

Reproduction artificielle, ensemencements et suivi du recrutement du chevalier cuivré en 2009

RAPPORT TECHNIQUE 16-44

par

Nathalie Vachon, biologiste
Unité de gestion des ressources naturelles
et de la faune de Montréal-Montérégie

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Décembre 2010

Référence à citer :

VACHON, N., (2010). *Reproduction artificielle, ensemencements et suivi du recrutement du chevalier cuirvé en 2009*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Unité de gestion des ressources naturelles et de la faune de Montréal-Montréal, Longueuil, Rapp. tech. 16-44, vii + 28 p. + 5 annexes.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2010

ISBN : 978-2-550-61122-6 (imprimé)

ISBN : 978-2-550-61121-9 (pdf)

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....	IV
LISTE DES ANNEXES	V
AVANT-PROPOS	VI
ÉQUIPE DE RÉALISATION 2009	VII
1. MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIFS EN LIEN AVEC LES PROGRAMMES DE RÉTABLISSEMENT	1
1.1 RAPPEL DES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES ET DES ACTIVITÉS PRÉVUES DANS LA SECTION 3.2 DE LA DEMANDE DE FINANCEMENT	2
2. MÉTHODES.....	2
3. RÉSULTATS	4
3.1 LA RÉÉVALUATION DES CINQ PREMIÈRES ANNÉES DU PROGRAMME DE REPRODUCTION ARTIFICIELLE DU CHEVALIER CUIVRÉ	4
3.2 CAPTURES À LA PASSE MIGRATOIRE VIANNEY-LEGENDRE.....	5
3.3 LE TRAVAIL AU GÉNITARIUM ET LE SUIVI À LA STATION PISCICOLE.....	6
3.4 DÉVELOPPEMENT DE DILUEURS SPÉCIFIQUES POUR CONSERVER LE SPERME DU CHEVALIER CUIVRÉ....	8
3.5 LA MISE EN CHARGE DES ÉTANGS ET L'ÉLEVAGE.....	9
3.6 ENSEMENCEMENTS DE LARVES	9
3.7 ENSEMENCEMENTS DE JUVÉNILES	9
3.8 SUIVI DU RECRUTEMENT DES CHEVALIERS DANS LA RIVIÈRE RICHELIEU	10
3.9 ANALYSES GÉNÉTIQUES	13
3.9.1 Jeunes chevaliers cuivrés capturés au printemps 2007.....	13
3.9.2 Jeunes chevaliers cuivrés capturés à l'automne 2007	14
3.9.3 Jeunes chevaliers cuivrés capturés à l'automne 2008.....	15
3.9.4 Jeunes chevaliers cuivrés capturés à l'automne 2009.....	15
4. DISCUSSION.....	19
5. CONCLUSION.....	23
6. RECOMMANDATIONS	25
7. SENSIBILISATION ET COMMUNICATION	26
REMERCIEMENTS.....	27
PARTENAIRES	28
ANNEXES.....	29
BIBLIOGRAPHIE.....	37

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Tableau 1. Bilan des captures de chevaliers cuivrés (n=21) dans la rivière Richelieu en 2009 à la seine de rivage et au petit verveux à l'automne 2009.....	11
Tableau 2. Bilan des chevaliers capturés dans les secteurs Saint-Marc (40 stations) et Saint-Ours (24 stations) à la seine de rivage en 2009	12
Tableau 3. Abondance relative par espèce des chevaliers capturés dans les secteurs Saint-Marc (40 stations) et Saint-Ours (24 stations) à la seine de rivage en 2009	12
Tableau 4. Captures moyennes par unité d'effort à la seine de rivage (CPUE) de jeunes chevaliers de l'année (toutes espèces confondues) par secteur et par rive en 2009	13
Tableau 5. Origine, assignation parentale (si indiquée) des chevaliers cuivrés de l'année, capturés à la seine au printemps 2007 (n=10) et à l'automne 2007 (n=13), dans le cadre du suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu (Côté et coll., 2010).....	17
Tableau 6. Origine, assignation parentale (si indiquée) des chevaliers cuivrés de l'année, capturés à la seine à l'automne 2008 (n=74), dans le cadre du suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu (Côté et coll., 2010)	17
Tableau 7. Origine, assignation parentale (si indiquée) des chevaliers cuivrés de l'année, capturés à la seine (n=18) et au petit verveux (n=1) ^a , dans le cadre du suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu à l'automne 2009 et du chevalier cuivré 1+, capturé à la seine, dans le secteur Saint-Marc en juin 2009 ^b (Côté et coll., 2010)	18
Tableau 8. Nombre total, origine et proportion de chevaliers cuivrés (0+ et 1+), capturés dans la rivière Richelieu de 2007 à 2009 et pour lesquels aucun, un ou deux géniteurs ont été retracés dans la banque de données	19
Figure 1. Comparaison du délai (en heures) entre l'induction et la ponte, et du nombre d'œufs produits selon trois schémas d'induction initiale : moins d'une heure, 24 ou 48 heures après la capture	7

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Dates de fraye, délai entre l'induction et la capture, nombre de familles viables produites, production et sites d'ensemencement des larves des 16 femelles de chevaliers cuivrés utilisées pour la reproduction artificielle en 2009.....	31
Annexe 2. Nombre, sites d'ensemencement et caractéristiques des jeunes chevaliers cuivrés de l'année et âgés de un an (1+) en 2009	32
Annexe 3. Localisation des sites d'échantillonnage, à la seine de rivage et au verveux à l'automne 2009, dans la rivière Richelieu, du bassin de Chambly à Saint-Marc-sur-Richelieu	33
Annexe 4. Localisation des sites d'échantillonnage, à la seine de rivage et au verveux à l'automne 2009, dans la rivière Richelieu, du barrage de Saint-Ours à l'embouchure.....	34
Annexe 5. Répartition des échantillons de tissus de chevaliers cuivrés envoyés au laboratoire du Dr Louis Bernatchez en 2009.....	35

AVANT-PROPOS

Ce rapport constitue l'un des produits livrables dans le cadre du financement obtenu du programme Espèces en péril 2009-2010 pour le projet « Reproduction artificielle, ensemencements et suivi du recrutement du chevalier cuivré en 2009 ». Il complète également le bilan sommaire des activités présenté à Parcs Canada, en juillet 2009, dans le cadre du permis de recherche et collecte de l'agence Parcs Canada NO : CSO-2007-1114.

ÉQUIPE DE RÉALISATION 2009

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

Évaluation du plan de reproduction artificielle après cinq ans

Nathalie Vachon¹
Pierre Dumont²
Louis Bernatchez⁵
Paul Grondin³
Mario Lessard⁴
Jean Leclerc²

Capture des géniteurs et préparation du site

Jean Leclerc²
Sylvain Desloges²
Jean Novotni¹

Reproduction artificielle

Paul Grondin³
Huguette Massé¹
Virginie Boivin¹
Nathalie Vachon¹
Gaëtan Laplante⁴
Francis Cloutier⁴

Développement de dilueurs pour la laitance

Paul Grondin³
Nathalie Vachon¹

Transport et élevage des chevaliers cuivrés⁴

Mario Lessard
Gaëtan Laplante
Doris Chabot
Francis Cloutier

Ensemencements

Sylvain Desloges²
Bertrand Dumas¹
Claude Sirois¹
Jean Novotni¹
Nathalie Vachon¹

Suivi du recrutement

Jean Novotni¹
Lucie Veilleux¹
Guillaume Dumas (stagiaire)
Nathalie Vachon¹

Analyses génétiques⁵

Guillaume Côté
Louis Bernatchez

Cartographie

Lucie Veilleux¹

Photographe

Sophie Poirier

¹ Unité de gestion des ressources naturelles et de la faune de Montréal-Montérégie;

² Direction de l'expertise Faune-Forêts-Mines-Territoire de l'Estrie-Montréal-Montérégie et de Laval-Lanaudière-Laurentides;

³ Direction de l'expertise sur la faune et de ses habitats, Service de la faune aquatique à Québec;

⁴ Station piscicole de Baldwin-Coaticook;

⁵ Université Laval, IBIS (Institut de biologie intégrative et des systèmes).

1. MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIFS EN LIEN AVEC LES PROGRAMMES DE RÉTABLISSEMENT

Le chevalier 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 (Comité d'intervention, 1995; La Haye et Huot, 1995). Depuis 2004, l'espèce est considérée comme en voie de disparition (COSEPAC, 2004) et est légalement désignée comme telle, depuis 2007, en vertu de la Loi sur les espèces en péril du Canada (LEP).

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 effectué dans la rivière Richelieu depuis 1997. Cet échantillonnage est aujourd'hui retenu comme indice de performance des mesures de conservation et de soutien à la population de chevalier cuivré, dont un suivi de l'efficacité des ensemencements. Ce suivi est d'ailleurs inscrit dans le troisième Plan de rétablissement du chevalier cuivré 2004-2008 (Action 1.2) (Équipe de rétablissement du chevalier cuivré, 2005).

La reproduction artificielle vise à reconstituer le stock reproducteur de la seule population mondiale de chevalier cuivré. L'objectif est de produire 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 6^e année d'un projet prévu sur 10 ans, qui constitue une des actions prioritaires du Plan de rétablissement du chevalier cuivré (2004-2008).

Le programme de rétablissement du chevalier cuivré, produit en vertu de la LEP, est en voie de préparation. La reproduction artificielle, l'ensemencement et le suivi du recrutement des chevaliers cuivrés sont des actions hautement prioritaires et elles seront reconduites. Il en est de même des lacunes liées aux connaissances des habitats des juvéniles plus âgés (subadultes), qui ont été clairement identifiées et qui demeurent des données d'importance pour assurer le succès du plan de reproduction artificielle et ultimement du rétablissement de l'espèce. Les objectifs 2, 3 et 5 du programme de rétablissement du chevalier cuivré, définis en vertu de la LEP (en préparation), sont les suivants :

OBJECTIF 2 : Soutenir la population de chevalier cuivré, grâce à l'ensemencement dans la rivière Richelieu, jusqu'à ce que la reproduction naturelle permette le maintien de la population à long terme.

OBJECTIF 3 : Encourager les efforts de recherche sur la composante subadulte (100-500 mm) de la population afin de combler le manque de connaissance de cette étape du cycle de vie du chevalier cuivré.

OBJECTIF 5 : Faire un suivi régulier de l'état de la population.

1.1 *Rappel des objectifs spécifiques et des activités prévues dans la section 3.2 de la demande de financement*

1. Réévaluer les modalités du plan de reproduction artificielle du chevalier cuivré après cinq ans de travaux sur les dix années prévues.
2. Assurer un examen critique annuel des opérations.
3. Reproduire artificiellement, élever et semer des chevaliers cuivrés.
4. Développer un dilueur spécifique pour préserver le sperme du chevalier cuivré.
5. Améliorer nos connaissances sur la survie des jeunes ensemencés (jeunes de l'année et juvéniles plus âgés).
6. Déterminer la proportion des jeunes chevaliers cuivrés de l'année (produits artificiellement et naturellement) par rapport à ses congénères.
7. Diminuer les risques liés à la garde en captivité et aux manipulations des géniteurs.
8. Augmenter la sécurité des installations.
9. Assurer une meilleure prévention de la septicémie hémorragique virale des poissons (SHV).

2. MÉTHODES

La réévaluation des cinq premières années du programme de reproduction artificielle du chevalier cuivré (2004-2008) a été réalisée par une analyse approfondie des données de capture des géniteurs et un examen des familles viables produites. Un document de travail a été présenté et une conférence téléphonique réunissant les principaux artisans du programme a été réalisée afin de se doter de lignes directrices pour orienter les futures activités de reproduction artificielle à la lumière des résultats obtenus.

Aucune modification majeure n'a été apportée au plan de travail. Les géniteurs ont été capturés dans le bassin d'entrée de la passe migratoire Vianney-Legendre puis maintenus en captivité jusqu'à l'obtention de gamètes pour être ensuite relâchés sur le site de capture. Les œufs ont été durcis aux iodophores (OMNR, 2007), une méthode de désinfection pour prévenir la propagation de la septicémie hémorragique virale. En réponse à l'objectif 9, une personne a été spécifiquement affectée à la tâche de désinfection cette année. Dès leur arrivée à la station piscicole de Baldwin Mills, les œufs ont été transférés dans des bouteilles d'incubation de type Midland. Après l'éclosion, une proportion de larves de chacune des femelles a été placée dans neuf étangs prévus à cet effet.

Les larves surnuméraires ont étéensemencées en juillet et les fretins en septembre dans la rivière Richelieu, dans trois grands secteurs : en amont du barrage de Chambly, dans le tronçon Saint-Mathias-Saint-Marc-sur-Richelieu et, enfin, en aval du barrage de Saint-Ours (ajouté en 2009). Pour la première fois, de jeunes chevaliers cuivrés âgés d'un an (1+) ont pu êtreensemencés. Ces derniers ont été découverts lors de la vidange des étangs à l'automne 2009. En effet, à la suite desensemencements de 2008, les étangs n'avaient pas été vidés puis asséchés comme cela était prévu.

Le suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu a été réalisé à l'automne après lesensemencements, selon les mêmes méthodes décrites dans Vachon (1999a, b; 2002 et 2007). En plus des 40 stations habituelles dans le secteur Saint-Marc-sur-Richelieu, un effort supplémentaire (39 stations) a été consenti en 2009, comme en 2008, afin de couvrir la plupart des secteurs d'ensemencement, d'améliorer nos connaissances sur la dispersion et l'habitat des jeunes ainsi que des subadultes dans la rivière et de visiter des stations de captures historiques.

Pour des raisons techniques et de logistiques, l'objectif 8 du projet a dû être abordé différemment et son atteinte ne s'est pas solutionnée par l'installation d'un groupe électrogène qui démarre automatiquement lors d'une panne. Des contacts ont été établis avec le personnel de Parcs Canada afin que nous soyons avisés immédiatement par téléavertisseur en cas de panne.

Les analyses génétiques ont été effectuées au laboratoire du Dr Louis Bernatchez à l'Université Laval. Les prélèvements de tissus ont été faits sur la nageoire pelvienne gauche de tous les géniteurs et préservés dans l'éthanol 95 %. Des échantillons de tissus de chevaliers cuivrés plus jeunes, capturés dans le cadre du suivi du recrutement, ont aussi été soumis aux analyses. Les méthodes et les marqueurs utilisés pour la caractérisation génétique ainsi que les analyses d'assignation parentale sont décrits dans Lippé et coll. (2004, 2006) et Côté et coll. (2007). D'autres tissus de chevaliers cuivrés, collectés dans les années antérieures ainsi que dans le cadre d'autres projets et préservés au laboratoire du MRNF, ont également été soumis pour alimenter la banque de données.

3. RÉSULTATS

3.1 *La réévaluation des cinq premières années du programme de reproduction artificielle du chevalier cuivré*

En raison du taux de recapture de géniteurs assez élevé de 10,7 % en 2005, de 8,3 % en 2007 et jusqu'à 25 % en 2008, et du déficit de mâles en 2008, il avait été décidé de réutiliser d'anciens géniteurs à la lumière des renseignements disponibles sur leur contribution antérieure. Une évaluation de telles mesures était nécessaire pour en estimer les impacts sur le plan de reproduction artificielle.

L'examen plus détaillé des résultats de 2004 à 2008, notamment du nombre de familles viables produites par géniteurs lors de leur première visite, montre que le plein potentiel d'utilisation de plusieurs géniteurs, soit le potentiel théorique prévu dans le plan de reproduction artificielle (Bernatchez, 2004), n'a pas été atteint. En effet, depuis le début des activités, seulement 47 % des femelles et 17 % des mâles ont produit au moins 10 familles viables et, respectivement, 25 % et 37 % des femelles et des mâles utilisés ont produit 5 familles ou moins. L'analyse des données montre que, sans la réutilisation de 6 anciens géniteurs en 2008, dont 5 ont répondu avec succès, le nombre de familles produites aurait été de 30 au lieu de 90.

Considérant que :

- le statut du chevalier cuivré et la très grande précarité de l'espèce (géniteurs peu nombreux, âgés et vieillissants);

- la fenêtre temporelle pour la mise en œuvre de cette activité de rétablissement est très restreinte;
- les captures interannuelles de géniteurs sont variables;
- les proportions de mâles et de femelles varient aussi d'une année à l'autre;
- le succès des activités varie annuellement (nombre de larves et de juvéniles produits et ensemencés ainsi que le nombre de familles viables produites);
- le taux de recapture global annuel varie autour de 10 % et qu'une hausse importante a été enregistrée en 2008 (25 %);
- le portrait décrit ci-dessus montre un potentiel inexploité chez les géniteurs déjà utilisés.

Il a été convenu que la réutilisation d'anciens géniteurs ou d'anciennes génitrices ne peut être écartée, mais qu'elle se doit d'être balisée en fonction de lignes directrices et que des démarches se poursuivraient dans le but de développer un indice de contribution des géniteurs au plan de reproduction artificielle. Il a été convenu que le nombre de familles produites par géniteurs pouvait tendre vers 15.

3.2 Captures à la passe migratoire Vianney-Legendre

Étant donné notre présence sur le terrain, la cage de la passe migratoire a été levée deux fois par jour afin de poursuivre la documentation de la migration des poissons dans l'ouvrage. En 2009, un grand nombre d'esturgeons jaunes (*Acipenser fulvescens*) y a été capturé (n=54) et observé par la fenêtre. Comme en 2007 (Leclerc et Vachon, 2008), les captures d'esturgeons jaunes sont 10 fois plus élevées que lors des autres années. Le point commun entre ces deux années, qui profite vraisemblablement à cette espèce, est un mauvais fonctionnement de la vanne d'entrée, laquelle a dû être complètement abaissée.

Les pêches au filet maillant, dans le bassin d'entrée de la passe migratoire (B-17), ont débuté le 9 juin. Au total, 37 chevaliers cuivrés, dont 24 femelles et 13 mâles, ont été capturés du 10 au 24 juin. Ces derniers ont été capturés en grande partie dans le filet maillant (n=35) et les autres dans la cage (n=2).

Le premier chevalier cuivré capturé est une femelle qui a été trouvée dans la cage le 10 juin. Le premier mâle a été pris au filet maillant le 15 juin. Comme ce dernier avait déjà participé aux

activités de reproduction artificielle en 2006 et 2008, et qu'il avait produit 18 familles viables, il a été relâché le lendemain lorsque d'autres mâles sont arrivés.

Le taux de recaptures en 2009 a été plus faible soit, 11,4 % (3 femelles et 1 mâle), comparativement à 25 % en 2008. Parmi ces recaptures figure encore la femelle (code 7) qui a participé au projet de télémétrie de 2007 et qui avait également été recapturée en 2008. Son antenne ainsi que les sutures à l'abdomen ont été retirées. Une dose d'antibiotique (Liquamycin-LA-200) lui a été administrée à titre prophylactique avant de la remettre à l'eau, puisque le nombre de femelles n'était pas limitant.

3.3 Le travail au génitarium et le suivi à la station piscicole

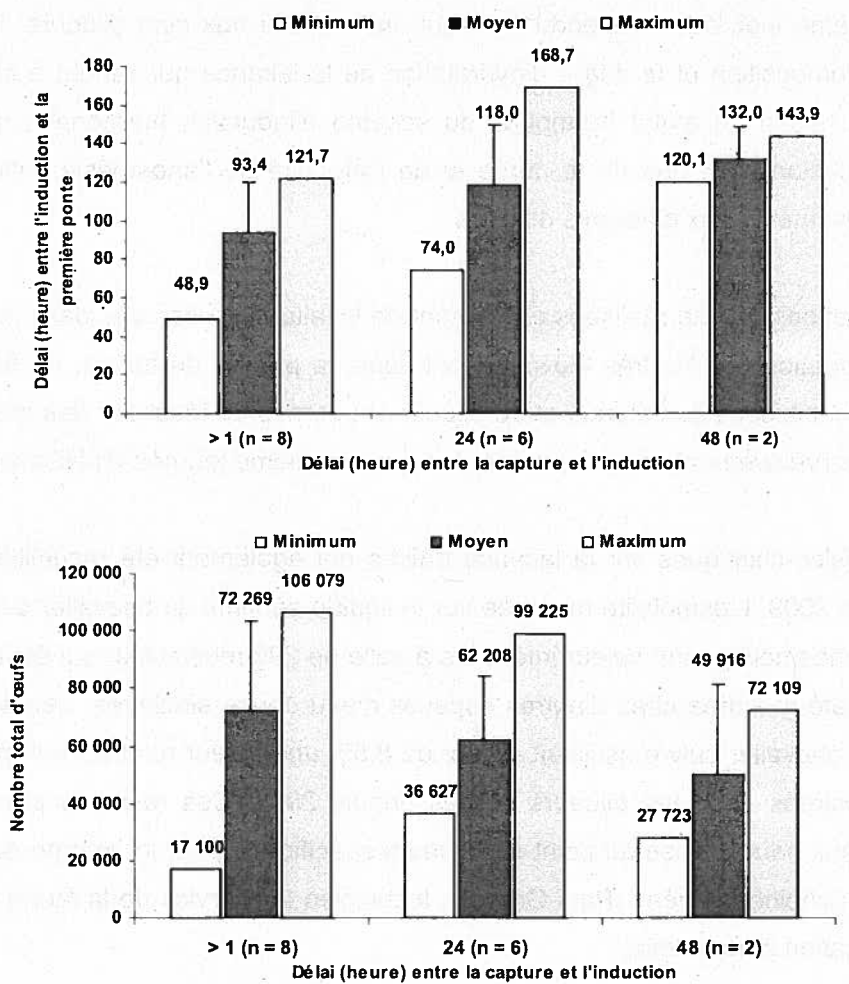
Les inductions ont débuté le 13 juin. Au total, 18 femelles ont été manipulées. Seize d'entre elles ont complété le cycle d'induction et de maturation. Deux femelles ont été relâchées sans participer au génitarium, dont l'une en raison d'une mauvaise identification de l'espèce et l'autre parce qu'elle éprouvait des difficultés en captivité. La fraye s'est déroulée du 18 au 25 juin. Au terme de ces activités, 1 095 621 œufs ont été récoltés produisant ainsi quelque 827 580 embryons normaux faisant partie de 125 familles jugées viables, issues de 16 femelles et de 9 mâles (annexe 1). Aucune mortalité chez les géniteurs n'a été enregistrée. Trois poissons, 1 mâle et 2 femelles, ont éprouvé plus de difficultés lors de la remise à l'eau, alors que tous les autres étaient très vigoureux.

Comme en 2008, les mâles ont été capturés plus tardivement (à partir du 15 juin). Finalement, 9 nouveaux mâles ont pu être utilisés. En raison des captures tardives des mâles par rapport aux femelles, certaines d'entre elles ont été induites 24 heures (n=6) et 48 heures (n=2) après leur capture, ce qui a permis de faire une première évaluation des effets d'une telle procédure (annexe 1).

Une analyse préliminaire et sommaire concernant la mise en relation des délais écoulés entre la capture et l'induction avec ceux écoulés entre l'induction, la première ponte et le nombre d'œufs produits entre ces trois groupes montre que, en moyenne, plus le délai entre la capture et l'induction est long, plus la première ponte nécessite de temps. En outre, le nombre moyen d'œufs produits par femelle décroît en fonction de l'augmentation du délai. Par exemple, les femelles, induites dans l'heure suivant la capture, ont mis en moyenne 93,4 heures à pondre

pour la première fois ou à ovuler complètement, alors que les délais moyens enregistrés chez celles induites 24 et 48 heures après la capture sont respectivement de 118 et 132 heures. Le nombre moyen d'œufs produits est respectivement de 72 269, 62 208 et 49 916 chez les groupes induits dans l'heure suivant la capture ou 24 et 48 heures après (figure 1). Statistiquement, les différences entre les trois groupes ne se sont pas avérées significatives, mais en marge de l'être dans le cas de la comparaison des délais induction-première ponte (Kruskal-Wallis, $p=0,0871$). Bien que ces analyses reposent sur de faibles effectifs et puissent en partie être biaisées par le fait que ce sont les premières femelles capturées qui ont connu un délai entre la capture et l'induction, il est recommandé de ne pas dépasser 24 heures, si possible, entre la capture et la première induction.

Figure 1. Comparaison du délai (en heures) entre l'induction et la ponte, et du nombre d'œufs produits selon trois schémas d'induction initiale : moins d'une heure, 24 ou 48 heures après la capture



3.4 Développement de dilueurs spécifiques pour conserver le sperme du chevalier cuivré

L'acquisition, par le MRNF, d'appareils de mesure du pH et de l'osmolalité a permis d'effectuer des analyses en laboratoire en reconstituant tous les dilueurs de sperme utilisés depuis 2005. Grâce à ces travaux, il a été possible de recueillir des données sur les caractéristiques physico-chimiques des solutions, dans le but d'améliorer nos connaissances et de développer des hypothèses de travail pour expliquer les différences de succès d'un dilueur par rapport à l'autre, observées dans les années antérieures. De ces analyses, cinq dilueurs modifiés ont été fabriqués par dosage pour en hausser le pH et des ajustements, par l'ajout de NaCl, ont été effectués pour augmenter l'osmolalité.

Ces cinq dilueurs améliorés ont été utilisés avec succès lors des frayes de 2009. Nos observations montrent que chacun des prélèvements de sperme, en dépit du fait qu'il a été réalisé chez le même individu, a répondu de façon individuelle aux cinq dilueurs. Il est donc probable que la composition et le degré d'hydratation de la laitance qui varient à chacun des prélèvements, en raison du statut hormonal, du schéma d'induction hormonale, du nombre d'heures de stabulation ainsi que de la durée et de l'intensité de l'anesthésie, influencent la réponse des prélèvements aux différents dilueurs.

Toutes les fécondations ont été réalisées en utilisant de la laitance préservée dans les dilueurs. Les taux de fécondation ont été très élevés et ont varié, la plupart du temps, de 90 à 100 %. Certaines des combinaisons de laitance et de dilueur ont permis de féconder des œufs plus de 96 heures après le prélèvement, ce qui représentait une cinquième journée d'utilisation.

Des données physico-chimiques sur la laitance fraîche ont également été recueillies lors des activités de terrain 2009. L'osmolalité mesurée sur le liquide séminal du chevalier cuivré est en moyenne de 260 mosmol/kg; une valeur inférieure à celle de 290 mosmol/kg qui était anticipée, telle qu'elle avait été mesurée chez d'autres espèces d'eau douce similaires. Les données du pH du sperme du chevalier cuivré oscillent autour de 8,55, une valeur relativement plus élevée que celles enregistrées dans les dilueurs utilisés depuis 2005. Ces résultats procurent des indices très précieux pour la mise au point de dilueurs spécifiques pour le sperme du chevalier cuivré dans les prochaines années (Paul Grondin, technicien au Service de la faune aquatique, MRNF, communication personnelle).

3.5 La mise en charge des étangs et l'élevage

Le taux de survie médian à l'éclosion estimé à la station piscicole est de l'ordre de 72,3 %. Environ 2 800 larves de chacune des femelles ont été mises en étangs (total : 44 800). L'élevage du chevalier cuivré en étang a été peu fructueux en raison des conditions climatiques adverses et seulement quelque 7 000 fretins d'automne ont survécu et servi à l'ensemencement. La perturbation de la chaîne trophique, par un manque d'insolation durant le premier mois en étang, et l'accroissement de la prédation par les notonectes, dytiques, odonates, etc., en raison de leur plus grande prolifération due à l'été pluvieux, expliqueraient la faible production. Les conditions étaient similaires en 2007 et les mêmes effets ont été observés. La recherche de solutions est en cours pour améliorer la performance de l'élevage et contrer les effets adverses de la nature (Mario Lessard, chef de la Station piscicole de Baldwin-Coaticook, MRNF, communication personnelle).

3.6 Ensemencements de larves

Les larves surnuméraires ont été ensemencées à 9 sites subdivisés en 16 points différents en raison des nombres élevés, d'une modification de la méthode (utilisation d'une embarcation) et de l'ajout d'un nouveau secteur de façon à les répartir davantage. En plus du secteur situé en amont du barrage de Chambly et de celui de Saint-Marc-sur-Richelieu, des larves ont été ensemencées en aval du barrage de Saint-Ours. Quelque 725 300 larves (252 500, le 3 juillet et 472 800, le 10 juillet) ont été ensemencées. Le nombre de larves ensemencées par femelle varie de 10 000 à 87 000 (voir annexe 1 pour les détails).

3.7 Ensemencements de juvéniles

Les jeunes de l'année ont été relâchés dans la rivière, les 17 et 18 septembre, à 8 des 9 sites précédents. Le nombre de fretins ensemencés est extrêmement faible, soit quelque 7 000 dont la taille variait de 20 à 50 mm. Pour la première fois, des jeunes chevaliers cuivrés âgés de un an (1+) ont pu être ensemencés. Ces derniers (n=86) ont été découverts lors de la vidange des étangs à l'automne 2009. Ils ont été ensemencés par groupe (5 à 11) à 12 sites répartis dans la rivière Richelieu. Des prélèvements de tissus ont été réalisés sur chacun des chevaliers cuivrés 1+ ensemencés (nageoire pelvienne droite) après avoir été mesurés individuellement.

La longueur totale de ces individus variait de 107 à 172 mm. Ces échantillons ont été conservés par lots associés au site d'ensemencement (voir annexe 2 pour les détails).

3.8 Suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu

Le suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu a été réalisé du 22 septembre au 9 octobre 2009. Les stations supplémentaires ont été réparties en aval du barrage de Saint-Ours, jusqu'à l'embouchure de la rivière (25 stations réparties en rives gauche et droite) ainsi qu'à Beloeil (n=4), à Otterburn Park (n=3), à Saint-Mathias (n=5) et à Saint-Marc-sur-Richelieu (n=2) (annexes 3 et 4). En 2009, des essais ont été réalisés avec de petits verveux dans le but de tester des techniques pour la capture de chevaliers juvéniles plus âgés, et des nasses ont été installées pour vérifier la présence de gobies à taches noires. Des prélèvements de tissus ont été effectués sur tous les chevaliers cuivrés ou sur les autres chevaliers dont l'identification était incertaine, capturés dans le cadre du suivi du recrutement.

Toutes les analyses n'ayant pas été complétées, et comme une grande partie a déjà été présentée dans le cadre de l'Atelier sur l'habitat essentiel du chevalier cuivré, seuls les faits saillants sont présentés dans ce rapport. Au total, 21 chevaliers cuivrés ont été capturés, tous dans le secteur Saint-Marc, sauf un adulte de 630 mm (LT) capturé près de 15 km en aval du barrage de Saint-Ours, en rive gauche. Il s'agit d'une rare, sinon de la seule mention de capture d'un individu adulte de cette espèce à la seine de rivage. Parmi les autres captures exceptionnelles, citons celle d'un chevalier cuivré âgé de deux ans (2+) mesurant 243 mm (LT) et pesant approximativement 300 g. Ces poissons ont été munis d'une micropuce et un prélèvement de tissus a été effectué avant de les remettre à l'eau. Leur identité a été confirmée par la génétique. Dans le cas du chevalier cuivré 2+, il a été démontré qu'il était issu de la reproduction artificielle de 2007 (Côté et coll., 2010). Il s'agit de la première mention de survie, au-delà de la seconde année, d'un chevalier cuivré ensemencé. Un spécimen issu de la reproduction artificielle de 2008 (1+) a également été capturé à l'île aux Cerfs. Les 18 autres mentions de chevaliers cuivrés sont des jeunes de l'année, dont les tailles variaient de 29 à 53,5 mm. L'identité des deux plus petits (29 et 31,5 mm) n'a pu être confirmée par la génétique, car ils ont été préservés dans le formol, mais l'examen de leur appareil pharyngien confirme qu'il s'agit de chevaliers cuivrés. Tous les jeunes de l'année ont été capturés à la seine, sauf un qui a été trouvé dans un petit verveux (tableau 1).

Tableau 1. Bilan des captures de chevaliers cuivrés (n=21) dans la rivière Richelieu en 2009 à la seine de rivage et au petit verveux à l'automne 2009

Stade/Âge	Nombre	LT ou étendue de LT (mm)	Secteur	Station(s)
Adulte	1	630	Saint-Ours	93G
2+	1	243	Saint-Marc	8G
1+	1	120	Saint-Marc	île aux Cerfs 1 (rive gauche)
0+	18	29 à 53,5	Saint-Marc	9 en rive gauche (stations 2G, 4G, 8G et 20,5G) 7 à la station 21B (île aux Cerfs) 2 à la station île aux Cerfs 1 (rive gauche)
	21			

Le nombre des chevaliers (toutes espèces et toutes tailles confondues) capturés, dans le cadre des échantillonnages systématiques à la seine de rivage dans la rivière Richelieu en 2009, s'élève à 765 à Saint-Marc et à 295 à Saint-Ours. Les détails par classe de taille sont présentés dans le tableau 2.

Quant à l'effectif total de jeunes de l'année, toutes espèces confondues, dans le secteur Saint-Marc, l'année 2009 (n=716) est une année d'assez forte abondance par rapport à d'autres. Les effectifs totaux de jeunes de l'année lors des campagnes d'échantillonnages menées de 1998 à 2006 varient de 225 à 507 jeunes de l'année, toutes espèces confondues. L'année 2003 demeure, à ce jour, celle où l'abondance a été la plus élevée (n=997) (Vachon 1999a, b, 2002 et 2007).

En 2009, l'abondance relative des jeunes chevaliers cuivrés s'élève à 2 %, alors qu'aucun n'a été retracé dans le secteur Saint-Ours malgré lesensemencements effectués (tableau 3). Les analyses génétiques confirment la grande contribution des spécimens issus de la reproduction artificielle aux captures. Voir la section Analyses génétiques et Côté et coll., 2010.

Comme dans les suivis antérieurs, la rive gauche de la rivière Richelieu ainsi que les zones littorales peu profondes autour des îles Jeannotte et aux Cerfs sont des endroits nettement plus productifs en ce qui a trait aux captures par unité d'effort de jeunes chevaliers de l'année.

Tableau 2. Bilan des chevaliers capturés dans les secteurs Saint-Marc (40 stations) et Saint-Ours (24 stations) à la seine de rivage en 2009

Classe de taille Espèce	Saint-Marc (40 stations)				Saint-Ours (24 stations)				Total	
	Jeunes de l'année ≤ 99 mm	Subadultes et adultes ≥ 100 mm			Jeunes de l'année ≤ 99 mm	Subadultes et adultes ≥ 100 mm				
		100-299 mm	300-499 mm	≥ 500 mm		100-299 mm	300-499 mm	≥ 500 mm		
Chevalier blanc	121	9	17	0	147	39	15	9	0	63
Chevalier de rivière	25	0	0	0	25	11	0	0	0	11
Chevalier cuivré	16 ¹	1	0	0	17	0	0	0	1	1
Chevalier rouge	532	2	11	0	545	212	6	0	0	218
Chevalier jaune	22	5	0	4	31	1	0	1	0	2
TOTAL	716	17	28	4	765	263	21	10	1	295

¹ Spécimens issus de la reproduction artificielle inclus.

Tableau 3. Abondance relative par espèce des chevaliers capturés dans les secteurs Saint-Marc (40 stations) et Saint-Ours (24 stations) à la seine de rivage en 2009

Espèce	Saint-Marc (40 stations)		Saint-Ours (24 stations)	
	Jeunes de l'année ≤ 99 mm	Subadultes et adultes ≥ 100 mm	Jeunes de l'année ≤ 99 mm	Subadultes et adultes ≥ 100 mm
Chevalier blanc	17 %	53 %	15 %	75 %
Chevalier de rivière	3 %	0 %	4 %	0 %
Chevalier cuivré	2 % ¹	2 %	0 %	3 %
Chevalier rouge	74 %	27 %	81 %	19 %
Chevalier jaune	3 %	18 %	0 %	3 %
TOTAL	100 %	100 %	100 %	100 %

¹ Spécimens issus de la reproduction artificielle inclus.

Tableau 4. Captures moyennes par unité d'effort à la seine de rivage (CPUE) de jeunes chevaliers de l'année (toutes espèces confondues) par secteur et par rive en 2009

Secteur	Nombre de stations	CPUE moyenne globale (écart type)	Répartition des CPUE moyennes selon les rives (écart type)		
			Droite	Gauche	île
Saint-Marc	40	17,90 (29,80)	2,81 (4,92)	22,63 (27,21)	38,63 (47,41)
Saint-Ours	24	10,96 (12,25)	16,17 (12,16)	5,75 (10,32)	NA

3.9 Analyses génétiques

Beaucoup plus d'échantillons que prévu ont été soumis aux analyses génétiques. Au total, 333 échantillons ont été envoyés, dont 108 de chevaliers cuivrés adultes, 86 prélevés sur des jeunes 1+ trouvés dans les étangs etensemencés en 2009, 139 provenant de jeunes de l'année et 1+ provenant des suivis du recrutement d'automne 2007 à 2009 et du printemps 2007. Quant aux adultes, les échantillons proviennent des activités de reproduction artificielle de 2007 à 2009, des spécimens du projet de télémétrie 2007, ainsi que de captures accidentelles par un pêcheur commercial, M. Gérard Boucher, en 2004. Les détails sont présentés à l'annexe 5 et les résultats complets de ces analyses figurent dans Côté et coll. (2010). Les résultats d'analyses d'assignation parentale des jeunes capturés de 2007 à 2009 sont résumés dans les tableaux 5 à 7 (tirés de Côté et coll., 2010).

3.9.1 Jeunes chevaliers cuivrés capturés au printemps 2007

Dix jeunes chevaliers 1+ ont été capturés au printemps 2007. D'après les résultats de Côté et coll. (2010), la reproduction naturelle du chevalier cuivré paraît confirmée pour l'année 2006, mais il convient de considérer cette affirmation avec réserve. En effet, les résultats des analyses d'assignation parentale sont assez particuliers pour deux individus (tableau 5). Le spécimen n° 2007P_5 est issu du mâle 06-09 (géniteur 2006) et d'une femelle utilisée pour la première fois en 2009 (2009-03). Le mâle 06-09 a participé aux activités de reproduction artificielle en 2006 et a été maintenu en captivité du 19 au 27 juin. On peut penser qu'il aurait frayé en milieu naturel immédiatement après avoir été relâché. Le spécimen n° 2007P_1 est issu de la femelle 06-10 (génitrice 2006) et d'un mâle d'origine inconnue. La femelle 06-10 a été

capturée le 20 juin 2006 et relâchée le 25 juin aux termes d'une fraye en deux parties qui ont eu lieu les 24 et 25 juin. Considérant que les volumes d'ovocytes, prélevés et fécondés respectivement à ces dates, sont de 70 ml et de 1 030 ml chez cette femelle, il nous apparaît très peu probable que celle-ci ait frayé naturellement par la suite. Il est possible que ces résultats témoignent des limites des analyses d'assignation parentale. Le pouvoir d'assignation parentale est élevé, mais il n'est pas de 100 %. En effet, en excluant les individus qui ne sont pas des chevaliers cuivrés, le succès d'assignation attendu a été de 90 % pour les trois années d'échantillonnage (Côté et coll., 2010). Les analyses d'assignation parentale, réalisées sur les jeunes chevaliers cuivrés capturés dans le cadre du suivi du recrutement de l'automne 2006 (non présentées dans ce rapport), avaient tout de même documenté la présence de 4 chevaliers cuivrés indigènes sur les 32 ayant fait l'objet d'analyses génétiques et, par le fait même, confirmé la reproduction naturelle de l'espèce en 2006. La proportion de jeunes chevaliers cuivrés indigènes par rapport à ceux produits artificiellement ne peut être déterminée avec précision, car plusieurs jeunes chevaliers cuivrés (n=30) ont échappé au tri sur le terrain et ont été préservés dans le formol, ce qui compromet ce type d'analyse (Côté et coll., 2007; Vachon, 2007).

D'autre part, la survie hivernale des jeunes chevaliers cuivrés en 2006 semble assez bonne, puisque 10 chevaliers cuivrés 1+ ont été capturés au printemps 2007. De ces spécimens, 8 ont été assignés à des géniteurs de 2006 (deux parents).

3.9.2 Jeunes chevaliers cuivrés capturés à l'automne 2007

Les 13 jeunes chevaliers cuivrés, capturés à l'automne 2007 (tableau 5), sont issus de la reproduction artificielle et ont pu être dûment assignés aux géniteurs utilisés en 2007 (Côté et coll., 2010). Ce résultat était connu, puisque ces spécimens avaient été marqués de façon différente à l'oxytétracycline, en fonction du stade à l'ensemencement, afin d'évaluer le taux de survie selon le stade dans le cadre d'une étude menée par l'Université du Québec à Chicoutimi (Brassard, 2008). Cette étude avait démontré que 3 des 13 jeunes chevaliers cuivrés, capturés à l'automne, avaient été ensemencés au stade larvaire, ce qui est très encourageant. Par contre, la reproduction naturelle du chevalier cuivré dans la rivière Richelieu n'a pu être démontrée en 2007.

3.9.3 Jeunes chevaliers cuivrés capturés à l'automne 2008

À l'automne 2008, 74 jeunes chevaliers cuivrés de l'année ont été capturés et 71 d'entre eux ont été assignés à des génitrices et à des géniteurs utilisés en 2008 (tableau 6). Un individu (2008-17) est issu de parents inconnus, ce qui confirme la reproduction naturelle. Les 2 autres (2008-66 et 2008-70) sont issus du mâle 2008-16, un géniteur utilisé en 2008, et d'une femelle inconnue. Ce mâle (2008-16) a été capturé le 21 juin 2008, puis relâché le 24, au terme de 2 inductions hormonales et de 2 prélèvements. Outre la possibilité d'une erreur dans les analyses d'assignation parentale, 2 autres hypothèses peuvent expliquer ces résultats : le mâle (2008-16) a poursuivi ses activités de reproduction en milieu naturel après sa participation à la reproduction artificielle ou il avait déjà frayé en milieu naturel avant sa participation à la reproduction artificielle. En 2008, la reproduction artificielle a été réalisée avec 6 mâles et 18 femelles. Parmi ces mâles, 3 étaient d'anciens géniteurs de 2006 et, parmi les femelles, 2 avaient participé à la reproduction artificielle en 2007 et 1 en 2005. Les analyses d'assignation parentale et la caractérisation génétique des géniteurs ont aussi permis de détecter qu'un mâle considéré comme un nouveau géniteur en 2008 (2008-16) était en fait un ancien qui avait déjà participé à la reproduction artificielle en 2005 (Côté et coll., 2010). Ce mâle a vraisemblablement perdu sa micropuce. L'hypothèse de mauvaise lecture de l'étiquette ne peut être retenue, car des lectures sont faites à chaque manipulation.

3.9.4 Jeunes chevaliers cuivrés capturés à l'automne 2009

En 2009, 10 des 17 jeunes chevaliers cuivrés de l'année soumis aux analyses génétiques sont issus de la reproduction artificielle, 5 sont assurément issus de la reproduction naturelle alors que l'origine des 2 autres ne peut être déterminée hors de tout doute (Côté et coll., 2010). À ceux-ci s'ajoutent deux spécimens de très petite taille dont l'origine n'a pas pu être déterminée en raison du mode de préservation (poissons formolés), mais leur identification est toutefois clairement confirmée par l'examen morphologique. En plus de ces derniers, soulignons la présence d'un chevalier cuivré 1+ capturé au printemps 2009 (tableau 7). Tous ont été capturés dans le secteur Saint-Marc, malgré des échantillonnages dans des secteursensemencés en amont de Saint-Marc et en aval du barrage de Saint-Ours.

Les conclusions pour les jeunes chevaliers cuivrés n^{os} 20 et 35 sont intéressantes, car il est difficile de déterminer hors de tout doute l'origine naturelle ou artificielle. Dans ces cas,

uniquement un géniteur de 2009 a été identifié pour chacun. Une erreur dans l'analyse d'assignation parentale est possible, mais peu probable d'après Côté et coll. (2010). L'hypothèse selon laquelle les géniteurs concernés se soient rendus à Chambly pour y frayer naturellement, après ou avant avoir participé au génitarium, ne peut être exclue, tout comme la possibilité d'une erreur dans les analyses d'assignation parentale. En effet, la génitrice (4184) identifiée pour l'individu n° 20 a été la dernière à frayer. Cette femelle a été capturée le 20 juin, puis relâchée, très vigoureuse, le 25 juin au terme d'une fraye partielle (volume d'œufs prélevés = 150 ml). L'individu n° 35 proviendrait du géniteur (4410) capturé le 18 juin et relâché le 24 juin. Ce mâle était de loin le plus productif de tous quant au volume de sperme prélevé et présentait une excellente qualité de gamètes. Il est à noter que tous les mâles ont été relâchés le 24 juin, même si une femelle n'avait pas encore frayé. En raison des dilueurs développés, de la laitance de qualité, provenant de tous les mâles, était disponible en quantité suffisante pour procéder à la fécondation prévue le lendemain.

Ces analyses montrent l'importante contribution de la reproduction artificielle au recrutement du chevalier cuivré. Au printemps 2007, au moins 80 % des chevaliers cuivrés 1+ capturés étaient d'origine artificielle et, à l'automne 2007, tous les jeunes chevaliers cuivrés de l'année retracés l'étaient également. Les résultats des suivis de 2008 et 2009 confirment hors de tout doute que, respectivement, 96 % et 56 % des jeunes chevaliers cuivrés ont été produits artificiellement (tableau 8).

Les analyses génétiques contribuent à répondre à de nombreuses interrogations, fournissent des renseignements inédits, mais soulèvent aussi des questions à cause de certains résultats inusités. Par exemple, la caractérisation génétique du chevalier cuivré adulte capturé dans le secteur Saint-Ours (RM-09-12, longueur totale de 630 mm) et les analyses d'assignation parentale ont montré que ce poisson était issu du croisement entre le mâle 2006-22 et la femelle 2009-30 (Côté et coll., 2010), dont les longueurs totales sont de 602 mm et de 569 mm, respectivement. Pour l'instant, ce résultat est difficile à expliquer.

Tableau 5. Origine, assignation parentale (si indiquée) des chevaliers cuivrés de l'année, capturés à la seine au printemps 2007 (n=10) et à l'automne 2007 (n=13), dans le cadre du suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu (Côté et coll., 2010)

Nombre	Mâle	Femelle	Origine	N° d'échantillon 2007P_X = printemps 2007A_X = automne
8	Géniteurs 2006	Génitrices 2006	artificielle	2007P_2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 et 11
1	Inconnu	Génitrice 2006	artificielle/naturelle?	2007P_1
1	Géniteur 2006	Génitrice 2009	artificielle/naturelle?	2007P_5
13	Géniteurs 2007	Génitrices 2007	artificielle	2007A_1 à 13

Tableau 6. Origine, assignation parentale (si indiquée) des chevaliers cuivrés de l'année, capturés à la seine à l'automne 2008 (n=74), dans le cadre du suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu (Côté et coll., 2010)

Nombre	Mâle	Femelle	Origine	N° d'échantillon 2008-X
71	Géniteurs 2008	Génitrices 2008	artificielle	
1	Inconnu	Inconnue	naturelle	2008-17
2	Géniteurs 2008	Inconnues	artificielle/naturelle?	2008-66 et 2008-70

Tableau 7. Origine, assignation parentale (si indiquée) des chevaliers cuivrés de l'année, capturés à la seine (n=18) et au petit verveux (n=1)^a, dans le cadre du suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu à l'automne 2009 et du chevalier cuivré 1+, capturé à la seine, dans le secteur Saint-Marc en juin 2009^b (Côté et coll., 2010)

Nombre	Mâle	Femelle	Origine	N° d'échantillon RM-09-XX
10	Géniteurs 2009	Génitrices 2009	artificielle	14 ^a -21-23-24-25-27-31-32-33-36
1	Géniteur 2009	Inconnue	artificielle/naturelle?	35
1	Inconnu	Génitrice 2009	artificielle/naturelle?	20
1	Inconnu	Génitrice 2006	naturelle	26
1	Géniteur 2006	Inconnue	naturelle	29
1	Inconnu	Génitrice 2008	naturelle	28
2	Inconnus	Inconnues	naturelle	22 et 34
1	Géniteur 2008	Génitrice 2008	artificielle	39 ^b
TOTAL 18	Soumis aux analyses génétiques			
2	Inconnus	Inconnues	Non déterminée, car préservée dans le formol. Identification toutefois confirmée par examen au laboratoire.	
TOTAL 20	Capture totale à la seine et au petit verveux au printemps et à l'automne 2009			

^a Ce spécimen a été capturé au petit verveux à l'automne 2009.

^b Ce spécimen a été capturé à la seine de rivage à l'île aux Cerfs en juin 2009 (âge 1+).

Tableau 8. Nombre total, origine et proportion de chevaliers cuivrés (0+ et 1+), capturés dans la rivière Richelieu de 2007 à 2009 et pour lesquels aucun, un ou deux géniteurs ont été retracés dans la banque de données

Année/saison de capture	Âge	Nombre total	Artificielle	Artificielle /Naturelle?	Naturelle			Indéterminée (non analysé)
					2	1	0	
Nombre de géniteur (s) connu (s)			2	1	2	1	0	
2007-Printemps	1+	10	8	1	1			
2007-Automne	0+	13	13					
2008-Automne	0+	74	71	2			1	
2009-Printemps	1+	1	1					
2009-Automne	0+	19	10	2		3	2	2
	TOTAL	117	103	5	1	3	3	2
			88,03 %	4,27 %	0,85 %	2,56 %	2,56 %	1,71 %
Proportion %			88,03 %	4,27 %	5,98 %			1,71 %

4. DISCUSSION

Une analyse annuelle rigoureuse des activités et des procédures ainsi que le souci d'améliorer les performances, les méthodes et les connaissances sont requis.

Par exemple, l'examen critique des résultats, après cinq ans d'activités, a permis de mettre en évidence une perte de potentiel de production chez plusieurs génitrices et géniteurs utilisés jusqu'à présent, par rapport au potentiel théorique prévu dans le plan Bernatchez (2004) quant au nombre de familles à produire.

La nature des activités, du fait qu'elles sont tributaires de la séquence temporelle des captures des géniteurs et que la période durant laquelle elles se réalisent est très restreinte, ne permet pas toujours de maximiser le potentiel. Il est cependant possible d'améliorer les performances de diverses façons. La recherche de moyens disponibles à cet effet est importante en raison de l'extrême précarité de l'espèce et du nombre de plus en plus élevé de recaptures. Jusqu'à présent, quatre approches ont été identifiées :

1. **La réutilisation de certains géniteurs** pour atteindre le plein potentiel théorique (10 à 15 familles) et maximiser le nombre de croisements;

2. **Le développement de dilueurs.**

La pertinence de développer des dilueurs spécifiques pour conserver la laitance fait nul doute, car ces techniques minimisent et parfois éliminent les problèmes d'agglutination, en plus de permettre l'utilisation de laitance jusqu'à 96 heures après son prélèvement. Concrètement, cette technique permet non seulement de maximiser le nombre de croisements, mais aussi de diminuer les manipulations subies par les mâles;

3. **Le développement d'un indice d'évaluation du potentiel des géniteurs** pour guider nos choix afin de tenir compte non seulement du nombre de familles produites, mais également pour tenir compte, à la lumière des expériences antérieures, de leur état de santé ainsi que de la qualité de leurs gamètes;

4. **Une analyse exhaustive annuelle des activités.**

L'application rigoureuse du protocole de reproduction artificielle, qui implique annuellement un croisement factoriel entre 10 mâles et 10 femelles, n'est pas toujours possible étant donné le nombre de plus en plus élevé de recaptures de géniteurs, l'inégalité des sexes et la séquence temporelle des captures, le tout étant combiné aux grandes variations interannuelles. De plus, l'obtention de gamètes, à partir de géniteurs très âgés, n'est pas toujours facile et possible, et ces poissons doivent être manipulés avec prudence. La procédure demande à la fois souplesse, rigueur, disponibilité, audace et ingéniosité, tout en maintenant le cap sur la réalisation d'un maximum de croisements. Ces efforts contribueront certainement à contrer l'effet d'autres phénomènes sur lesquels nous n'avons aucun pouvoir, telle la survie différentielle de la progéniture issue de différents croisements, comme cela a été observé en 2006 à la suite des analyses d'assignation parentale des spécimens capturés dans le cadre du suivi du recrutement (Côté et coll., 2007).

Jusqu'à présent, l'analyse annuelle de nos activités constitue le moyen le plus approprié pour orienter rapidement les décisions afin non seulement d'optimiser le potentiel, mais aussi pour développer des méthodes permettant de diminuer le stress des géniteurs. Par exemple, l'analyse plus détaillée des données concernant le délai entre l'induction des femelles et la capture et la production d'œufs montre qu'une certaine marge de manœuvre en cas de carence en mâle est possible, mais en respectant certaines limites. À cet effet, nos expériences tendent à montrer que l'induction des femelles ne devrait pas (si possible) survenir plus de 24 heures après la capture.

Réalisé de façon systématique depuis 1999, le suivi du recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu constitue l'indice retenu pour mesurer les performances des diverses activités de protection et de conservation mises de l'avant. Entre autres, lorsqu'il est combiné aux analyses génétiques, il permet d'évaluer annuellement la contribution desensemencements par rapport à la reproduction naturelle et de documenter la survie des spécimens ensemencés. En 2009, la survie de jeunes chevaliers cuivrés, au-delà de la deuxième année, a pu être démontrée pour la première fois. De plus, ces travaux contribuent au suivi de la communauté ichthyenne dans un secteur de la rivière Richelieu depuis les 10 dernières années et documentent la présence de plusieurs autres espèces à statut précaire tels le dard de sable (*Ammocrypta pellucida*) et le fouille-roche gris (*Percina copelandi*). Ils permettent aussi de détecter ou de suivre la progression d'espèces exotiques et envahissantes (p. ex., la tanche, la moule zébrée, le gobie à taches noires, certaines écrevisses et plantes). À ces données, s'ajoutent les nombreuses caractérisations de l'habitat qui s'appliquent à plusieurs autres espèces, la caractérisation du milieu riverain en 2008 et 2009, la possibilité d'accroître nos connaissances sur les effets de différents régimes hydrologiques printaniers sur le recrutement des chevaliers et même, éventuellement, de documenter les effets des changements climatiques sur la faune. Jusqu'à présent, ces données ont été en partie analysées, mais tout leur potentiel n'a pas encore été exploité.

Le volet des analyses génétiques, lequel implique la caractérisation génétique des tissus des géniteurs et des fretins, ainsi que les analyses d'assignation parentale, constitue également une source inestimable de connaissances non seulement sur la performance des activités, mais aussi sur des aspects méconnus de la biologie de l'espèce. Par exemple, ces analyses nous ont permis de nous rassurer sur la survie des géniteurs, tant mâles que femelles, à la suite de leur utilisation dans les activités de reproduction artificielle, de même que sur leur capacité de se reproduire naturellement par la suite, et ce, dès l'année suivante et même quatre ans plus tard.

La caractérisation de la diversité génétique de la progéniture, en 2008 et 2009, montre de façon générale que le fait d'accroître et de maximiser le nombre de géniteurs, par rapport au protocole théorique, est considéré comme bénéfique dans le contexte actuel de l'application du plan de reproduction artificielle. Une légère baisse de la diversité génétique des rejets est mise en évidence, mais celle-ci est moins prononcée si un plus grand nombre de géniteurs est utilisé

(Côté et coll., 2010). Certaines années, il s'agit d'un compromis pour compenser une représentation inégale des sexes et tenter d'atteindre l'objectif de 100 familles, tel que le prévoit le plan de reproduction. Le tout consiste à établir, autant que possible, un équilibre entre le nombre de rejetons produits annuellement et le nombre de familles dans un contexte d'activités qui se déroulent sur le terrain et qui dépendent de la capture de poissons sauvages de plus en plus rares et âgés. Le développement d'un indice de contribution des géniteurs dans le cadre de la reproduction artificielle est, dans les circonstances, très pertinent, tout comme l'application du protocole avec une plus grande souplesse, mais en s'appuyant sur des balises.

Les travaux de génétique confirment également que certains géniteurs, mâles et femelles, se sont reproduits pendant deux années consécutives. De plus, à moins que certains résultats soient le fruit d'erreurs ou de problèmes particuliers lors des analyses d'assignation parentale (probable dans moins de 10 % des cas, d'après Côté et coll., 2010), il appert que certains chevaliers cuivrés pourraient frayer naturellement la même année, après avoir été utilisés dans le cadre des activités de reproduction artificielle. Cette possibilité nous semble toutefois plus probable chez les mâles que chez les femelles, notamment lorsque ces dernières ont ovulé de façon très importante dans le cadre des activités de reproduction artificielle.

La reproduction naturelle du chevalier cuivré dans la rivière Richelieu est confirmée en 2006, 2008 et 2009, mais jugée très faible (Côté et coll., 2007, 2010; Vachon, 2007). Parmi tous les spécimens capturés de 2007 à 2009, nous pouvons considérer globalement que le ratio de chevaliers cuivrés issus de la reproduction artificielle ou naturelle se situe autour de 9:1, si tous les spécimens dont l'origine est incertaine (artificielle ou naturelle?) sont considérés comme étant issus de la fraye naturelle. Parmi les sept chevaliers cuivrés qui ont été produits par la fraye en milieu naturel, seulement trois sont issus de deux géniteurs ne figurant pas dans la banque de données. Cette proportion très élevée d'individus sauvages, pour lesquels il est possible de retracer au moins un des deux parents, témoigne du très faible bassin de géniteurs qui composent la population actuellement.

5. CONCLUSION

Compte tenu du bilan présenté, nous considérons que l'ensemble des objectifs, décrits dans la section 3.2 de la demande, a été atteint. Le programme de reproduction artificielle du chevalier cuivré est un succès compte tenu de la très grande précarité de l'espèce. L'opération est toutefois délicate et requiert un travail d'équipe soutenu. Son succès est tributaire de plusieurs interventions liées au maintien des conditions optimales de capture, en passant par les techniques de garde en captivité, d'induction des géniteurs, d'élevage, de transport, d'ensemencement, etc.

L'espèce se reproduit toujours naturellement, mais à un faible niveau. Cette stratégie s'avère la plus pertinente pour remplacer le stock de géniteurs vieillissants et compenser temporairement le déficit de la reproduction naturelle. La poursuite de ce programme est essentielle, puisque la capture de spécimens immatures (âgés de 2 à environ 10 ans) demeure extrêmement rare. L'augmentation du taux de recaptures de géniteurs, le déficit de mâles depuis 2007 et le nombre très élevé de jeunes de l'année, pour lesquels il est possible de retracer l'un des parents, démontrent que les géniteurs se font de plus en plus rares. L'urgence d'agir est clairement mise en évidence.

Des résultats plus concrets sont attendus d'ici 5 à 10 ans, moment où, techniquement, les premiers adultes produits artificiellement devraient être interceptés dans le bassin d'entrée de la passe migratoire lors de la migration de fraye. Considérant les recaptures de géniteurs de chevaliers cuivrés à la passe migratoire, durant les activités de reproduction artificielle des dernières années, ainsi que la littérature scientifique portant sur les Catostomidés, qui démontre une fidélité aux sites de fraye chez plusieurs espèces, dont les meuniers rouge et noir (*Catostomus catostomus* et *C. commersoni*), *Moxostoma robustum* et *Xyrauchen texanus* (Dion et coll., 1993; Geen et coll., 1966; Grabowski et Isely, 2006; Modde et Irving, 1998; Olson et Scidmore, 1963; Quinn et Ross, 1985; Tyus, 1987), nous considérons que le chevalier cuivré afficherait un certain comportement de fidélité par rapport aux sites de fraye (Vachon, 2010). Le retour aux sites de fraye par des chevaliers cuivrés produits artificiellement est plausible. Ce comportement a été documenté chez *Xyrauchen texanus* au cours d'une étude de télémétrie effectuée par Modde et coll. (2005).

Enfin, le suivi du recrutement et les analyses génétiques sont des outils essentiels pour assurer un suivi adéquat du programme et de la population, ainsi que pour mesurer concrètement l'atteinte des objectifs tout en nous permettant d'accroître, de nombreuses façons, nos connaissances sur la biologie de l'espèce et de l'écosystème de la rivière Richelieu.

6. RECOMMANDATIONS

À la lumière des activités et des analyses réalisées en 2009, il est recommandé de :

- Poursuivre la recherche et le développement sur les dilueurs spécifiques afin de conserver le sperme du chevalier cuivré;
- Poursuivre les démarches pour développer un indice d'évaluation du potentiel des géniteurs au plan de reproduction artificielle et moduler l'application du protocole de reproduction artificielle en suivant les balises qui s'appuient sur nos réflexions et nos discussions;
- Améliorer la performance de l'élevage, notamment en trouvant des solutions pour contrer les effets adverses de la nature. Un suivi constant et systématique de la productivité du zooplancton dans les étangs et la mise en œuvre rapide de solutions alternatives en cas de déficit figurent, entre autres, parmi les solutions à explorer. La problématique de la prédation mérite aussi une attention particulière;
- Intégrer, de façon systématique, les analyses génétiques au suivi des activités et de la population;
- Implanter un protocole de prélèvement de tissus en cas de captures accidentelles dans le cadre de tous les projets se déroulant dans l'aire de répartition de l'espèce (projet de recherche ou activités réalisées dans le cadre de permis SEG);
- Amorcer les analyses plus approfondies liées au suivi du recrutement, dont celles touchant l'exploration des effets des conditions hydrologiques et de la température de l'eau au printemps sur le recrutement des chevaliers dans la rivière Richelieu;
- Amorcer les analyses statistiques des données sur les dilueurs de laitance et approfondir celles sur l'ensemble des géniteurs.

7. SENSIBILISATION ET COMMUNICATION

Ce projet suscite l'intérêt du public de diverses façons. En 2009, plusieurs échanges avec des journalistes de l'émission *Zooville* ont eu lieu et une équipe est venue tourner des images des ensemencements en vue de la préparation d'un épisode. *Zooville* est une émission de télévision diffusée sur les ondes de Radio-Canada, qui s'adresse aux enfants de 8 à 12 ans et qui vise à découvrir les espèces animales qui se cachent dans les villes. En septembre, l'équipe d'ensemencement a également accueilli des élèves du primaire qui faisaient une visite au lieu historique national du Canal-de-Saint-Ours. Ces élèves ont profité d'une session d'information et, pour leur grand plaisir, ont pu voir des chevaliers cuivrés sur le point d'être relâchés dans la rivière Richelieu. Ils ont par la même occasion été sensibilisés à cette espèce unique au monde. Les 14 et 15 novembre 2009, le MRNF et le COVABAR (Comité de concertation et de valorisation du bassin de la rivière Richelieu) ont participé au *Rallye des coulisses*, un événement spécial qui se tenait au Biodôme, en animant un kiosque dédié au chevalier cuivré. Les gens, petits et grands, étaient particulièrement intéressés par les activités de reproduction artificielle et de télémétrie ainsi que par tous les efforts que nous déployons pour protéger et rétablir l'espèce. Ce fut une occasion privilégiée de faire connaître l'espèce ainsi que notre travail.

REMERCIEMENTS

Je remercie spécialement toute l'équipe de réalisation pour son travail soutenu et sa grande implication à toutes les étapes du projet.

Je souhaite également exprimer ma gratitude aux employés de Parcs Canada et du Lieu historique national du Canada du Canal-de-Saint-Ours qui contribuent de diverses façons au projet, notamment en nous permettant de procéder aux activités de reproduction artificielle.

Pour leur grande complicité, je tiens à remercier André Brunelle, Jean Larochelle, Jean Bergeron, Sylvain Paradis et Réjean Malo.

Je remercie Hugues Bouchard, de Pêches et Océans Canada, pour son implication dans la recherche de financement et son soutien.

Je tiens à souligner la contribution de Jean-Claude Petit, du Camping Bellevue à Saint-Charles-sur-Richelieu, qui est grandement appréciée depuis 1997.

Mes remerciements s'adressent également à Sophie Poirier qui a su immortaliser la plupart des étapes de ces activités de rétablissement en s'intégrant discrètement à nos équipes avec grande passion.

Enfin, je dois remercier chaleureusement Pierre Dumont pour la révision finale du rapport.

PARTENAIRES

Ce projet est rendu possible grâce à la participation financière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune¹ et de Pêches et Océans Canada par l'entremise du programme Espèces en péril, ainsi que par une contribution en nature de Parcs Canada.

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

ANNEXES

Annexe 1. Dates de fraye, délai entre l'induction et la capture, nombre de familles viables produites, production et sites d'ensemencement des larves des 16 femelles de chevaliers cuivrés utilisées pour la reproduction artificielle en 2009

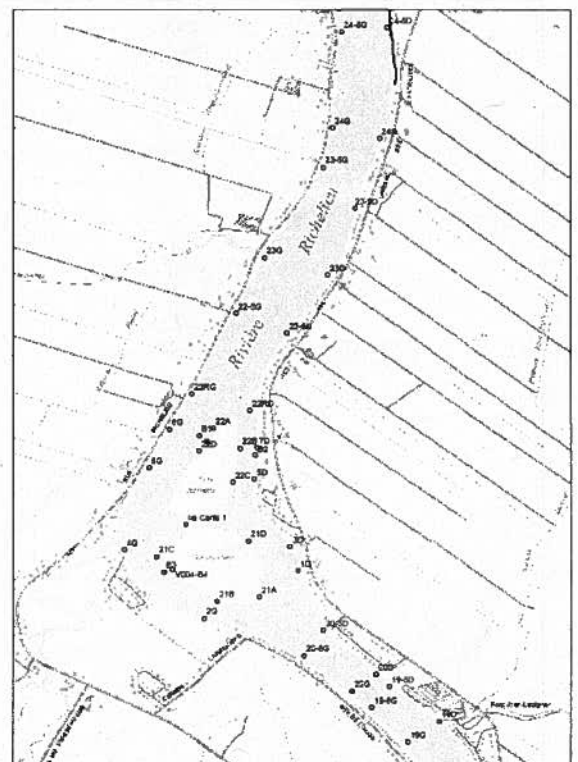
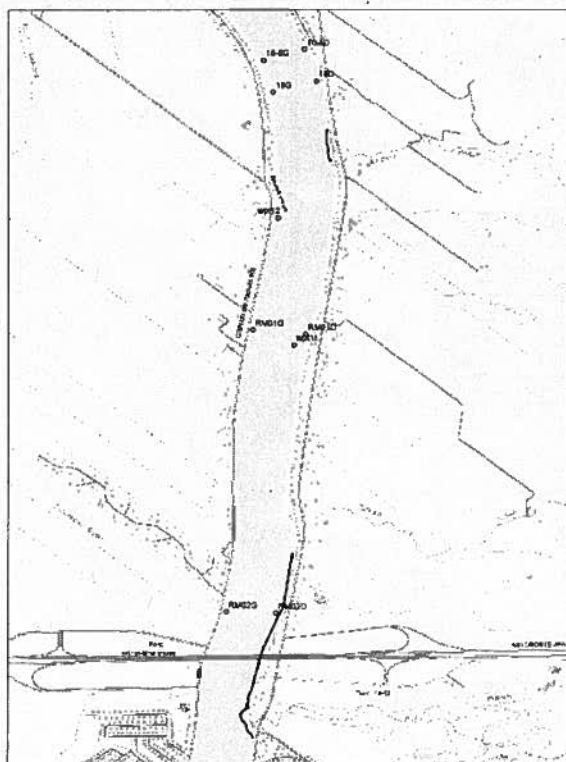
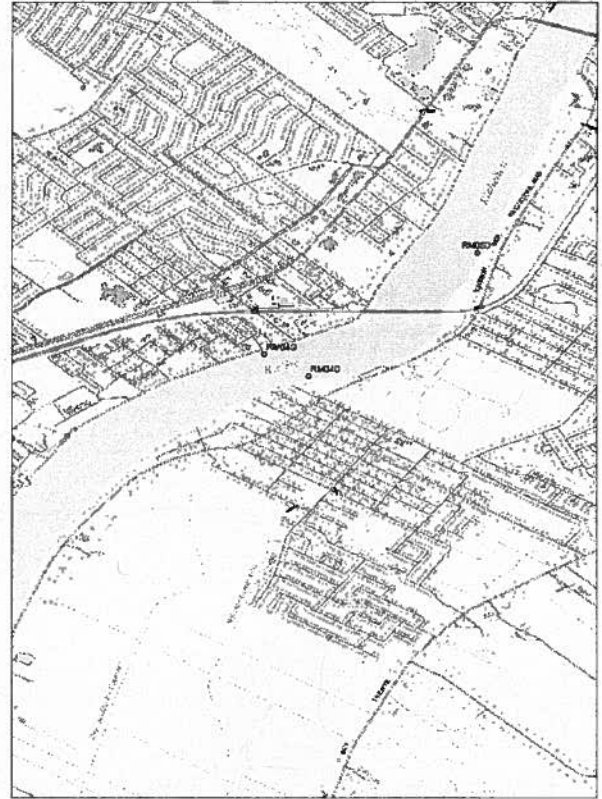
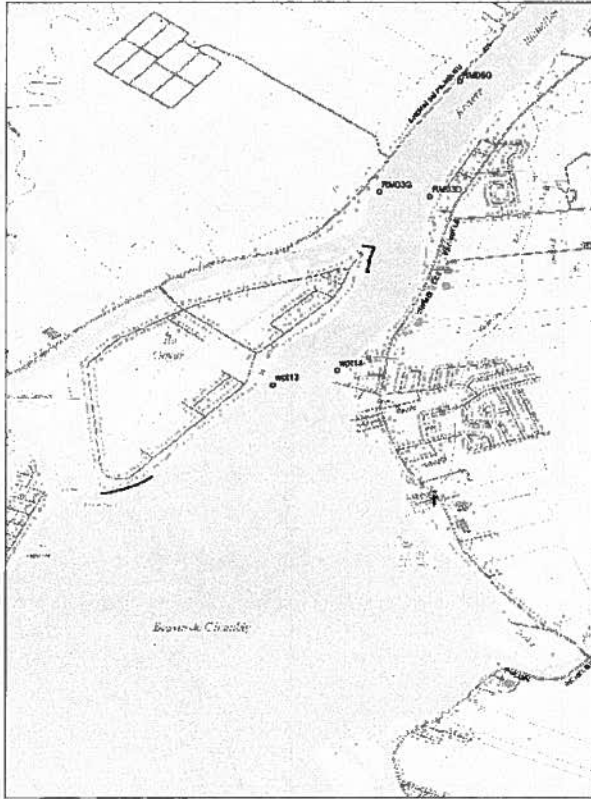
Femelle ID*	Nombre de jeunes de l'année capturés en 2009	Répartition de la progéniture des femelles ensemencées au stade larvaire dans les trois grands secteurs de rivière				Délais entre capture et induction (heure)			Nombre de larves mises en étang	Total larves ensemencées par femelle	Ensemencement de larves 3 juillet			Ensemencement de larves 10 juillet			Date de fraye	FAMILLE CONFIRMÉES
		Amont Chamblay (site 1)	Chambly à Saint-Marc Incl. (Sites 2 et 7)	Aval Saint-Ours (Sites 8 et 9)			No. boudin	Site			Nombre	No. boudin	Site	Nombre				
2074	0		X		24	2 800	49 205	4	5A	49 205					18	7		
0341	1		X		48	2 800	61 181	1	4	61 181					18	7		
6513	1	X			24	2 800	27 695	2	1	27 695					18	7		
4846	0		X		24	2 800	60 044	3	7B	60 044					18	7		
6129	1		X		24	2 800	14 986								19	7		
5565	1		X		24	2 800	29 292								19	7		
5251	0		X		48	2 800	15 762								19	7		
7788	0		X		0	2 800	54 314	5	7A	54 314			1	6C	60 042	7		
8398	0			X	24	2 800	24 526								19	8		
4184	1			X	0	2 800	10 880						2	8A	35 406	7		
9255	2		X		0	2 800	41 693						5	3	41 693	8		
5001	2		X	X	0	2 800	68 440						3	5B	34 220	8		
4563	0		X	X	0	2 800	65 088						4	8B	34 220	8		
0900	0		X	X	0	2 800	87 188						6	5C	32 544	9		
6536	1		X		0	2 800	55 021						7	9B	32 544	9		
2315	0		X		0	2 800	59 989						8	2	43 594	9		
					0	2 800	59 989						10	6B	55 021	9		
			X		0	2 800	59 989						11	6A	59 989	9		
TOTAL 10						44 800	725 306			252 439				472 867		125		

* Seuls les quatre derniers chiffres ou lettres du numéro de microproce sont inscrits.

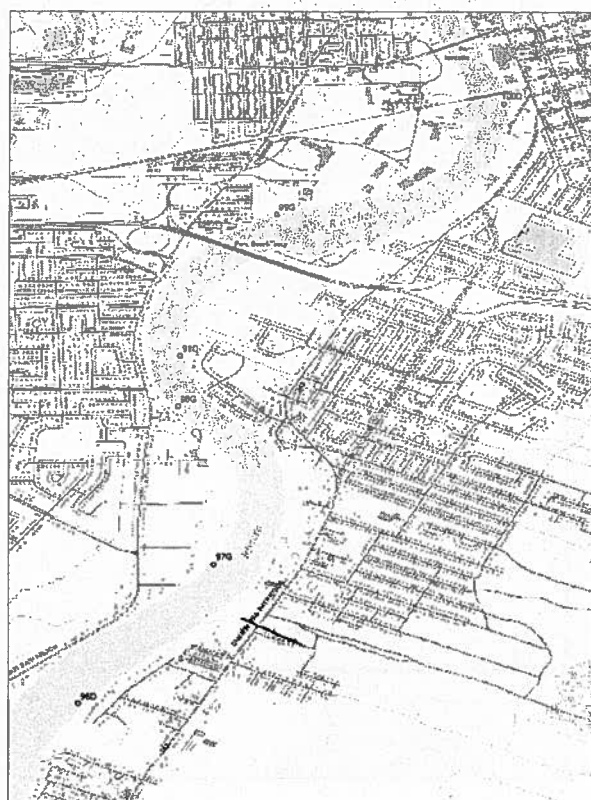
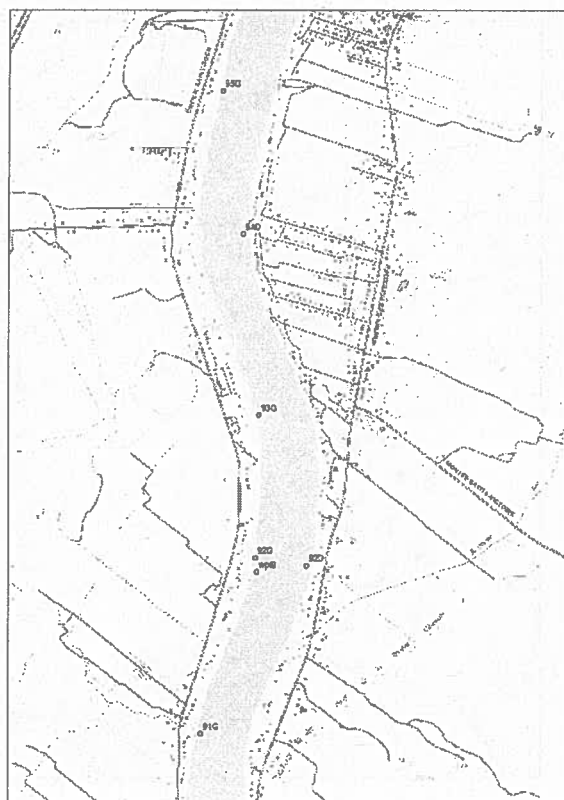
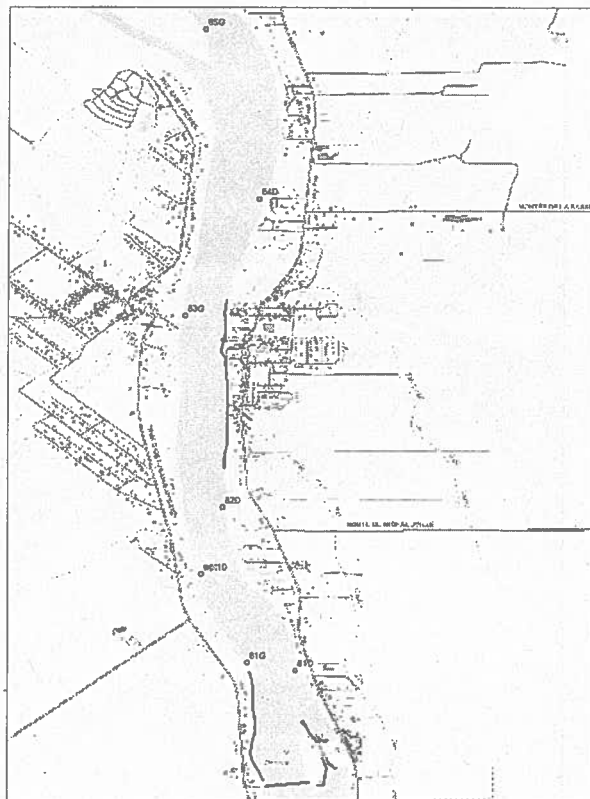
Annexe 2. Nombre, sites d'ensemencement et caractéristiques des jeunes chevaliers cuivrés de l'année et âgés de un an (1+) en 2009

Date	17 septembre 2009		18 septembre 2009		TOTAL
	Amont barrage Chambly		Aval barrage Saint-Ours		
Secteur	Saint-Mathias-Saint-Marc				
Sous-secteur	7A	7B	7C	7D	7E
Endroit (description)	Ile Jeannette rive gauche	Ile aux Cerfs rive gauche	En face de la Marina amont de la descente publique à Saint-Basile	Immédiatement en aval du pont de l'autoroute 20 en rive gauche	Rive gauche dernier croche en amont du camping (silo)
Municipalité	Saint-Jean	Saint-Charles	Saint-Basile	Beloil	Saint-Marc
Rive (droite/gauche/île)	Droite	Île	Gauche	Gauche	Gauche
Jeunes chevaliers cuivrés de l'année (nombre)	519	519	5519	1486	7005
Chevaliers cuivrés 1+					
Lot	1	2	3	4	5
Correspondance site/fiche d'ensemencement	1	7	7	6	3
T eau Richelleu (degrés Celsius)	19,5	20	20	20	20
Nombre	6	6	7	6	5
LT moyenne (mm)	142	131	134	125	131
LT min-max (mm)	126-170	115-172	116-171	115-131	118-152
					123-153
					107-134
					117-132
					120-172
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134
					110
					9
					11
					8
					9
					10
					11
					12
					134
					116-147
					122
					113-142
					120-160
					134

Annexe 3. Localisation des sites d'échantillonnage, à la seine de rivage et au verveux à l'automne 2009, dans la rivière Richelieu, du bassin de Chambly à Saint-Marc-sur-Richelieu



Annexe 4. Localisation des sites d'échantillonnage, à la seine de rivage et au verveux à l'automne 2009, dans la rivière Richelieu, du barrage de Saint-Ours à l'embouchure



Annexe 5. Répartition des échantillons de tissus de chevaliers cuivrés envoyés au laboratoire du Dr Louis Bernatchez en 2009

Type d'échantillons	An	Nombre total
Origine inconnue	?	1
Gérard Boucher	2004	5
Capture Saint-Ours (utilisés comme géniteurs ou non)	2007	34
Capture Saint-Ours (utilisés comme géniteurs ou non)	2008	20
Capture Saint-Ours (utilisés comme géniteurs ou non)	2009	32
Projet télémétrie 2007	2007	16
Total partiel Adulte		108
Chevaliers cuivrés 1+ensemencés en 2009	2009	86
Total partiel 1+ensemencés		86
Suivi du recrutement printemps	2007	12
Suivi du recrutement automne	2007	15
Suivi du recrutement automne	2008	79
Suivi du recrutement automne	2009	33
Total partiel échantillons des suivis 2007 à 2009		139
TOTAL		333

BIBLIOGRAPHIE

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, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, 40 p.
- BRASSARD, J. (2008). *Contribution desensemencements de larves et de juvéniles dans le rétablissement d'une espèce menacée, le chevalier cuivré*, rapport final présenté à MM. Pascal Sirois et Daniel Lord comme exigence partielle du cours 1GBI126, Diffusion des résultats de recherche du programme de baccalauréat en biologie, Université du Québec à Chicoutimi, vii + 23 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].
- CÔTÉ, G., VACHON, N. et L. BERNATCHEZ (2010). *Caractérisation génétique de chevaliers cuivrés (Moxostoma hubbsi) reproducteurs de 2007-2008-2009 et de leurs juvéniles ensemencés en 2007-2008-2009 dans la rivière Richelieu*. Rapport final présenté par l'Université Laval au ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 35 p. + 4 annexes.
- DION, R., M. RICHARDSON, L. ROY and F. G. WHORISKEY (1993). "Spawning patterns and interspecific matings of sympatric white (*Catostomus commersoni*) and longnose (*C. catostomus*) suckers from the Gouin reservoir system, Québec", *Canadian Journal of Zoology*, 72: 195-200.
- GEEN, G. H., T. G. NORTHCOTE, G. F. HARTMAN and C. C. LINDSEY (1966). "Life history of two species of Catostomid fishes in Sixteenmile lake, British Columbia, with particular reference to Inlet stream spawning", *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 23: 1761-1788.
- GRABOWSKI, T. B. and J. J. ISELY (2006). "Seasonal and diel movements and habitat use of the robust redhorses in the lower Savannah River, Georgia and South Carolina", *Transactions of the American Fisheries Society*, 135: 1145-1155.
- 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 SÉEEQ ltée, pour le ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, 50 p.
- LECLERC, J et N. VACHON (2008). *Migration des poissons et captures de chevaliers cuivrés dans la passe Vianney-Legendre en 2007 (rivière Richelieu)*, 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. 16-40, vi + 20 p. + 2 annexes.

- LIPPÉ C, P. DUMONT and L. BERNATCHEZ (2004). "Isolation and identification of 21 microsatellite loci in the copper redhorse (*Moxostoma hubbsi*; Catostomidae) and their variability in other catostomids", *Molecular Biology Notes*, 4: 638-641.
- LIPPÉ, C., P. DUMONT and 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.
- MODDE, T. and D. B. IRVING (1998). "Use of multiple spawning sites and seasonal movement by razorback suckers in the middle Green river, Utah", *North American Journal of Fisheries Management*, 18: 318-326.
- MODDE, T., Z. H. BOWEN and D.C . KITCHEYAN (2005). "Spatial and temporal use of a spawning site in the Middle Green River by wild and hatchery-reared razorback suckers", *Transactions of the American Fisheries Society*, 134: 937-944.
- MONGEAU, J.-R., P. DUMONT, L. CLOUTIER et A.-M. CLÉMENT (1988). « Le statut du chevalier cuivré, *Moxostoma hubbsi*, au Canada », *Canadian Field-Naturalist*, 102: 132-139.
- OLSON, D. E. and W. J. SCIDMORE (1963). "Homing tendency of spawning white suckers in Many Point Lake, Minnesota", *Transactions of the American Fisheries Society*, 92: 13-16.
- ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES (2007). *Fish Culture Technical Bulletin*, Best Management Practices, Bulletin 2007-01.
- QUINN, S. P. and M. R. ROSS (1985). "Non-annual spawning in the white sucker, *Catostomus commersoni*", *Copeia*, 1985(3): 613-618.
- TYUS, H. M. (1987). "Distribution reproduction, and habitat use of the Razorback sucker in the Green River, Utah, 1979-1986", *Transactions of the American Fisheries Society*, 116: 111-116.
- 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, Rapp. tech. 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, Rapp. tech. 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). *Besoins et comportements probables du chevalier cuivré pour la reproduction, localisation et estimation de la superficie de frayère potentielle dans la rivière Richelieu*. Conférence présentée dans le cadre de l'Atelier de travail sur l'utilisation de l'habitat par le chevalier cuivré pour la définition des habitats essentiels de l'espèce en vertu de la Loi sur les espèces en péril, 18 mars 2010.

