

Rapport présenté à la Société de restauration
du saumon de la rivière Betsiamites

**Étude de la qualité des frayères de la Rivière Betsiamites :
Survie des embryons de saumon et nettoyage de sédiments fins**

Bérubé, F., Pouliot, M-A., Bergeron, N. et Levasseur, M.

PROMOTEUR

Normand Bergeron
Professeur
Institut National de la Recherche Scientifique
Centre Eau, Terre et Environnement
880, chemin Sainte-Foy, bur. 840
Case postale 7500
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

Téléphone : (418) 654-3703 Télécopieur : (418) 654-2615

19 août 2004

ÉQUIPE DE TRAVAIL

INRS-Eau, Terre et Environnement

Directeur de projet : Normand Bergeron

Chargés de projet : Francis Bérubé
Marc-André Pouliot

Assistante : Mylène Levasseur

Conseil de bande de Betsiamites

Responsable: Jack Picard

Génivar

Chargé de projet: Frédéric Lévesque

TABLE DES MATIÈRES

Équipe de travail	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des annexes	iv
Liste des figures	v
Résumé	viii
1.0 Introduction	1
1.1 Problématique	1
1.2 Objectifs	1
2.0 Travaux de terrain	2
2.1 Méthodologie	2
2.1.1 Incubation	2
2.1.1.1 Sites	2
2.1.1.2 Paniers virtuels	8
2.1.1.3 Trappes d'émergence	11
2.1.2 Nettoyage	15
2.1.2.1 Objectifs	15
2.1.2.2 Sites	15
2.1.2.3 Matériel	16
2.1.3 Méthodes d'échantillonnages granulométriques	18
2.1.3.1 Cellule d'isolation du courant	18
2.1.4 Oeufs	19
2.1.5 Pose des nids artificiels	19
2.2 Résultats	20
2.2.1 Incubation	20
2.2.1.1 Suivi du développement des oeufs	20
2.2.1.2 Taux de récupération et de survie des oeufs	23
2.2.1.3 Liens entre la survie et les sédiments fins	26
2.2.1.4 Discussion	29
2.2.2 Nettoyage	31
2.2.2.1 Court terme	31
2.2.2.2 Long terme	32
2.2.2.3 Taux de survie	33
3.0 Conclusion	34
4.0 Références	36

Liste des tableaux

Tableau 1. Taux de récupération des œufs et des alevins (morts et vivants) sur les différentes frayères le 7 et 28 juin 2003	24
Tableau 2. Pourcentage relatif des différents stades d'œufs et d'alevins retrouvés dans les nids artificiels pour les deux prélèvements	25
Tableau 3. Effet du déflecteur sur le pourcentage de sédiments fins.....	31

Liste des Annexes

Annexe 1. Détail du décompte des œufs et alevins, du stade de développement atteint et de la survie des embryons par panier d'incubation	38
Annexe 2. Variation du débit sur la rivière Betsiamites au cours de la période d'étude	41

Liste des figures

Figure 1. Carte de la localisation des frayères étudiées sur la rivière Betsiamites et la rivière Boucher	3
Figure 2. Carte de la frayère du kilomètre 67.	4
Figure 3. Carte de la frayère du kilomètre 65	5
Figure 4. Carte de la frayère du kilomètre 52	6
Figure 5. Carte de la frayère du kilomètre 42.	7
Figure 6. Photo d'un panier virtuel: armature de métal et sac	8
Figure 7. Photo d'un panier virtuel et de son sac lors de l'installation	9
Figure 8. Séquence d'extraction d'un panier du substrat. À titre d'exemple le panier a été installé sur une partie exondée du lit.....	10
Figure 9. Schéma d'un panier muni d'une trappe d'émergence	13
Figure 10. Photo d'une trappe d'émergence ouverte	13
Figure 11. Photo d'une trappe d'émergence vue de côté	14
Figure 12. Photo du banc d'essai des trappes d'émergence en laboratoire	14
Figure 13. Carte de la surface nettoyée sur la frayère km 67	16
Figure 14. Photo du traîneau déflecteur adapté à la récupération des sédiments	17
Figure 15. Photo des griffes utilisées pour la démobilitation du substrat	18
Figure 16. Photographie de la cellule d'isolation du courant	18

Figure 17. Schéma de la cellule d'isolation du courant.....	19
Figure 18. Température d'incubation mesurée	21
Figure 19. Évolution estimée du pourcentage de développement des œufs.....	21
Figure 20. Évolution estimée du pourcentage de résorption du sac vitellin des alevins.....	22
Figure 21. Évolution estimée du pourcentage total du développement des œufs.....	22
Figure 22. Taux d'éclosion des oeufs sur les différentes frayères au 7 juin 2004.....	25
Figure 23. Taux d'éclosion des oeufs sur les différentes frayères au 28 juin 2004.....	25
Figure 24. Taux d'éclosion des oeufs sur les différentes frayères en combinant ensemble les relevés du 7 et 28 juin	26
Figure 25. Pourcentage de silts (< 0.063 mm) mesuré dans les paniers d'incubation des différentes frayères	27
Figure 26. Pourcentage de sables et silts (< 2 mm) mesuré dans les paniers d'incubation des différentes frayères	27
Figure 27. Relation entre le taux d'éclosion des œufs et le pourcentage de silts (<0.063mm)	28
Figure 28. Relation entre le taux d'éclosion des œufs et le pourcentage de sables et silts (<2 mm)	28
Figure 29. Pourcentage de sables et silts (< 2 mm) mesuré au printemps dans les paniers d'incubation sur les zones nettoyées et non-nettoyées à l'automne	32
Figure 30. Pourcentage de silt (< 0.063 mm) mesuré au printemps dans les paniers d'incubation sur les zones nettoyées et non-nettoyées à l'automne	33
Figure 31. Comparaison des taux d'éclosion des oeufs entre les zones nettoyées et non-nettoyées sur la frayère km 67.....	33
Figure 32. Photo de l'extraction des paniers d'incubation au printemps 2003.....	43

Figure 33. Photo du décompte des œufs retrouvés au printemps 2003..... 43

Résumé

Les deux principaux objectifs de cette étude étaient 1) d'évaluer la qualité des principales frayères de la rivière Betsiamites et d'une frayère de la rivière Boucher en mesurant directement les taux de survie à l'éclosion et à l'émergence d'œufs incubés dans le substrat des frayères et 2) de tester l'effet de travaux de nettoyage d'une frayère sur la réduction du pourcentage de sédiments fins dans le substrat et l'augmentation du taux de survie des œufs. Les résultats indiquent une faible qualité du substrat de fraie pour l'ensemble des frayères de la rivière Betsiamites et de la rivière Boucher. Les incubations artificielles effectuées sur les frayères ont montrées des taux d'éclosion très faibles, souvent inférieurs à 4 %. Les pourcentages de silts mesurés sur les frayères (moyenne de 0.46 %) sont élevés et peuvent expliquer en grande partie les faibles taux de survies mesurés sur les deux rivières. Le nettoyage effectué sur la frayère du km 67 de la rivière Betsiamites a permis d'augmenter le taux de survie de 3 % à 25 %. De plus, le faible taux de récupération des œufs à la fin de la période d'incubation, combiné aux observations de terrains montrant une érosion importante de certains cubes, suggèrent que l'érosion partielle d'une partie des nids de saumon pendant la période d'incubation pourrait engendrer une mortalité importante des œufs sur la rivière Betsiamites et la rivière Boucher.

1.0 Introduction

1.1 Problématique

Plusieurs travaux ont été effectués au cours des dernières années afin de restaurer la population de saumon (*Salmo salar*) de la rivière Betsiamites. Ces travaux ont entre autres permis la capture de saumons géniteurs provenant de la rivière, l'incubation d'œufs issue de ces géniteurs et l'ensemencement massif de saumons juvéniles. Dans une perspective de développement durable de la ressource saumon sur la rivière, il est cependant impératif de déterminer si la rivière possède l'ensemble des différents habitats requis afin de permettre au saumon de compléter toutes les étapes de la partie de son cycle vital qui se déroule en rivière. L'incubation des oeufs dans le substrat des frayères se situant au tout début de ce cycle vital, l'évaluation de la qualité de l'habitat de fraie de la rivière devrait donc constituer un élément majeur du plan de restauration du saumon.

Une étude des frayères de la rivière Betsiamites a permis de démontrer que, selon les principaux indices de qualité du substrat pour l'incubation des oeufs de saumon qui existent dans la littérature, la qualité des frayères de la rivière Betsiamites est généralement pauvre (Levasseur et al., 2000). Ces résultats laissant supposer que la qualité des frayères pourrait constituer un obstacle majeur à la restauration du saumon sur la rivière, il a été décidé par la société de restauration du saumon d'obtenir des renseignements additionnels à ce sujet.

1.2 Objectifs

Les deux principaux objectifs de la présente étude étaient 1) d'évaluer la qualité des principales frayères de la rivière Betsiamites et d'une frayère de la rivière Boucher en mesurant directement les taux de survie à l'éclosion et à l'émergence d'œufs incubés dans le substrat des frayères et 2) de tester l'effet de travaux de nettoyage d'une frayère sur la réduction du pourcentage de sédiments fins dans le substrat et l'augmentation du taux de survie des oeufs.

2.0 Travaux de terrain

2.1 Méthodologie

2.1.1 Incubation

2.1.1.1 Sites

Les travaux de terrain ont été effectués de l'été 2002 à l'été 2003. Cinq sites ont été étudiés. Quatre frayères ont été choisies sur la branche principale de la rivière Betsiamites ainsi qu'une frayère sur la rivière Boucher. Les frayères étudiées sur la rivière Betsiamites ont été suivies pendant plusieurs années par le Groupe Génivar et ces mêmes frayères ont été caractérisées par l'INRS en juin 2000 (Levasseur et al., 2000). Il s'agit des frayères situées aux kilomètres 42, 52, 65 et 67 de l'embouchure (figure 1). Le site étudié sur la rivière Boucher a été choisi après la découverte par Génivar et l'INRS de 5 nids naturels à cet endroit à l'automne 2002. La frayère est située à environ 2.5 km en amont de l'embouchure de la rivière Boucher. La découverte récente de cette frayère sur la rivière Boucher n'a pas permis de déterminer sa fréquence d'utilisation par les saumons géniteurs et aucune carte de localisation des zones habituellement utilisées pour la reproduction sur cette frayère n'a donc pu être produite. Des zones de travail ont été choisies sur chacune des frayères étudiées sur la rivière Betsiamites. Ces zones ont été délimitées grâce aux recensements périodiques de la position des nids naturels effectués par Génivar (figure 2 à 5). La position des nids naturels lors des années passées a donc été utilisée afin de déterminer la localisation des nids artificiels pour les tests d'incubation. La position des nids artificiels est ainsi considérées comme étant représentative des conditions subies par les nids naturels sur les différentes frayères. Ne possédant pas de recensements des zones frayées sur la rivière Boucher, les nids artificiels ont été placés entre les nids naturels présents sur le site étudié.

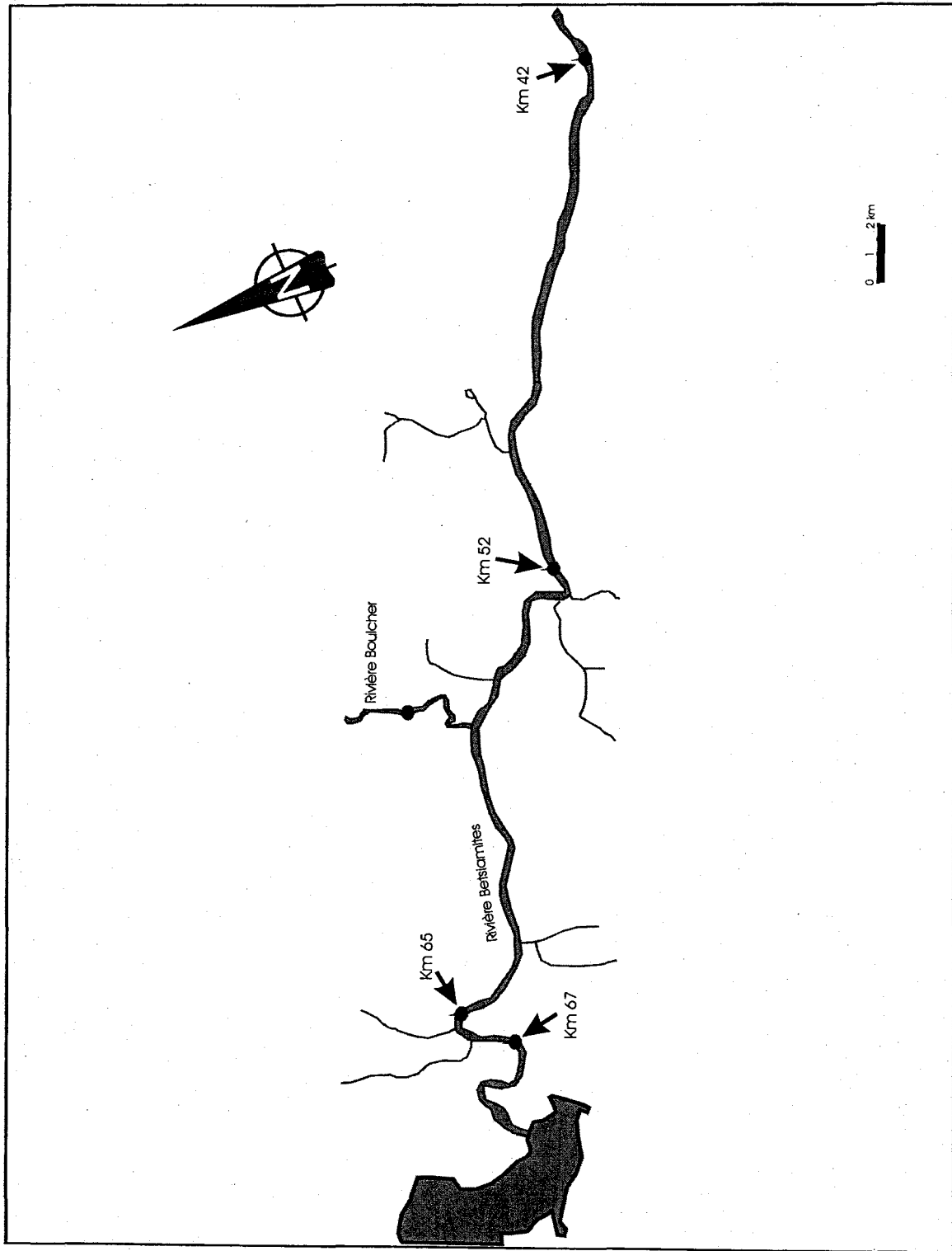


Figure 1. Carte de la localisation des frayères étudiées sur la rivière Betsiamites et la rivière Boucher.

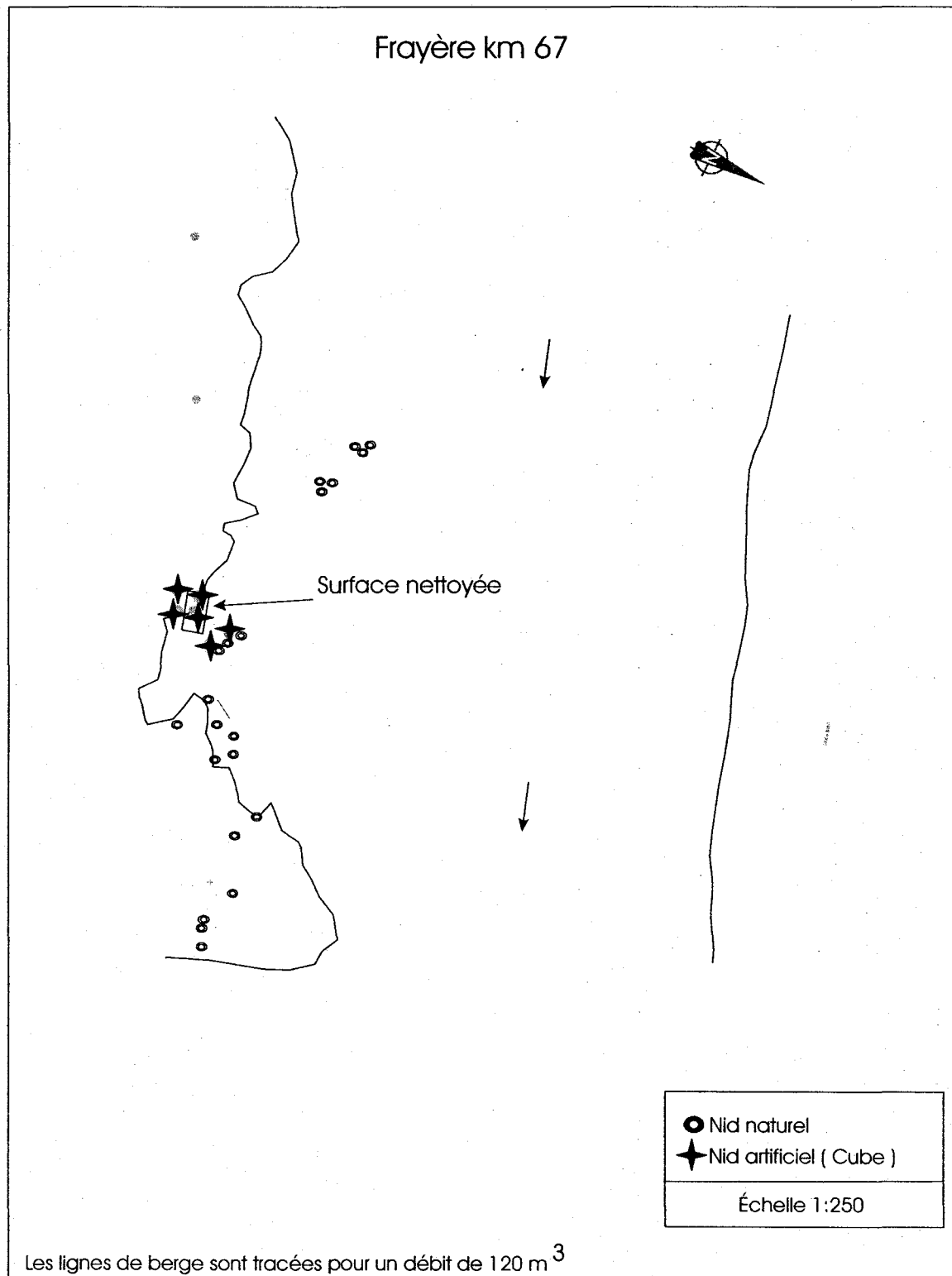


Figure 2. Carte de la frayère du kilomètre 67.

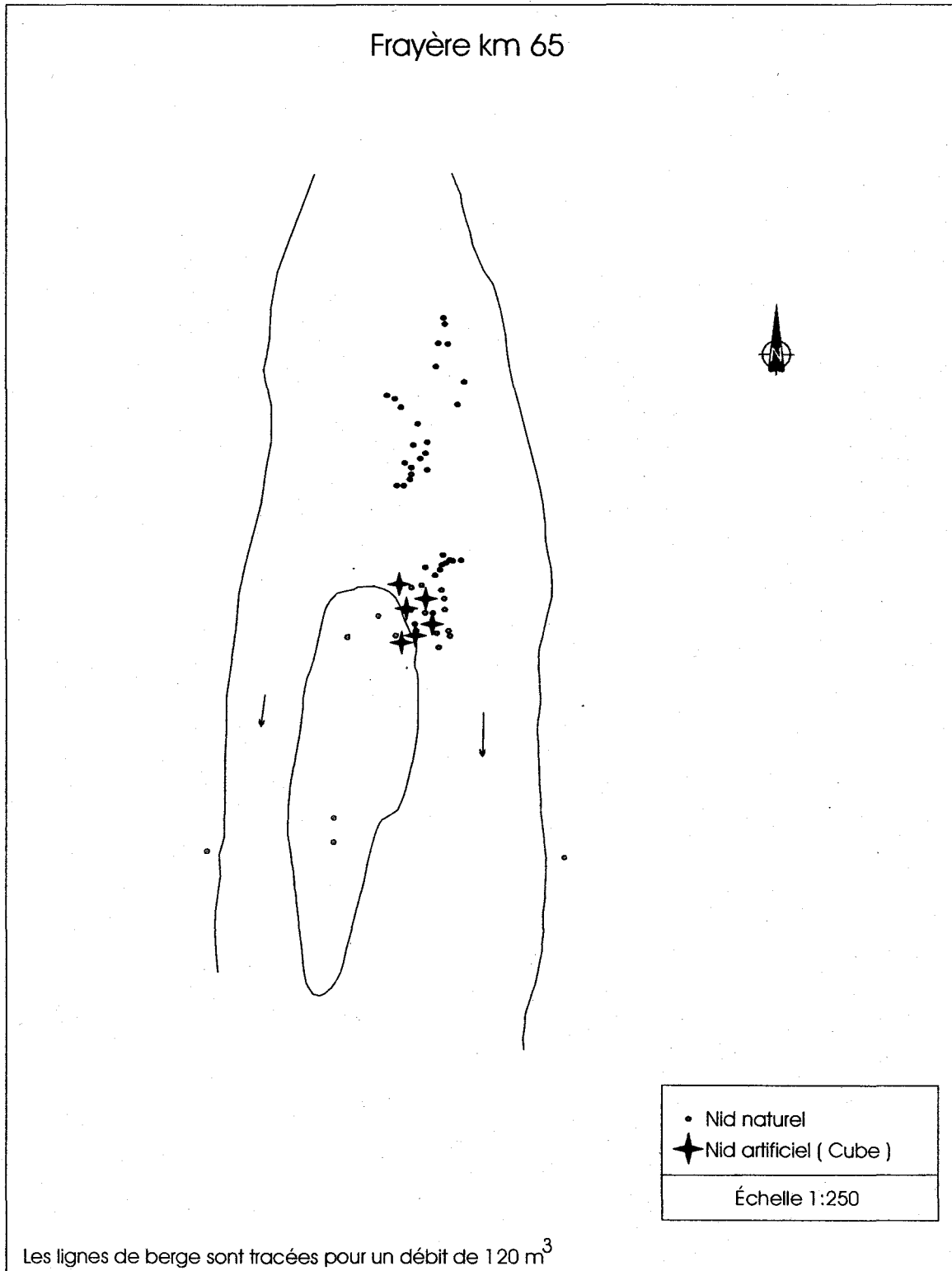


Figure 3. Carte de la frayère du kilomètre 65.

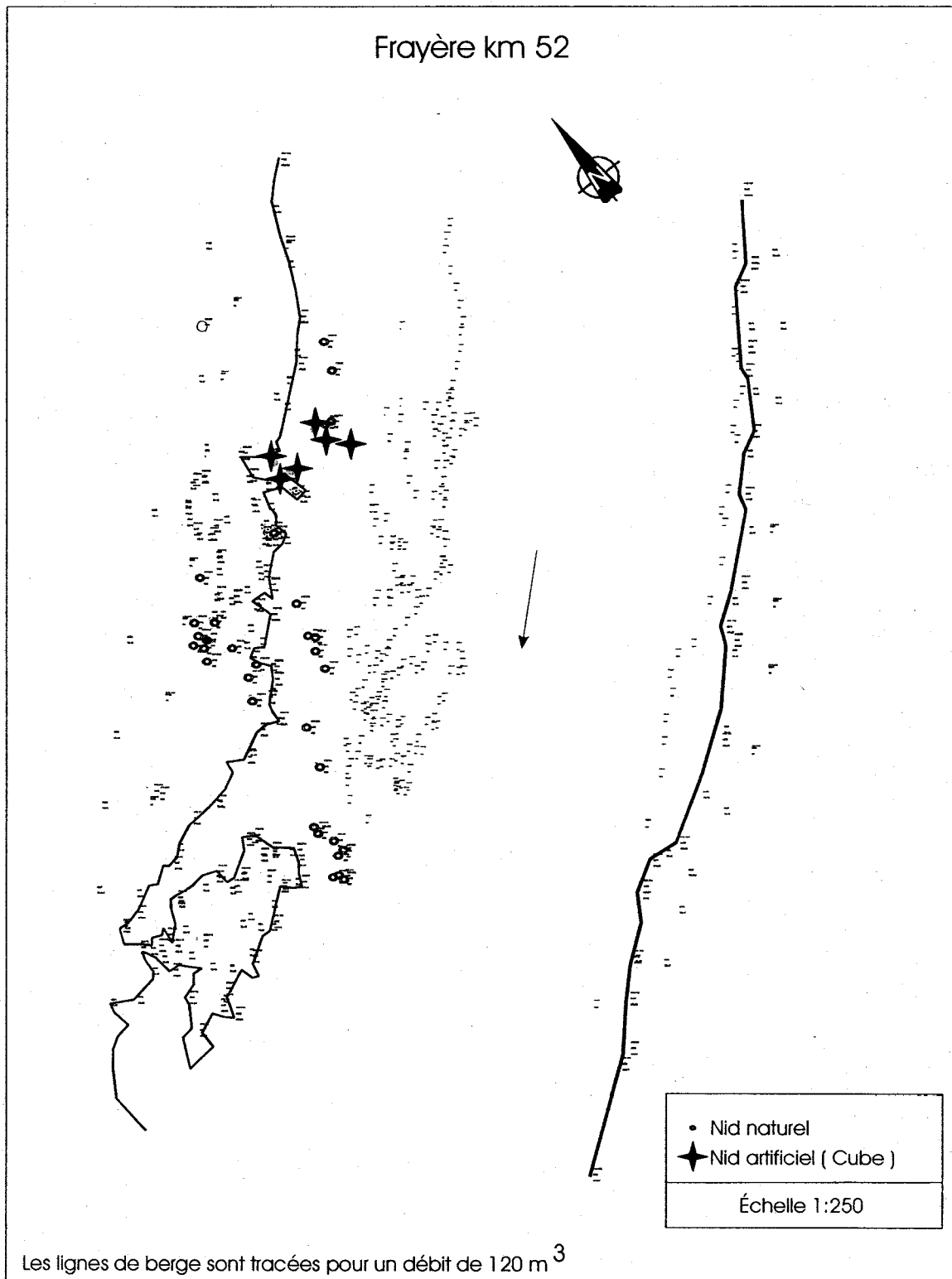


Figure 4. Carte de la frayère du kilomètre 52.

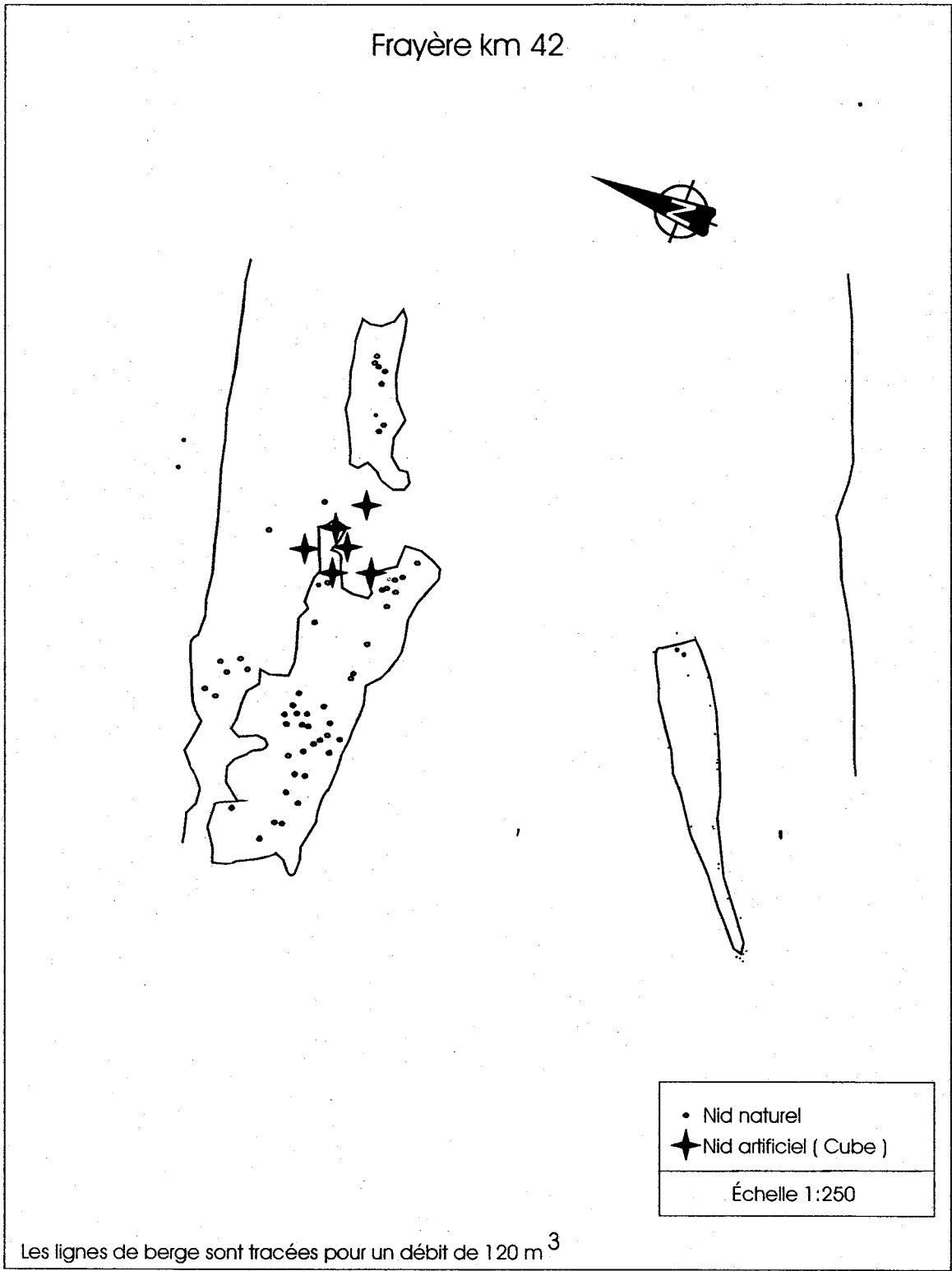


Figure 5. Carte de la frayère du kilomètre 42.

2.1.1.2 Paniers virtuels

Les tests d'incubation des oeufs ont été effectués *in situ* dans le substrat des frayères grâce à l'utilisation de la technique des «paniers virtuels» développés par les chercheurs de l'INRS. Le panier virtuel découle d'une modification d'un concept d'échantillonnage présenté par Lisle et Eads (1991). Il est constitué d'une armature rectangulaire en métal (33x33x20 cm) sans parois dont la partie du fond est grillagée (Figure 6). À chaque panier est associé un sac de caoutchouc souple d'une profondeur de 40 cm dont l'ouverture est renforcée par un cadre rectangulaire (38x40 cm) constitué d'une tige métallique. Deux câbles en acier servant d'amarre sont attachés à ce cadre.

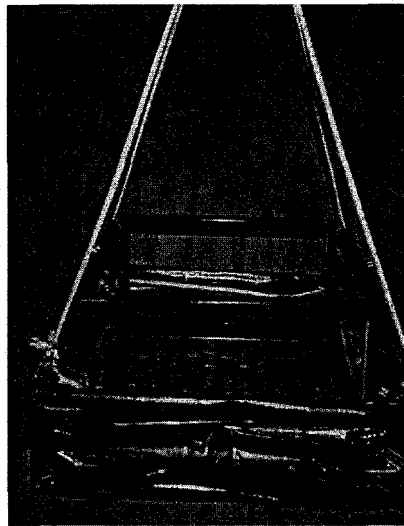


Figure 6. Photo d'un panier virtuel: armature de métal et sac.

Chaque panier est installé de façon à simuler un nid de saumon naturel. Premièrement, une dépression d'environ 25 cm de profondeur par 75 cm de diamètre est creusée à l'aide d'une pelle dans le substrat en poussant les sédiments du lit immédiatement vers l'aval de la dépression. Ensuite, le sac de caoutchouc rabattu est installé au fond du trou et le panier est déposé sur le sac (Figure 7).

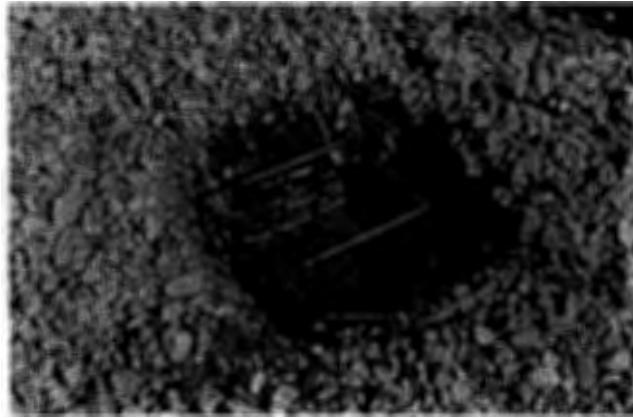


Figure 7. Photo d'un panier virtuel et de son sac lors de l'installation.

Par la suite, le panier est remblayé à la manière d'un saumon femelle qui enfouit ses œufs, c'est-à-dire en soulevant légèrement les sédiments situés en amont du trou de façon à ce que le courant dépose les particules les plus grosses dans le panier mais entraînent en aval les particules fines. Cette procédure permet ainsi de positionner le panier d'infiltration au sein d'une structure morpho-sédimentaire imitant de façon très réaliste un nid de saumon naturel. Puisque le panier ne comporte pas de parois, il ne nuit pas à l'écoulement intragravier et subit exactement les mêmes processus d'érosion et/ou d'infiltration de sédiments fins qu'un nid naturel de saumon. Au moment désiré, le panier est retiré du substrat en tirant, à l'aide d'un treuil fixé à un trépied, sur les deux câbles d'acier attachés au sac de caoutchouc (Figure 8). Le sac est d'abord guidé vers la surface en glissant le long des arêtes de l'armature en métal du panier. Puis, une fois les côtés du sac complètement relevés, le substrat et le panier contenu dans le sac sont tirés vers la surface où ils peuvent être déposés dans une embarcation et ramenés sur la berge pour analyses.

Lorsque utilisée de la façon décrite plus haut, la technique permet de déterminer les caractéristiques des sédiments fins contenus dans un nid de saumon. La technique permet cependant aussi de déterminer la survie des embryons de saumons durant la période d'incubation. Pour ce faire, lors de l'installation, un nombre connu d'œufs fertilisés de saumon est déposé au centre du panier à une profondeur d'environ 20 cm. Les dates

prévues d'éclosion et d'émergence des oeufs sont ensuite calculées en utilisant la courbe des degrés-jours de la température de l'eau de la rivière et le panier contenant le substrat et les œufs est retiré du lit de la rivière avant la date prévue de l'émergence afin que les alevins n'aient pas encore quitté le nid. Le contenu des nids est alors analysé afin de déterminer le taux de survie des œufs aux différents stades de développement (alevin, œuf oeuillé, œuf pré-oeillé).

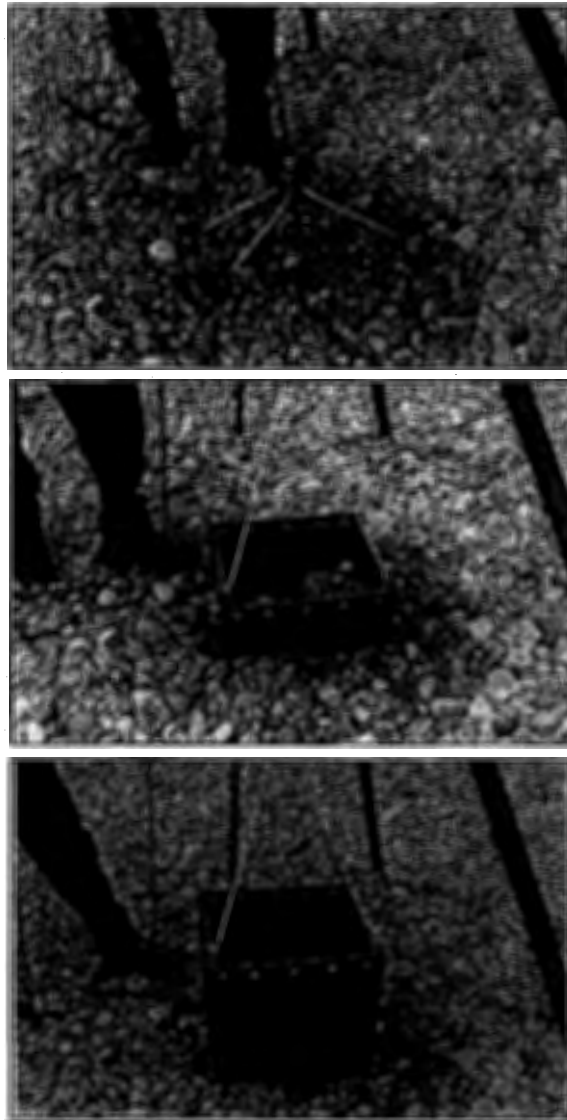


Figure 8. Séquence d'extraction d'un panier du substrat. À titre d'exemple le panier a été installé sur une partie exondée du lit.

2.1.1.3 Trappes d'émergence

Telle que décrite dans la section précédente, l'utilisation des paniers virtuels comme méthode d'incubation permet de mesurer la survie des œufs jusqu'à l'éclosion. La technique ne permet cependant pas l'évaluation de la survie à l'émergence, car, le panier étant un système ouvert, il ne peut empêcher la fuite des alevins une fois leur sac vitellin absorbé. Dans le cadre du projet, nous avons développé une technique permettant de poursuivre l'incubation des œufs dans les paniers jusqu'à l'émergence et de mesurer son taux de succès. La méthode consiste à d'abord poursuivre l'incubation jusqu'à l'éclosion dans les paniers ouverts, puis à ensuite fermer les paniers afin d'empêcher la perte d'alevins lors de l'émergence. Le suivi des températures de l'eau lors de l'incubation permet de prévoir le niveau de développement des embryons. Quelques jours avant la date prévue du début de l'émergence, le sac rabattu sous le panier est relevé à l'aide des câbles d'acier le reliant à la surface. Les parois latérales du panier sont ainsi fermées et les alevins n'ont plus la possibilité de migrer à l'intérieur du gravier et de s'échapper du panier par les côtés. Une trappe d'émergence est ensuite fixée au sac à la surface du gravier afin de capturer les alevins qui émergent du gravier (Figure 9). Cette trappe est constituée de deux chambres. La première chambre est obscure et elle située immédiatement au dessus du substrat. C'est dans cette chambre obscure que se retrouvent les alevins au moment où ils émergent du substrat. Une ouverture en forme d'entonnoir située sur le toit de cette première chambre donne accès à la deuxième chambre éclairée par la lumière naturelle. Le fonctionnement de la trappe repose sur le phototropisme positif des alevins en émergence qui, attirés par la lumière provenant de l'ouverture en forme entonnoir, passent de la chambre obscure à la chambre éclairée et y demeurent trappés. Cette chambre éclairée est munie de fenêtres grillagées permettant à l'eau de circuler à l'intérieur de la trappe et ainsi d'oxygéner l'environnement des alevins jusqu'au moment de retirer le panier virtuel et la trappe d'émergence. À ce moment, les alevins présents dans la chambre éclairée sont dénombrés et utilisés pour le calcul du succès à l'émergence. Les figures 10 et 11 montrent les trappes d'émergence qui ont été utilisés sur le terrain. Ces trappes sont le résultat de différents tests effectués préalablement dans un laboratoire de l'Université Laval afin d'optimiser leur conception. Les tests ont permis

de concevoir des trappes possédant une bonne capacité oxygénation pour les alevins émergeant ainsi qu'une forme optimale ne limitant pas les mouvements des alevins émergeants. Lors des tests, des paniers contenant des œufs fertilisés ont été placés dans le substrat d'un bassin artificiel. Après l'éclosion des œufs, différents modèles de trappes ont été installées sur les paniers. Les trappes sélectionnées pour les travaux de terrain sont celles qui ont démontrées une capacité d'oxygénation suffisante afin de maintenir les alevins vivants pendant une période minimum de 20 jours. La figure 12 présente une photo du banc d'essai utilisé en laboratoire pour tester les trappes d'émergence. Comme le montre la figure 9, une fois installées sur les paniers, les trappes d'émergence peuvent offrir une certaine résistance à l'écoulement susceptible de les endommager. Afin de s'assurer que les variations fréquentes de débit caractérisant la rivière Betsiamites n'endommagent pas les trappes, des essais ont été effectués sur le terrain à l'été 2002. Huit paniers virtuels munis de trappes d'émergence ont été installés sur différentes frayères de la rivière Betsiamites. Après un mois dans ces conditions, les trappes ont été inspectées. Aucune trappe n'avait été endommagée et aucun signe d'érosion n'avait été remarqué autour de celles-ci.

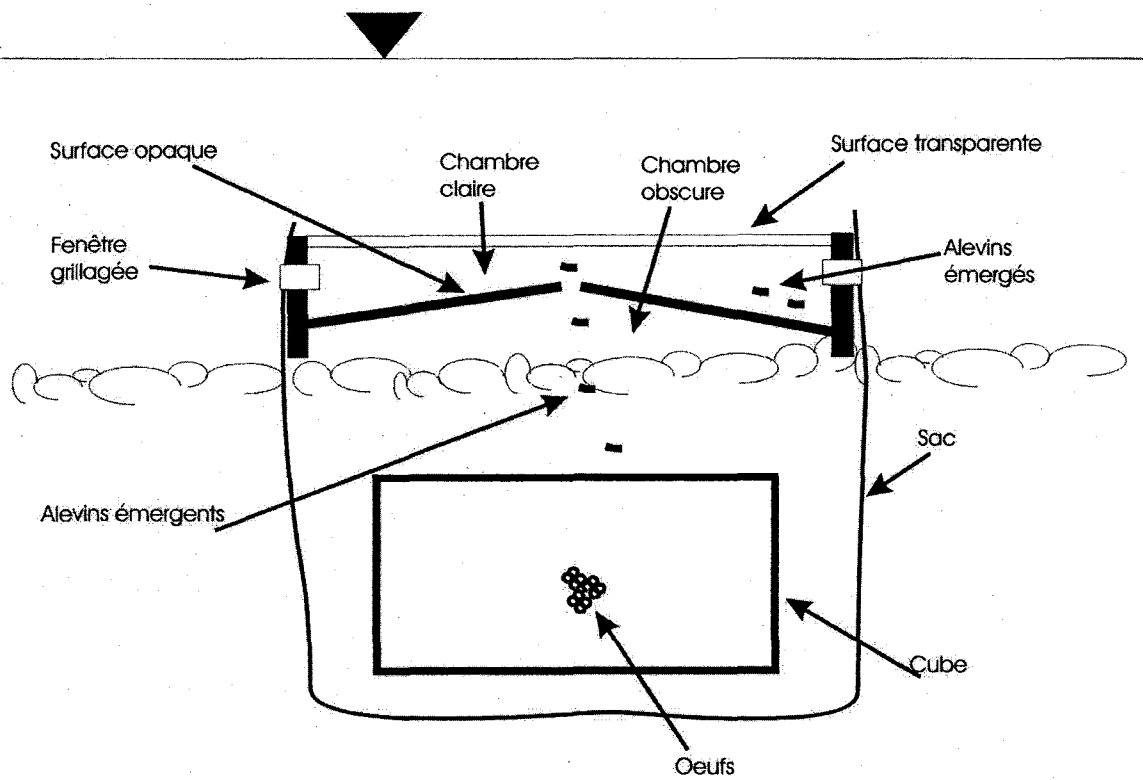


Figure 9. Schéma d'un panier muni d'une trappe d'émergence.

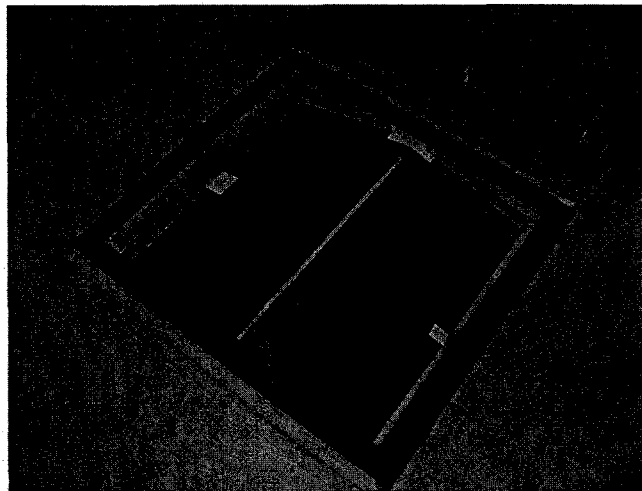


Figure 10. Photo d'une trappe d'émergence ouverte.

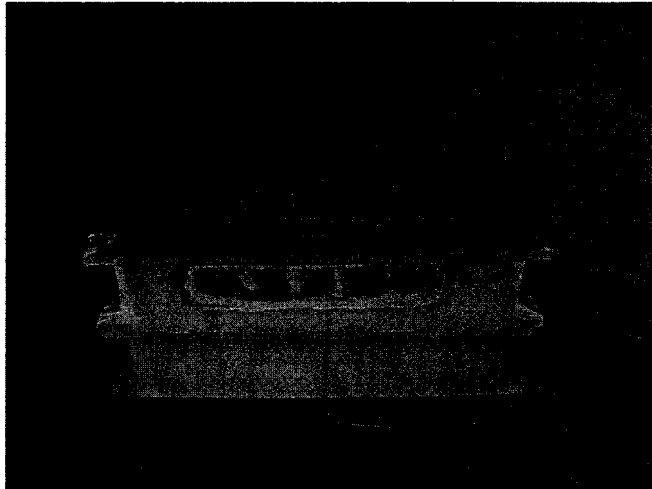


Figure 11. Photo d'une trappe d'urgence vue de côté.

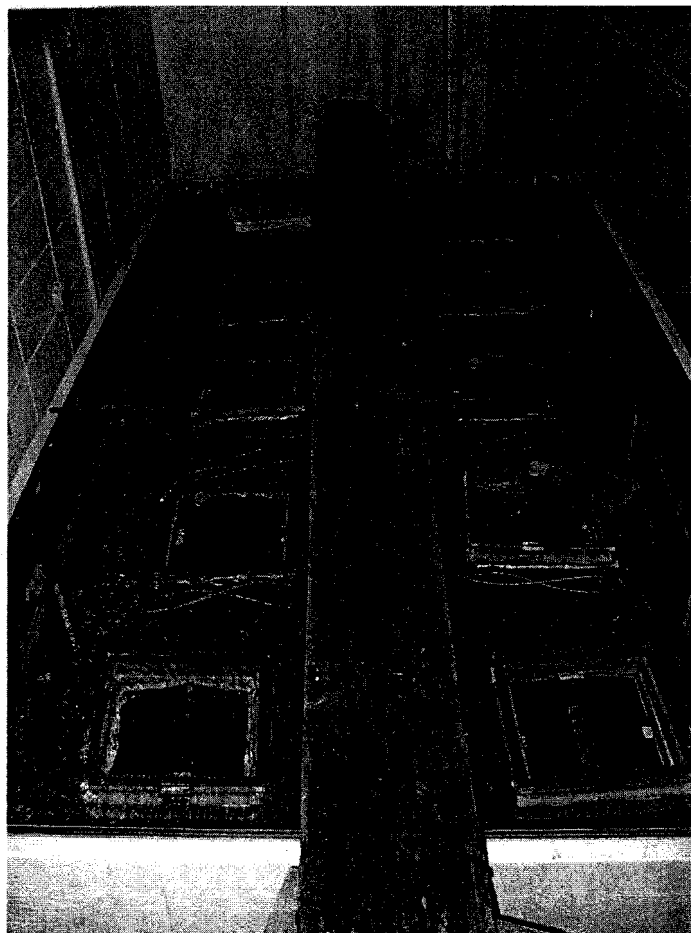


Figure 12. Photo du banc d'essai des trappes d'urgence en laboratoire.

2.1.2 Nettoyage

2.1.2.1 Objectifs

Les objectifs de ces travaux de terrain étaient de 1) tester l'effet de travaux de nettoyage d'une frayère sur la réduction du pourcentage de sédiments fins dans le substrat à court et à long terme et 2) de déterminer l'effet du nettoyage sur l'augmentation du taux de survie des oeufs.

2.1.2.2 Sites

Les essais de nettoyage devaient à l'origine être effectués sur les frayères des km 52 et 67 de la rivière Betsiamites aux conditions hydrauliques correspondantes à une opération à 1 groupe de la centrale Bersimis 2. Cependant, cette condition n'a pu être maintenue par la centrale lors des travaux de nettoyage qui ont dû être effectués aux conditions hydrauliques correspondantes à une opération à 2 groupes. À ces conditions, la profondeur d'eau et les vitesses d'écoulement étaient trop élevées sur la frayère 52 pour permettre l'application de la technique de nettoyage. Les essais de nettoyage ont donc été effectués seulement sur la frayère du km 67 sur une surface d'environ 60 m² située à l'intérieur de la zone de fraie traditionnellement observée sur ce site. Les profondeurs d'eau et vitesses d'écoulement plus élevées que prévues ont cependant rendu plus difficile et moins efficace l'utilisation des appareils de nettoyage. Des échantillons de substrat ont été prélevés le jour même des travaux de nettoyage, immédiatement avant et après le nettoyage afin de mesurer les effets de celui-ci sur la granulométrie du substrat de fraie. Deux nids artificiels ont été installés à l'intérieur de la zone nettoyée et quatre nids ont été installés à proximité, dans la zone de substrat non-nettoyée. Les nids artificiels de chacune des zones ont été retirés du substrat au printemps et les taux de survie ont été comparés entre les zones nettoyée et non-nettoyée. La figure 13 indique la localisation de la zone nettoyée à l'intérieur de la frayère du km 67. Au printemps 2003, des échantillons granulométriques ont été prélevés sur la zone qui avait été nettoyée à l'automne 2002 afin de mesurer la persistance du nettoyage.

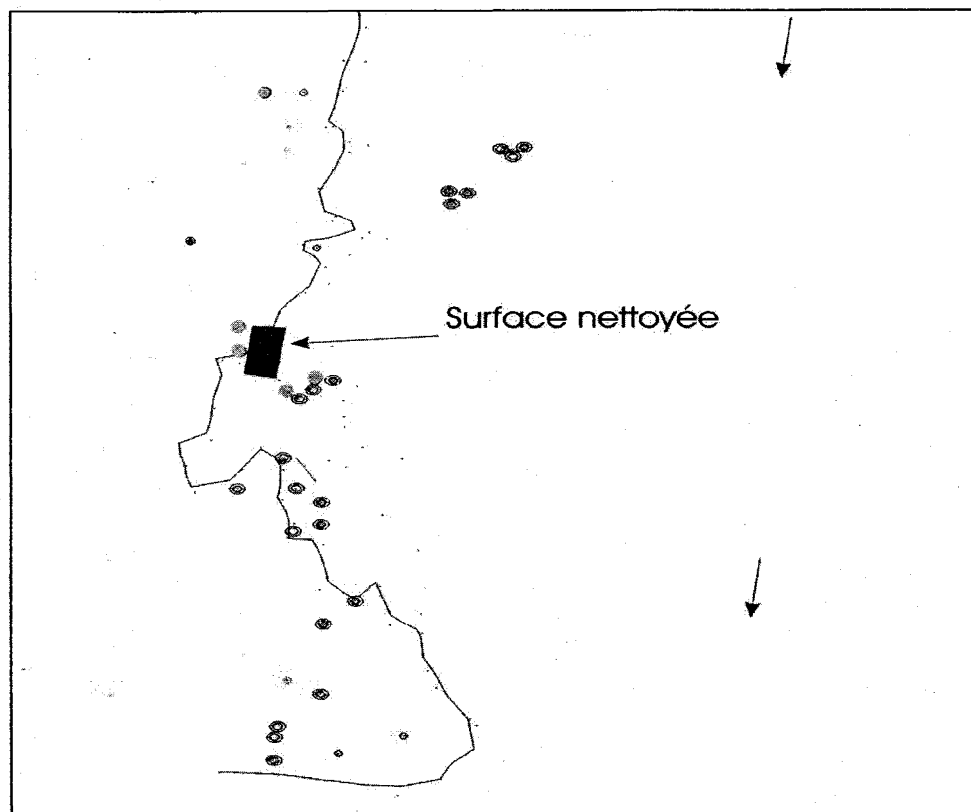


Figure 13. Carte de la surface nettoyée sur la frayère km 67.

2.1.2.3 Matériel

Les travaux de nettoyage ont été effectués à l'aide de techniques développées par l'INRS dans le cadre d'un programme du volet environnement du fond des priorités gouvernementales en sciences, technologies et environnement (FPGST-E). Une description complète des outils de nettoyages est disponible dans le rapport de Bérubé et al. (2003). Les travaux effectués sur la rivière Betsiamites ont été accomplis à l'aide d'un traîneau déflecteur (figure 14). Le traîneau déflecteur utilisé sur le terrain est constitué d'une structure métallique (150 cm de long x 90 cm de large x 40 cm de haut) dont la base forme deux patins (150 cm de long x 5 cm de large) permettant de faire glisser le traîneau à la surface du lit. Un déflecteur de courant (75 cm de large x 75 cm de haut) à inclinaison variable est fixé à la structure métallique. La fonction du déflecteur est d'augmenter la concentration de l'écoulement à la surface du lit et, ainsi, de soulever les sédiments fins présents et de les déplacer en dehors de la zone de fraie. La base du

défecteur est située à 10 cm au-dessus du lit de façon à permettre un dégagement suffisant pour les pierres les plus grosses. L'angle du déflecteur peut être fixé entre 10 et 90 degrés et est contrôlé par l'opérateur à l'aide d'un manche de 1 m de long qui dépasse au-dessus de la structure du traîneau. Le traîneau est remorqué sur les zones à nettoyer à l'aide d'un treuil manuel.

Avant d'appliquer le traîneau sur les zones d'intérêts, une démobilisation du substrat a été effectuée afin de briser l'armurage souvent présent à la surface du lit de la rivière et, ainsi, de faciliter le travail du déflecteur. La démobilisation du substrat a été effectuée à l'aide de griffes inspirées des instruments de labour agricoles. Les griffes sont constituées d'herses métalliques de 30 cm de hauteur dont la profondeur de pénétration dans le substrat est contrôlée par l'opérateur à l'aide d'un manche (figure 15).

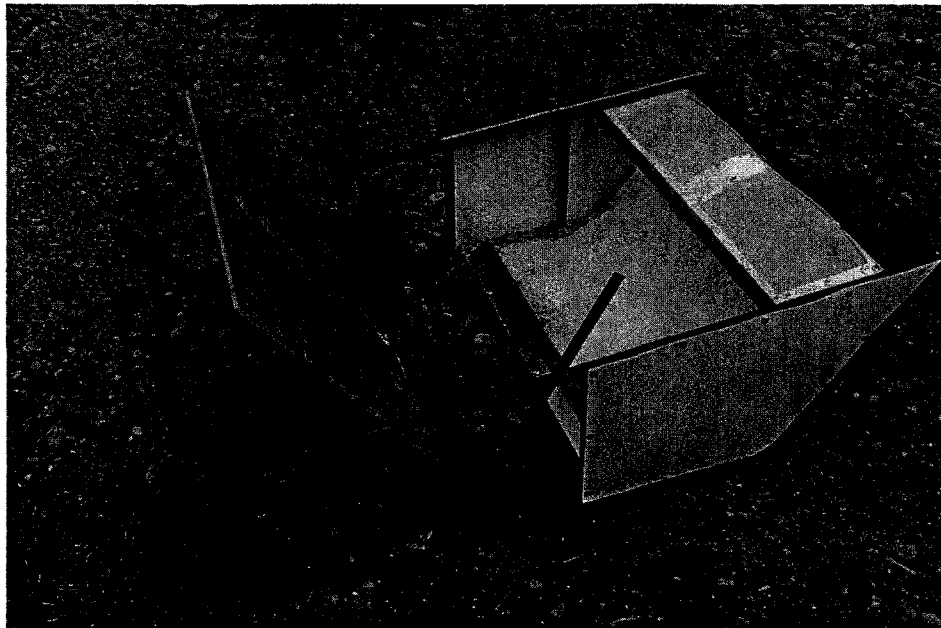


Figure 14. Photo du traîneau déflecteur adapté à la récupération des sédiments.



Figure 15. Photo des griffes utilisées pour la démobilitation du substrat.

2.1.3 Méthodes d'échantillonnages granulométriques

2.1.3.1 Cellule d'isolation du courant

La cellule d'isolation permet de prélever un échantillon du substrat tout en minimisant la perte de sédiments fins (figures 16 et 17). En effet, l'arrière de la cellule est muni d'un filet Nytex de 78 microns qui permet de récolter les sédiments fins entraînés par le courant lors de l'excavation (figure 16). L'échantillon est prélevé à l'intérieur de la cellule à l'aide d'une pelle jusqu'à une profondeur d'environ 30 cm. Chaque échantillon ainsi prélevé pèse entre 150 et 200 kilogrammes. Lors de l'échantillonnage, le pavement et le sous pavement du substrat ont été prélevés séparément. Le pavement correspond à la couche superficielle du lit qui est généralement plus grossière et possède moins de sédiments fins que le sous pavement.

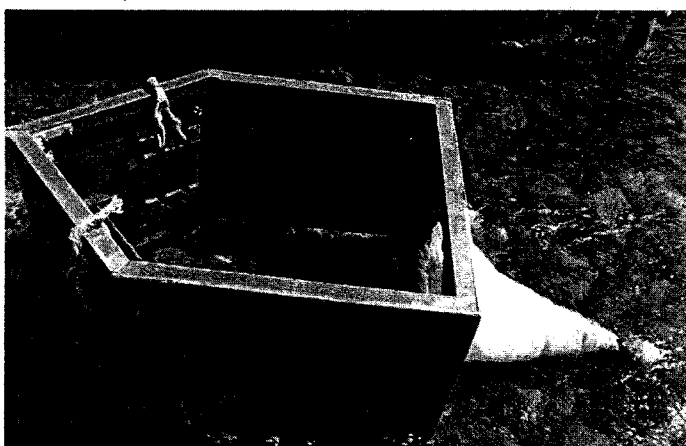


Figure 16. Photographie de la cellule d'isolation du courant.

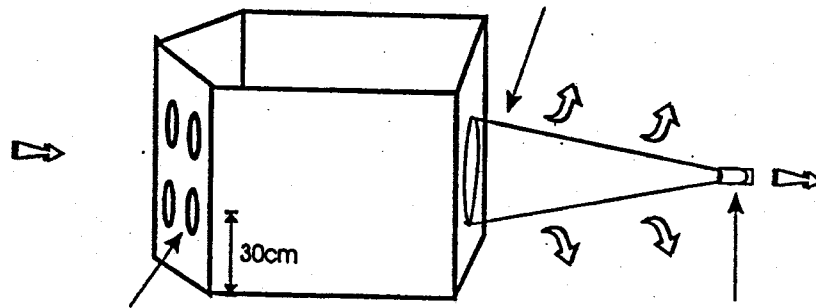


Figure 17. Schéma de la cellule d'isolation du courant.

2.1.4 Œufs

Les œufs utilisés lors de l'expérience d'incubation provenaient de géniteurs indigènes de la rivière Betsiamites. Les géniteurs ont été capturés par la Société de restauration du saumon de la rivière Betsiamites. La fraie artificielle des saumons a été effectuée à la pisciculture de Tadoussac et les œufs ont ensuite été transportés à Forestville par la société de restauration. Six nids artificiels ont été posés sur chaque frayère de la rivière Betsiamites et quatre nids sur la rivière Boucher. Un total de 28 nids artificiels ont donc été placés sur la rivière, pour un total de 2800 œufs. La localisation exacte des nids artificiels sur les différentes frayères est présentée sur les figures 2 à 5. Un groupe témoin de 300 œufs fertilisés a été conservé dans un incubateur situé à la centrale hydro-électrique Bersimis 2 afin de déterminer la viabilité des œufs utilisés dans l'expérience. Malheureusement, durant les travaux d'entretiens des incubateurs, une confusion entre les utilisateurs de l'incubateur a eu comme conséquence le mélange des œufs du groupe témoin avec d'autres œufs en incubation. Cet incident a empêché de connaître la viabilité des œufs en conditions idéales et de corriger en conséquence les résultats obtenus dans les nids artificiels.

2.1.5 Pose des nids artificiels

Les paniers ont été posés durant la période de fraie 2002, soit les 12 et 13 novembre 2002. Cent œufs ont été déposés à l'intérieur de chaque nid artificiel. La position

approximative des œufs dans le substrat se situait à une profondeur de 15 à 25 cm. Ces valeurs représentent les profondeurs moyennes des œufs déposés par les saumons dans des conditions naturelles. Après la pose des œufs dans le substrat, un suivi des températures d'incubation a été effectué ainsi qu'une estimation des dates d'éclosion et d'émergence. La moitié des paniers d'incubation ont été prélevés au printemps 2003, entre les dates d'éclosion et d'émergence estimées afin d'estimer la survie à l'éclosion. L'autre moitié a été laissée dans le substrat et adaptée aux trappes d'émergence afin de déterminer la survie à l'émergence.

2.2 Résultats

2.2.1 Incubation

2.2.1.1 Suivi du développement des oeufs

La figure 18 montre la température de l'eau mesurée lors de la période d'incubation. L'estimation des dates d'éclosion a été effectuée à l'aide de l'équation de Crisp (1981). La qualité prédictive de cette équation pour l'estimation des dates d'éclosion a été vérifiée par Génivar sur la rivière Betsiamites avec de très bons résultats.

$$\text{Log } D = (-2.6562 \text{ Log } (T + 11)) + 5.1908$$

D = durée de l'incubation jusqu'à 50 % d'éclosion (jours).

T = température de l'eau (C).

Puisque les températures varient durant toute la période d'incubation, un pourcentage de développement quotidien a été calculé pour chaque jour à l'aide de la température moyenne de la journée. À 100 % de développement, on estime que 50% des œufs sont éclos. La figure 19 montre le développement des œufs calculé à l'aide de cette équation.

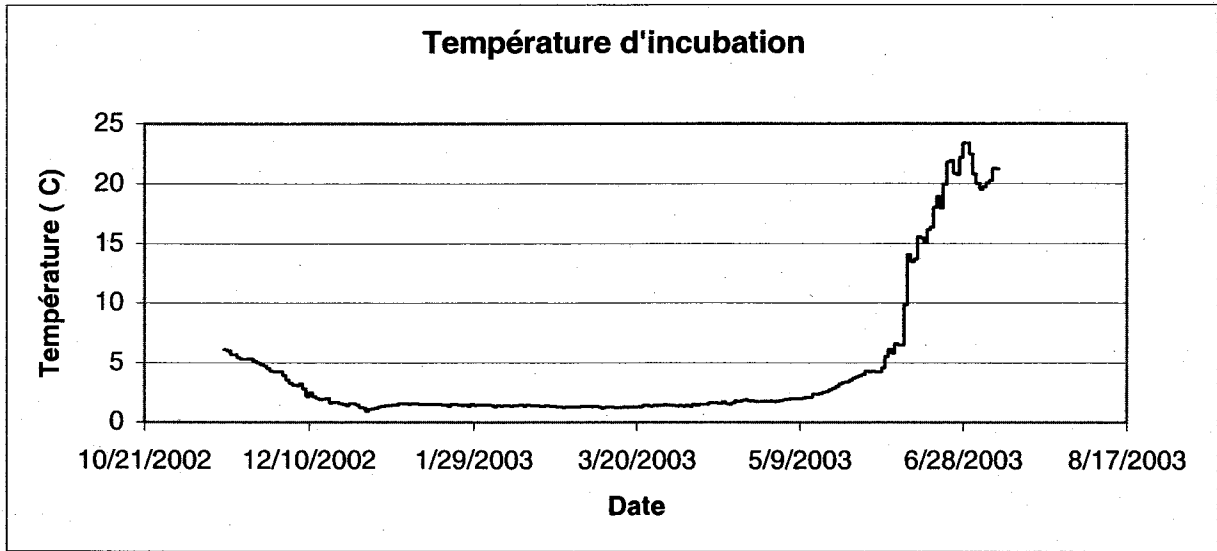


Figure 18. Température d'incubation mesurée.

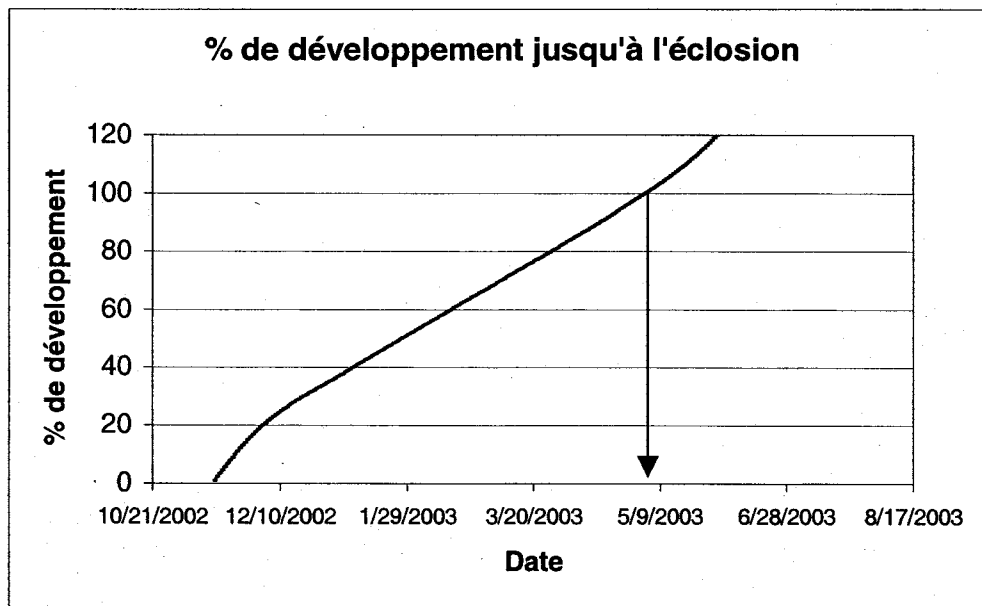


Figure 19. Évolution estimée du pourcentage de développement des œufs.

La date prévue d'éclosion de 50 % des œufs a donc été estimée au 3 mai 2003. L'utilisation de cette équation n'est valide que pour l'éclosion. Afin de prédire les dates d'émergence, une autre équation a été utilisée, celle de Jensen et al. (1989).

$$\text{Log } D = 2.6562 - 1.27 \cdot \text{Log } (T)$$

D = Durée de la résorption du sac vitellin (jours).
T = Température de l'eau (C).

Cette équation a été appliquée à partir de la date prévue d'éclosion et un pourcentage de développement quotidien a été calculé pour chaque jour. À 100 % de développement, 50 % des alevins devaient avoir émergé du substrat d'incubation. La figure 20 présente le pourcentage de résorption estimé du sac vitellin des alevins. La date d'émergence de 50 % des alevins correspond au 5 juillet 2003. La figure 21 présente les pourcentages de développement totaux des œufs, de la déposition à l'émergence.

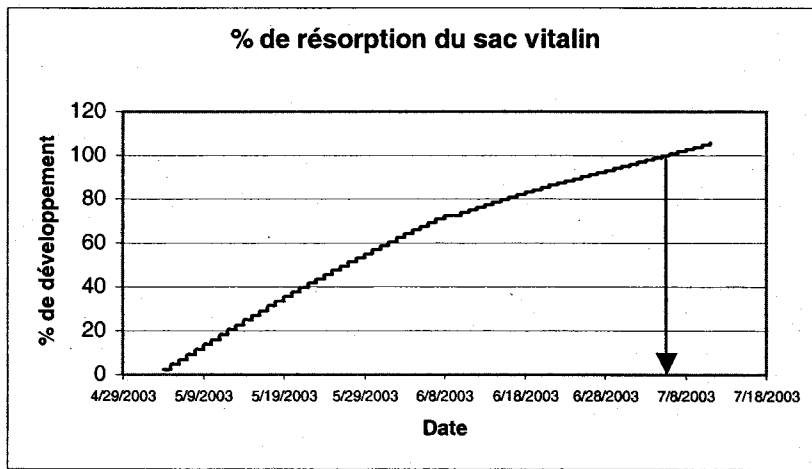


Figure 20. Évolution estimée du pourcentage de résorption du sac vitellin des alevins.

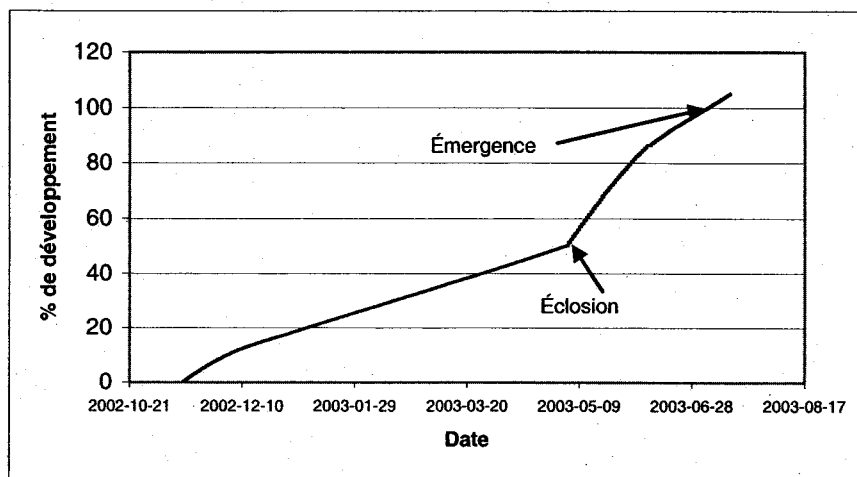


Figure 21. Évolution estimée du pourcentage total du développement des œufs.

2.2.1.2 Taux de récupération et de survie des oeufs

Le 7 juin 2003, soit entre la date prévue pour l'éclosion et celle prévue pour l'émergence des alevins, une série de 14 paniers a été prélevée du substrat. À ce moment, les embryons survivants avaient donc atteints le stade d'alevins vésiculés. Lors de ce premier prélèvement, le taux de récupération moyen des œufs déposés à l'automne a été de 42% sur la rivière Betsiamites et de 26 % sur la rivière Boucher (Tableau 1). Pour chaque panier d'incubation, un décompte des oeufs et alevins morts ou vivants a été effectué selon le stade de développement atteint afin de déterminer le taux d'éclosion des œufs (i.e nombre d'œufs ayant atteints le stade d'alevin vésiculé (mort ou vivant)/nombre total d'embryons et d'alevins retrouvés). Le taux d'éclosion a été calculé à partir du nombre d'embryons et d'alevins retrouvés plutôt qu'à partir du nombre d'embryons à la pose à l'automne afin d'éviter que l'étude du lien entre les sédiments fins et la survie soit affectée par d'autres causes de mortalité liées, par exemple, à l'érosion partielle des nids entraînant la disparition d'un certain nombre d'embryons. L'annexe 1 présente le détail des décomptes pour chacun des paniers d'incubation prélevés le 7 juin 2004. À cette même date, les 14 paniers restants ont été munis de trappes d'émergence afin de poursuivre l'étude de survie jusqu'à l'émergence. Ces paniers ont été prélevés du substrat le 28 juin 2003, après la fin de la période prévue de l'émergence. À ce moment, le taux de récupération moyen des œufs déposés à l'automne a été de 54 % sur la rivière Betsiamites et de 2 % sur la rivière Boucher (Tableau 1). L'annexe 1 présente le détail de ces décomptes pour chacun des paniers d'incubation prélevés le 28 juin 2004. Puisqu'un très faible nombre d'alevins ont été retrouvés vivant à ce moment, l'étude de survie à l'émergence n'a pu être poursuivie et les données obtenues le 28 juin ont été utilisées seulement pour l'analyse des taux d'éclosion. Pour l'ensemble des deux rivières, les deux prélèvements du printemps ont permis de récolter un total de 43 % des oeufs déposés dans les nids artificiels à l'automne (Tableau 1). Ce taux de récupération relativement faible laisse supposer que des débits importants s'étant produits au cours de la période d'incubation ont pu causer une érosion des nids artificiels entraînant du même coup l'érosion et la mort d'une partie des oeufs contenus dans les paniers.

Les résultats indiquent également un très faible taux d'éclosion, tant pour les paniers prélevés le 7 juin (Figure 22) que pour ceux prélevés le 28 juin (Figure 23). On note cependant que pour chacun des sites à l'étude, les taux d'éclosion du 7 juin et du 28 juin sont relativement similaires. Pour cette raison, et afin d'augmenter la taille de l'échantillon sur chacun des sites, les paniers retirés les 7 et 28 juin ont été regroupés afin de calculer un taux d'éclosion total pour chacune des frayères. La figure 24 indique que la survie la plus élevée s'est produite sur la partie nettoyée de la frayère du km 67 (25 %), suivie de celle du km 65 (5,4 %). Sur toutes les autres frayères, y compris celle de la rivière Boucher qui servait de site témoin de la survie dans des conditions naturelles, la survie mesurée est inférieure à 4%.

Tableau 1. Taux de récupération des œufs et des alevins (morts et vivants) sur les différentes frayères le 7 et 28 juin 2003.

Site	Taux de récupération (%)		
	7 juin 2003	28 juin 2003	Total
Km 42	49	40	45
Km 52	21	60	41
Km 65	7	52	29
Km 67	74	64	69
Km 67 Nettoyé	60	--	60
Boucher	26	2	14
Moyenne	44	42	43

Le tableau 2 présente les pourcentages moyens par frayère des stades auxquels les embryons de saumon ont été retrouvés le 7 et 28 juin dans les nids artificiels. Ce tableau indique que la mortalité des œufs s'est surtout effectuée dans les premiers stades de développement des œufs, soit aux stades pré-oeillé et oeillé. Un test statistique non-paramétrique (Wald-Wolfowitz) n'a démontré aucune différence significative entre les survies mesurées le 7 et le 28 juin ($p=0.25$). Les œufs retrouvés au stade pré-oeillé, ainsi que la plupart des œufs dont le stade n'a pas été déterminé dû à leur degré de décomposition avancée, seraient donc morts avant le mois de février 2003, ce qui correspond à 63 % de la mortalité observée.

Tableau 2. Pourcentage relatif des différents stades d'œufs et d'alevins retrouvés dans les nids artificiels pour les deux prélèvements.

Site	Œufs morts			Alevins	
	% Pré oeillés	% Oeillés	% Non déterminés	% Alevins morts	% Alevins vivants
Km 42	29	28	42	0	1
Km 52	43	20	36	0	0
Km 65	33	20	41	1	5
Km 67	26	22	48	1	3
Km 67 Nettoyé	0	0	75	10	15
Boucher	0	65	35	0	0

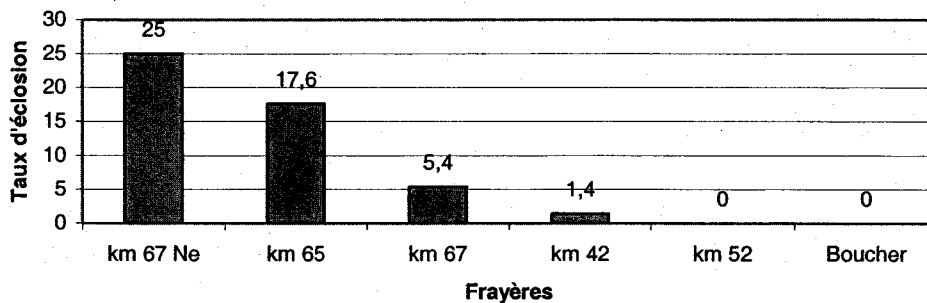


Figure 22. Taux d'éclosion des œufs sur les différentes frayères au 7 juin 2004.

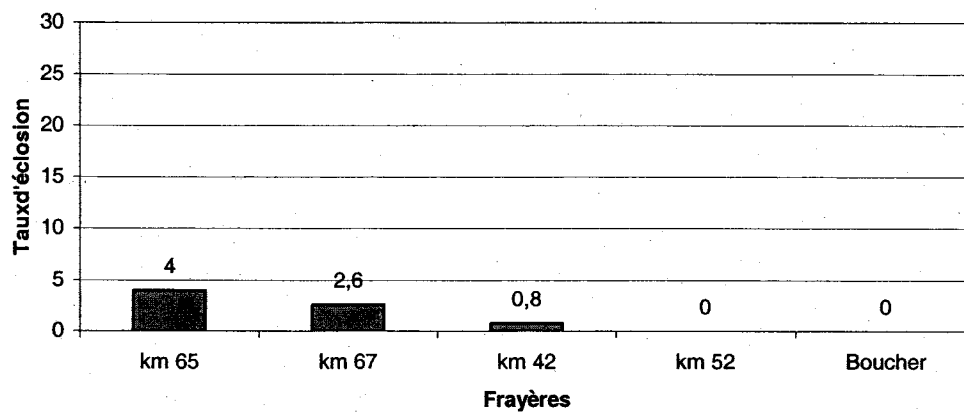


Figure 23. Taux d'éclosion des œufs sur les différentes frayères au 28 juin 2004..

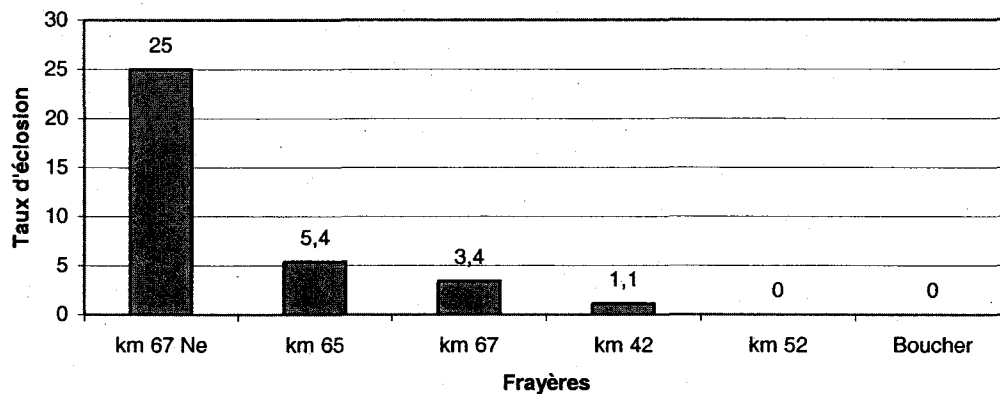


Figure 24. Taux d'éclosion des oeufs sur les différentes frayères en combinant ensemble les relevés du 7 et 28 juin.

2.2.1.3 Liens entre la survie et les sédiments fins

Une analyse granulométrique a été effectuée sur les sédiments contenus à l'intérieur de chacun des paniers retirés du substrat. Les figures 25 et 26 présentent les pourcentages moyens de silts et de sables mesurés dans les paniers retirés sur les différentes frayères. Les résultats indiquent des pourcentages de silts élevés, principalement sur les frayères du km 42 (0,5 %) et 52 (0,4 %) de la rivière Betsiamites et sur celle étudiée sur la rivière Boucher (1,3 %). Les pourcentages de sable sont assez élevés mais comparables aux valeurs retrouvées dans d'autres rivières à saumon de la côte nord du St-Laurent. Les figures 27 et 28 présentent les relations observées entre les taux d'éclosion et les pourcentages de silts et les pourcentages de sédiments fins < 2mm respectivement. Ces figures indiquent une diminution importante de la survie lorsque les valeurs de silts excèdent environ 0,25 % et lorsque les valeurs de sédiments fins < 2mm excèdent environ 12%.

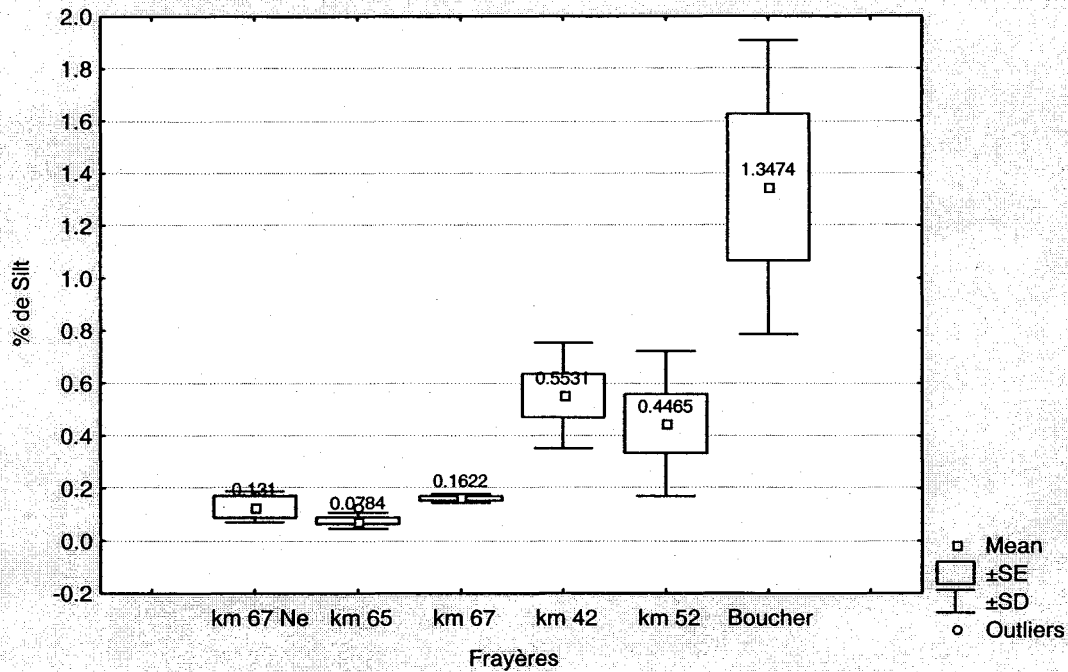


Figure 25. Pourcentage de silts (< 0.063 mm) mesuré dans les paniers d'incubation des différentes frayères.

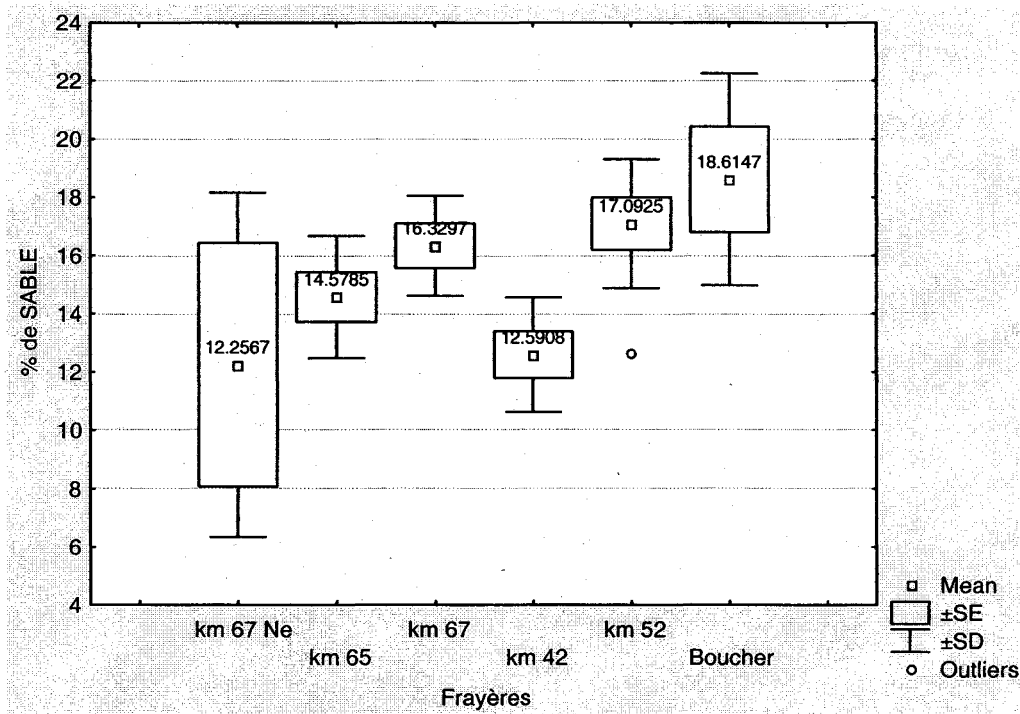


Figure 26. Pourcentage de sables et silts (< 2 mm) mesuré dans les paniers d'incubation des différentes frayères.

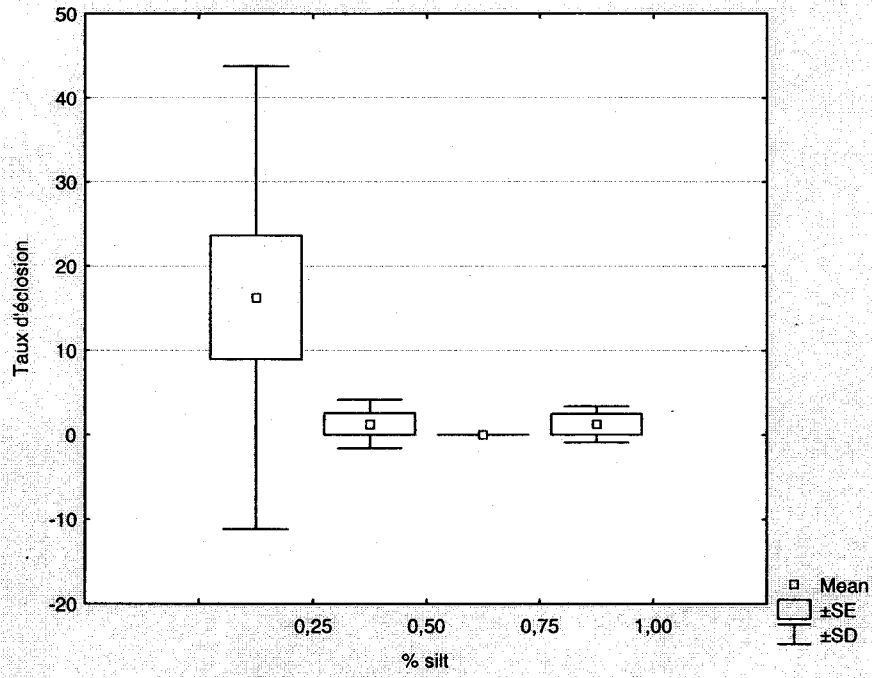


Figure 27. Relation entre le taux d'éclosion des œufs et le pourcentage de silts (<0.063mm).

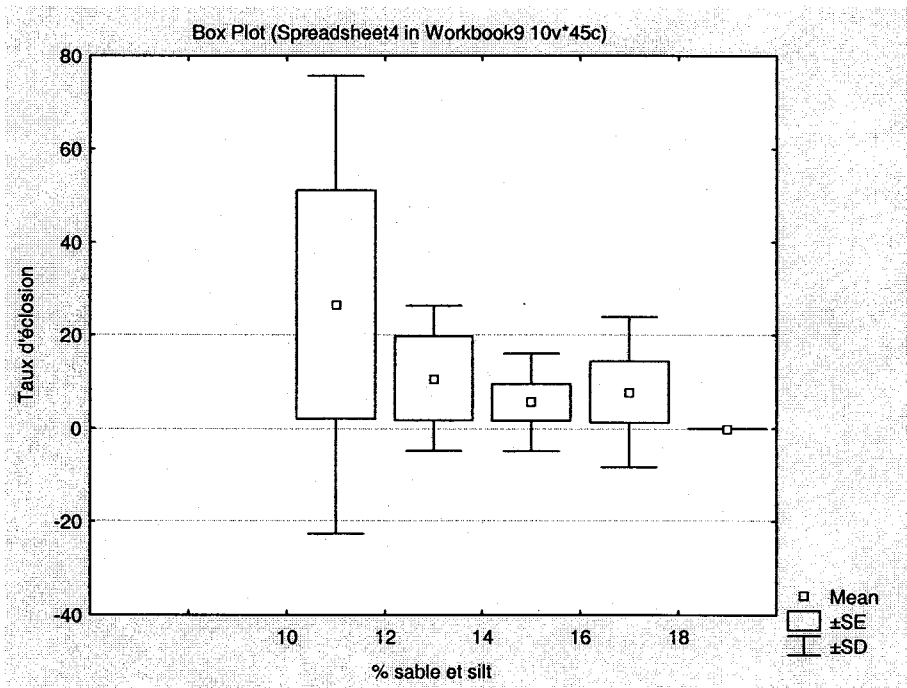


Figure 28. Relation entre le taux d'éclosion des œufs et le pourcentage de sables et silts (<2 mm).

2.2.1.4 Discussion

Le faible taux de récupération des oeufs (43 %) après la période d'incubation pourrait avoir diverses origines. Il pourrait être lié à une perte d'œufs lors de l'installation des nids artificiels, à la décomposition avancée d'un certains nombre d'œufs et d'alevins morts rendant leur décompte difficile ou encore à la perte d'œufs due aux processus d'érosion durant la période d'incubation. Puisque les techniciens ayant procédé à l'installation des nids artificiels n'ont pas noté de pertes d'œufs notables lors de ces travaux, les deux dernières explications semblent les plus valables. Selon les techniciens, plusieurs des paniers d'incubations émergeaient du substrat de plusieurs centimètres avant leur extraction au début de juin 2003, indiquant ainsi une érosion des frayères approchant la profondeur d'enfouissement des œufs dans le substrat de fraie. Cette situation était particulièrement marquée sur les sites de la rivière Boucher et du km 65 où des taux de récupération des œufs très faibles ont été mesurés, soit 14% et 29% respectivement. De plus, les techniciens ont noté que le décompte des oeufs s'avérait souvent difficile en raison de l'état de décomposition avancée dans lequel se trouvaient les oeufs. Cette situation pourrait être causée par une mortalité hâtive des oeufs au début de l'incubation et/ou par une décomposition rapide des oeufs et alevins morts en raison de la température de l'eau de la rivière Betsiamites qui est sensiblement plus chaude lors de l'incubation que celle des autres rivières. Cette suggestion est supportée par le fait qu'aucune mortalité n'a été mesurée au stade pré-oeillé sur le site de la rivière Boucher, la plupart de la mortalité s'étant plutôt produite au stade oeillé.

Les résultats des tests d'incubation montrent un taux de survie très faible pour l'ensemble des frayères des deux rivières. Le taux d'éclosion est inférieur à 4% sur toutes les frayères à l'exception de la frayère du km 65, où il est de 5,4 %, et de la portion nettoyée de la frayère du km 67, où la survie est de 25%. Les effets du nettoyage sur la survie seront discutés plus en détails dans la section 2.2.2.2. L'analyse granulométrique des sédiments contenus dans les paniers d'incubation suggère que cette faible survie pourrait être causée par l'abondance de sédiments de la taille des silts dans le substrat des frayères des rivières Betsiamites et Boucher. En effet, des travaux récents effectués sur le terrain

(Julien et Bergeron, en révision) et en laboratoire (Bergeron et al., 2003; Lapointe et al., sous presse) ont montré l'effet important des silts sur la survie des embryons de saumon. Cette explication est supportée par la relation observée entre les taux de survie et les pourcentages de silts recueillis dans les paniers. Cette relation met en évidence une valeur seuil de 0,25 % de silts au delà de laquelle les survies mesurées sont pratiquement nulles. Bien que l'effet du pourcentage de sable sur la survie ne soit pas aussi marqué, une meilleure survie est mesurable lorsque moins de 12% de sédiments fins < 2mm est présent dans le substrat. À titre de comparaison, des mesures de concentrations de silts et de sables ont été effectuées sur d'autres rivières du Québec en utilisant exactement la même technique des paniers d'incubations que celle utilisée dans la présente étude. Ainsi, les valeurs moyennes de silts mesurées sur les rivières Ste-Marguerite (Saguenay) et Cascapédia (Gaspésie) sont respectivement de 0,04 % et 0,25 %, tandis que les valeurs moyennes de sables sont respectivement de 13% et 7,5 %. Les rivières Betsiamites et Boucher se distinguent donc de ces rivières par un pourcentage de silts généralement plus élevés sur la plupart des frayères. De plus, la technique d'incubation artificielle utilisée dans la présente étude a également été appliquée sur la rivière Ste-Marguerite où des taux moyens de survie à l'éclosion de 70 % ont été mesurés. Ces taux de survie élevés obtenus pendant plusieurs années sur la rivière Ste-Marguerite permettent de valider la technique d'incubation artificielle et ainsi d'interpréter les taux de survie présentés dans ce rapport comme étant directement liés aux conditions physiques présentes sur les rivières Betsiamites et Boucher.

L'importante mortalité observée dans les premiers stades d'incubation des œufs (pré-oeillé) sur la rivière Betsiamites est peu conventionnelle. Il est possible que la mortalité hâtive sur les frayères de cette rivière soit liée à son patron particulier des débits et de la température de l'eau. Dans la plupart des rivières, la fin de la période de fraie du saumon coïncide avec le début de la formation du couvert de glace et de l'étiage hivernal. Ces conditions étant peu propices à la création d'événements de transport de sédiments favorisant l'infiltration de sédiments fins dans les nids fraîchement achevés, ceux-ci demeurent donc relativement exempts de sédiments fins pendant la majeure partie de la période d'incubation, la femelle ayant nettoyée une bonne partie de ceux-ci lors du

creusage du nid. Sur la rivière Betsiamites, la gestion des débits au début de la saison hivernale (voir Annexe 2) produit cependant un grand nombre d'événements ayant le potentiel de causer l'infiltration de sédiments fins dans les nids tôt au début de la période d'incubation. Si une telle infiltration de sédiments fins se produit, elle pourrait expliquer en partie la forte mortalité observée dans les premiers stades de développement des oeufs. Il se peut également que les effets de cette possible sédimentation fine hâtive ait été amplifiés par les températures d'incubations plus chaudes observées sur la rivière Betsiamites que dans la plupart des rivières à saumons du Québec. En effet, ces températures plus chaudes augmentent le métabolisme des oeufs, ce qui a pour conséquences d'augmenter leur demande en oxygène. Les sédiments fins dans les nids ayant pour effet de diminuer l'écoulement intergranulaire responsable de l'apport en oxygène nécessaire au bon développement des oeufs, la combinaison de la sédimentation fine hâtive et de la température de l'eau pourrait induire une mortalité plus élevée au début de l'incubation. Cette explication demeure cependant à être vérifiée sur le terrain par un suivi temporel de la sédimentation fine pendant la période d'incubation.

2.2.2 Nettoyage

2.2.2.1 Court terme

L'analyse des échantillons de substrat prélevés le jour même des travaux de nettoyage, (immédiatement avant et après) montre que l'application du traîneau déflecteur a permis de réduire le pourcentage de chacune des classes de sédiments fins potentiellement nocives au développement des embryons de salmonidés (Tableau 3). Il est intéressant de noter que, bien que la réduction en silts ait été relativement faible, celle-ci s'est avérée suffisante afin d'améliorer substantiellement la survie.

Tableau 3. Effet du déflecteur sur le pourcentage de sédiments fins.

	Avant	Après	% diminution
<2mm	24.8 %	22.56 %	9.1 %
Sable grossier	11.55 %	10.12 %	12.38 %
Sable fin	11.84 %	11.09 %	6.33 %
Silt	1.42 %	1.36 %	4.23 %

2.2.2.2 Long terme

L'analyse du contenu des paniers d'incubations retirés du substrat des frayères en juin 2003 permet d'évaluer la persistance des effets du nettoyage effectué à la fin de l'automne précédent. Cette analyse montre que les pourcentages de sable (figure 29) et de silts (figure 30) sont plus faibles, mais aussi plus variables, dans les paniers de la zone nettoyée que dans ceux de la zone non-nettoyée. Ce résultat indique que les effets bénéfiques du nettoyage ont persisté pour la moyenne des paniers d'incubation mais que certains d'entre eux avaient retrouvés, au moment de la fin de la période d'incubation, des pourcentages de sédiments fins similaires à ceux de la zone non-nettoyée. Il faut noter que les pourcentages de sédiments fins mesurés dans les paniers sont inférieurs à ceux mesurés immédiatement après le nettoyage (Tableau 3). Cette situation est due au fait que l'installation des paniers, qui est faite de façon à simuler le plus fidèlement possible la construction d'un nid par un saumon femelle, a pour effet d'évacuer une grande partie des sédiments fins contenus dans le substrat avant la construction du nid. Sur la zone de substrat préalablement nettoyée par le traîneau déflecteur, l'installation du panier (construction du nid) a donc eu l'effet d'un second nettoyage du substrat permettant de réduire encore davantage la présence de sédiments fins dans le nid.

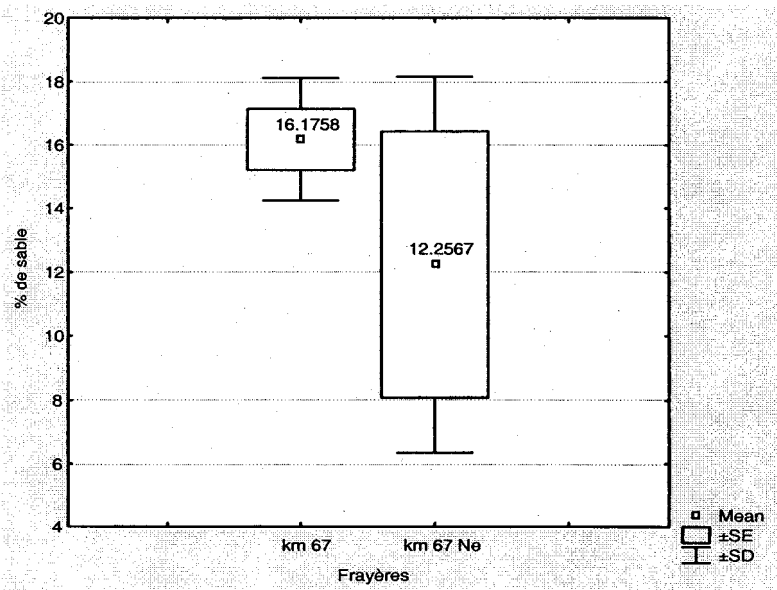


Figure 29. Pourcentage de sables et silts (< 2 mm) mesuré au printemps dans les paniers d'incubation sur les zones nettoyées et non-nettoyées à l'automne.

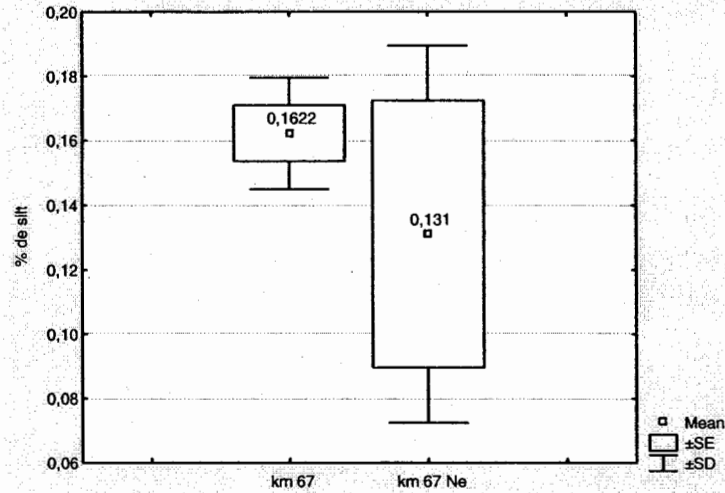


Figure 30. Pourcentage de silt (< 0.063 mm) mesuré au printemps dans les paniers d'incubation sur les zones nettoyées et non-nettoyées à l'automne.

2.2.2.3 Taux de survie

La figure 31 montre que le nettoyage a permis d'augmenter la survie des oeufs dans les paniers de la zone nettoyée. Malgré le fait que la survie soit très faible dans les deux cas, on observe que le nettoyage a permis d'augmenter le taux de survie d'une valeur moyenne de 3% dans la zone non-nettoyée à une moyenne de 25% dans la zone nettoyée.

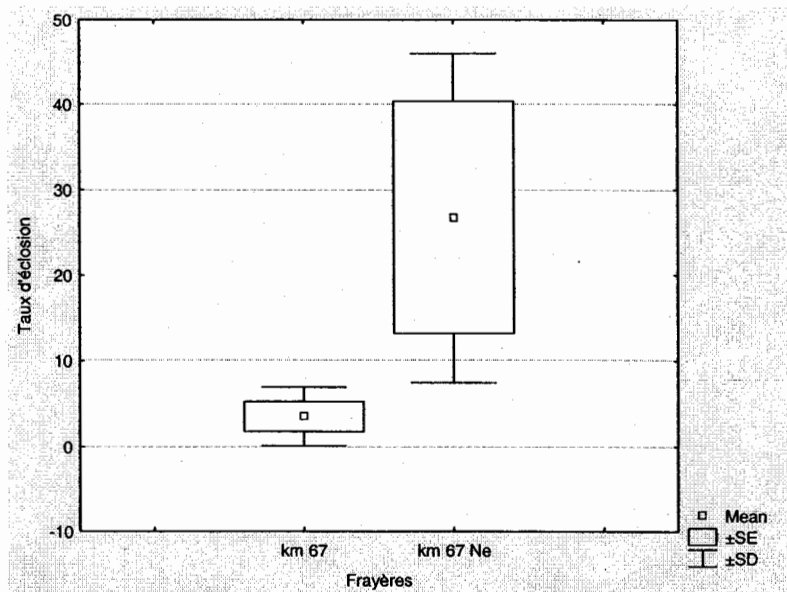


Figure 31. Comparaison des taux d'éclosion des oeufs entre les zones nettoyées et non-nettoyées sur la frayère km 67.

3.0 Conclusion

Le faible taux de récupération des oeufs à la fin de la période d'incubation, combiné aux observations de terrains montrant une érosion importante des cubes (avant l'installation des trappes d'émergence), suggèrent que l'érosion partielle d'une partie des nids de saumon pendant la période d'incubation pourrait engendrer une mortalité importante des oeufs sur les rivières Betsiamites et Boucher. Afin de vérifier l'importance de ce phénomène, il est recommandé de mener des travaux de terrain permettant d'évaluer la dynamique d'érosion/sédimentation (scour and fill) des frayères pendant la période d'incubation.

Même en basant le calcul des taux d'éclosion sur le nombre d'œufs ou d'alevins retrouvés dans les paniers lors de leur retrait du substrat plutôt que sur le nombre total d'œufs installés dans les paniers à l'automne, les résultats montrent de très faibles valeurs de taux d'éclosion pour l'ensemble des frayères des rivières Betsiamites et Boucher. Cette faible survie semble être associée davantage à l'effet des silts qu'à l'effet des sables présents dans le substrat des frayères. En effet, on note une valeur seuil de 0.25% de silts au delà de laquelle la survie devient pratiquement nulle.

La forte proportion de mortalité observée au stade pré-œillé sur les frayères de la rivière Betsiamites dénote une mortalité anormalement hâtive contrairement aux stades atteints sur la rivière Boucher où la plupart des œufs ont atteints le stade œillé. Cette mortalité pourrait avoir été causée par l'infiltration de sédiments fins dans les paniers tôt au début de la période d'incubation. Dans la plupart des rivières québécoises, la prise du couvert de glace se combine au début de l'étiage hivernal pour réduire l'occurrence d'événements de transport de sédiments favorisant l'infiltration de sédiments fins dans les nids fraîchement terminés. Dans le cas de la rivière Betsiamites, la gestion de la centrale Bersimis 2 pendant le début de la période hivernale crée de nombreux événements ayant le potentiel de favoriser une sédimentation fine dans les nids. Il est donc possible que la mortalité hâtive des oeufs soit liée à des épisodes de sédimentation fine s'étant produit tôt après le début de la période d'incubation. Il se peut également que les effets de cette possible

sédimentation fine hâtive ait été amplifiés par les températures d'incubations plus chaudes observées sur la rivière Betsiamites que dans la plupart des rivières à saumons du québec. En effet, ces températures plus chaudes augmentent le métabolisme des œufs, ce qui a pour conséquences d'augmenter leur demande en oxygène. Les sédiments fins dans les nids ayant pour effet de diminuer l'écoulement intergranulaire responsable de l'apport en oxygène nécessaire au bon développement des oeufs, la combinaison de la sédimentation fine hâtive et de la température de l'eau pourrait induire une mortalité plus élevée au début de l'incubation. Cette explication demeure cependant à être vérifiée sur le terrain par un suivi temporel de la sédimentation fine pendant la période d'incubation.

Finalement, les essais de nettoyage ont permis de démontrer l'effet positif de l'utilisation du traîneau défecteur sur la réduction du pourcentage de sédiments fins du substrat des frayères. Bien que l'ensemble des taux de survie mesurés dans cette étude soit très faible, les résultats ont indiqué que le taux de survie des oeufs était largement supérieur dans la zone nettoyée que dans la zone non-nettoyée. Il est donc permis de suggérer qu'un nettoyage sur de grandes surfaces des frayères le plus près possible avant le début de la période de fraie (novembre) serait une méthode simple, efficace et peu coûteuse d'augmenter la production de saumon sur la rivière Betsiamites en réduisant la mortalité des oeufs pendant la période d'incubation. Pour des fins de planification d'éventuels travaux de nettoyage, nous évaluons qu'une équipe de 4 personnes, composée d'au moins deux personnes ressource de l'INRS, pourrait possiblement effectuer le nettoyage d'une frayère typique de la rivière Betsiamites en environ 2 jours. Ce travail nécessiterait cependant la conception et la construction d'un traîneau défecteur de plus grande dimension permettant de nettoyer une plus grande surface de substrat en un seul passage. Un débit équivalent à 1 groupe devrait aussi être maintenu pendant la réalisation des travaux.

4.0 Références

- Argent, D. G. et Flebbe, P.A.** (1999). Fine sediment effects on brook trout eggs in laboratory stream. *Fisheries Research* (39). pp. : 253-262.
- Bergeron, N., Lapointe, M., Bérubé, F., Pouliot, M-A., Johnston, P. Wagner, G. et Levasseur, M.** (2003) Études des impacts des pratiques forestières sur la conservation de la ressource saumon dans le bassin versant de la rivière Cascapédia : Développement de nouveaux critères sédimentologiques de qualité du substrat de fraie du saumon atlantique, Rapport remis au Ministère des Ressources Naturelles du Québec, volet 1 Expérimentation, Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, 46 p.
- Bérubé, F., Levasseur, M., Bergeron, N. et Pouliot, M-A.** (2003) Développement et démonstration de techniques pour la restauration de la qualité du substrat de fraie des salmonidés, Rapport final, Volet Environnement du Fonds des Priorités Gouvernementales en Sciences et Technologies, 84 p.
- Beschta, R.L. et Jackson, W.L.** (1979). The intrusion of fine sediments into a stable gravel bed. *J. Fish. Res. Board Can.* (36). pp. : 204-210.
- Chapman, D.W.** (1988). Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* (117), no.1. pp. :1-21.
- Crisp, D.T.** (1981). A desk study of the relationship between temperature and hatching time for eggs of five species of salmonid fishes. *Freshwater Biology* 11:361-368.
- Jensen, A.J., B.O. Johnsen et L. Saksgard.** (1989). Temperature requirements in atlantic salmon (*Salmo salar* L.), brown trout (*S. trutta*) and arctic charr (*S. alpinus*) from hatching to initial feeding compared to their geographical distribution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46 : 786-789.
- Julien, H.P., and Bergeron, N.E.,** (sous réserve d'acceptation des révisions) Effect of fine sediment infiltration on Atlantic salmon (*Salmo salar*) embryo survival. *Transactions of the American Fisheries Society*.
- Lapointe, M., Bergeron, N.E., Bérubé, F. and Pouliot, M-A.,** (accepté) Interactive effects of substrate sand and silt contents, redd-scale hydraulic gradients and interstitial velocities on egg to emergence survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.

Levasseur, M., Bérubé, F. et Bergeron, N.E. (2000) Étude de la qualité du substrat pour la reproduction du saumon de l'Atlantique de la rivière Betsiamites, Rapport remis à la Société de Restauration du Saumon de la Rivière Betsiamites, 33 p.

Mih, W.C. (1978). A review of restoration of stream gravel for spawning and rearing of salmon species. *Fisheries*, vol.3, no.1. pp :16-18.

Annexe 1.

Détail du décompte des œufs et alevins, du stade de développement atteint et de la survie des embryons par panier d'incubation

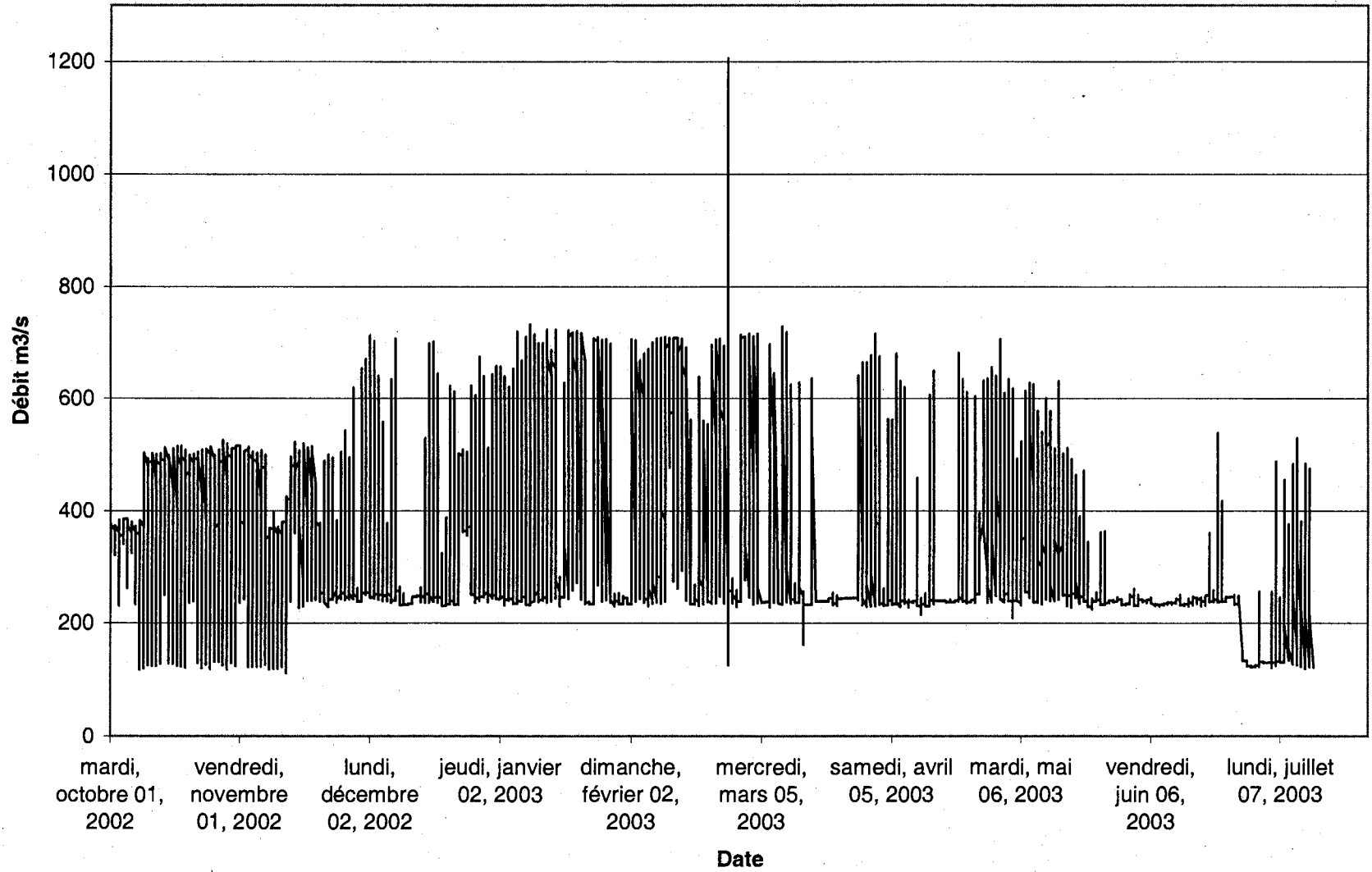
Site	No.	N œufs cûbe à la pose	Date récupération	Taux récupération	N œufs morts non-œillés	N œufs morts œillés	N œufs morts stade n.d.	N alevins morts	N alevins vivants	Taux de survie	
km 42	2	100	07-juin	69%	24	28	17			0,0%	
km 42	4	100	07-juin	44%	7	15	22			0,0%	
km 42	5	93	07-juin	35%	6	16	9		2	6,1%	
			moyenne 7 juin	49%	Total retrouvé:	37	59	48	0	2	7 juin: 1,4%
km 42	1	100	28-juin	44%	11	10	23			0,0%	
km 42	3	100	28-juin	27%	7	3	16		1	3,7%	
km 42	6	100	28-juin	50%	23	2	25			0,0%	
			moyenne 28 juin	40%	Total retrouvé:	41	15	64	0	1	28 juin: 0,8%
					Total frayère:	78	74	112	0	3	Total km 42: 1,1%
					Pourcentage relatif du stade:	29	28	42		1	
km 52	2	100	07-juin	63%	26	25	12			0,0%	
km 52	3	100	07-juin	0%						0,0%	
km 52	6	80	07-juin	1%			1			0,0%	
			moyenne 7 juin	21%	Total retrouvé:	26	25	13	0	0	7 juin: 0,0%
km 52	1	100	28-juin	73%	25	12	36			0,0%	
km 52	4	100	28-juin	33%	10	2	21			0,0%	
km 52	5	99	28-juin	75%	45	10	19			0,0%	
			moyenne 28 juin	60%	Total retrouvé:	80	24	76	0	0	28 juin: 0,0%
					Total frayère:	106	49	89	0	0	Total km 52: 0,0%
					Pourcentage relatif du stade:	43	20	36		0	
km 65	3	83	07-juin	11%			9			0,0%	
km 65	5	90	07-juin	8%	2	3			2	28,6%	
km 65	6	60	07-juin	2%				1		100,0%	
			moyenne 7 juin	7%	Total retrouvé:	2	3	9	1	2	7 juin: 17,6%
km 65	1	97	28-juin	89%	38	12	35		1	1,2%	
km 65	2	95	28-juin	53%	7	17	25		1	2,0%	
km 65	4	94	28-juin	15%	8	2			4	28,6%	
			moyenne 28 juin	52%	Total retrouvé:	53	31	60	0	6	28 juin: 4,0%
					Total frayère:	55	34	69	1	8	Total km 65: 5,4%
					Pourcentage relatif du stade:	33	20	41	1	5	

Site	No.	N œufs à la pose	Date récupération	Taux récupération	N œufs morts non-œillés	N œufs morts œillés	N œufs morts stade n.d.	N alevins morts	N alevins vivants	Taux de survie		
km 67 Ne	3	100	07-juin	52%			31	7	14	40,4%		
km 67 Ne	6	100	07-juin	68%			59	5	4	13,2%		
		moy. 7 juin (nettoyé)		60%	Total retrouvé:	0	0	90	12	18	7 juin (Ne):	25,0%
				Pourcentage relatif du stade:	0	0	75	10	15			
km 67	2	100	07-juin	74%			70	2	2	5,4%		
		moy. 7 juin (non-nettoyé)		74%			70	2	2	7 juin (non-Ne):	5,4%	
km 67	1	100	28-juin	70%	26	21	22		1	1,4%		
km 67	4	99	28-juin	54%	13	16	20		4	7,5%		
km 67	5	100	28-juin	68%	31	21	16			0,0%		
		moy. 28 juin (non-nettoyé)		64%	Total retrouvé:	70	58	58	0	5	28 juin (non-Ne):	2,6%
					Total frayère:	70	58	128	2	7	Total (non-Ne):	3,4%
				Pourcentage relatif du stade:	26	22	48	1	3			
Boucher	1	90	07-juin	0%		0				0,0%		
Boucher	2	92	07-juin	52%		33	15			0,0%		
		moyenne 7 juin		26%	Total retrouvé:	0	33	15	0	0	7 juin:	0,0%
Boucher	3	100	28-juin	0%		0				0,0%		
Boucher	4	100	28-juin	3%		0	3			0,0%		
		moyenne 28 juin		2%	Total retrouvé:	0	0	3	0	0	28 juin:	0,0%
					Total frayère:	0	33	18	0	0	Total Boucher:	0,0%
				Pourcentage relatif du stade:	0	65	35	0	0			

Annexe 2

Variation du débit sur la rivière Betsiamites au cours de la période d'étude

Débit Rivière Betsiamites



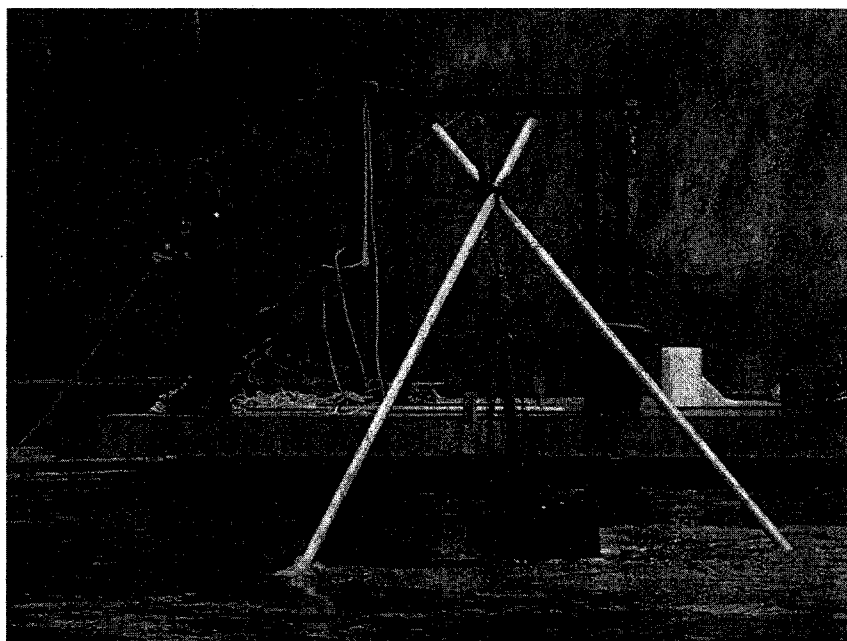


Figure 32. Photo de l'extraction des paniers d'incubation au printemps 2003.

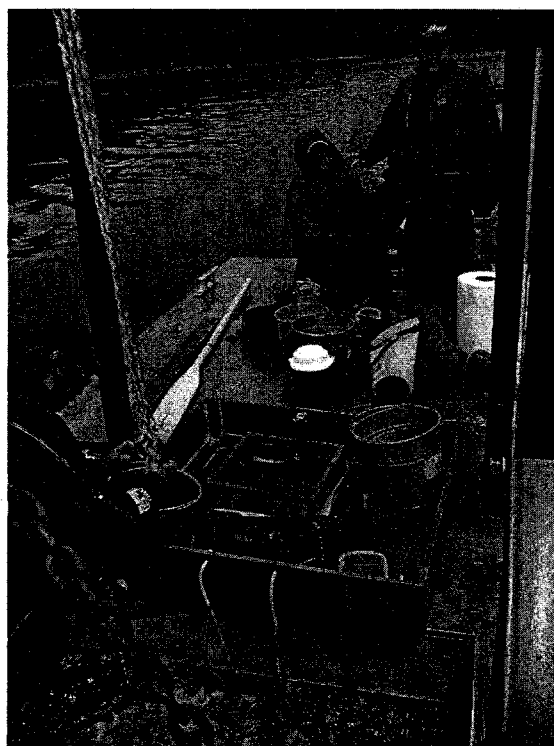


Figure 33. Photo du décompte des œufs retrouvés au printemps 2003.