is lowered while 20S proteasome activity is maintained following acclimation to low temperature in juvenile spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). *The Journal of experimental biology*, **212**, 1294-1301.
- Lambert Y. & Dutil J.D. 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture*, **192**, 233-247.
- Lambert Y., Dutil J.D. & Munro J. 1994. Effects of intermediate and low salinity conditions on growth rate and food conversion of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **51**, 1569-1576.
- Le François N.R. & Archer B. 2007. L'élevage du loup tacheté — Reproduction et incubation. MAPAQ-DIT, v + 18 pp.
- Le François N.R., Desjardins M. & Blier P.U. 2004a. Enhancement of profitability perspectives of wolffish cultivation by the extraction of high value biomolecules. In *Seafood quality & safety: advances in the new millenium* (F. Shahidi and B. K. Simpson, eds.), Science Tech Publ pp. 61-69.
- Le François N.R., Lamarre S.G. & Blier P.U. 2004b. Tolerance, growth and haloplasticity of the Atlantic wolffish (*Anarhichas lupus*) exposed to various salinities. *Aquaculture*, **236**, 659-675.
- Le François N.R., Lemieux H. & Blier P. 2002a. Evaluation of the potential of marine and anadromous fish for cold-water mariculture in Quebec. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, **102**, 9-10.
- Le François N.R., Lemieux H. & Blier P.U. 2002b. Biological and technical evaluation of the potential of marine and anadromous fish species for cold-water mariculture. *Aquaculture Research*, **33**, 95-108.
- Le François N.R., Savoie A. & Blier P. 2010a. Chapter 8 — Quantitative approaches for identifying finfish species suited for sustainable and productive aquaculture. In *Finfish Aquaculture: Species Selection for Diversification* (N. R. Le François, M. Jobling, C. Carter and P. U. Blier, eds.), CABI Publishing pp. 147-177.
- Le François N.R., Tveiten H., Halfyard L.C. & Foss A. 2010b. Chapter 19 — The Wolffishes (Family: Anarhichadidae). In *Finfish aquaculture diversification* (N. R. Le François, M. Jobling, C. Carter and P. U. Blier, eds.), CABI Publishing pp. 417-431.
- Lovell T. 1998. *Nutrition and feeding of fish*. Kluwer. 542 p.
- Magnussen A.B., Imsland A.K. & Foss A. 2008. Interactive effects of different temperatures and salinities on growth, feed conversion efficiency, and blood physiology in juvenile spotted wolffish, *Anarhichas minor* Olafsen. *Journal of the World Aquaculture Society*, **39**, 804-811.
- MAPAQ 2010. Plan de développement sectoriel en aquaculture commerciale 2010-2013. Direction de l'aquaculture et du développement durable, Direction générale des pêches et de l'aquaculture commerciales, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Gouvernement du Québec Québec, QC
- McCusker M.R., Paterson I.G. & Bentzen P. 2008. Microsatellite markers discriminate three species of North Atlantic wolffishes (*Anarhichas* spp.). *Journal of Fish Biology*, **72**, 375-385.
- Noguchi K., Hui W.L.W., Gel Y.R., Gastwirth J.L. & Miao W. 2009. lawstat: An R package for biostatistics, public policy, and law.
- Papoutsoglou E.S. & Lyndon A.R. 2006. Digestive enzymes of *Anarhichas minor* and the effect of diet composition on their performance. *Journal of Fish Biology*, **69**, 446-460.
- Peck M.A., Buckley L.J., Caldarone E.M. & Bengtson D.A. 2003. Effects of food consumption and temperature on growth rate and biochemical-based indicators of growth in early juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* and haddock *Melanogrammus aeglefinus*. *Marine Ecology Progress Series*, **251**, 233-243.

- Peters R.H. 1983. *The ecological implications of body size*. xii + 329 p.
- Provencher L., Munro J. & Dutil J.-D. 1993. Osmotic performance and survival of Atlantic cod (*Gadus morhua*) at low salinities. *Aquaculture*, **116**, 219-231.
- Quinn G.P. & Keough M.J. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge Univ Pr. xvii + 537 p.
- R Development Core Team 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria
- Richardsen R. & Johansen J.A. 2002. Cultured wolffish (*Anarhichas minor*) – a potential species for exclusive restaurants? *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, **102**, 13-16.
- Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, **191**, 1-382.
- Ricker W.E. 1979. Growth Rates and Models. *Fish physiology*, **8**, 677-743.
- Salas-Leiton E., Rodriguez-Rua A. & Canavate J.P. 2010. Stocking homogeneous size groups does not improve growth performance of Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup 1858) juveniles: Individual growth related to fish size. *Aquacultural Engineering*, **43**, 108-113.
- Savoie A., Le François N.R., Cahu C. & Blier P.U. 2008. Metabolic and digestive enzyme activity profiles of newly hatched spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen): effect of temperature. *Aquaculture Research*, **39**, 382-389.
- Savoie A., Le François N.R., Cahu C., Blier P.U. & Andreassen I. 2006. Do protein hydrolysates improve survival and growth of newly-hatched spotted wolffish (*Anarhichas minor*), a non-metamorphic aquaculture fish species? *Aquaculture*, **261**, 782-788.
- Savoie A., Le François N.R., Lamarre S.G., Blier P.U., Beaulieu L. & Cahu C. 2011. Dietary protein hydrolysate and trypsin inhibitor effects on digestive capacities and performances during early-stages of spotted wolffish: Suggested mechanisms. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **158**, 525-530.
- Spiess A.N. & Neumeyer N. 2010. An evaluation of  $R^2$  as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BMC pharmacology*, **10**, 1-11.
- Strand H.K., Hansen T.K., Pedersen A., Falk-Petersen I.B. & Øiestad V. 1995. First feeding of common wolffish on formulated dry feed diets in a low water-level raceway system. *Aquaculture International*, **3**, 1-10.
- Svåsand T., Otterå H.M., Taranger G.L., Litvak M., Skiftesvik A.B., Bjelland R.M., Pavlov D.A., Holm J.C., Harboe T. & Mangor-Jensen A. 2004. The status and perspectives for the species. *Culture of cold-water marine fish*, 433-474.
- Templeman W. 1986. Contribution to the biology of the spotted wolffish (*Anarhichas minor*) in the Northwest Atlantic. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, **7**, 47-55.
- Tremblay-Bourgeois S., Le François N.R., Roy R.L., Benfey T.J. & Imsland A.K. 2010. Effect of rearing density on the growth and welfare indices of juvenile spotted wolffish, *Anarhichas minor* (Olafsen). *Aquaculture Research*, **41**, 1179-1189.
- Wallace J.C. & Kolbeinshavn A.G. 1973. The effect of size grading on subsequent growth in fingerling arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *Aquaculture*, **73**, 97-100.

## ANNEXE 1

### PARASITES OBSERVÉS DURANT L'EXPÉRIENCE

En mars 2010, un ralentissement de la consommation de nourriture et des comportements anormaux (poissons qui se frottent contre le fond des bassins, « flashing ») ont été observés. Soupçonnant une infestation parasitaire, nous avons appliqué à l'ensemble des individus de la cohorte 1 un traitement au formol 1 : 6000<sup>10</sup> de 30 minutes. Ce traitement a produit une certaine amélioration pendant quelques jours, puis la prise alimentaire s'est remise à diminuer et quelques poissons sont morts. La densité a été réduite à 20 kg m<sup>2</sup> et le pourcentage d'eau recirculée a été réduit à 30 %, sans succès. Deux individus parmi ceux semblant les plus mal en point ont été expédiés à la vétérinaire en ichthyopathologie de l'Université de Montréal (Dre Andrée Lafaille de la clinique de St-Hyacinthe) qui a identifié une infestation jugée sévère aux *Trichodina* et *Gyrodactylus*.

Deux traitements ont été utilisés. La cohorte 1 a d'abord subi un bain d'une demi-heure en eau douce a pendant 30 min le 13 avril 2010 (suggestion de la Dre Lafaille, comm. pers.), mais sans succès. Des infestations aux *Trichodina* sp. ayant été observées chez le loup tacheté en Norvège et traitées au formol (Falk-Petersen et al., 1999), un traitement au formol plus concentré, 1 : 4000, a été utilisé pendant 30 min le 21 avril (Dr Imsland Akvaplan-Niva A/S Islande et aviseur technique au projet, communication personnelle) et a réussi à éliminer les parasites.

À partir de mai 2010, le comportement et l'apparence des loups étaient plus méthodiquement évalués lors des opérations de nourrissage et de nettoyage. De plus, des frottis de mucus ont été prélevés sur 5 à 6 individus de chaque cohorte chaque mois. L'opération consistait à prélever délicatement un échantillon de mucus à l'aide d'un petit grattoir, à l'appliquer sur une lame et à l'observer au microscope (Figure 23). Il était ainsi possible de traiter dès que les premiers parasites étaient détectés. Le 8 novembre 2010, quelques parasites ont été observés chez la cohorte 2, un traitement au formol a donc été appliqué. Toute autre anomalie (aspect, comportement) aurait conduit à une action thérapeutique (ex. traitement au bleu de méthylène, traitement aux antibiotiques, etc.), mais ce ne fut pas requis.

---

<sup>10</sup> Une solution de 100 % de formol contient environ 37 % de formaldéhyde, mais le traitement est basé sur la dilution du formol, et non du formaldéhyde. Nous avons utilisé une solution de formaline 10 %, donc de formaldéhyde 4 %. Pour obtenir 1 : 4000, la dose est de 2.5 ml par litre. En pratique, nous avons utilisé 2 ml par litre, donc notre dose effective était un peu moindre (0.8 : 4000), et ce pendant 30 min.



Figure 23. Frottis de mucus de loup tacheté montrant *Trichodina* sp. (T) et *Gyrodactylus* sp. (G).

## ANNEXE 2

### ANALYSES GÉNÉTIQUES

L'ADN contenu dans les échantillons de nageoire a été extrait en utilisant avec le *E.Z.N.A. Tissue DNA kit* (OMEGA Bio-tek, Georgia, USA). Les amplifications d'ADN (Réaction en Chaîne par Polymérase — PCR) ont été réalisées à l'aide des appareils *Biometra Thermoblock UNO II* (Biometron GmbH, Germany) et *Px2 Thermal cycler* (Thermo Electron Corporation, MA, USA). Les conditions PCR ont été les suivantes :

Alup 25 et alup 29

3 minutes à 94 °C

2 cycles (45 s à 94 °C, 45 s à 55 °C, 1 min à 72 °C)

2 cycles (45 s à 94 °C, 45 s à 54 °C, 1 min à 72 °C)

2 cycles (45 s à 94 °C, 45 s à 53 °C, 1 min à 72 °C)

2 cycles (45 s à 94 °C, 45 s à 52 °C, 1 min à 72 °C)

2 cycles (45 s à 94 °C, 45 s à 51 °C, 1 min à 72 °C)

24 cycles (45 s à 94 °C, 45 s à 50 °C, 1 min à 72 °C)

10 minutes à 72 °C

Alup 7 et alup 31 :

3 minutes à 94 °C

24 cycles (20 s à 94 °C, 20 s à 50 °C, 20 s à 72 °C)

5 minutes à 72 °C

Alup 23 et alup 26

3 minutes à 94 °C

30 cycles (30 s à 94 °C, 30 s à 55 °C, 45 s à 72 °C)

10 minutes à 72 °C

Alup 2 et alup 10

3 minutes à 94 °C

30 cycles (30 s à 94 °C, 30 s à 50 °C, 45 s à 72 °C)

10 minutes à 72 °C

Alup 10

3 minutes à 94 °C

30 cycles (30 s à 94 °C, 30 s à 60 °C, 45 s à 72 °C)

10 minutes à 72 °C

Neuf locus ont été amplifiés, dont huit avaient été décrits précédemment (McCusker et al., 2008) : alup23, alup25, alup26, alup29, alup30, alup31, alup7 et alup10. Le locus alup2 a été mis au point à notre laboratoire. Les détails relatifs aux amorces et conditions d'amplification pour chacun des locus sont fournis au

Tableau 13. Une électrophorèse sur gel de polyacrylamide a ensuite été effectuée avec les fragments amplifiés d'ADN. Les gels ont été numérisés à l'aide d'un FMBIOII (Hitachi, MiraiBio, CA, USA) et les images obtenues ont été analysées avec le logiciel *Image Analysis* (Mirai Bio, CA, USA).

Tableau 13. Loci utilisés pour le génotypage à la famille.

Locus	Numéro GenBank	Séquence des amorces (5'-3')	Température appariement
Alup2			50
Alup7 (14)	EU095852	-GGAGCCTGATCTGCATCTGT -CCCCCTCTCAGTCTTTATGG	50
Alup10 (16)	EU095854	-TGTTGCAGCTGAGCCTTCTA -CAGCCAAGGACAGACAGATG	60
Alup23 (3)	EU095859	-CAGTAGAGGCATTTTCACACATTG -GACATCGCCCTGATAGTTCC	55
Alup25 (5)	EU095861	-CGGTTCTGCAAATGAACCTC -GGCAGAGACAGCAGACAGC	50
Alup26 (6)	EU095862	-TGGGTCTTACATGGCTAGGAA -GAGTTTTTGGCTTCGTTTGG	55
Alup29 (9)	EU095865	-TGGCTGATGTGTTAGCCTTG -GGAAATGGTGTGGGAATCAC	50
Alup30 (10)	EU095866	-AGGTGATGGAAACAATGTGG -TTCTCCGCTTCCTGTTTCAT	50
Alup31 (11)	EU095867	-AGCCGATTGAGAAAAGCAAA -GTGTGGTGGCTAGCACTGTC	50

Le logiciel Cervus (Kalinowski et al., 2007) a été utilisé pour les assignations parentales. Ce logiciel analyse les données génétiques à partir de marqueurs codominants tels les microsatellites. L'analyse débute par une analyse de fréquence des allèles et une simulation de l'analyse de filiation. Cette simulation examine la faisabilité de l'assignation à partir de l'ensemble des loci disponibles et calcule les valeurs critiques de probabilité, qui nous indiquent la fiabilité des assignations parentales réelles (qui seront réalisées par la suite). Ce calcul tient compte de la fréquence des allèles, du nombre de parents à tester pour chaque descendant, de la présence ou non de parents candidats non échantillonnés et de la probabilité d'erreurs de génotypage. L'analyse de parenté comme telle compare tous les parents potentiels avec tous les descendants en retournant une probabilité pour chacun des parents potentiels. Dans notre cas, lorsque le seuil de 80 % de confiance était atteint, l'assignation était acceptée, dans le cas contraire elle était rejetée. Aux fins de comparaisons statistiques, seules les familles comportant 3 individus ou plus ont été conservées. Les autres ont été retirées des analyses.

## ANNEXE 3 ÉTUDES ISLANDAISES ET NORVÉGIENNES

Plusieurs études ont mesuré la taille à l'âge ou le taux de croissance chez des loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise, mais ces données n'ont jamais été rassemblées afin de montrer la croissance du loup tacheté sur une longue période et pour une grande gamme de tailles, sauf pour une seule étude montrant la masse à l'âge d'une seule cohorte de loups tachetés pesés environ une fois par année pendant un peu plus de 4 ans (Falk-Petersen et al., 1999). Nous avons colligé les données de plusieurs études afin de modéliser la croissance chez ces souches afin de permettre une comparaison avec la souche québécoise de la présente étude. Il faut cependant noter qu'à part l'étude de Falk-Petersen et al. (1999), il s'agit d'une série d'études de courte durée, ce qui n'est pas l'équivalent d'une étude de croissance de longue durée portant toujours sur les mêmes individus.

Nous avons conservé toutes les données qui provenaient de groupes témoins (c.-à-d. n'ayant pas été soumis à des traitements qui auraient pu nuire à leur croissance), ou qui ont subi des traitements favorables, c'est-à-dire ayant permis une croissance qui ne se distinguait pas du groupe témoin ou qui la surpassait. Ces études mentionnaient rarement l'âge exact des loups, mais le mois d'éclosion était donné ou pouvait être déduit. Nous avons utilisé la médiane de la période d'éclosion pour estimer l'âge. Dans certaines études, les valeurs de masse à l'âge (ou en fonction de la date) n'étaient fournies que sous forme de figure. Dans ce cas, la figure était numérisée à haute résolution et un logiciel d'extraction de coordonnées était utilisé pour obtenir la masse en fonction de l'âge. Ces jeux de données couvrent une grande gamme d'âge (49 à 1874 jours, ou 0.1 à 5.1 années) et de taille (0.3 à 5002 g).

La Figure 24 montre la masse moyenne à l'âge de loups tachetés provenant d'études islandaises ou norvégiennes. Après transformation logarithmique des deux variables, la relation entre la masse et l'âge apparaît bien modélisée par un modèle de type fonction de puissance :

$$\ln(M) = 2.637 \cdot \ln(A) - 10.9117 \quad (r^2 = 0.96) \quad (\text{Eq. 15})$$

Cependant, il est apparent sur l'échelle linéaire que cette relation devient inadéquate pour les poissons de plus de 1500 jours puisqu'elle ne permet pas un ralentissement de croissance chez les plus vieux poissons. Un tel ralentissement est la norme chez les poissons et il est par ailleurs observable avec les données d'Imstrand et al. (2009). À cet égard, la croissance encore rapide observée chez les loups de l'étude de Falk-Petersen et al. (1999), d'un âge similaire, est surprenante. Afin d'accommoder un ralentissement de croissance, nous avons aussi utilisé un modèle Gompertz (Ricker 1979).

$$M = 5373.6 \cdot e^{(-11.28, 0.997^A)} \quad (r^2 = 0.98) \quad (\text{Eq. 16})$$

Ce modèle montre effectivement un ralentissement de la croissance chez les loups de plus de 1000 j (Figure 24), mais souffre de l'absence de très gros loups dans le jeu de données, les plus grosses valeurs moyennes étant entre 5 et 6 kg alors que Falk-Petersen et al. (1999) rapporte que certains de leurs géniteurs pesaient 13 kg. L'asymptote estimée par le modèle (5,4 kg) est donc bien trop basse. De plus, ce modèle sous-estime la masse à l'âge pour les loups de moins de 500 g (Figure 25). À l'inverse, un modèle Gompertz modifié, où la masse asymptotique est fixée à 13 ou à 10 kg, surestime la masse des loups tachetés âgés de moins de 350 j (la version avec asymptote fixée à 10 kg est montrée aux Figures 19 et 20, les résultats étaient encore pire avec une asymptote fixée à 13 kg).

$$M = 13000 \cdot e^{(-5.98, 0.999^A)} \quad (r^2 = 0.96) \quad (\text{Eq. 17})$$

$$M = 10000 \cdot e^{(-6.27,0.999^A)} \quad (r^2 = 0.96) \quad (\text{Eq. 18})$$

Le modèle basé sur la fonction de puissance ainsi que le modèle Gompertz à trois paramètres (i.e. sans forcer la valeur de la masse asymptotique) serviront de référence pour les résultats obtenus à l'IML.

Les taux de croissance spécifiques pouvaient être calculés pour les données utilisées aux Figures 18 et 19. Ces SGR sont illustrés en fonction de l'âge (Figure 26) ou de la masse (Figure 27). La relation entre SGR et l'âge ou la masse a été calculée avec et sans les données des très jeunes loups (moins de 100 j ou ~2 g), car ces points auraient pu avoir une grande influence sur les régressions, étant à l'extrémité du jeu de données, et provenaient d'une figure peu précise. De plus, ces poissons étant très jeunes, il est possible que leur alimentation n'était pas encore très efficace. Les relations excluant les petits loups ont été préférées et sont :

$$\ln(\text{SGR}) = 7.813 - 1.369 \cdot \ln(A_{\text{median}}) \quad (r^2 = 0.83) \quad (\text{Eq. 19})$$

$$\ln(\text{SGR}) = 2.175 - 0.521 \cdot \ln(M_{\text{est}}) \quad (r^2 = 0.83) \quad (\text{Eq. 20})$$

où  $A_{\text{median}}$  et  $M_{\text{est}}$  sont l'âge médian, en jours, et la masse estimée, en g, respectivement, entre les deux pesées utilisées pour déterminer SGR.

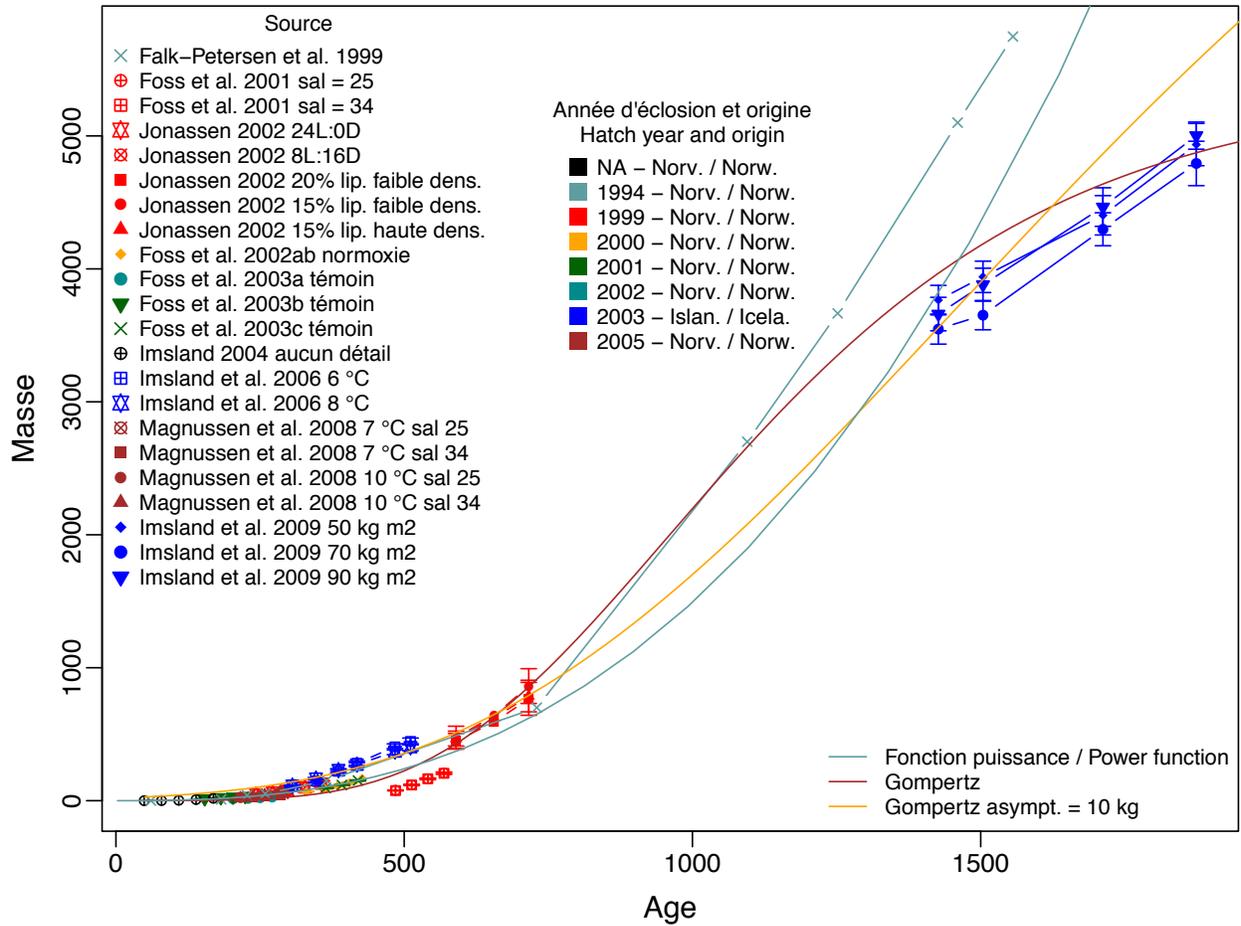


Figure 24. Masse à l'âge de loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise. La majorité de ces études portent sur la souche norvégienne. Les études d'Imstrand et al. (2006, 2009). Trois modèles de croissance sont montrés : un modèle utilisant une fonction de puissance, un modèle de Gompertz et un modèle de Gompertz où la taille asymptotique a été fixée à 10 kg. Barres d'erreur = erreur standard.

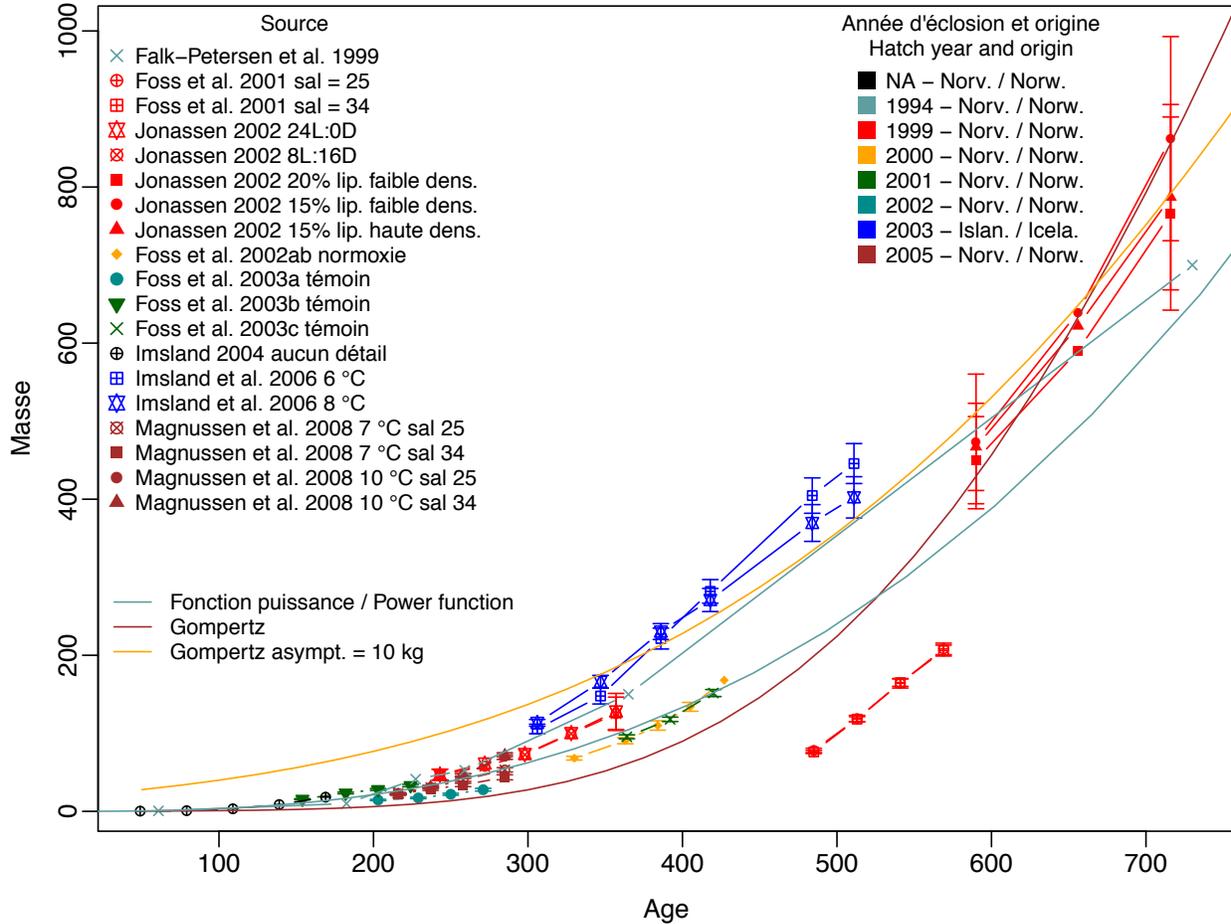


Figure 25. Masse à l'âge de loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise durant les premiers 750 j de croissance. Il s'agit des mêmes données et relations qu'à la Figure 24, mais les plus grandes tailles sont omises afin de mieux discerner les trois modèles de croissance pour la gamme de tailles obtenue dans la présente étude. Barres d'erreur = erreur standard.

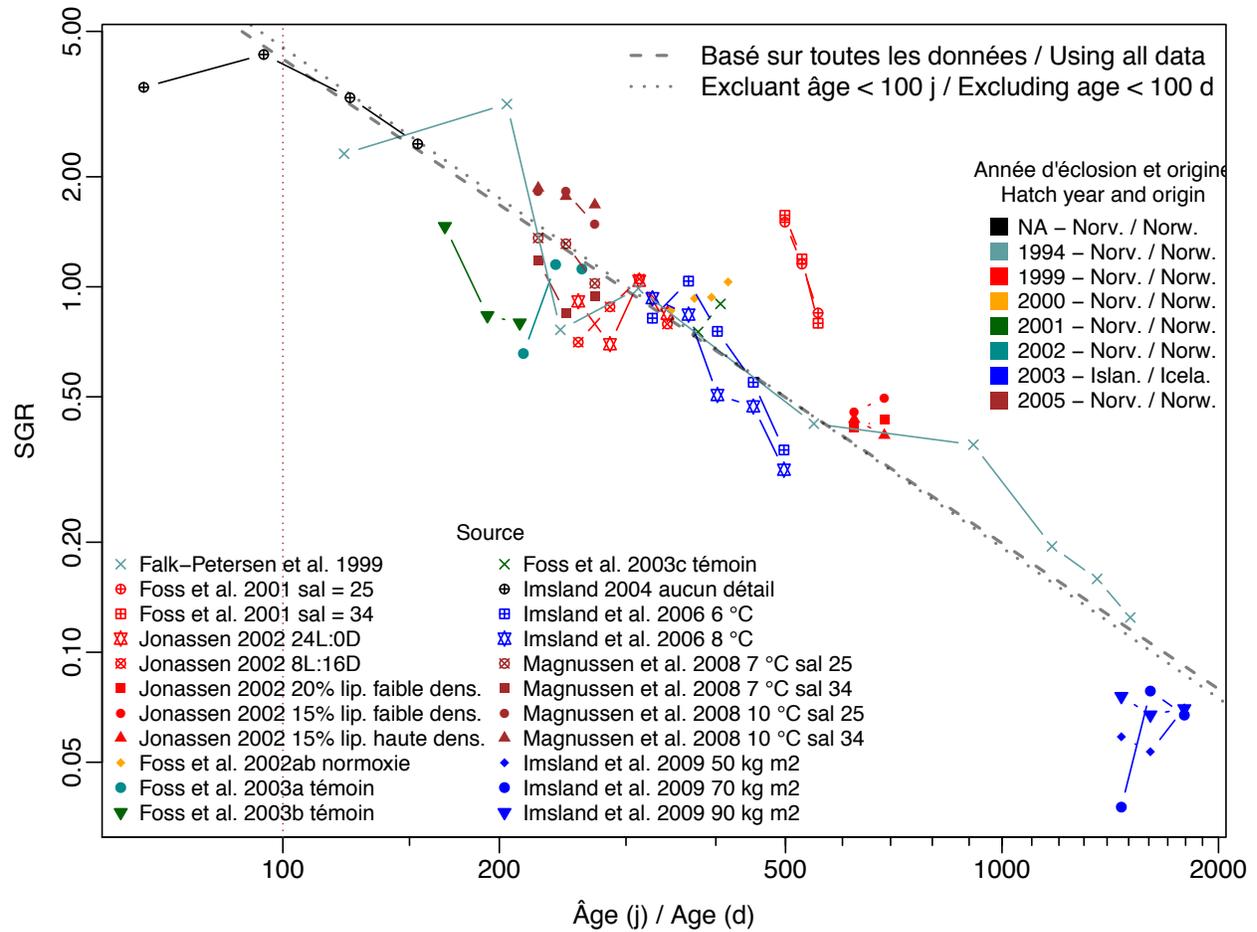


Figure 26. Relation entre le taux de croissance spécifique (SGR) et l'âge médian pour les loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise. Deux régressions sont calculées, une avec toutes les données disponibles et l'autre sans les données portant sur de très petits loups (moins de 100 j ou 2 g).

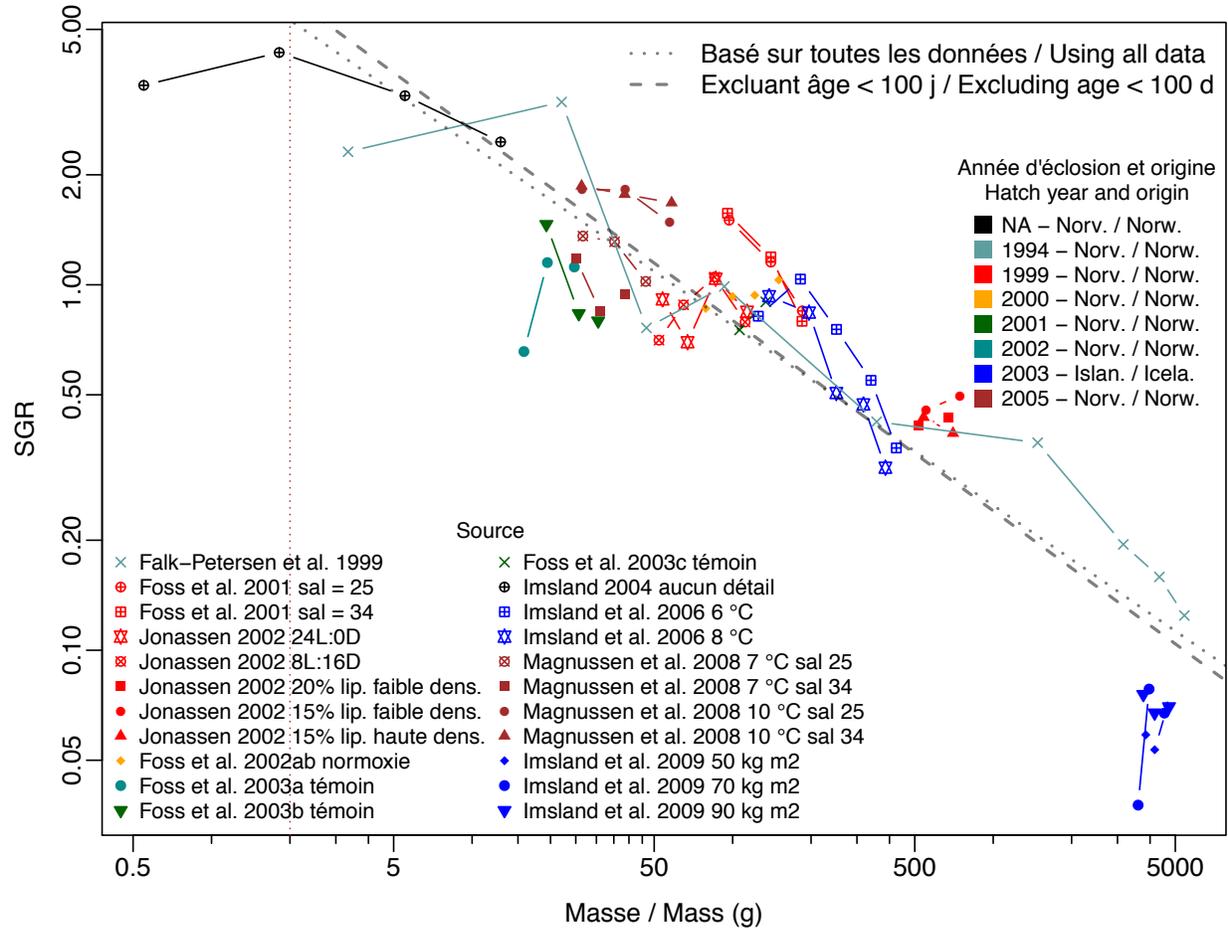


Figure 27. Relation entre le taux de croissance spécifique (SGR) et la masse estimée entre deux pesées, pour les loups tachetés de souche norvégienne ou islandaise. Deux régressions sont calculées, une avec toutes les données disponibles et l'autre sans les données portant sur les très petits loups (moins de 100 j ou 2 g).