



Reproduction artificielle, suivi du recrutement et premiers essais de cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) en 2012

2018

Nathalie Vachon

Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval

ENSEMBLE  
on fait avancer le Québec

Québec 

Comment citer :

VACHON, N. (2018). Reproduction artificielle, suivi du recrutement et premiers essais de cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) en 2012, Rapport technique 16-52, 33 p.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018

ISBN (version imprimée) : 978-2-550-80808-4

ISBN (PDF) : 978-2-550-80809-1

**Reproduction artificielle, suivi du recrutement et premiers
essais de cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré
(*Moxostoma hubbsi*) en 2012**

2018

Nathalie Vachon

Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la
Montérégie et de Laval

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Plusieurs personnes ont été impliquées dans la réalisation de ces activités de rétablissement et de suivi de la population.

Chargée de projet, coordination, analyse et rédaction : Nathalie Vachon¹

Capture des géniteurs dans le B-17 et préparation du site

Sylvain Desloges²
Claude Sirois¹
Mélicha Lamoureux¹
Huguette Massé¹

Ensemencements (larves et juvéniles)

Claude Sirois¹
Nathalie Vachon¹
Sandra Velásquez⁴
Nicholas Raymond⁴

Capture des géniteurs de chevalier cuivré en aval du barrage de Saint-Ours

Sylvain Desloges²
Claude Sirois¹

Développement de dilueurs pour la laitance

Paul Grondin³
Nathalie Vachon¹

Reproduction artificielle

Paul Grondin³
Huguette Massé¹
Nathalie Vachon¹
Sandra Velásquez⁴

Cryopréservation de la laitance

Paul Grondin³
Nathalie Vachon¹
Sandra Velásquez⁴

Soutien au projet de l'IML sous la supervision de Domynick Maltais⁵

Prélèvements

Claude Sirois¹
Sandra Velásquez⁴

Suivi du recrutement

Nicholas Raymond⁴
Nathalie Vachon¹
Claude Sirois¹
Sandra Velásquez⁴

Capture des chevaliers blancs

Guillaume Lemieux²

Identification des mulettes

Marie-Hélène Fraser¹

Désinfection des œufs

Mélicha Lamoureux¹

Élevage et transport

Personnel de la station piscicole de Baldwin-Coaticook

Travail de laboratoire, saisie et validation de données

Nicholas Raymond⁴
Sandra Velásquez⁴
Claude Sirois¹
Nathalie Vachon¹

Évaluation de la concentration spermatique, de la morphologie et de la motilité après congélation des spermatozoïdes

Sandra Velásquez⁴

Travaux d'aménagement de l'espace pour la cryopréservation

Sylvain Desloges²
Claude Sirois¹

Gestion et entretien de la banque de laitance

Sandra Velásquez⁴
Claude Sirois¹

Traitement de texte

Sophie Lebarbé

¹ MRN, Unité de gestion des ressources naturelles et de la Faune de Montréal-Montréal-Montréal.

² MRN, Direction de l'expertise Énergie-Faune-Forêts-Mines-Territoire de l'Estrie-Montréal-Montréal et de Laval-Lanaudière-Laurentides.

³ MRN, Direction de la faune aquatique à Québec.

⁴ COVABAR.

⁵ Institut Maurice-Lamontagne.

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE RÉALISATION	IV
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES ANNEXES	VI
AVANT-PROPOS	VII
RÉSUMÉ	VIII
1 INTRODUCTION	1
2 MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
2.1 Capture des chevaliers blanc, de rivière et cuivré	3
2.2 Reproduction artificielle et élevage à la station piscicole de Baldwin-Coaticook.....	3
2.3 Cryopréservation de la laitance	3
2.4 Ensemencement.....	4
2.5 Suivi du recrutement.....	4
3 RÉSULTATS	5
3.1 Capture de chevaliers à la passe migratoire Vianney-Legendre	5
3.2 Travaux avec l'Institut Maurice-Lamontagne (étude des PE)	5
3.3 Reproduction artificielle	5
3.4 Cryopréservation de la laitance	6
3.5 Ensemencements.....	9
3.6 Suivi du recrutement dans la rivière Richelieu	9
4 DISCUSSION	12
4.1 Capture, reproduction artificielle et étude des perturbateurs endocriniens	12
4.2 Cryopréservation de la laitance	14
4.3 Suivi du recrutement.....	15
5 CONCLUSION	16
RECOMMANDATIONS	17
SENSIBILISATION ET COMMUNICATIONS	19
REMERCIEMENTS	19
PARTENAIRES	19
ANNEXES	20
BIBLIOGRAPHIE	22
.....	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Développement embryonnaire précoce et larves viables et normales à l'éclosion de chevalier cuivré, issues d'une fécondation à l'aide de laitance cryopréservée réalisée le 10 juin 2012 à 10 h 48.....	8
Figure 2 : Distribution de fréquence en taille des jeunes chevaliers de l'année des cinq espèces capturées dans la rivière Richelieu en 2012.	13

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Motilité (taux et durée) des spermatozoïdes du chevalier cuivré après la congélation selon différentes techniques et médiums de congélation (concentration du cryoprotecteur et hauteur du radeau dans l'unité de congélation non considérées).	7
Tableau 2 : Répartition des larves et des fretins de chevalier cuivré aux différents sites d'ensemencement en 2012.....	10
Tableau 3 : Capture moyenne par unité d'effort (nombre/station) de jeunes chevaliers de l'année (toutes espèces confondues) dans les deux secteurs de la rivière Richelieu couverts par le suivi du recrutement en 2012.....	11
Tableau 4 : Croissance en taille (LT), en poids et abondance relative des jeunes chevaliers de l'année dans la rivière Richelieu en 2012.	11

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Lexique des principaux termes liés à la cryopréservation.....	20
---	----

AVANT-PROPOS

Ce rapport est une version révisée et mise à jour du livrable produit par l'entremise du financement obtenu du Programme du MPO sur les espèces en péril 2012-2013 pour le projet « Rétablissement du chevalier cuivré dans la rivière Richelieu » NO de référence A6016 ainsi que pour le financement obtenu de la Fondation de la Faune du Québec. Il fait également office de livrable pour le permis de recherche et collecte de l'agence Parcs Canada NO : CSO-2007-1114 ainsi que pour le permis en vertu de l'article 73 de la Loi sur les espèces en péril. Un premier rapport d'étape sommaire ainsi que des fichiers Excel ont déjà été remis au contractant en décembre 2012.



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada



Fondation de la faune du Québec

RÉSUMÉ

Le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) a été désigné menacé depuis 1999 en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables du Québec. Depuis 2004, l'espèce est considérée en voie de disparition et est légalement désignée comme telle en vertu de la Loi sur les espèces en péril du Canada (LEP) depuis 2007. Le soutien à la population par la reproduction artificielle ainsi que le suivi de la population sont des actions jugées hautement prioritaires dans le cadre des activités de rétablissement. L'évaluation du rôle possible des perturbateurs endocriniens (PE) dans les difficultés de reproduction du chevalier cuivré est également un objectif édicté dans les plans de rétablissement. Les travaux de 2012 touchent l'ensemble de ces volets auxquels s'ajoutent les premiers essais de cryopréservation (congélation) de la laitance du chevalier cuivré et de rivière, tel que cela a été recommandé en 2011. L'institut Maurice-Lamontagne (IML) s'est de nouveau joint à l'équipe de reproduction artificielle en vue de poursuivre l'évaluation de l'implication des perturbateurs endocriniens dans les difficultés de reproduction du chevalier cuivré. La capture de géniteurs de chevaliers blanc, de rivière et cuivré s'est déroulée principalement du 14 au 16 mai 2012 au Lieu historique national du Canal-de-Saint-Ours, plus précisément à la passe migratoire Vianney-Legendre et au bief aval du barrage de Saint-Ours. Au total, 17 chevaliers cuivrés, cinq femelles, 11 mâles (dont trois recaptures) et un immature, ont été manipulés en 2012. La reproduction artificielle a été réalisée du 10 au 20 juin et 37 familles ont été produites. Le nombre limité de femelles et l'arrivée tardive des mâles ont contribué à restreindre la diversité génétique de la progéniture produite par rapport à l'objectif annuel qui est de 100 familles. Quelque 353 000 larves ont étéensemencées le 4 juillet et environ 29 300 fretins ont été remis à l'eau le 14 septembre dans différents secteurs de la rivière Richelieu. Le prélèvement de mucus, de sang et de gonades a été poursuivi chez les chevaliers blancs et du mucus a pu être prélevé chez 14 chevaliers cuivrés. Le suivi du recrutement à la seine de rivage a été réalisé dans les secteurs de Saint-Marc et de Saint-Ours du 24 septembre au 9 octobre (65 stations). L'année 2012 a été une année d'abondance exceptionnelle et de forte croissance chez les jeunes chevaliers de l'année dans la rivière Richelieu. Toutes les espèces y ont été capturées dans les deux secteurs échantillonnés. Un grand nombre de jeunes chevaliers cuivrés de l'année ($n = 197$) ont été capturés, et ce, principalement dans le secteur de Saint-Marc. Aucun chevalier cuivré d'âge 1 + n'a été trouvé. Une telle abondance de jeunes chevaliers cuivrés de l'année ne peut s'expliquer autrement que par la très grande contribution des individus issus des ensemencements. La reproduction naturelle du chevalier cuivré en 2012 est probable, mais ne peut toutefois encore être confirmée étant donné que les analyses génétiques n'ont pas été réalisées. Les premiers essais de cryopréservation de la laitance effectués chez les chevaliers de rivière et cuivré ont été un succès. La fécondation d'ovules à l'aide de laitance cryopréservée a pu être réalisée chez les deux espèces, et l'éclosion de quelques larves normales et viables de chevalier cuivré produites par ces essais a pu être observée. Aux termes de ces essais, une banque de laitance de chevaliers cuivrés (9 individus) a été constituée et est disponible pour les prochaines années. Celle-ci permettra de maximiser le nombre de familles produites, de compenser un nombre insuffisant de mâles certaines années et contribuera à minimiser les effets d'un manque de synchronie dans l'arrivée des mâles et des femelles. Les activités de 2013 devraient inclure le perfectionnement des techniques de cryopréservation, un suivi plus exhaustif des fécondations et du développement des embryons produits par la laitance cryopréservée sous différents traitements en aménageant un système d'incubation sur place, et le développement d'une méthode efficace d'utilisation et de gestion de la banque de laitance.

1 INTRODUCTION

Le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) a été désigné menacé par le Comité sur le statut des espèces menacées de disparition au Canada (CSEMDC) en 1987 (Mongeau et coll., 1988), puis en 1999, en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables du Québec (La Haye et Huot, 1995). Depuis 2004, l'espèce est considérée en voie de disparition (COSEPAC 2004) et est légalement désignée comme telle en vertu de la Loi sur les espèces en péril du Canada (LEP) depuis 2007.

Considérant l'extrême rareté et précarité de cette espèce unique au monde, la population est soutenue par des activités de reproduction artificielle réalisées depuis 2004 par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Parallèlement, un suivi du recrutement des jeunes chevaliers de l'année est réalisé dans la rivière Richelieu depuis 1997. Cet échantillonnage est aujourd'hui retenu comme un indice de performance des mesures de conservation et de soutien à la population de chevalier cuivré, dont un suivi de l'efficacité des ensemencements.

Le soutien à la population de chevalier cuivré par la reproduction artificielle et le suivi de la population sont des actions jugées hautement prioritaires et sont reconduites dans le Programme de rétablissement en vertu de la LEP (MPO, 2012) ainsi que dans le prochain plan de rétablissement provincial 2011-2016 (Équipe de rétablissement du chevalier cuivré du Québec, 2012). Il en est de même des lacunes liées aux connaissances sur les habitats des juvéniles plus âgés (subadultes) qui ont été clairement répertoriées et qui demeurent des données d'importance pour assurer le succès du plan de reproduction artificielle et, ultimement, du rétablissement de l'espèce.

La reproduction artificielle vise à reconstituer le stock reproducteur de la seule population mondiale de chevalier cuivré. L'objectif est de produire et d'ensemencer annuellement 500 000 larves et 15 000 fretins appartenant à 100 familles. Cette action est réalisée en vertu d'un plan de reproduction génétique de la population (Bernatchez, 2004; Lippé et coll., 2006). Il s'agit de la huitième année d'un projet prévu initialement sur 10 ans dans le Plan de rétablissement du chevalier cuivré (2004-2008) (Équipe de rétablissement du chevalier cuivré, 2005).

Comme depuis les deux dernières années, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune collabore au projet de l'Institut Maurice-Lamontagne (IML) portant sur l'évaluation de l'implication des perturbateurs endocriniens (PE) dans les difficultés de reproduction du chevalier cuivré et de leurs effets chez de jeunes chevaliers cuivrés. En raison de son abondance, le chevalier blanc (*Moxostoma anisurum*) a été choisi comme espèce témoin pour cette étude. L'hypothèse a été soulevée pour la première fois par Gendron et Branchaud (1997) et a fait l'objet de travaux de laboratoire grâce à des spécimens issus des premiers essais de reproduction artificielle et conservés en captivité au Biodôme (Maltais et Roy, 2007, 2009). La contamination et les PE constituent une menace documentée dans le rapport de situation du COSEPAC (2004) avec un niveau de préoccupation élevé selon le programme de rétablissement. Cette étude constitue une finalité permettant de vérifier l'hypothèse sur des géniteurs de la rivière Richelieu et de développer nos connaissances sur leurs effets au cours des premiers stades de vie.

Ces travaux touchent trois des cinq objectifs définis dans le programme de rétablissement du chevalier cuivré en vertu de la LEP (MPO, 2012) ainsi que trois des cinq stratégies adoptées dans le quatrième plan de rétablissement du chevalier cuivré provincial 2011-2016 (Équipe de rétablissement du chevalier cuivré du Québec, 2012). Ces documents sont préparés conjointement et visent le même but, soit d'atteindre une population de 4 000 individus matures en 20 ans. Pour y parvenir, cinq objectifs ont été définis et plusieurs actions en découlent (présentées sous forme de puces).

OBJECTIF 1. AMÉLIORER LES CONDITIONS D'HABITAT REQUISES POUR L'ENSEMBLE DES ÉTAPES DU CYCLE VITAL NÉCESSAIRE À LA SURVIE ET AU RÉTABLISSEMENT DU CHEVALIER CUIVRÉ.

Les conditions propices pour soutenir l'atteinte de la cible de rétablissement seront principalement dirigées vers des mesures visant :

Objectif 1B : L'amélioration de la qualité de l'eau et des habitats, dans le bassin versant de la rivière Richelieu et du fleuve Saint-Laurent, afin que la reproduction et la croissance puissent s'effectuer normalement.

- Poser un diagnostic sur le rôle possible des perturbateurs endocriniens dans les difficultés de reproduction du chevalier cuivré (féminisation, hermaphrodisme, etc.).

OBJECTIF 2. SOUTENIR LA POPULATION DE CHEVALIERS CUIVRÉS, GRÂCE À L'ENSEMENCEMENT, JUSQU'À CE QUE LA REPRODUCTION NATURELLE PERMETTE LE MAINTIEN DE LA POPULATION À LONG TERME.

- Développer un dilueur propre à la préservation du sperme du chevalier cuivré.
- Développer un indice de contribution des géniteurs au plan de reproduction artificielle depuis le début des opérations.
- Réaliser la caractérisation génétique ainsi que des analyses d'assignation parentale de tous les géniteurs utilisés dans le cadre de la reproduction artificielle.

OBJECTIF 5. RÉALISER UN SUIVI RÉGULIER DE L'ÉTAT DE LA POPULATION.

- Réaliser annuellement le suivi du recrutement des jeunes chevaliers de l'année dans la rivière Richelieu.
- Effectuer la caractérisation génétique ainsi que des analyses d'assignation parentale de tous les chevaliers cuivrés récoltés lors de tous les échantillonnages effectués dans l'aire de répartition.
- Évaluer le succès de reproduction naturelle dans la rivière Richelieu à partir de la caractérisation génétique.

En 2012, les travaux de recherche de subadultes ont été suspendus afin de concentrer nos efforts sur les premiers essais de cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré dans le but de remédier au déficit en mâles observé depuis plusieurs années. Ces travaux avaient été hautement recommandés à la suite du bilan des activités de reproduction artificielle qui avait été dressé en 2011.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Capture des chevaliers blanc, de rivière et cuivré

La capture de chevaliers blancs pour le projet de l'IML (perturbateurs endocriniens) au moyen de la cage de la passe migratoire a été faite en mai au même moment où s'effectuaient d'autres travaux de recherche sur le site. L'étude sur l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*), amorcée en 2010, s'est poursuivie pour une troisième année en 2012. Ces travaux impliquaient le déploiement de filets maillants (mailles 8-10-12 po) au bief aval du barrage de Saint-Ours. La cage de la passe migratoire a été manipulée par le personnel de ces équipes et du ministère en avril et en mai (à raison de deux levées par jour), sans interruption (en mai), jusqu'à l'arrivée de l'équipe de reproduction artificielle qui a pris la relève du 28 mai au 20 juin pour la capture de chevaliers de rivière et cuivré. Les pêches visant la capture de géniteurs de chevalier cuivré à l'aide d'un filet maillant placé dans le bassin d'entrée de la passe migratoire (B17) ont débuté le 28 mai et se sont poursuivies jusqu'au 19 juin. Des efforts supplémentaires, par le personnel du ministère, sous haute surveillance, ont été déployés sur les sites de fraye au moyen de filets maillants (maille de 4 et 5 po) installés au bief aval du barrage de Saint-Ours du 11 au 20 juin. Durant cette période, une journée de pêche (14 juin) a été consacrée aux rapides du Bassin de Chambly. Aucun effort de pêche n'a été déployé les 3 et 4 juin.

2.2 Reproduction artificielle et élevage à la station piscicole de Baldwin-Coaticook

Les activités ont été réalisées suivant les méthodes habituelles du ministère qui comprennent, entre autres, la garde en captivité des géniteurs, l'induction hormonale ainsi que la désinfection des œufs par traitement, lors du durcissement, dans l'Ovadine. Chaque chevalier cuivré fait l'objet d'un prélèvement de tissu aux fins d'analyses génétiques. Les œufs ont été transportés à la station piscicole de Baldwin-Coaticook pour y être incubés et les neuf étangs d'élevage ont été mis en charge pour y élever les fretins jusqu'à l'automne. Le suivi de la température de l'eau durant les activités a été assuré par un thermographe installé dans un des bassins de rétention des géniteurs. Les données étaient enregistrées sans interruption toutes les heures.

2.3 Cryopréservation de la laitance

Une ébauche de protocole a été préparée à la lumière d'une vaste revue de la littérature (Grondin, 2012). Des travaux ont été réalisés, à même le site où se font les activités de reproduction artificielle, pour y aménager un espace fermé et climatisé afin d'effectuer les manipulations de cryopréservation de la laitance. Quelques essais préliminaires ont été effectués sur des chevaliers de rivière afin de se familiariser avec les manipulations. Cette opération préalable, essentielle aux développements techniques, a requis notre présence plus tôt sur le terrain pour capturer et préparer les géniteurs (induction hormonale). Un lexique comprenant les principaux termes liés à la cryopréservation est présenté à l'Annexe 1.

Les travaux menés de 2006 à 2009 avaient permis de développer des dilueurs performants et adaptés au chevalier cuivré, de déterminer les dilutions optimales pour leur utilisation (1:3) et de permettre la conservation de la laitance pendant plusieurs jours au réfrigérateur sur eau glacée. Le Rathbun (RATH), de Moore (1997) et le HBSS, tous deux modifiés pour le chevalier cuivré, ont été retenus pour les essais de cryopréservation. Le méthanol a été utilisé comme cryoprotecteur et des tests préalables de toxicité de 45 minutes ont été effectués à différentes concentrations (7,5 % à 15 %). Les échantillons de laitance de chaque poisson ont été examinés pour en déterminer les caractéristiques : l'aspect, la coloration, le volume, la concentration

(chambre hématimétrique de Neubauer et comptage sous microscope à 400x) et finalement la morphologie (coloration ésoine-nigrosine et examen d'au moins 200 spermatozoïdes par lame sous microscope à 1 000x). Ces deux dernières analyses ont été réalisées au laboratoire après les activités sur le terrain.

Avant l'immersion complète dans l'azote liquide, les échantillons doivent préalablement être congelés dans la vapeur d'azote liquide pendant 15 à 20 minutes. Deux méthodes de congélation ont été testées en 2012, soit l'unité de congélation avec un radeau flottant sur l'azote liquide dont la hauteur est ajustable et le contenant de conservation à sec au LN₂ (*dry-shipper*). Des paillettes de 0,5 ml et des macrotubes de 2,5 ml ont été utilisés pour contenir la laitance. Les paillettes ont été scellées avec de la poudre de polyvinyle, alors que les billes métalliques ont été utilisées pour fermer les macrotubes.

Tous les essais de cryopréservation ont été réalisés avec une part de sperme dans trois parts de RATH modifié, le dilueur le plus performant pour le chevalier cuivré, et différentes concentrations de méthanol (cryoprotecteur). Quelques paillettes ont aussi été préparées en utilisant le dilueur HBSS et le méthanol comme cryoprotecteur. Un bain d'eau contrôlé à 37°C a été utilisé pour la décongélation des paillettes (environ 8 secondes) et des macrotubes (environ 47 secondes). La motilité a été évaluée après 24 heures à cinq mois de cryopréservation.

Trois tests de fécondation ont été effectués avec des paillettes décongelées qui avaient été préparées dans deux concentrations de cryoprotecteur (méthanol : 10 % et 12,5 %) et congelées selon les deux techniques. Dans tous les cas, un échantillon témoin d'œufs fécondés par de la laitance diluée dans le RATH (1:3) et réfrigérée sur eau glacée (≈1 °C) a été examiné en parallèle. Pour ces tests, 5 ml d'ovules ont été fécondés par 1,5 ml de laitance cryopréservée ou 0,5 ml de laitance réfrigérée. Pour remédier à la fragilité des spermatozoïdes décongelés, l'activation a eu lieu en présence d'un dilueur de motilité. Pour chacun des échantillons, les taux de fécondation et d'embryons normaux, dont les clivages comportent au moins 16 à 32 cellules, ont été déterminés.

2.4 Ensemencement

Les ensemencements ont été réalisés le 4 juillet (larves) et le 14 septembre (fretins) en embarcation dans les secteurs de Saint-Marc et de Saint-Ours (rivière Richelieu) déterminés par le ministère.

2.5 Suivi du recrutement

Le suivi du recrutement des chevaliers a été réalisé du 24 au 26 septembre dans le secteur de Saint-Ours (25 stations) et les 1^{er}, 2, 4, 5 et 9 octobre dans le secteur de Saint-Marc (40 stations), selon les techniques du ministère décrites dans (Vachon, 1999ab, 2002, 2010). Des coquilles de mulettes mortes ont été collectées au hasard et non systématiquement à quelques stations durant les travaux de terrain. Du tissu a été prélevé chez les jeunes chevaliers cuivrés et conservé dans l'éthanol 95 % aux fins d'analyses génétiques ultérieures.

3 RÉSULTATS

3.1 Capture de chevaliers à la passe migratoire Vianney-Legendre

Le filet, installé dans le bassin d'entrée de la passe migratoire a été déployé durant 21 jours (142 heures/filet) à partir du 28 mai. La cage de capture de la passe Vianney-Legendre a été levée deux fois par jour à partir de cette date (sauf les 2 et 3 juin pour ces deux engins). Du 11 au 20 juin, des efforts supplémentaires pour la capture de géniteurs ont été consacrés au bief aval du barrage de Saint-Ours à l'exception du 14 juin où l'équipe a réalisé ses travaux au Bassin de Chambly (effort total : 294,5 heures/filet). Les captures de chevaliers cuivrés se sont échelonnées du 4 au 17 juin, dont six uniquement le 16 juin. Neuf des dix-sept chevaliers cuivrés ont été capturés par l'équipe déployée sur l'eau qui pêchait au bief aval du barrage de Saint-Ours. Les autres ont été trouvés dans le filet installé dans le B-17.

Avant l'arrivée des chevaliers cuivrés, quelques chevaliers de rivière ont été gardés en captivité dans le but de réaliser les essais préliminaires de cryopréservation de la laitance. Ces individus ont été soumis au même protocole d'induction et de manipulations que le chevalier cuivré. Au total, 17 chevaliers cuivrés ont été manipulés : 11 mâles, cinq femelles et un immature (LT = 509 mm). Trois chevaliers cuivrés sont des recaptures, tous des mâles, et ont été de nouveau utilisés comme géniteurs. Le mâle 4155 avait été utilisé lors des activités de reproduction de 2009, alors que les mâles 1B60 et 5762 avaient été capturés en 2007, puis relâchés sans avoir participé aux activités de reproduction artificielle.

Quelque 864 heures/filet ont été effectuées dans le cadre du projet sur l'esturgeon jaune du 17 au 19 avril, du 24 au 27 avril, ainsi que les 2, 3 et 9 mai. La cage de la passe migratoire a été manipulée par le personnel de cette équipe les 18, 19 et 25 avril ainsi que le 9 mai. La cage a également été levée à d'autres occasions en avril et quotidiennement en mai par d'autres équipes et du personnel du ministère. L'effort total ne peut toutefois pas être compilé avec précision. Ces travaux n'ont engendré aucune capture de chevalier cuivré.

3.2 Travaux avec l'Institut Maurice-Lamontagne (étude des PE)

Les prélèvements (prise de sang, prélèvement de mucus et de gonades pour histologie) sur les chevaliers blancs ont pu être achevés. Les mâles manquaient à l'appel depuis les deux dernières années. En 2012, des échantillons ont été collectés sur 21 mâles et 20 femelles. Du mucus a pu être prélevé chez tous les géniteurs mâles de chevalier cuivré ($n = 11$) et la plupart des femelles ($n = 3$) ainsi que sur le chevalier cuivré immature aux fins de dosage de vitellogénine (VTG) par l'équipe de l'IML. Les échantillons sont en cours d'analyse.

Toutes les structures (opercules, appareil pharyngien, otolithes et *cleithra*) des chevaliers blancs qui ont fait l'objet de prélèvements en juin 2012 ainsi que les gonades des chevaliers blancs et des plus petits spécimens capturés au cours du suivi du recrutement 2012 ont été prélevées et préparées. Les échantillons recueillis lors du suivi du recrutement se sont ajoutés à ce qui avait été prévu et ont été envoyés à l'IML aux fins d'analyses histologiques.

3.3 Reproduction artificielle

La reproduction artificielle a pu être réalisée avec les 11 mâles et les cinq femelles. La première femelle a frayé le 10 juin, ce qui constitue la date la plus hâtive jamais observée lors des travaux de reproduction artificielle qui se sont terminés tôt, soit le 20 juin. Celle-ci avait été capturée le 4 juin. En l'absence de mâle, un délai de 48 heures s'est écoulé avant la première induction. Le premier mâle a été capturé le 8 juin et il a été possible de procéder à la fécondation des ovules

de cette première femelle. En 2012, la qualité des gamètes était, en général, très bonne, sinon excellente, et ce, tant chez les mâles que chez les femelles. Environ 425 700 ovules ont été fécondés et ont produit quelque 414 700 embryons normaux répartis en 37 familles. Les taux de fécondation ont été de 100 % et d'embryons normaux, de 99-100 %, sauf pour une femelle chez laquelle ces taux étaient respectivement de 84 % et de 66 %. Tous les géniteurs manipulés ont été remis à l'eau et étaient vigoureux à la fin des opérations.

3.4 Cryopréservation de la laitance

A) Caractéristiques de la laitance avant la congélation

Le taux et la durée de motilité moyens enregistrés dans la laitance fraîche du chevalier cuivré étaient de 98,1 % pendant 11,7 secondes et la concentration moyenne de $1,01 \times 10^{10}$ spermatozoïdes/ml. Le volume moyen de laitance ayant pu être prélevé est de 18,3 ml. L'examen morphologique des spermatozoïdes des chevaliers cuivrés révèle que près de 40 % présentent des anomalies, surtout aux flagelles, la plupart étant des anomalies de flagelles pliées (pathologie mineure ne nuisant pas à la fécondation). Chez le chevalier de rivière, la motilité moyenne mesurée dans les échantillons de laitance fraîche était légèrement inférieure, soit de 93,6 %, 7,6 secondes, mais la concentration moyenne était deux fois supérieure ($2,13 \times 10^{10}$ spermatozoïdes/ml).

B) Effet de l'induction sur la production spermatique

Une augmentation de la concentration spermatique de l'ordre de 1,3 à 2,5 fois a été mesurée chez 50 % des mâles après la première induction et chez 25 % des individus après le second traitement hormonal. De 24 à 48 heures après l'induction, la libération de la laitance est facilitée et les volumes des éjaculats augmentent considérablement. La comparaison de la morphologie avant et après le traitement hormonal ne révèle pas de différence significative.

C) Tests de toxicité du cryoprotecteur

Les tests de toxicité avec le méthanol ont confirmé que les spermatozoïdes des chevaliers de rivière et cuivré tolèrent bien ce cryoprotecteur, même aux concentrations les plus élevées. De façon générale, par rapport aux valeurs moyennes mesurées dans la laitance fraîche du chevalier cuivré, l'ajout de méthanol aux concentrations testées entraîne une légère diminution du taux et de la durée de la motilité des spermatozoïdes de l'ordre de 5 à 15 % et de 2 à 7 secondes. Après 45 minutes dans le méthanol, le taux de motilité moyen était de 85,3 % et la durée moyenne de 7 secondes. Initialement, ces valeurs variaient de 75 % à 100 % et de 7 à 11 secondes.

D) Caractéristiques de la laitance après la congélation

Même si les comparaisons ne sont pas toujours possibles entre les différents traitements, du fait que le nombre d'échantillons disponibles après la cryopréservation est limité pour certains paramètres (médium, concentration, méthode, hauteur du radeau), les résultats des premiers essais de 2012 permettent de faire ressortir plusieurs éléments pour orienter les activités des prochaines années.

Des motilités moyennes variant de 13,6 % à 24,5 % pour une durée de 4,6 à 8,0 secondes ont été mesurées dans la laitance de chevalier cuivré après la congélation selon différentes techniques (Tableau 1). Les derniers échantillons (≈ 10 paillettes de traitements différents) examinés, décongelés après 150 jours (2 octobre 2012), présentaient des taux et une durée de motilité variant de 15 à 40 % et de 7 à 8 secondes.

Tableau 1 : Motilité (taux et durée) des spermatozoïdes du chevalier cuivré après la congélation selon différentes techniques et médiums de congélation (concentration du cryoprotecteur et hauteur du radeau dans l'unité de congélation non considérées).

Technique	Médium	Nombre d'échantillons	Taux (%)				Durée (seconde)			
			Moy	Min	Max	σ	Moy	Min	Max	σ
Contenant de conservation à sec au LN ₂ (<i>dry-shipper</i>)	Macrotube	9	18,3	10,0	25,0	5,0	8,0	5,0	10,0	1,8
	Paillette	66	17,5	0,0	45,0	12,5	4,6	0,0	8,0	2,2
Unité de congélation	Macrotube	25	13,6	5,0	25,0	5,3	6,3	3,0	10,0	2,1
	Paillette	37	24,5	0,0	50,0	12,1	6,9	0,0	10,0	2,6

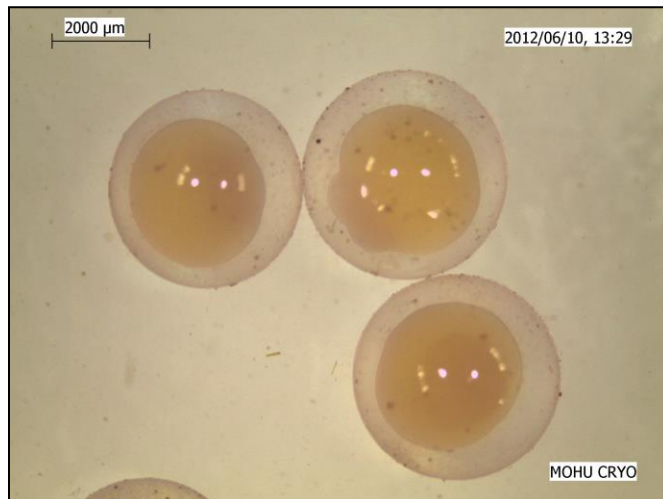
Les meilleures performances sur le plan de la motilité ont été enregistrées dans les concentrations du cryoprotecteur de 10 % et 11 %. Très peu de spermatozoïdes résistaient à la cryopréservation à une concentration de méthanol de 7,5 % alors que, même si les motilités étaient comparables aux concentrations variant de 10 % à 12,5 %, les proportions d'anomalies étaient plus élevées après la congélation aux concentrations plus élevées (12,5 % et 15 %). Les quelques essais de cryopréservation réalisés dans le contenant de conservation à sec au LN₂ dans des paillettes préparées à 10 %, en utilisant le HBSS (1:3) comme dilueur, montrent que ce dernier est moins performant que le RATH.

Après la congélation, une augmentation significative de la proportion et de la prévalence des pathologies (surtout majeures) de la tête (macrocéphalie et tête dégénérée) et du flagelle (absence ou divisé) a été mise en évidence chez le chevalier cuivré. Cette proportion, toutes pathologies confondues, est passée de près de 40 % (frais) à 54 % après la congélation. La comparaison du taux d'anomalies ne révèle pas de différence significative entre les paillettes et les macrotubes congelés dans le contenant de conservation à sec au LN₂ préparés à des concentrations de 10 % et 11 %. Dans l'unité de congélation, des proportions plus élevées et significatives ($p < 0,05$) de pathologies de la tête (macrocéphalie et tête dégénérée) ont été enregistrées dans les paillettes par rapport aux macrotubes préparés à 10 %.

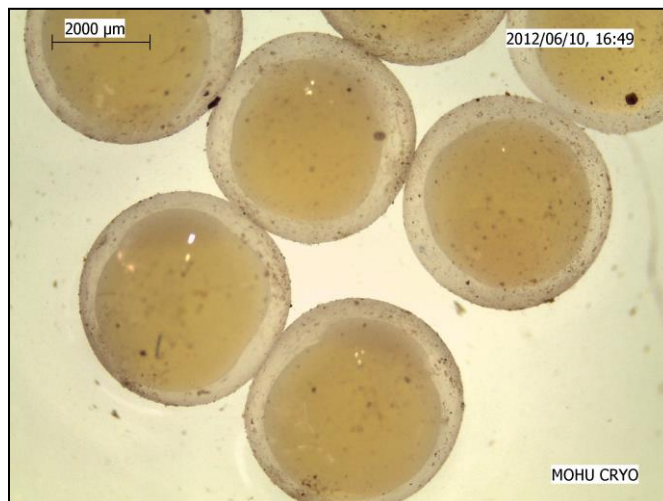
E) Tests de fécondation

Des taux de fécondation de 100 % ont été enregistrés dans les trois traitements soumis aux tests de fécondation : RATH 1:3 + méthanol 10 % dans l'unité de congélation; RATH 1:3 + méthanol 12,5 % dans l'unité de congélation et le RATH 1:3 + méthanol 12,5 % dans le contenant de conservation à sec au LN₂. Le taux d'embryons normaux s'est avéré également très élevé, variant de 78 à 99 % dans ces deux concentrations du cryoprotecteur et pour les deux techniques de congélation. Des résultats similaires avaient été observés lors du test de fécondation réalisé chez le chevalier de rivière. Aux termes de ces essais, quelques larves de chevalier cuivré normales et viables produites à l'aide de laitance cryopréservée ont éclos cinq jours après la fécondation bien que les installations ne nous permettent pas d'incuber les œufs dans les meilleures conditions. La Figure 1 présente quelques images du développement embryonnaire précoce et de deux larves de chevalier cuivré issues d'une fécondation à l'aide de laitance cryopréservée (photos prises sous loupe binoculaire Leica EZ4HD).

Figure 1 : Développement embryonnaire précoce et larves viables et normales à l'éclosion de chevalier cuivré, issues d'une fécondation à l'aide de laitance cryopréservée réalisée le 10 juin 2012 à 10 h 48. Photos : Sandra Velásquez.



+ 2 h 40 (≈2 à 4 cellules)



+ 6 h (≈32-64 cellules)



+ 5 jours : éclosion

3.5 Ensemencements

Quelque 353 000 larves ont étéensemencées le 4 juillet et environ 29 300 fretins, élevés à la station piscicole de Baldwin-Coaticook ont été relâchés le 14 septembre, dans différents secteurs de la rivière Richelieu. Comme dans les années antérieures, une perte négligeable a été enregistrée lors de ces opérations. La croissance en étang, à la station piscicole de Baldwin-Coaticook, a été exceptionnelle en 2012. La taille (longueur totale) des fretins de chevalier cuivré relâchés variait de 50 à 60 mm et le poids moyen était de l'ordre de 2 g. À titre comparatif, la taille (LT) des spécimens remis à l'eau en 2009 variait de 20 à 50 mm (Vachon, 2010). Cette croissance accélérée s'explique par les conditions estivales favorables ainsi qu'à certaines modifications apportées au protocole d'élevage (M. Lessard, directeur de la station piscicole de Baldwin-Coaticook, comm. pers.). La taille des jeunes chevaliers cuivrés indigènes à cette période de l'année est généralement inférieure à 50 mm et varie le plus souvent de 36 à 42 mm (Vachon, 1999ab, 2002, 2007). Les détails sur la répartition des larves et des fretins ensemencés dans les différents secteurs sont présentés dans le Tableau 2.

3.6 Suivi du recrutement dans la rivière Richelieu

Chevaliers

Le suivi du recrutement des chevaliers a été réalisé du 24 au 26 septembre dans le secteur de Saint-Ours (25 stations) et les 1^{er}, 2, 4, 5 et 9 octobre dans le secteur de Saint-Marc (40 stations). L'année 2012 est une année exceptionnelle quant au nombre de poissons capturés, toutes espèces confondues, y compris les jeunes chevaliers de l'année, ce qui a considérablement prolongé les étapes suivantes du projet (travaux de laboratoire, saisie et validation des données).

À Saint-Marc, de jeunes chevaliers de l'année (toutes espèces) ont été trouvés à toutes les stations, alors qu'à Saint-Ours ils ont été trouvés à 23 des 25 stations. Il s'agit des plus fortes fréquences de stations positives jamais observées. En tout, 4 053 jeunes chevaliers de l'année ont été capturés, dont 95 % uniquement dans le secteur de Saint-Marc. Ces captures représentent des captures moyennes par unité d'effort (CPUE), dans le secteur de Saint-Marc, de 96,4 jeunes chevaliers de l'année par coup de seine et de 7,8 dans le secteur de Saint-Ours. Comme dans les années antérieures, les herbiers littoraux entourant les îles Jeannotte et aux Cerfs ainsi que la rive gauche de la rivière du secteur de Saint-Marc sont plus productifs que la rive droite, alors que les écarts ne sont pas aussi prononcés dans le secteur situé en aval du barrage de Saint-Ours (Tableau 3). Aucun chevalier cuivré 1 + et plus âgé n'a été capturé lors de ces travaux.

Toutes les espèces de chevaliers ont été capturées dans le cadre du suivi du recrutement. Parmi les jeunes de l'année, les chevaliers rouge et jaune sont les deux espèces les plus abondantes et représentent près de 88 % des captures. L'abondance relative des différentes espèces varie toutefois d'un secteur à l'autre. Dans le secteur de Saint-Ours, les chevaliers rouge, blanc et de rivière sont dans l'ordre les espèces les mieux représentées, alors que seulement quatre chevaliers jaunes et deux chevaliers cuivrés y ont été trouvés. Dans le secteur de Saint-Marc, l'espèce dominante est le chevalier rouge suivi du chevalier jaune et du chevalier cuivré (n = 193) et de rivière (n = 191). Seulement 28 chevaliers blancs ont été capturés dans le secteur de Saint-Marc. Sur le plan de l'abondance relative, les chevaliers cuivrés représentent 5,0 % des jeunes de l'année dans le secteur de Saint-Marc et 2,0 % dans le secteur de Saint-Ours. Enfin, l'identification de huit jeunes chevaliers de l'année sera confirmée par la génétique. Soulignons toutefois qu'il s'agit davantage de spécimens présentant des caractères atypiques et qu'il est peu probable que ces derniers soient des chevaliers cuivrés (Tableau 4).

Tableau 2 : Répartition des larves et des fretins de chevalier cuivré aux différents sites d'ensemencement en 2012.

Site	Lieu	Municipalité	Nombre de larves (4 juillet)	Nombre de fretins (14 septembre)
1	Pont de l'autoroute 10 (sous le pont en rive droite)	Saint-Jean	5 000	300
2	Du quai en rive droite	Saint-Mathias	5 000	5 024
3	De part et d'autre de la rampe municipale en rive gauche	Saint-Basile	7 500	2 500
4	McMasterville (descente publique)	McMasterville	5 000	2 500
5A	Pont de l'autoroute 20 (en aval en rive gauche)	Beloeil	10 000	2 000
5B	Pont de l'autoroute 20 (en aval en rive droite)	Beloeil	0	0
5C	En aval du pont du CN Beloeil en rive gauche	Beloeil	0	0
6A	Saint-Marc en rive gauche en amont du secteur du suivi du recrutement	Saint-Marc	0	2 000
6B	Saint-Marc en rive gauche secteur des stations 20,5G à 4G	Saint-Marc	27 000	1 500
6C	Saint-Marc en rive gauche secteur des stations 8G à 23G	Saint-Marc	18 000	2 500
7A	Île aux Cerfs (côté rive gauche)	Saint-Charles	54 000	3 000
7B	Île Jeannotte (côté rive gauche)	Saint-Charles	81 000	4 000
8A	Aval du barrage Saint-Ours (rive droite) secteur des stations 81D et 82D	Saint-Ours	35 125	2 000
8B	Aval du barrage Saint-Ours (rive droite) secteur des stations 87Det 88D	Saint-Ours	35 125	0
9A	Aval du barrage Saint-Ours (rive gauche) secteur des stations 82G et 83G	Saint-Roch	35 125	2 000
9B	Aval du barrage Saint-Ours (rive gauche) secteur des stations 91G et 92G	Saint-Roch	35 125	0
TOTAL			353 000	29 324

Tableau 3 : Capture moyenne par unité d'effort (nombre/station) de jeunes chevaliers de l'année (toutes espèces confondues) dans les deux secteurs de la rivière Richelieu couverts par le suivi du recrutement en 2012.

Secteur	Rive	Nombre de stations	Effectif	Moy	CPUE		
					Min	Max	σ
Saint-Marc	Droite	16	407	25,4	1	82	25,5
	Gauche	16	1 301	81,3	5	308	81,8
	Île	8	2 149	268,6	4	856	309
	TOTAL	40	3 857	96,4	1	856	167,9
Saint-Ours	Droite	12	108	9	0	37	11,7
	Gauche	13	88	6,8	0	13	5,1
	TOTAL	25	196	7,8	0	37	8,8
GLOBAL		65	4 053	62,4	0	856	138,2

Tableau 4 : Croissance en taille (LT), en poids et abondance relative des jeunes chevaliers de l'année dans la rivière Richelieu en 2012.

Secteur	Espèce	Effectif	Longueur totale (mm)				Poids (g)				Abondance relative
			Moy	Min	Max	σ	Moy	Min	Max	σ	
Tous secteurs	Chevalier blanc	68	81,6	62,5	111,0	8,0	6,4	2,2	14,7	2,2	1,7 %
	Chevalier rouge	2 224	79,8	51,5	108,0	8,0	4,8	0,9	11,9	1,8	54,9 %
	Chevalier jaune	1 334	62,4	39,0	90,0	7,0	2,3	0,4	6,6	0,8	32,9 %
	Chevalier de rivière	222	70,0	55,0	85,0	5,7	3,0	1,4	6,4	0,8	5,5 %
	Chevalier cuivré	197	58,2	38,0	73,0	6,4	1,6	0,4	3,1	0,6	4,9 %
	Chevalier sp.	8	65,1	53,1	72,0	6,3	2,3	1,1	3,0	0,6	0,2 %
GLOBAL		4 053									100 %
Saint-Marc	Chevalier blanc	28	82,6	65,0	111,0	10,2	6,8	2,3	14,7	2,8	0,7 %
	Chevalier rouge	2 105	80,1	54,0	107,0	7,9	5,0	1,1	11,9	1,8	54,6 %
	Chevalier jaune	1 332	62,4	39,0	90,0	7,0	2,3	0,4	6,6	0,8	34,5 %
	Chevalier de rivière	191	70,5	55,0	85,0	5,5	3,0	1,4	6,4	0,8	5,0 %
	Chevalier cuivré	193	58,4	38,0	73,0	6,3	1,7	0,4	3,1	0,5	5,0 %
	Chevalier sp.	8	65,1	53,1	72,0	6,3	2,3	1,1	3,0	0,6	0,2 %
TOTAL		3 857									100 %
Saint-Ours	Chevalier blanc	40	80,9	62,5	92,0	6,2	6,1	2,2	9,9	1,7	20,4 %
	Chevalier rouge	119	75,0	51,5	108,0	8,2	3,4	0,9	9,6	1,2	60,7 %
	Chevalier jaune	2	60,3	59,5	61,0	1,1	1,8	1,7	1,9	0,1	1,0 %
	Chevalier de rivière	31	66,5	56,0	79,0	5,9	2,5	1,4	4,2	0,7	15,8 %
	Chevalier cuivré	4	50,8	45,0	60,5	7,0	1,1	0,7	1,6	0,4	2,0 %
	TOTAL	196									100 %

Les distributions de fréquence en taille des jeunes de l'année varient selon les espèces (Figure 2). La croissance des jeunes chevaliers de l'année en 2012 est comparable à celle de l'année de la plus forte croissance (1999) qui a été observée dans les échantillonnages automnaux réalisés dans le secteur de Saint-Marc de 1998 à 2006. Par exemple, pour les trois espèces pour lesquelles l'effectif des spécimens mesurés est supérieur à dix, soit les chevaliers rouge, blanc et de rivière, les tailles moyennes (longueur totale) des individus capturés en 1999 étaient respectivement de 82,8 mm, 79,5 mm et 66,5 mm (Vachon, 1999ab, 2002, 2007), alors qu'en 2012 les valeurs moyennes enregistrées pour ces espèces ont été de 80,1 mm, 82,6 mm et de 70,5 mm (Tableau 4). La taille des jeunes chevaliers cuivrés de l'année capturés en 2012 variait de 38 à 73 mm (moy. : 58,2 mm) et le poids de 0,4 à 3,1 g (moy. : 1,6 g) (Tableau 4, Figure 2).

Autres espèces

D'autres espèces en situation précaire ont été capturées au cours de ces travaux de suivi parmi lesquelles figurent le dard de sable (*Ammocrypta pellucida*) et le fouille-roche gris (*Percina copelandi*), et ce, tant dans le secteur de Saint-Marc que dans le secteur situé en aval du barrage de Saint-Ours. Deux spécimens de méné d'herbe (*Notropis bifrenatus*) ont été recensés en aval du barrage de Saint-Ours. Dix tanches (*Tinca tinca*) ont été trouvées, toutes en amont du barrage (secteur Saint-Marc), sauf une. La présence de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) a été observée dans le secteur de Saint-Ours. Enfin, en ce qui concerne les mulettes, l'elliptio de l'Est (*Elliptio complanata*), la lampsile rayée (*Lampsilis radiata radiata*) ainsi que la potamile ailée (*Potamilus alatus*), espèces sur la liste des espèces menacées ou vulnérables ou susceptibles d'être désignées comme telles, ont été recensées dans le tronçon situé en aval du barrage de Saint-Ours.

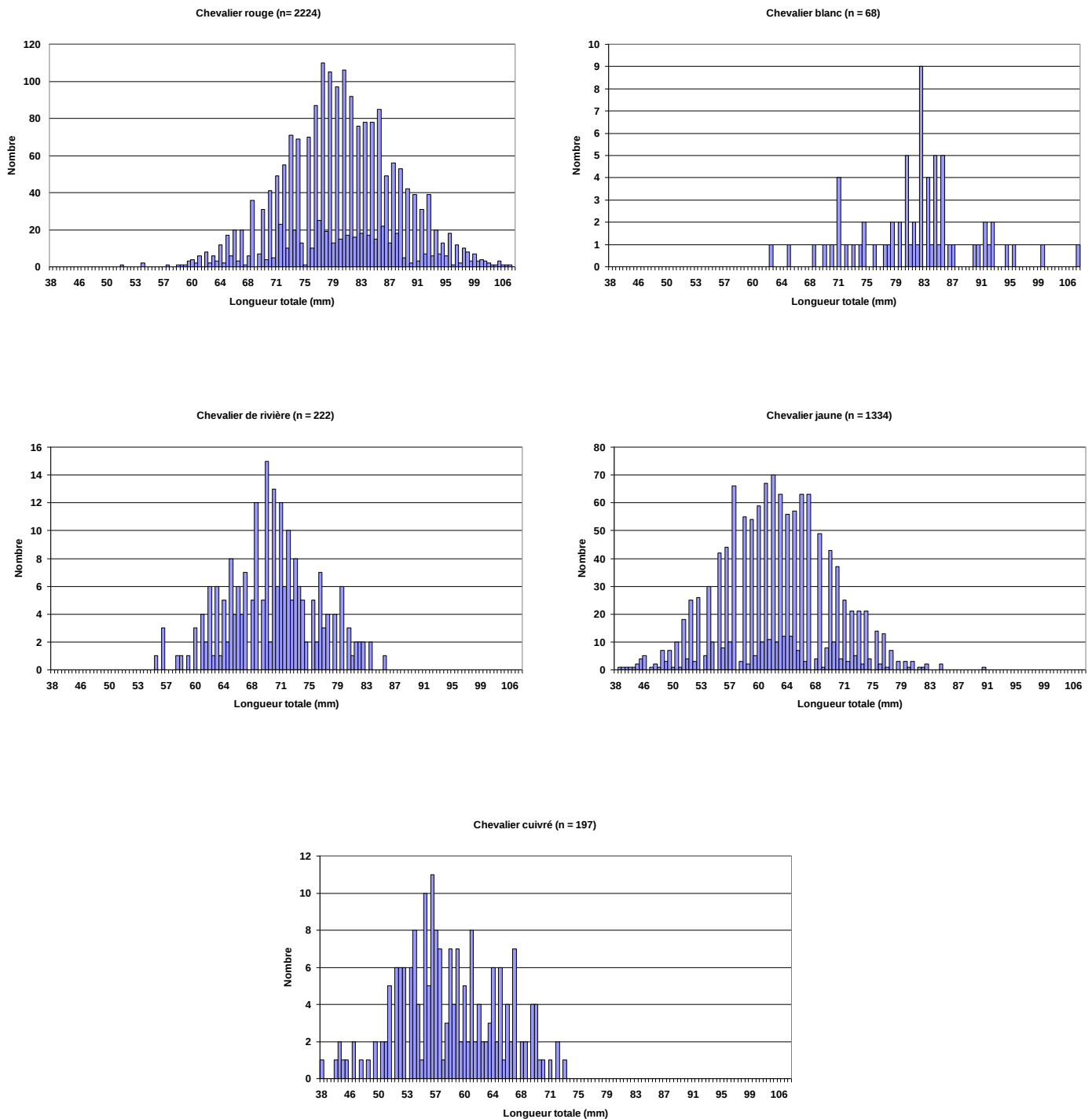
4 DISCUSSION

4.1 Capture, reproduction artificielle et étude des perturbateurs endocriniens

L'année 2012 s'est révélée une saison de reproduction hâtive chez les chevaliers de la rivière Richelieu. Heureusement, l'équipe était en poste plus tôt en saison sur le terrain afin de soutenir l'IML dans le cadre du projet sur les perturbateurs endocriniens et capturer des géniteurs de chevaliers de rivière pour réaliser les premiers essais de cryopréservation de la laitance. Notre présence et la capture de géniteurs à cette période de l'année ont permis d'accroître nos connaissances sur la migration hâtive du chevalier cuivré pouvant survenir certaines années.

L'effort supplémentaire au moyen de filets maillants déployé au bief aval du barrage de Saint-Ours pour la capture de géniteurs de chevalier cuivré a été très fructueux, puisque cette méthode a permis la capture de la moitié des spécimens. Dans le but de maximiser les travaux liés au programme de reproduction artificielle, ces activités devraient être maintenues dans les prochaines années conditionnellement à ce qu'elles soient réalisées par des personnes expérimentées compte tenu des risques plus élevés de décès d'individus par cet engin de pêche.

Figure 2 : Distribution de fréquence en taille des jeunes chevaliers de l'année des cinq espèces capturées dans la rivière Richelieu en 2012.



Même si la reproduction artificielle du chevalier cuivré a pu être réalisée en 2012 après deux ans sans activité, en raison des conditions hydrologiques et météorologiques adverses, les objectifs relatifs à la capture des géniteurs et au nombre de familles produites n'ont pas été atteints (37 familles sur un objectif annuel de 100). Contrairement aux années antérieures, les femelles étaient en moins grand nombre par rapport aux mâles en 2012 (5 femelles et 11 mâles). Par contre, trois recaptures figuraient parmi les mâles, ce qui constitue malheureusement aussi un indice du faible bassin de géniteurs tout en étant rassurant quant à la survie des spécimens à la suite de nos manipulations. Ces mâles ont été utilisés pour la reproduction artificielle et les travaux de cryopréservation de 2012 qui ont permis de congeler leur laitance pour les années ultérieures.

En 2012, la plus grande partie des mâles a été capturée plus tardivement que les femelles. Sans être le seul, cet élément a contribué à restreindre le nombre de croisements (familles). Ainsi, la première femelle n'a produit qu'une seule famille et la seconde, cinq. Les autres ont pu être croisées avec la plupart des mâles. L'asynchronie liée à l'arrivée des géniteurs a été plus prononcée et a eu des conséquences sur la performance des activités.

Des échantillons de mucus ont pu être prélevés chez presque tous les géniteurs de chevaliers cuivrés en 2012. L'information relative au dosage de la vitellogénine chez les mâles est très attendue compte tenu du fait que les résultats préliminaires obtenus chez les chevaliers blancs capturés en 2010 et en 2011 ont révélé que deux chevaliers blancs mâles étaient hermaphrodites (présence de VTG dans le mucus) et que la VTG a été détectée dans le plasma de l'individu le plus touché. De plus, l'examen histologique des gonades des femelles de chevalier blanc a révélé que 33 % avaient des follicules polyovocytaires (FPO) et 9 % avaient des ovocytes polynucléaires (OPN). Chez certains mammifères ainsi que chez l'alligator, les FPO sont liées à une exposition à des PE (Maltais et coll., 2011).

4.2 Cryopréservation de la laitance

La possibilité de cryopréserver la laitance du chevalier cuivré et même de rivière a été démontrée, même au-delà de nos espérances, notamment par les succès des tests de fécondation. La plupart des travaux sur la laitance et la cryopréservation de la laitance chez les poissons concernent principalement les caractéristiques liées à la motilité et, parfois, à la concentration, alors que très peu intègrent aussi l'étude de la morphologie ainsi que les caractéristiques à l'état frais. En plus de développer les techniques de cryopréservation, les travaux de 2012 ont permis d'acquérir des connaissances inédites sur les caractéristiques de la laitance des chevaliers cuivrés, dont la concentration et la morphologie à l'état naturel avant et après le traitement hormonal ainsi qu'après la cryopréservation. Ces données permettent non seulement de dresser un profil initial de la qualité de la laitance et de la fécondité des mâles, mais également d'évaluer les techniques de cryopréservation au moyen de paramètres supplémentaires et d'orienter les prochaines activités. Par exemple, les analyses de 2012 montrent que, dans l'ensemble, le traitement hormonal des mâles a un effet positif sur les opérations (augmentation de la concentration spermatique), et ce, plus particulièrement en ce qui a trait à ceux qui se présentent au début de la saison.

Aux termes de ces premiers essais, une première banque de laitance de chevalier cuivré (9 individus) a été constituée et est disponible pour la prochaine saison. Une évaluation de la viabilité des échantillons après 150 jours de congélation montre une bonne performance des techniques de cryopréservation testées en 2012, et ce résultat est encourageant dans une perspective de préservation à long terme.

Les travaux de 2012 montrent également que la concentration et la quantité de la laitance ne sont pas limitantes chez le chevalier cuivré pendant la période de pointe de reproduction. Le méthanol est un cryoprotecteur qui réagit bien avec la laitance de chevalier cuivré et les concentrations de 10 % et 11 % donnent les meilleurs résultats. Le RATH se révèle un dilueur adapté à la cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré, et les deux méthodes de congélation (unité de congélation à radeau flottant et contenant de conservation à sec au LN₂) sont comparables.

Bien que le potentiel de fertilisation de la laitance cryopréservée se soit avéré maximal lors des tests de fécondation de 2012, certaines de nos observations et comparaisons pourraient permettre de perfectionner les techniques et éventuellement d'améliorer les taux d'embryons normaux. Une augmentation significative des anomalies de la tête (surtout la macrocéphalie et la tête dégénérée) a été mise en évidence dans la laitance décongelée du chevalier cuivré. Jenkins et coll. (2011) ont aussi observé une augmentation des cas de macrocéphalie après la cryopréservation chez le *Xyrauchen texanus* (Catostomidé) et associent cette anomalie à un choc hypo-osmotique au moment de la décongélation. La plus grande proportion de déformations de la tête des spermatozoïdes (dégénérescence) serait causée, selon Miliorini et coll. (2011), par une entrée d'eau dans la cellule lors de la décongélation. Ces observations suggèrent que l'osmolalité du dilueur utilisé pour la cryopréservation devrait être augmentée et que la décongélation pourrait être ralentie (T°C plus faible). D'après nos analyses, il est probable que la vitesse de congélation soit trop rapide dans l'unité de congélation pour les paillettes et trop lente pour les macrotubes, aux hauteurs testées en 2012. Des ajustements de la hauteur du radeau pourraient également être prévus en 2013.

Certains résultats soulèvent des préoccupations, dont les taux d'anomalies relativement élevés des spermatozoïdes « naturels » (avant la congélation) chez les chevaliers cuivré et de rivière ainsi que les concentrations spermatiques deux fois plus faibles mesurées chez le chevalier cuivré par rapport à son congénère. Malheureusement, les données sur la laitance fraîche pour des espèces de groupes similaires sont inexistantes sinon très fragmentaires. La possibilité que ces résultats soient liés à des facteurs environnementaux ne peut être exclue. Plusieurs contaminants (métaux lourds, organophosphorés, carbamates, etc.) nuisent au développement des gonades et à la morphologie des spermatozoïdes (Kime, 2001). Ces résultats, qui tendent à démontrer une moins grande qualité des gamètes et une moindre fertilité chez les mâles du chevalier cuivré par rapport au chevalier de rivière, sont très préliminaires et reposent sur un nombre restreint d'échantillons. Ils doivent donc être considérés avec prudence.

4.3 Suivi du recrutement

Le niveau d'abondance des jeunes de l'année en 2012 est, dans le secteur de Saint-Marc, près de quatre fois plus élevé comparativement à l'année la plus productive (2001) qui était connue jusqu'à ce jour depuis le début des travaux d'échantillonnage automnaux dans ce secteur aux mêmes stations. En effet, en 2001, 997 jeunes de l'année (CPUE 24,9/station) ont été capturés à ces 40 stations (Vachon, 1999ab, 2002, 2007).

Par rapport au suivi de 2011 aux mêmes stations, 4,6 jeunes chevaliers de l'année par station ont été capturés dans le secteur de Saint-Marc et 8,1 par station dans le secteur de Saint-Ours. Ces résultats témoignent de la très grande variabilité interannuelle du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu. Telle qu'elle a été observée dans les années antérieures, la taille des jeunes chevaliers de l'année des différentes espèces à l'automne 2012 reflète bien la séquence temporelle de la fraye des chevaliers dans la rivière Richelieu (La Haye et coll., 1992; Mongeau et coll., 1986, 1992; Vachon, 1999ab, 2002, 2007, 2010).

Il est certain qu'une si grande abondance de jeunes chevaliers cuivrés de l'année ne peut s'expliquer autrement que par la très grande contribution des individus issus de la reproduction artificielle. De plus, même si en 2012 la croissance a aussi été exceptionnelle en milieu naturel, il est très improbable que les chevaliers cuivrés indigènes aient atteint une aussi grande taille. En effet, le seul jeune chevalier cuivré de l'année capturé en 1999, année de forte croissance dans la rivière Richelieu, mesurait 48 mm (Vachon, 1999b).

La présence de chevaliers cuivrés indigènes est très vraisemblable, puisque certains individus présentaient une pigmentation plus typiquement observée chez les spécimens indigènes et que plusieurs individus de taille inférieure à 50 mm ont été capturés. La reproduction naturelle du chevalier cuivré en 2012 ne peut encore actuellement être confirmée hors de tout doute, mais elle est considérée comme hautement probable. Les analyses génétiques et d'assignation parentale viendront éventuellement le confirmer. Bien que les prélèvements de tissus aient tous été réalisés, les budgets disponibles ne permettent pas de procéder aux analyses cette année.

5 CONCLUSION

La reproduction artificielle, l'élevage et les ensemencements de chevalier cuivré demeurent des actions essentielles au rétablissement de l'espèce et à la reconstitution du stock reproducteur. Dans l'ensemble, ces travaux sont considérés comme un succès, bien qu'ils soient tributaires de facteurs abiotiques (conditions hydrologiques et météorologiques) et biotiques (nombre et fertilité des géniteurs capturés, séquence de leur arrivée, qualité des gamètes) qui influencent le degré d'atteinte des objectifs, et ce, différemment d'une année à l'autre. Par exemple, malgré un plus grand nombre de mâles capturés en 2012, le nombre restreint de femelles ainsi que la séquence d'arrivée des géniteurs ont fait que l'objectif quant au nombre de familles produites (diversité génétique) n'a pu être atteint. D'autre part, en ce qui a trait à l'abondance des chevaliers cuivrés ensemencés en 2012, l'objectif annuel pour les fretins (15 000) a été surpassé de près de deux fois, alors que celui pour les larves (500 000) a été atteint à 70 %. L'équipe doit donc être prête à innover et à déployer les efforts supplémentaires requis en cas de besoin pour maximiser l'efficacité des activités. Enfin, l'excellente saison de croissance des jeunes de l'année tant en étang qu'en milieu naturel a aussi certainement contribué à améliorer la survie des spécimens ensemencés.

Les résultats des essais de cryopréservation de la laitance de 2012 sont très encourageants et la banque de laitance disponible permettra éventuellement de maximiser le nombre de familles, de compenser un nombre insuffisant de mâles certaines années et contribuera à minimiser les effets d'un manque de synchronie dans l'arrivée des mâles et des femelles. La préservation de cette banque de laitance à long terme

repose maintenant sur une surveillance constante et un entretien rigoureux pour maintenir le niveau d'azote liquide requis.

Les études parallèles comme celle sur les perturbateurs endocriniens de l'IML sont également très pertinentes pour ce qui est d'améliorer nos connaissances sur la physiologie de l'espèce ainsi que sur les menaces relatives à la qualité de l'eau qui pourraient nuire aux processus normaux de reproduction naturelle. La caractérisation génétique, les analyses d'assignation parentale, le suivi du recrutement et la recherche de subadultes sont essentiels au suivi, à plus long terme, du degré d'atteinte des objectifs du programme de reproduction artificielle ainsi que du rétablissement de l'espèce.

Les activités de 2013 devraient être orientées vers le perfectionnement des techniques de cryopréservation, un suivi plus exhaustif des fécondations et du développement des embryons produits avec de la laitance cryopréservée sous différents traitements en aménageant un système d'incubation sur place, et le développement d'une méthode efficace d'utilisation et de gestion de la banque de laitance.

RECOMMANDATIONS

1. Poursuivre les activités de reproduction artificielle et de suivi de la population de chevalier cuivré dans les prochaines années jusqu'à l'atteinte des objectifs fixés dans le plan de rétablissement.
2. Maintenir les efforts supplémentaires de pêche au filet maillant, par du personnel expérimenté, pour la capture de géniteurs au bief aval du barrage de Saint-Ours.
3. Poursuivre la collecte d'échantillons de tissus de chevalier cuivré lors de la reproduction artificielle et du suivi de la population, et ce, afin qu'ils soient disponibles lorsque les budgets seront suffisants pour réaliser les analyses génétiques. Les réponses attendues de ces analyses sont très importantes.
4. Poursuivre les essais de cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré ainsi que la mise en réserve de laitance de chevalier cuivré suivant des méthodes (deux méthodes de congélation, paillettes et macrotubes en utilisant le méthanol à des concentrations de 10 % à 11 % comme cryoprotecteur) semblables à celles testées en 2012 en y apportant les éléments suivants dans le but d'améliorer les techniques, de réduire le taux d'embryons anormaux et d'assurer la production de larves saines :
 - Développer une meilleure méthode pour entreposer les macrotubes dans le dewar et en faciliter la manipulation;
 - Réaliser des essais dans des paillettes de 1,2 ml au moins dans le contenant de conservation à sec au LN₂, car les ajustements de hauteur ne sont pas faits dans l'unité de congélation;
 - Poursuivre les travaux de cryopréservation avec le dilueur RATH en augmentant l'osmolalité;
 - Réaliser des essais de cryopréservation avec le dilueur HBSS avec une osmolalité comparable à celle du RATH;

- D'après nos analyses, il est probable que la vitesse de congélation soit trop rapide dans l'unité de congélation pour les paillettes et trop lente pour les macrotubes aux hauteurs testées en 2012. Il faudrait faire des essais en augmentant la hauteur du radeau pour les paillettes et en l'abaissant pour les macrotubes;

Médium	Hauteurs testées en 2012	Suggestions pour 2013
Paillettes	15 et 26 mm	30 et 35 mm
Macrotubes	15 et 20 mm	10 mm

- Des indices (pathologies) laissent croire qu'on pourrait ralentir la décongélation. Il est suggéré de tester 35°C et 15 secondes pour les paillettes et 60 secondes pour les macrotubes;
 - D'après les résultats des essais de 2012 ainsi que les évaluations de la concentration de la laitance du chevalier cuivré, il pourrait être possible, avec une certaine assurance, de réduire le ratio de laitance cryopréservée par rapport aux ovocytes lors des fécondations. En 2012, les tests de fécondation ont été faits avec 5 ml d'ovocytes pour 1,5 ml de laitance cryopréservée (3 paillettes). En 2013, les essais pourraient être réalisés avec 5 ml d'ovocytes pour 1 ml de laitance cryopréservée (2 paillettes);
 - Réaliser des tests de fécondation avec des macrotubes, puisque tous les tests de fécondation ont été réalisés avec des paillettes en 2012;
 - Fabriquer un système d'incubation permettant de suivre le développement des œufs sur place dans de meilleures conditions;
 - Amorcer la réflexion sur la façon d'utiliser la laitance congelée au cours des prochaines années;
 - Réfléchir sur la possibilité de congeler des échantillons de laitance combinée de plusieurs mâles (pool).
5. Poursuivre les démarches pour assurer un financement à long terme et récurrent des activités de reproduction artificielle et de suivi de la population du chevalier cuivré et ce, jusqu'à ce que les objectifs de rétablissement de la population aient été atteints et prévoir des sommes supplémentaires pour les activités de cryopréservation de la laitance, qui ne peuvent être réalisées entièrement par le personnel déjà sur place en raison des manipulations supplémentaires que cela requiert.
6. Prévoir des budgets propres à l'entretien de la banque de laitance durant l'année ainsi qu'aux analyses génétiques.

SENSIBILISATION ET COMMUNICATIONS

VACHON, N., S. VELÁSQUEZ, P. GRONDIN et H. MASSÉ (2013). Premiers essais de cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), conférence présentée à l'Atelier sur la faune aquatique, Québec, 19 au 21 février 2013.

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes de l'Unité de gestion des ressources naturelles et de la faune de Montréal-Montérégie ont accompagné de façon ponctuelle l'équipe de terrain lors des activités de suivi de la population et nous tenons à les remercier. Il s'agit de Caroline Bisson, Audrey Jobin, Marie-Hélène Fraser et Étienne Drouin.

Je remercie Hugues Bouchard de Pêches et Océans Canada pour son implication dans la recherche de financement et son soutien. Enfin, comme depuis 1997, la contribution de M. Jean-Claude Petit du Camping Bellevue à Saint-Charles-sur-Richelieu est grandement appréciée.

PARTENAIRES

Ce projet a été rendu possible grâce à la participation financière du MPO par l'entremise du Programme sur les espèces en péril, de la Fondation de la Faune du Québec (FFQ), de l'Aquarium du Québec ainsi que par une contribution en nature de Parcs Canada. Le ministère des Ressources naturelles¹ contribue également financièrement au projet et assume la plus grande partie des ressources humaines de ce projet.

¹ MRN, Unité de gestion des ressources naturelles et de la faune de Montréal-Montérégie;
MRN, Direction de l'expertise Faune-Forêts-Mines-Territoire de l'Estrie-Montréal-Montérégie et de Laval-Lanaudière-Laurentides;
MRN, Direction de la faune aquatique à Québec;
MRN, Station piscicole de Baldwin-Coaticook

ANNEXES

ANNEXE 1 : Lexique des principaux termes liés à la cryopréservation

Contenant de conservation à sec au LN₂ (*dry-shipper*) : Bouteille d'aluminium isothermique qui contient de l'azote liquide entièrement absorbé dans un matériau poreux. Les échantillons, insérés dans le réservoir du centre, sont congelés dans les vapeurs d'azote à -196°C.

Cryoprotecteurs : Les cryoprotecteurs sont des substances qui, ajoutées au mélange dilueur-sperme, protègent les spermatozoïdes lors de la congélation et de la décongélation. Les cryoprotecteurs limitent les cryolésions, mais peuvent devenir toxiques pour les spermatozoïdes lorsqu'ils sont utilisés à des concentrations élevées. Il existe plusieurs types de cryoprotecteurs. Certains, comme le méthanol, agissent de façon intracellulaire. D'autres, comme le jaune d'œuf, agissent de façon extracellulaire en protégeant la membrane cellulaire.

Dewar : Réservoir isolant en aluminium avec un goulot en fibre de verre qui permet le stockage d'échantillons dans l'azote liquide.

Dilueurs : Les dilueurs sont des solutions de sels ou d'hydrates de carbone dont la fonction est de maintenir la viabilité des spermatozoïdes au cours de la réfrigération ou de la congélation. Les dilueurs doivent être isotoniques pour ne pas activer la motilité des spermatozoïdes avant la congélation et pendant la décongélation. Leur composition doit être semblable à celles du plasma séminal et leur conductivité thermique doit être élevée afin de permettre le transfert rapide de la température du milieu extérieur à la laitance. Enfin, ces solutions doivent être exemptes de micro-organismes (stériles).

HBSS : Dilueur composé principalement de sels.

RATH : Dilueur composé principalement de glucose.

Osmolalité : Correspond au nombre de particules osmotiquement actives par litre de solution et permet de mesurer la pression osmotique. La solution est isotonique quand la concentration est égale en solutés de part et d'autre d'une membrane semi-perméable, hypertonique quand la concentration est supérieure en solutés à celle du cytoplasme et hypotonique quand l'environnement a une concentration inférieure en solutés par rapport au cytoplasme.

Réceptacle cryogénique (*canister*) : Gobelet métallique s'insérant dans un dewar et permet l'entreposage de paillettes ou de macrotubes.

Technique de congélation : La technique de congélation de cellules implique le transfert de température et le transport de l'eau. Elle se divise en trois étapes : 1) les cellules sont soumises à une solution cryoprotectrice (p. ex., méthanol) qui pénètre dans la cellule et remplace une grande quantité d'eau intracellulaire; 2) à la suite de l'ajout de cryoprotecteur, la cellule doit adapter son osmolalité en devenant isotonique par rapport au milieu extracellulaire. Durant ce processus des chocs toxiques et osmotiques peuvent survenir; 3) au cours de la dernière étape (congélation), la température baisse jusqu'au point de congélation de l'eau et de la solution cryoprotectrice. Selon la courbe de congélation obtenue (relation entre la température et le temps), il pourra y avoir plus ou moins formation de cristaux qui sont susceptibles d'endommager les cellules. La courbe de congélation est donc un élément important à surveiller.

Unité de congélation avec radeau flottant : Boîte de polystyrène avec un contenant métallique pour l'azote liquide. Les échantillons sont placés sur un radeau flottant muni de supports qui permettent de contrôler la hauteur de 15 à 50 mm. Cette variation de hauteur permet de d'avoir un certain contrôle la vitesse de congélation dans les vapeurs d'azote.

Vitesse de congélation : La vitesse de congélation est une étape importante de la cryopréservation. L'immersion directe des paillettes ou des macrotubes dans l'azote liquide peut entraîner la disparition complète de la membrane plasmatique et de la pièce intermédiaire des spermatozoïdes. La congélation dans la vapeur d'azote est progressive et réduit considérablement les dommages causés aux structures membranaires.

Vitesse de décongélation : La vitesse de décongélation est aussi une étape importante de la cryopréservation et doit être faite progressivement pour réduire l'effet de la recristallisation dans les cellules spermatiques et l'effet thermique sur la membrane plasmatique. La décongélation des paillettes et des macrotubes dans le cadre de ces essais a été effectuée par immersion dans un bain d'eau à 37°C.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNATCHEZ, L. (2004). Considérations génétiques et protocole de reproduction relatifs au plan de rétablissement du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), document présenté à la Société de la faune et des parcs du Québec et à Pêches et Océans Canada, 43 p., Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, 40 p.
- COSEPAC (2004). Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) au Canada — Mise à jour, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, vii + 43 p. [www.registrelep.gc.ca/Status/Status_f.cfm].
- ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DU CHEVALIER CUIVRÉ (2005). Plan de rétablissement pour la survie du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) 2004-2008, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de la faune, Québec, 77 p.
- ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DU CHEVALIER CUIVRÉ DU QUÉBEC (2012). Plan de rétablissement du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) au Québec — 2012-2017, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Faune Québec, 55 p.
- GENDRON, A. D. et A. BRANCHAUD (1997). Impact potentiel de la contamination du milieu aquatique sur la reproduction du suceur cuivré (*Moxostoma hubbsi*) : Synthèse des connaissances, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Longueuil, Rapport technique 16-02, xvi + 160 p.
- GRONDIN, P. (2012). Le développement de la cryoconservation de la laitance de chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) en 2012, version préliminaire du 14 avril, 21 p.
- JENKINS, J., B. EILTS, A. GUITREAU, C. FIGIEL, R. DRAUGELIS-DALE et T. TIERSCH (2011). "Sperm quality assessments for endangered razorback suckers *Xyrauchen texanus*", *Reproduction*, 141: 55-65.
- KIME, D. (2001). "Endocrine disruption in fish", Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.
- LA HAYE, M., C. BÉLANGER, J. LECLERC et P. DUMONT (1992). Observations sur la reproduction du suceur cuivré (*Moxostoma hubbsi*) dans le Bassin de Chambly en 1991, Québec, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Montréal, Rapport de travaux 06-19, 39 p.
- LA HAYE, M. et M. HUOT (1995). Situation du suceur cuivré (*Moxostoma hubbsi*) au Québec : espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable, Québec, Le groupe de recherche SEEEQ Itée pour le ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, 50 p.

- LIPPÉ, C., P. DUMONT et L. BERNATCHEZ (2006). "High genetic diversity and no inbreeding in the endangered copper redhorse, *Moxostoma hubbsi* (Catostomidae, Pisces): the positive sides of a long generation time", *Molecular Ecology*, 15: 1769-1780.
- MALTAIS, D., et R. L. ROY (2007). "A lateral flow immunoassay for rapid evaluation of vitellogenin levels in plasma and surface mucus of the copper redhorse (*Moxostoma hubbsi*)", *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 26, No. 8, p. 1672-1676.
- MALTAIS, D et R. L. ROY (2009). "Purification and partial characterization of vitellogenin from shorthead redhorse (*Moxostoma macrolepidotum*) and copper redhorse (*Moxostoma hubbsi*) and detection in plasma and mucus with a heterologus antibody", *Fish Physiol. Biochem.*, 35: 241-254.
- MALTAIS, D. R. ROY, C. COUILLARD, F. BOILY et B. LÉGARÉ (2011). Évaluation de l'implication des perturbateurs endocriniens dans les difficultés de reproduction du chevalier cuivré *Moxostoma hubbsi* et de leurs effets chez de jeunes chevaliers cuivrés, rapport final de projet produit dans le cadre du Suivi des ententes de niveau de service régionale 2010/2011, programme sur les espèces en péril.
- MILIORINI, A., L. MURGAS, P. VIEIRA, G. OBERLENDER, G. JUNQUEIRA et D. COSTA (2011). "A Morphological classification proposal for curimba (*Prochilodus lineatus*)", *Aquaculture Research*, 42: 177-187.
- MOORE, A. A. (1997). "Manipulation of hatchery spawning procedures to improve walleye egg fertility and survival", Technical Bulletin No. 6, Iowa Department of Natural Resources, 14 p.
- MONGEAU, J.-R., P. DUMONT et L. CLOUTIER (1986). La biologie du suceur cuivré, *Moxostoma hubbsi*, une espèce rare et endémique à la région de Montréal, Québec, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Direction régionale de Montréal, Rapport technique, 06-39, 137 p.
- MONGEAU, J.-R., P. DUMONT, L. CLOUTIER et A.-M. CLÉMENT (1988). Le statut du suceur cuivré, *Moxostoma hubbsi*, au Canada, *Can. Field. Nat.*, 102: 132-139.
- MONGEAU, J.-R., P. DUMONT et L. CLOUTIER (1992). La biologie du suceur cuivré (*Moxostoma hubbsi*) comparée à celle de quatre autres espèces de *Moxostoma* (*M. anisurum*, *M. carinatum*, *M. macrolepidotum*, *M. valenciennesi*), *Can. J. Zool.*, 70: 1354-1363.
- MPO (2012). Programme de rétablissement du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*) au Canada, Série de programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa, xi + 64 p.

- VACHON, N. (1999a). Écologie des juvéniles 0 + et 1 + de chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), une espèce menacée, comparée à celle des quatre autres espèces de *Moxostoma* (*M. anisurum*, *M. carinatum*, *M. macrolepidotum*, *M. valenciennesi*) dans le système de la rivière Richelieu, mémoire présenté à l'Université du Québec à Montréal comme exigence partielle de la maîtrise en biologie, Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de la Montérégie, Longueuil, Rapport technique 16-06, xvi + 175 p.
- VACHON, N. (1999b). Suivi de l'abondance relative des chevaliers 0 + dans le secteur Saint-Marc de la rivière Richelieu en septembre 1999 avec une attention particulière portée au chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), Société de la faune et des parcs du Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Longueuil, Rapport technique 16-05, vii + 25 p.
- VACHON, N. (2002). Variations interannuelles de l'abondance des chevaliers 0 + dans le secteur Saint-Marc de la rivière Richelieu de 1997 à 2001 avec une attention particulière portée au chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), Société de la faune et des parcs du Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Longueuil, Rapp. tech. 16-08.
- VACHON, N. (2007). Bilan sommaire du suivi du recrutement des chevaliers dans le secteur Saint-Marc de la rivière Richelieu de 2003 à 2006 avec une attention particulière portée au chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement de la faune de l'Estrie, de Montréal et de la Montérégie, Longueuil, Rapp. tech. 16-34, vii + 31 p. + 1 annexe.
- VACHON, N. (2010). Reproduction artificielle, ensemencements et suivi du recrutement du chevalier cuivré en 2009, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Unité de gestion des ressources naturelles et de la faune de Montréal-Montérégie, Longueuil, Rapp. tech. 16-44, vii + 28 p. + 5 annexes.
- VACHON, N., S. VELÁSQUEZ, P. GRONDIN et H. MASSÉ. (2013). Premiers essais de cryopréservation de la laitance du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), conférence présentée à l'Atelier sur la faune aquatique, Québec, 19-21 février 2013.

**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec

