

DÉTERMINANTS DE LA SÉLECTION DES SITES DE FRAYE ET DES
SUCCÈS D'ÉCLOSION ET D'ÉMERGENCE CHEZ L'OMBLE DE
FONTAINE (*SALVELINUS FONTINALIS*) EN RIVIÈRE

RAPPORT PRÉSENTÉ

PAR

CHARLES VALLÉE

ET

PIERRE MAGNAN

FONDATION POUR LA SAUVEGARDE
DE LA TRUITE MOUCHETÉE,
CENTRE DE RECHERCHE ET D'ÉDUCATION

ET

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

NOVEMBRE 2003

Résumé

Cette étude visait à déterminer la contribution relative de différentes variables liées au substrat et à l'hydrologie sur la sélection des sites de fraye et le succès de reproduction de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) dans des frayères naturelles. Nous avons comparé des sites de ponte sélectionnés par les ombles de fontaine avec des sites avoisinants, non-sélectionnés. Des œufs ont été incubés dans les deux types de sites et dans des substrats provenant de chacun des sites ainsi que dans de l'Astro-turf™, substrat maximisant la survie des embryons (Lachance *et al.*, 2000). Ce plan d'expérience a permis d'isoler les variables hydrologiques des variables liées à la composition du substrat dans deux aires d'étude distinctes (frayère des Étangs: 2001-2002 et frayère du Dikerman: 2002-2003). Les résultats suggèrent que les résurgences d'eau souterraine créent des différences de température, d'oxygène dissous et de conductivité entre l'eau de surface et interstitielle. Ces différences auraient un rôle à jouer dans la sélection des sites de fraye. L'éclosion des œufs et l'émergence des larves sont associées davantage au choix du site qu'au substrat d'incubation. Les taux d'éclosion et d'émergence sont supérieurs dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés par les ombles de fontaine. La résurgence d'eau souterraine semble être la variable déterminante de la survie, fournissant des conditions de débit, d'oxygène dissous et de température adéquates. Dans une perspective d'aménagement, la recherche et la valorisation de zones de résurgences devraient être considérées avant même la planification de travaux d'aménagement reliés à la modification du substrat contenu dans le lit des aires de reproduction de cette espèce.

Table des matières

Résumé.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures.....	v
Introduction générale.....	1
Problématique.....	1
Méthodologie.....	3
Description du site d'étude.....	3
Plan de l'expérience.....	3
Incubation des œufs.....	4
Physico-chimie de l'eau.....	5
Hydrologie des sites.....	6
Analyse du substrat.....	7
Analyses statistiques.....	9
Résultats.....	10
Caractéristiques hydrologiques et du substrat des sites de fraye (2001-2002 et 2002-2003).....	10
Physico-chimie des sites.....	16
Effets du site et du substrat sur les succès d'éclosion et l'émergence des larves.....	21
Discussion.....	24
Déterminants de la sélection des sites de fraye.....	24
Déterminants de l'éclosion des œufs et de l'émergence des larves.....	29
Conclusions.....	31
Références bibliographiques.....	33

Liste des tableaux

Tableau 1. Diamètre géométrique moyen et accumulation des sédiments fins pour les sites sélectionnés et non-sélectionnés pour 2001-2002 et 2002-2003 (moyenne \pm E.T. et n entre parenthèses). Déterminé par un test de t ($p < 0.05$).....	11
Tableau 2. Profondeur, vitesse de l'eau de surface et débit des résurgences, pour 2001-2002 et 2002-2003 (moyenne \pm E.T. et n entre parenthèses).....	15
Tableau 3. Taux moyens d'éclosion et d'émergence (\pm E.T.) aux sites sélectionnés et non-sélectionnés dans l'Altro-turf™, le substrat sélectionné et non-sélectionné, pour 2001-2002 et 2002-2003.....	23

Liste des figures

- Figure 1. Disposition des incubateurs et des piézomètres sur un site.....7
- Figure 2. Positions des différentes classes de taille des particules du substrat provenant des sites sélectionnés et non-sélectionnés pour les deux années de l'étude 2001-2002 et 2002-2003 (moyenne \pm E.T.). Pour chaque classe de taille les moyennes accompagnées d'astérisques sont significativement différentes tel que déterminé par un test de t ($p < 0.05$).....13
- Figure 3. Température ($^{\circ}\text{C}$) et oxygène dissous (mg/L) de l'eau de surface et interstitielle des sites, pour les deux années d'étude (2001-2002 et 2002-2003). Les moyennes accompagnées d'astérisques sont significativement différentes tel que déterminé par un test de t ($p < 0.05$).....19
- Figure 4. Température ($^{\circ}\text{C}$) et conductivité spécifique (m ς) des sites sélectionnés et non-sélectionnés et conductivité spécifique (m ς) de l'eau de surface et interstitielle pour 2002-2003. Les moyennes accompagnées d'astérisques sont significativement différentes, tel que déterminé par un test de t ($p < 0.05$).....20

Introduction générale

Problématique

L'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) est depuis des générations le symbole de la pêche sportive au Québec. Conséquemment, cette espèce subit une forte pression de pêche sur un grand nombre de lacs du bouclier laurentien. Devant cet état de fait, plusieurs aménagistes font la promotion de l'aménagement des frayères dans le but de favoriser le recrutement de l'espèce. Ces méthodes d'aménagement, qui sont basées sur le vécu des biologistes, donnent souvent des résultats mitigés et n'ont jamais fait l'objet d'évaluation. Il devient donc primordial de mieux connaître les conditions de reproduction de l'omble de fontaine. En 1995, le Centre de recherche Gesti-Faune (maintenant Fondation pour la sauvegarde de la Truite Mouchetée), associé à l'Université du Québec à Trois-Rivières, a entrepris d'étudier différents aspects de la reproduction de l'omble de fontaine sur une frayère aménagée. Un premier projet visait l'écologie et le comportement reproducteur (Baril, 1999 ; Baril & Magnan, 2002) alors qu'un second a étudié les déterminants de la fraye dans une frayère aménagée (Bernier-Bourgault, 2001; Bernier-Bourgault & Magnan, 2002). Ces projets ont permis d'approfondir les connaissances sur les processus comportementaux et le succès de reproduction de l'omble de fontaine dans des habitats de fraye aménagés. Les résultats de Bernier-Bourgault & Magnan (2002) ont démontré l'absence de résurgences d'eau souterraine dans des sites sélectionnés et non-sélectionnés par des individus reproducteurs. Leurs résultats suggèrent que la sélection des sites s'est faite principalement en fonction de la vitesse de l'eau de surface et des caractéristiques du

substrat (granulométrie, proportion de sédiments fins). Cependant, il est possible que d'autres facteurs interviennent dans des frayères non aménagées (i.e. naturelles).

Jusqu'à ce jour, la littérature scientifique est ambiguë quant à l'importance des résurgences d'eau souterraine sur le choix d'un site de ponte (Curry & Noakes, 1995). Les résurgences produisent des gradients chimiques et thermiques qui pourraient être détectés par l'omble de fontaine (Webster & Eiriksdottir, 1976). La résurgence permettrait la sélection générale de l'aire de reproduction sans toutefois déterminer l'emplacement exact du nid (Curry & Noakes, 1995). Il existe probablement d'autres déterminants en cause, comme la composition du substrat et la profondeur de l'eau (Reiser & Wesche, 1977 ; Witzel & MacCrimmon, 1983 ; Curry & Noakes, 1995), mais l'importance de chacun reste à préciser.

L'objectif de cette étude est donc de déterminer la contribution relative de la vitesse du courant, la profondeur, la résurgence de l'eau souterraine, la granulométrie et la physico-chimie de l'eau de surface et interstitielle sur la sélection des sites de fraye et le succès de reproduction de l'omble de fontaine dans des frayères naturelles (i.e. non aménagées). Cela sera rendu possible par la comparaison de sites de ponte sélectionnés par les ombles avec des sites avoisinants, non-sélectionnés. Des œufs ont été incubés dans les deux types de sites et dans des substrats provenant de chacun des sites ainsi que dans de l'Astro-turf™, substrat maximisant la survie des embryons (Lachance *et al.*, 2000). Ce plan d'expérience permet d'isoler les variables hydrologiques des variables liées à la composition du substrat.

Méthodologie

Description du site d'étude

À l'automne 2001, nous avons sélectionné un site naturel de fraye dans l'émissaire du lac Les Étangs (Étangs), Charlevoix, à 52 km nord-ouest de Baie Saint-Paul (47°29'33"N, 70°44'46"W), Québec, Canada. À l'automne 2003, nous avons sélectionné un autre site naturel de fraye, dans l'émissaire du lac Lafond (Dikerman), Réserve Mastigouche, à 32 km nord de Saint-Alexis-des-Monts (46°43'50"N, 73°18'45"W), Québec, Canada.

Plan de l'expérience

Durant l'automne 2001 et 2002, nous avons incubé des œufs d'omble de fontaine dans huit sites sélectionnés par des individus reproducteurs et dans huit autres sites adjacents, non-sélectionnés. Un site sélectionné était déterminé par l'observation de nids et de l'activité des géniteurs. Les nids étaient caractérisés par une dépression dans le gravier, débarrassée des débris et des sédiments fins. Les sites non-sélectionnés étaient situés à moins de 5 mètres des sites sélectionnés de façon à regrouper les sites en paires. Les sites non-sélectionnés étaient déterminés par la similitude des caractéristiques visuelles avec les sites sélectionnés (courant, substrat et profondeur). Durant l'ensemble de la période de reproduction, nous n'avons observé aucune activité de reproduction sur les sites non-sélectionnés. La sélection de l'emplacement des sites non-sélectionnés (i.e. caractéristiques visuelles comparables aux sites sélectionnés) est justifiée par le fait que nous voulions volontairement réduire les différences entre les sites sélectionnés et non-

sélectionnés au niveau de la structure du substrat. Nous avons introduit trois incubateurs par site. Dans chacun de ceux-ci, nous avons placé 100 œufs fertilisés. L'incubateur le plus en amont contenait de l'Astro-turf™, substrat artificiel qui maximise la survie des œufs (Lachance *et al.*, 2000). Un des deux autres incubateurs a reçu du gravier du site sélectionné et l'autre du gravier du site non-sélectionné.

Incubation des œufs

L'installation des incubateurs dans le lit de la rivière a nécessité de forer des trous dans le gravier à 15 cm de profond, de sorte que seule la trappe d'émergence soit dans la colonne d'eau. Les trous ont été creusés à l'aide d'une pelle à jardin. Une fois ces derniers creusés nous avons introduit un tube de PVC (30cm long. X 10cm dia.) et avons remblayé le pourtour du tube avec ce même gravier. Il a été nécessaire de fixer les incubateurs, à l'aide de tiges métalliques pour empêcher leur déplacement lors des crues printanières. Nous avons ensuite introduit l'incubateur dans le tube de PVC et retiré ce dernier. Cette technique a permis de limiter le déplacement involontaire du gravier dans le nid. Les incubateurs ont été disposés à équidistance, en forme de triangle selon la Figure 1 (page 7). Les incubateurs utilisés dans cette étude sont décrits dans Bernier-Bourgault *et al.* (2003).

Comme nous devions introduire 100 œufs dans 48 incubateurs, le nombre d'œufs à recueillir a été d'environ 5000 par année. La capture des géniteurs s'est faite à la seine (10 x 1.5 m), à la charge du lac Saint-Michel (47°17'N, 71°55'O) pour la première année et directement sur la frayère du site d'étude pour la deuxième année. Les géniteurs ont été

gardés en captivité dans des enclos pour la durée de la fertilisation. Le prélèvement et la fertilisation des œufs ont été effectués selon la méthode sèche décrite par Piper *et al.* (1982). Une fois les œufs fertilisés et durcis, ils ont été dénombrés, introduits directement dans les incubateurs et acheminés aux différents sites. Les géniteurs ont été réintroduits au site de capture. Les incubateurs ont été récupérés au printemps suivant pour évaluer les taux d'éclosion des œufs et d'émergence des larves. Le taux d'éclosion des œufs a été obtenu par la comparaison du nombre d'œufs incubés avec le nombre d'œufs vivants, combinés au nombre de larves retrouvées dans la trappe à émergence. Le taux d'émergence des larves a été obtenu via le nombre de larves retrouvées dans la trappe à émergence par rapport au nombre d'œufs incubés.

Physico-chimie de l'eau

Dans le but de comparer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de surface avec celles de l'eau dans le gravier, nous avons conçu une pompe s'adaptant à une sonde (Hydrolab® MiniSonde® 4a), permettant d'obtenir des mesures de température, de conductivité et d'oxygène dissous à partir d'un lecteur multifonctions (Hydrolab® Surveyor® modèle 4a). Lors des prises de données, une pointe de téflon a été introduite dans le gravier à 10 cm de profondeur, à l'intérieur du périmètre du site. L'action de la pompe aspirait l'eau jusqu'à ce que la sonde soit inondée par l'eau du gravier. Pour mesurer les mêmes variables dans l'eau de surface, nous introduisons la sonde directement dans le périmètre du nid légèrement sous la surface de l'eau. Devant chaque site, nous avons aussi déterminé la vitesse de l'eau et la profondeur, à l'aide d'un courantomètre (Pygmy Current Meter Scientific Instrument 1205®).

Hydrologie des sites

Sur les 16 sites à l'étude, nous avons installé deux piézomètres par site. Les piézomètres étaient fabriqués à l'aide de tubes de polyéthylène (d.i.: 6.4 mm, d.e. : 9.6 mm) dont l'une des extrémités était scellée avec du silicone (Lee & Cherry, 1978). Les tubes étaient perforés de 28 trous sur une longueur de 10 cm, à 5 cm du bout. La partie perforée du tube était recouverte de *nitex* (1.0 mm²) permettant de limiter le colmatage du tube. Les piézomètres (32) ont été enfouis à 15 cm de profondeur à l'aide d'une masse et d'un tube de métal dans lequel était introduit le piézomètre, de façon à échantillonner l'eau entre 5 et 15 cm dans le substrat. Les piézomètres ont été placés en paires à l'intérieur des sites d'incubation (poche du nid), à proximité des incubateurs. De plus, pour permettre de quantifier l'eau sortant du système aquifère à partir des piézomètres, nous avons mesuré deux variables (débit hydrogéologique et le delta h) à l'aide de deux dispositifs proposés par Lee & Cherry (1978). Le débit hydrogéologique consiste à mesurer le temps que prendra un volume d'eau connu pour traverser un substrat donné, à partir d'un cylindre gradué relié à un piézomètre. Le delta h est une mesure de la différence de pression observée entre l'eau interstitielle et l'eau de surface (cm). Ces variables permettent de calculer le débit d'écoulement de l'eau interstitielle à l'aide de l'équation de *Darcy* (Lee & Cherry, 1978) :

$$Q = A (dh / dl) K_h$$

où Q est le débit de l'eau de résurgence (cm³·s⁻¹), A est l'aire dans laquelle l'eau circule (cm²), dh/dl est le gradient hydraulique (sans unité) qui correspond au delta h divisé par la profondeur à laquelle se trouve le piézomètre et K_h est la conductivité hydraulique du substrat (cm s⁻¹).

Pour calculer le débit de l'eau de résurgence on doit d'abord calculer la conductivité hydraulique (K_h) :

$$K_h = \frac{q \ln \sqrt{[(L/D) + (1 + (L/D)^2)]}}{2 \pi L H_c}$$

où q est le débit hydrogéologique ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), L la longueur de la prise d'eau du piézomètre (cm), D le diamètre de la prise d'eau du piézomètre (cm), et H_c la constante piézométrique correspondant au delta h sur un ($\Delta h/1$).

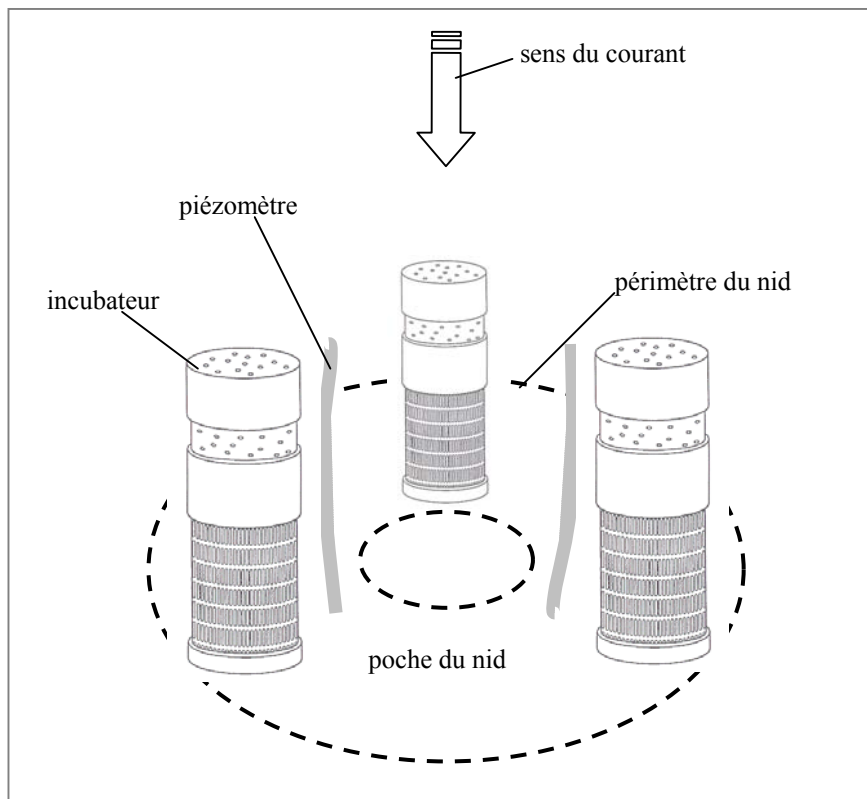


Figure 1. Disposition des incubateurs et des piézomètres sur un site.

Analyse du substrat

Avant l'installation des incubateurs, un échantillon de gravier a été extrait du site à l'aide d'un échantillonneur McNeil. Ces échantillons ont été séchés et passés à travers

une série de tamis de 25, 16, 8, 4, 2 et 1mm². Les particules plus grandes que 48 mm² ont été retirées des échantillons compte tenu de l'introduction possible d'un biais de poids (Adams & Beschta, 1980). Les fractions de chaque tamis ont ensuite été pesées. Ceci nous a permis de calculer le pourcentage de sédiments fins (< 1 mm²). L'indice de Fredle permet d'évaluer le potentiel d'un substrat utilisé pour la fraye chez les salmonidés. Cet indice tient compte du diamètre géométrique moyen des particules (dg) et du coefficient de tri (S_o) (Lotspeich et Everest, 1981). Ce calcul nécessite donc la détermination du diamètre géométrique moyen (dg) :

$$dg = (d_1^{W_1} \times d_2^{W_2} \times \dots \times d_n^{W_n})$$

où d_n est le diamètre médian des particules retenues par le n^{ième} tamis et W_n est la fraction décimale du poids des particules retenues sur le n^{ième} tamis. Pour sa part, le coefficient de tri (S_o) permet d'estimer l'homogénéité du substrat, de la façon suivante :

$$S_o = (d_{75} / d_{25})^{1/2}$$

où d₇₅ et d₂₅ correspondent respectivement au diamètre moyen des particules à 75 % et 25 % du poids cumulé de l'échantillon. Plus le coefficient de tri (S_o) est élevé, plus le substrat est hétérogène. Le rapport du dg sur S_o nous donne l'indice de Fredle :

$$fi = dg / S_o$$

Plus l'indice de Fredle est élevé plus le substrat est favorable à l'incubation des œufs (Lotspeich & Everest, 1981). Chapman (1988) préfère l'utilisation de l'indice de Fredle au diamètre géométrique moyen, qui constitue à lui seul une estimation de la qualité du substrat. Suite à une revue de la valeur de chaque indice, Yong *et al.* (1990) ont conclu que l'indice de Fredle et le diamètre géométrique moyen des particules sont

deux descripteurs adéquats des effets de la composition du substrat sur la survie à l'émergence.

Analyses statistiques

L'oxygène dissous, la température et la conductivité de l'eau ont été comparés entre l'eau de la surface et l'eau interstitielle (profondeur), entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés (site), en intégrant les différentes périodes d'échantillonnage (temps) à l'aide d'analyses de variance à trois facteurs (Sokal & Rohlf, 1981). La profondeur, la vitesse de l'eau de surface et le débit des résurgences d'eau souterraine ont été comparés entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés (site), en intégrant les différentes périodes d'échantillonnage (temps) à l'aide d'analyses de variance à deux facteurs (Sokal & Rohlf, 1981). L'accumulation des particules dans l'Astro-turf™, la proportion (%) de chacune des classes de taille des particules et le diamètre géométrique moyen des particules ont été comparés entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés à l'aide de tests de t de Student ou des tests de U de Mann-Whitney, dépendamment de l'atteinte ou non des conditions d'application pour les tests de t (normalité et homogénéité des variances). Les effets du substrat (Astro-turf™, sélectionné et non-sélectionné) et des sites (sélectionnés et non-sélectionnés) ont été examinés avec des analyses de variance à deux facteurs suivies d'un test de comparaisons multiples de Tukey (Sokal & Rohlf, 1981). L'homogénéité des variances a été vérifiée à l'aide d'un test de F_{\max} (Sokal & Rohlf, 1981). L'ensemble des analyses statistiques a été effectué avec le logiciel SYSTAT (version 8.0).

Résultats

Caractéristiques hydrologiques et du substrat des sites de fraye (2001-2002 et 2002-2003)

Aucune différence significative n'a été observée pour le diamètre géométrique moyen des particules (dg) et pour l'accumulation des particules dans l'Astro-turf™ entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés pour 2001-2002 (dg : $t = 1.24$, $p > 0.05$; particules fines : $t = 0.84$, $p > 0.05$; Tableau 1). Pour 2002-2003, aucune différence significative n'a été observée pour le diamètre géométrique moyen des particules (dg) entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés ($t = 0.35$, $p > 0.05$; Tableau 1). Cependant, l'accumulation des particules dans l'Astro-turf™ était significativement plus abondante dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés ($t = 3.71$, $p < 0.05$; Tableau 1).

Tableau 1. Diamètre géométrique moyen et accumulation des sédiments fins pour les sites sélectionnés et non-sélectionnés pour 2001-2002 et 2002-2003 (moyenne \pm E.T. et n entre parenthèses). Déterminé par un test de t ($p < 0.05$).

Année	Variables	Substrat		
		Sélectionné	Non-sélectionné	p
2001-2002	Diamètre géométrique moyen (mm)	3.686 \pm 0.681 (8)	4.515 \pm 1.564 (8)	0.269
	Accumulation des particules fines (g)	54.1 \pm 79.5 (8)	48.6 \pm 23.8 (8)	0.361
2002-2003	Diamètre géométrique moyen (mm)	2.088 \pm 1.018 (8)	1.934 \pm 0.724 (8)	0.732
	Accumulation des particules fines (g)	165.41 \pm 50.1 (8)	67.33 \pm 55.6 (8)	0.002

Pour 2001-2002, les particules $< 1\text{mm}$ étaient significativement plus abondantes dans les sites non-sélectionnés que dans les sites sélectionnés ($U = 51.00$, $p < 0.05$; Figure 2). Cependant, les particules de 1 à 1.99 mm, de 2 à 3.99 mm et de 4 à 7.99 étaient significativement plus abondantes dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés (1-1.99: $U = 9.00$, $p < 0.05$; 2-3.99: $U = 7.00$, $p < 0.01$; 4-7.99: $U = 7.00$, $p < 0.01$; 8-15.99: $U = 16.00$, $p > 0.05$; 16-24.99: $U = 16.00$, $p > 0.05$; > 25 : $U = 38.00$, $p > 0.05$; Figure 2). Pour 2002-2003, il y avait seulement les particules de 1 à 1.99 mm qui étaient significativement plus abondantes dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés (< 1 : $t = 1.80$, $p > 0.05$; 1-1.99: $t = 2.49$, $p < 0.05$; 2-3.99: $t = 1.50$, $p > 0.05$; 4-7.99: $t = 1.01$, $p > 0.05$; 8-15.99: $t = 0.620$, $p > 0.05$; 16-24.99 $t = 0.752$, $p > 0.05$; > 25 : données insuffisantes pour le test; Figure 2). Un test de Kolmogorov-Smirnov a démontré que la proportion des classes de taille des particules sont significativement différentes entre les années 2001-2002 et 2002-2003 ($p < 0.01$).

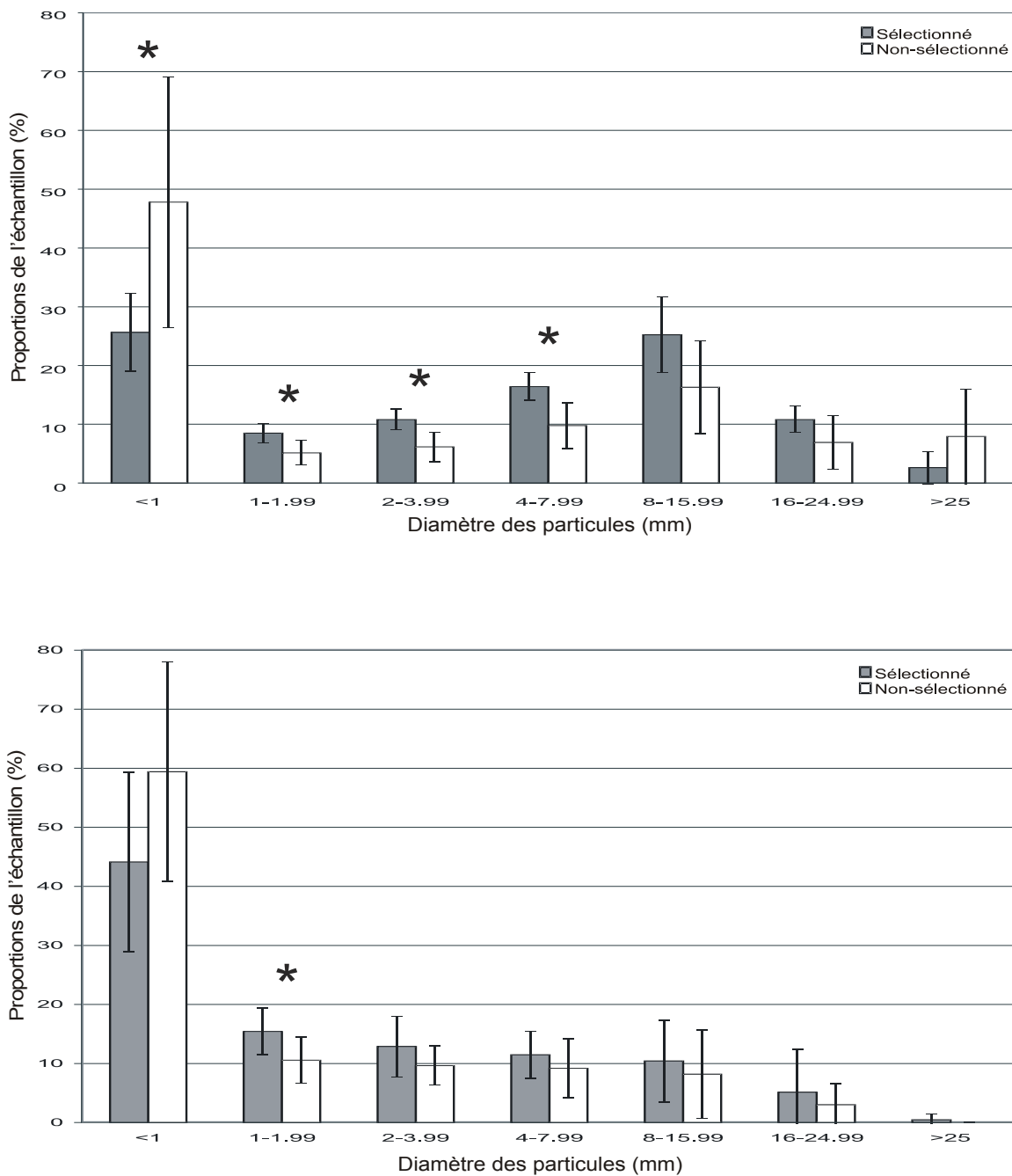


Figure 2. Positions des différentes classes de taille des particules du substrat provenant des sites sélectionnés et non-sélectionnés pour les deux années de l'étude 2001-2002 et 2002-2003 (moyenne \pm E.T.). Pour chaque classe de taille les moyennes accompagnées d'astérisques sont significativement différentes tel que déterminé par un test de t ($p < 0.05$)

Pour 2001-2002, la profondeur moyenne était plus élevée et plus variable dans les sites non-sélectionnés que dans les sites sélectionnés (site: $F = 9.447$, $p < 0.01$; temps: $F = 81.742$, $p < 0.01$; site x temps: $F = 0.423$, $p > 0.05$; Tableau 2). La vitesse de l'eau de surface n'a démontré aucune différence significative entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés (site: $F = 0.160$, $p > 0.05$; temps: $F = 81.742$, $p < 0.01$; site x temps: $F = 0.423$, $p > 0.05$). Le débit des résurgences d'eau souterraine était plus élevé dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés (sites: $F = 10.157$, $p < 0.01$; temps: $F = 4.077$, $p < 0.01$; site x temps: $F = 0.308$, $p > 0.05$; Tableau 2).

Pour 2002-2003, la profondeur n'était pas significativement différente entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés (site: $F = 1.069$, $p > 0.05$; temps: $F = 0.190$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 0.119$, $p > 0.05$; Tableau 2). La vitesse de l'eau de surface était significativement plus élevée dans les sites non-sélectionnés que dans les sites sélectionnés (site: $F = 4.697$, $p < 0.05$; temps: $F = 0.615$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 0.004$, $p > 0.05$; Tableau 2). Le débit des résurgences d'eau souterraine était plus élevé dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés (site: $F = 19.959$, $p < 0.001$; temps: $F = 0.858$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 0.125$, $p > 0.05$; Tableau 2).

Tableau 2. Profondeur, vitesse de l'eau de surface et débit des résurgences, pour 2001-2002 et 2002-2003 (moyenne \pm E.T. et n entre parenthèses)

Année	Variable	Sites	Moyenne \pm E.T. (n)*
2001-2002	Profondeur (cm)	sélectionné	29.5 \pm 5.5 (24)a
		non-sélectionné	35.8 \pm 8.4 (24)b
	Vitesse de l'eau de surface (m/s)	sélectionné	0.128 \pm 0.160 (40)a
		non-sélectionné	0.134 \pm 0.165 (40)a
	Débit des résurgences (ml/min)	sélectionné	3.21 \pm 1.37 (37)a
		non-sélectionné	2.26 \pm 1.27 (37)b
2002-2003	Profondeur (cm)	sélectionné	50.8 \pm 9.2 (16)a
		non-sélectionné	54.4 \pm 9.7 (16)a
	Vitesse de l'eau de surface (m/s)	sélectionné	0.113 \pm 0.095 (16)a
		non-sélectionné	0.192 \pm 0.106 (16)b
	Débit des résurgences (ml/min)	sélectionné	3.45 \pm 1.15 (32)a
		non-sélectionné	2.22 \pm 1.27 (32)b

*Les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes, tel que déterminé par une ANOVA à deux facteurs ($p < 0.05$).

*Physico-chimie des sites***2001-2002**

La température de l'eau n'a affiché aucune différence significative entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés (site) et aucune interaction significative avec les périodes d'échantillonnage (temps) et les mesures de surface et interstitielle (profondeur) (site: $F = 1.602$, $p > 0.05$; site x profondeur: $F = 0.547$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 1.356$, $p > 0.05$). Par contre, cette variable a affiché des différences significatives pour les effets de la profondeur, du temps et pour l'interaction sous-jacente, où la température de l'eau interstitielle était plus froide que celle de la surface pour les périodes 24/10/01, 28/11/01 et 31/04/02 mais plus chaude pour les périodes 02/11/01 et 09/11/01 (profondeur: $F = 4.349$, $p < 0.05$; temps: $F = 4595.531$, $p < 0.001$; temps x profondeur: $F = 14.605$, $p < 0.001$; test comparaison multiple de Tukey; temps; $p < 0.05$; Figure 3).

L'oxygène dissous de l'eau de surface (mg/L) était significativement plus abondant que l'oxygène dissous de l'eau interstitielle (surface: 11.21 ± 1.64 ; interstitielle: 9.60 ± 2.13 ; profondeur: $F = 26.938$, $p < 0.001$; temps: $F = 1.852$, $p > 0.05$). L'oxygène dissous dans l'eau de surface était significativement plus élevé que dans l'eau interstitielle pour le 09/11/01, le 28/11/01 et le 31/05/02 (temps x profondeur: $F = 2.470$, $p < 0.05$; test de comparaison multiple de Tukey : $p < 0.05$; Figure 3). L'oxygène dissous de l'eau de surface et interstitielle étaient significativement plus abondant dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés (surface, sélectionné: 11.60 ± 2.09 ; surface, non-sélectionné: 10.83 ± 0.88 ; interstitielle, sélectionné: 10.35 ± 1.94 ;

interstitielle, non-sélectionné: 8.81 ± 2.06 ; site: $F = 14.446$, $p < 0.001$; site x profondeur: $F = 1.619$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 1.528$, $p > 0.05$).

La conductivité était significativement plus élevée dans l'eau interstitielle que dans l'eau de surface (profondeur: $F = 31.643$, $p < 0.001$; surface: 0.012 ± 0.001 , interstitielle: 0.026 ± 0.019). La conductivité n'a démontré aucune autre différence significative pour les effets du temps, du site ainsi que leurs interactions (site: $F = 0.741$, $p > 0.05$; temps: $F = 0.273$, $p > 0.05$; site x profondeur: $F = 0.986$, $p > 0.05$; temps x profondeur: $F = 0.127$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 0.064$, $p > 0.05$).

2002-2003

La température de l'eau n'a affiché aucune différence significative pour l'effet du site mais une différence significative au niveau de l'interaction des effets du site et du temps (site: $F = 2.151$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 2.548$, $p < 0.05$), où la température moyenne des sites sélectionnés était plus froide que celle des sites non-sélectionnés (15/05/03: test de comparaisons multiples de Tukey : $p < 0.05$; Figure 3). Les effets de la profondeur et du temps ainsi que l'interaction sous-jacente ont affiché des différences significatives (profondeur: $F = 54.907$, $p < 0.001$; temps: $F = 1083.623$, $p < 0.001$; site x profondeur: $F = 57.579$, $p < 0.001$); la température interstitielle moyenne des trois premières sorties sur le terrain (période d'incubation) était plus chaude que la température moyenne de l'eau de surface, mais plus froide pour les deux dernières sorties sur le terrain (période d'émergence; Figure 3).

Pour l'ensemble des sorties sur le terrain, l'oxygène dissous était toujours plus élevé dans l'eau de surface que dans l'eau interstitielle (profondeur: $F = 27.876$, $p < 0.001$; temps: $F = 30.136$, $p < 0.001$; test de comparaisons multiples de Tukey; $p < 0.05$; Figure 3). L'effet du site et ces interactions n'ont démontré aucune autre différence significative (site: $F = 2.708$, $p > 0.05$; site x profondeur: $F = 2.690$, $p > 0.05$; temps x profondeur: $F = 1.888$, $p > 0.05$; site x temps: $F = 1.379$, $p > 0.05$).

La conductivité était toujours plus élevée dans l'eau interstitielle que dans l'eau de surface (surface: 0.017 ± 0.006 , interstitielle: 0.024 ± 0.013 ; profondeur: $F = 50.093$, $p < 0.001$; temps: $F = 84.924$, $p < 0.001$; temps x profondeur: $F = 1.888$, $p > 0.05$; test de comparaison multiple de Tukey; $p < 0.05$; Figure 4). La conductivité démontre aussi une interaction significative entre l'effet du temps et du site (site x temps: $F = 4.673$; $p < 0.01$) où les sites sélectionnés présentaient une conductivité plus élevée que les sites non-sélectionnés pour le 14/11/02 tandis que l'inverse s'est produit pour le 15/05/03 (test de comparaison multiple de Tukey; $p < 0.05$; Figure 4). On ne note aucun autre effet significatif (site: $F = 0.204$, $p > 0.05$; site x profondeur: $F = 2.690$, $p > 0.05$).

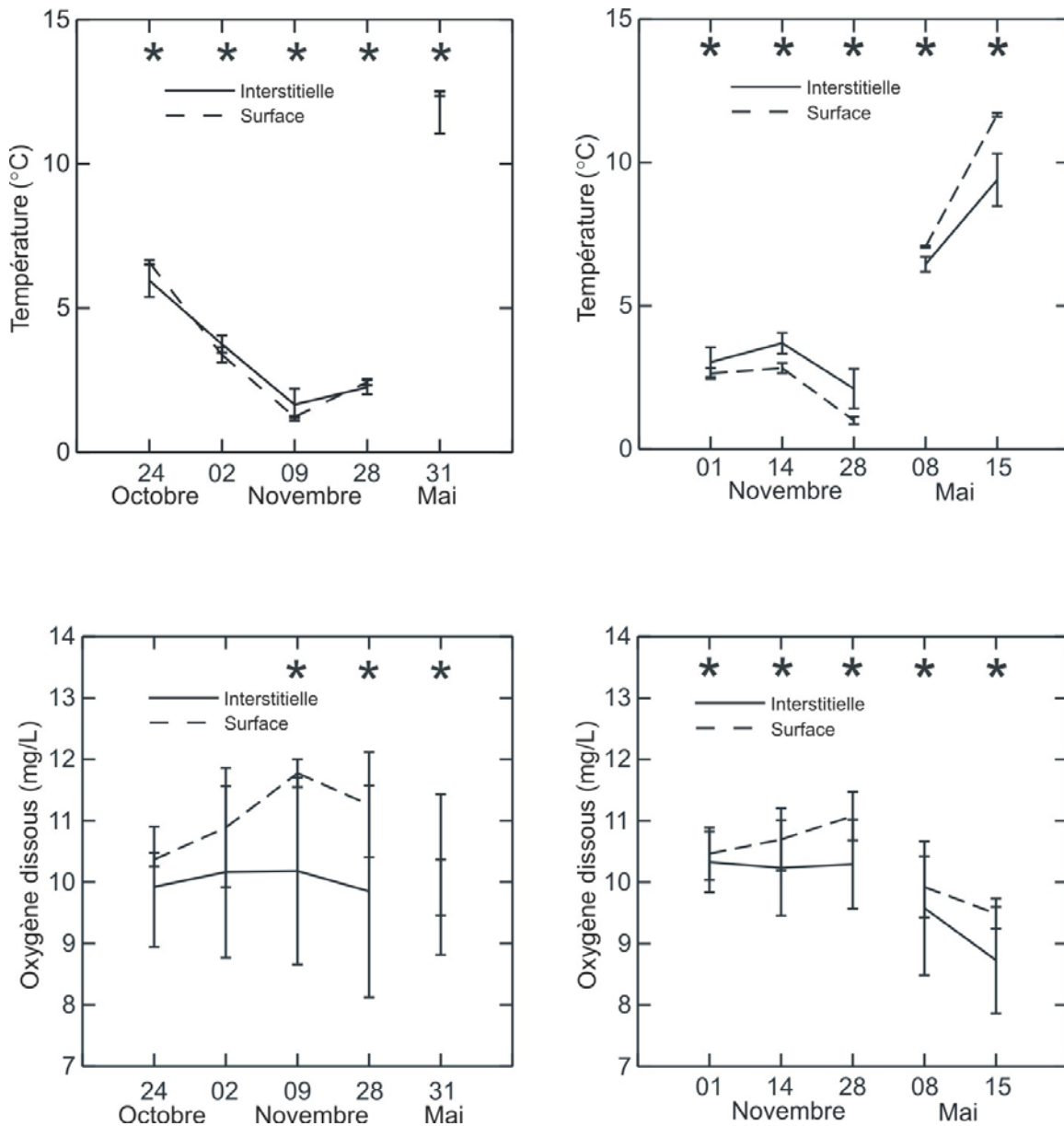


Figure 3. Température (°C) et oxygène dissous (mg/L) de l'eau de surface et interstitielle des sites, pour les deux années de l'étude (2001-2002 et 2002-2003). Les moyennes accompagnées d'astérisques sont significativement différentes, tel que déterminé par un test de t ($p < 0.05$).

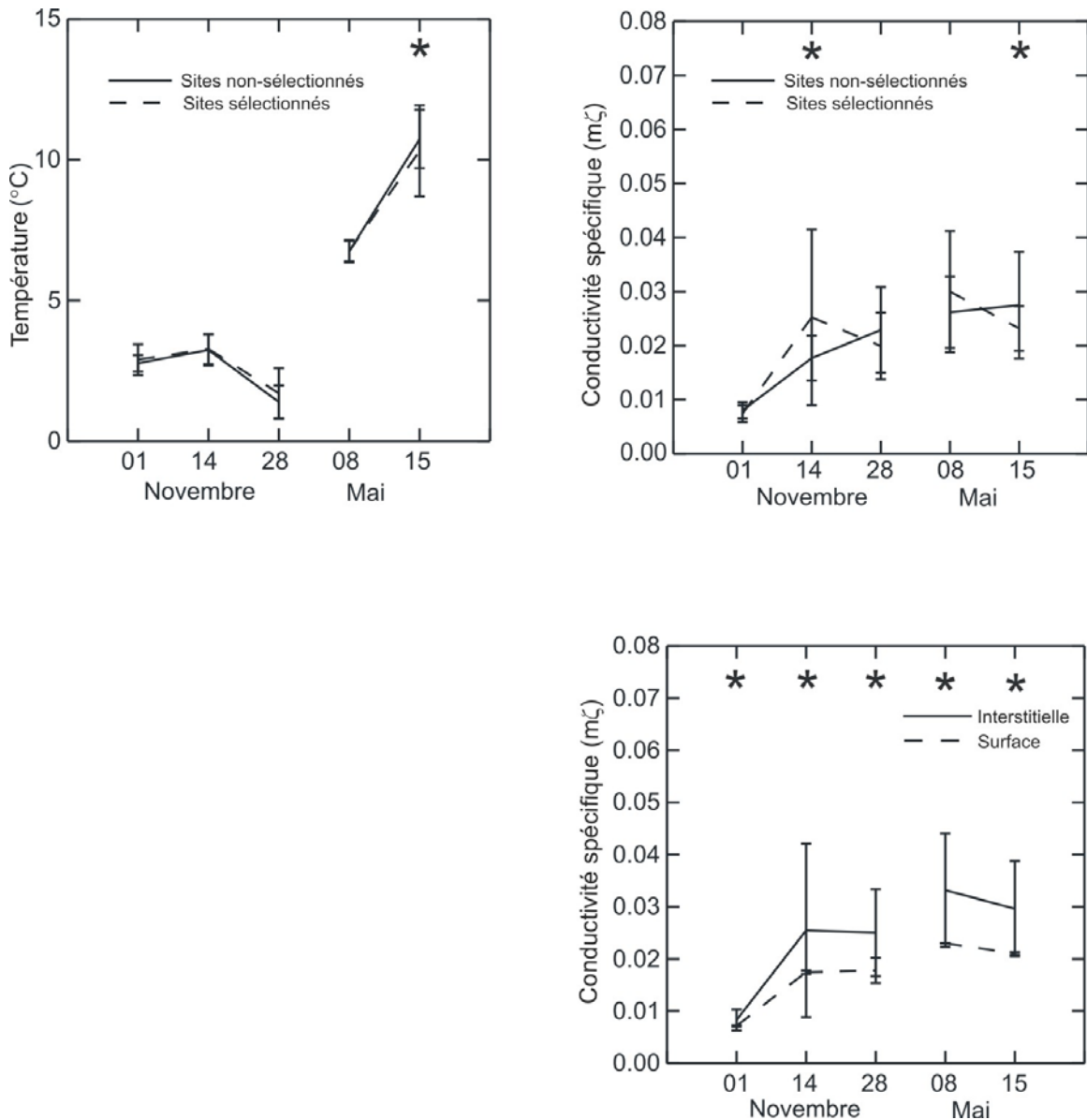


Figure 4. Température (°C) et conductivité spécifique (m ζ) des sites sélectionnés et non-sélectionnés et conductivité spécifique (m ζ) de l'eau de surface et interstitielle pour 2002-2003. Les moyennes accompagnées d'astérisques sont significativement différentes, tel que déterminé par un test de t ($p < 0.05$).

*Effets du site et du substrat sur les succès d'éclosion et l'émergence des larves***2001-2002**

Des différences significatives dans les succès d'éclosion et d'émergence ont été observées entre les sites et les substrats (site: éclosion, $F = 4.486$, $p < 0.05$, émergence, $F: 4.132$, $p < 0.05$; substrat: éclosion, $F = 5.957$, $p < 0.01$, émergence, $F: 5.620$, $p < 0.01$; Tableau 3). Cependant, l'interaction entre les effets du site et du substrat sur les succès d'éclosion et d'émergence n'était pas significative (site x substrat: éclosion, $F = 2.609$, $p > 0.05$; émergence, $F = 1.879$, $p > 0.05$). L'éclosion et l'émergence sont significativement plus élevées dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés (Tableau 3). En outre, les succès d'éclosion et d'émergence étaient plus élevés dans l'Astro-turf™, intermédiaires dans le substrat non-sélectionné et les plus bas dans le substrat sélectionné (Tableau 3). Un test de comparaison multiple de Tukey a démontré que les succès d'éclosion et d'émergence étaient significativement plus élevés dans l'Astro-turf™, que dans le substrat sélectionné (Tableau 3). Aucune différence significative n'a été observée entre le substrat non-sélectionné vs l'Astro-turf™ et le substrat sélectionné ($p > 0.05$). L'interaction entre les effets du substrat et du site n'était pas significative pour les succès d'éclosion et d'émergence.

2002-2003

Des différences significatives dans les succès d'éclosion et d'émergence ont été observées entre les sites et les substrats (site: éclosion, $F = 19.711$, $p < 0.001$, émergence, $F = 20.975$, $p < 0.001$; substrat: éclosion, $F = 11.396$, $p < 0.001$, émergence, $F = 12.384$, $p < 0.001$; Tableau 3). L'interaction entre les effets du site et du substrat sur les succès

d'éclosion et d'émergence présente aussi des différences significatives (site x substrat: éclosion, $F = 5.572$, $p < 0.01$; émergence, $F = 6.551$ $p < 0.01$). Les succès d'éclosion et d'émergence étaient significativement plus élevés dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés (Tableau 3). En outre, les succès d'éclosion et d'émergence étaient les plus élevés dans l'Astro-turf™, intermédiaires dans le substrat sélectionné et les plus bas dans le substrat non-sélectionné (Tableau 3). Le succès d'éclosion était significativement plus élevé dans l'Astro-turf™, que dans le substrat non-sélectionné mais pas pour le substrat sélectionné (test de comparaisons multiples de Tukey, $p < 0.05$; Tableau 3). Le succès d'émergence était significativement plus élevé dans l'Astro-turf™, que dans le substrat sélectionné et non-sélectionné (test de comparaisons multiples de Tukey, $p < 0.05$; Tableau 3). Aucune différence significative n'a été observée entre le substrat sélectionné et non-sélectionné pour les succès d'éclosion et d'émergence ($p > 0.05$). L'interaction entre les effets du substrat et du site a démontré que l'Astro-turf™ était significativement différent des substrats sélectionnés et non-sélectionnés. Dans les sites non-sélectionnés, aucune différence significative n'a été observée pour les succès d'éclosion et d'émergence.

Tableau 3. Taux moyens d'éclosion et d'émergence (\pm E.T.) aux sites sélectionnés et non-sélectionnés, dans l'Astro-turf™, le substrat sélectionné et le substrat non-sélectionné, pour 2001-2002 et 2002-2003 .

	Site*	Site*		Astro-turf™	Substrat*	
		Sélectionné	Non-sélectionné		Sélectionné	Non-sélectionné
	(%)					
2001-2002	Survie	17.3 \pm 10.7 (24)a	12.2 \pm 12.7 (24)b	22.1 \pm 11.4 (16)a	9.43 \pm 9.0 (16)b	13.9 \pm 10.5 (16)ab
	émergence	12.6 \pm 7.9 (24)a	10.3 \pm 9.5 (24)b	16.9 \pm 8.6 (16)a	6.9 \pm 6.3 (16)b	10.6 \pm 8.5 (16)ab
2002-2003	Survie	29.13 \pm 29.5 (24)a	4.83 \pm 16.2 (23)b	33.31 \pm 35.1 (16)a	15.06 \pm 20.7 (16)ab	2.40 \pm 4.5 (16)b
	émergence	23.96 \pm 26.2 (24)a	3.04 \pm 12.3 (23)b	28.28 \pm 31.0 (16)a	10.81 \pm 16.1 (16)b	1.33 \pm 3.0 (16)b

*Les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes, tel que déterminé par une ANOVA à deux facteurs, suivie d'un test de comparaisons multiples de Tuckey ($p < 0.05$).

Discussion

Le protocole utilisé dans le cadre de cette étude a permis de déterminer la contribution relative des résurgences et des caractéristiques du substrat dans la sélection des sites de fraye et pour les succès d'éclosion et d'émergence chez l'omble de fontaine. Ces facteurs avaient déjà été identifiés comme étant impliqués dans la sélection des sites et des succès d'éclosion et d'émergence (Webster & Eiriksdottir, 1976; Fraser, 1982; Curry & Noakes, 1995), mais aucune étude n'avait permis d'en départager l'importance relative. De plus, l'étude a été effectuée sur un gradient important de conditions environnementales (16 sites x 2 frayères), ce qui devrait en augmenter la représentativité écologique .

Déterminants de la sélection des sites de fraye

Les sites sélectionnés par les individus reproducteurs affichaient des résurgences plus fortes que les sites non-sélectionnés. La littérature antérieure à cette étude démontre que plusieurs espèces de salmonidés choisissent activement les sites de reproduction qui affichent des zones de résurgence (Webster & Eiriksdottir, 1976 ; Bjornn & Reiser, 1991; Curry & Noakes, 1995 ; Blanchfield & Ridgway, 1997 ; Baxter & Hauer, 2000). Comme les différences sont observées au niveau du débit des résurgences, la formation d'un gradient physique, détectable par les géniteurs, influencerait la sélection des sites par l'omble de fontaine.

Plusieurs indications permettent de croire que la provenance de l'eau sortant du système aquifère des deux frayères à l'étude, provient de sources souterraines (processus

d'exfiltration) plutôt que de la surface (processus de convection). Le processus de convection typique requiert une vitesse de l'eau de surface minimale, permettant l'infiltration de l'eau dans la zone interstitielle (Thibodeaux et Boyle, 1987). Or, les deux frayères présentaient des vitesses de surface très faibles, souvent en dessous du seuil de détection du courantomètre. Witzel et MacCrimmon (1983) ont suggéré qu'en présence de résurgences, la vitesse de courant ne dépasse pas 0.42 m/s. Les deux frayères que nous avons étudiées présentaient des vitesses de l'eau de surface inférieures à 0.2 m/s.

La profondeur de l'eau ne semble pas avoir d'influence sur la sélection des sites. Bien que les sites non-sélectionnés de la première frayère à l'étude étaient légèrement plus profonds que les sites sélectionnés, la littérature ne fait pas état de profondeur maximale lors de la fraye. Smith (1974) suggère plutôt une profondeur minimale de 0.09 m pour la fraye de l'omble de fontaine.

Nous avons observé une différence significative de température entre les sites sélectionnés et les sites non-sélectionnés, seulement dans la deuxième frayère et à une seule date (15/05/03), où la température de l'eau interstitielle des sites sélectionnés était significativement plus froide que celles des sites non-sélectionnés. Cependant, les deux frayères présentaient des différences significatives au niveau de la température, de l'oxygène dissous et de la conductivité entre l'eau de surface et l'eau interstitielle. Ces différences mettent en lumière qu'une portion de l'eau des aires de reproduction provient d'une autre source que la surface. Ceci a pour effet de créer des gradients qui pourraient guider les géniteurs vers les habitats de reproduction (Curry et Noakes, 1995).

Lors du choix des sites (en période de reproduction), nous avons observé que l'eau de surface était plus chaude que l'eau sortant du substrat de certains nids, au point de créer une différence de densité observable à l'œil nu (C. Vallée, observations personnelles). Cela serait dû au fait que la température de l'eau des nappes phréatiques est généralement stable tout au long de l'année (avoisinant 4°C; Freeze et Cherry, 1979). Comme l'entrée des géniteurs sur les sites de fraye débute lorsque la température de l'eau atteint généralement 13°C (Baril et Magnan, 2002), la création d'un gradient thermique négatif pourrait guider les ombles vers les aires de reproduction contenant des résurgences d'eau souterraine.

L'oxygène dissous pourrait également constituer un gradient pouvant guider les ombles vers les sites de fraye. Lors de la première année d'expérimentation, les sites sélectionnés présentaient des concentrations d'oxygène plus élevées que dans les sites non-sélectionnés, autant pour l'eau interstitielle que pour l'eau de surface. De plus, dans les deux frayères à l'étude, l'oxygène dissous était significativement plus élevé dans l'eau de surface que dans l'eau interstitielle. La concentration d'oxygène dissous dans l'eau interstitielle est dépendante d'une série de variables dont la vitesse de l'eau dans le substrat, la perméabilité du substrat, la demande biologique en oxygène du matériel organique dans le gravier, la température et l'intensité des échanges entre l'eau de surface et interstitielle (Bjornn & Reiser, 1991). Or, il est connu que l'omble de fontaine est sensible aux changements de concentration d'oxygène (Power, 1980). Cependant, les différences observées, bien que significatives, sont peut-être insuffisantes pour être détectées par l'omble de fontaine. Il demeure possible que la combinaison de cette

variable avec d'autres (température, conductivité) puisse contribuer à la sélection des sites, par la formation d'un gradient au sein des frayères.

La conductivité spécifique des deux frayères présentait également des différences significatives entre l'eau de surface et l'eau interstitielle. Dans l'ensemble, les valeurs étaient deux fois plus élevées dans l'eau interstitielle que dans l'eau de surface. Une conductivité élevée est caractéristique des nappes d'eau souterraine du bouclier laurentien. Les charges ioniques à l'intérieur des nappes phréatiques sont influencées par le substrat souterrain ainsi que par le temps de résidence de l'eau contenue dans celles-ci (Quinn, 1995). De la même façon que la température, les ombles pourraient se baser sur ce gradient pour identifier une zone contiguë de résurgences d'eau souterraine. Les quelques différences significatives observées entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés ne sont pas consistantes et sont possiblement le fruit du hasard.

Le fait que nous ayons trouvé peu de différences au niveau de la physico-chimie entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés pourrait signifier que les sites non-sélectionnés affichaient aussi des résurgences. La différence entre les débits de résurgence bien que significativement plus élevée dans les sites sélectionnés, n'a pas permis de discriminer adéquatement les sites sélectionnés des sites non-sélectionnés par les mesures de température, d'oxygène dissous et de conductivité de l'eau. Néanmoins, les différences observées entre l'eau de surface et interstitielle sont suffisantes pour valider que l'eau interstitielle n'est pas issue d'une infiltration d'eau de surface, mais bien de la nappe phréatique. La formation de gradients par ces variables serait donc

directement fonction de l'intensité du débit des résurgences et du niveau de mélange avec l'eau de surface.

Au niveau de la composition du substrat, le diamètre géométrique moyen et la proportion de sédiments fins pourraient être déterminants de la sélection des sites. Dans la première frayère à l'étude (2001-2002), la quantité de sédiments fins était significativement plus élevée dans les sites non-sélectionnés alors que l'on observait une tendance similaire pour la seconde frayère (2002-2003). Un substrat imperméable ne laisse pas remonter l'eau de la nappe phréatique vers la surface. Par cette action, les sédiments fins peuvent créer une barrière limitant les échanges entre l'eau de surface et l'eau souterraine (Geist, 2000; Soulsby *et al.*, 2001). Ceci pourrait influencer indirectement la sélection des sites de fraye, en diminuant la perméabilité du substrat et du même coup, les aires de résurgence. D'après Peterson (1978), une proportion de sable inférieure à 20 % diminue grandement la perméabilité du substrat des nids de saumon de l'Atlantique. Or, dans notre étude, les proportions de sédiments fins n'étaient jamais inférieures à 20 %. Un débit de résurgence constant pourrait cependant être suffisant pour empêcher la re-déposition des particules fines qu'avaient soulevées les géniteurs lors de la construction du nid. Dans l'optique où les ombles de fontaine choisissent des zones de résurgence, la modification de la proportion des sédiments fins dans le gravier des nids pourrait être attribuable à l'action nettoyante des résurgences.

En présence de résurgences, les variables liées au substrat ne semblent donc pas être déterminantes dans la sélection de sites. Webster et Eiriksdottir (1976), ont souligné

que les ombles de fontaine sont davantage influencés par la présence de résurgences que par la composition du substrat. Des géniteurs ont d'ailleurs été observés frayant sur des substrats atypiques (débris, copeaux de bois, sable) à l'intérieure de zones de résurgence (Fraser, 1982). Ces études n'étaient cependant pas conçues pour discriminer l'effet des résurgences, de l'effet du substrat. Notre étude met donc en lumière la prépondérance des résurgences sur l'effet du substrat, pour la sélection des sites de fraye de l'omble de fontaine.

Déterminants de l'éclosion des œufs et de l'émergence des larves

Pour les deux frayères, l'analyse de variance à deux facteurs (site et substrat), a démontré clairement que l'incubation des œufs et l'émergence des larves sont reliés au choix du site et non au substrat d'incubation (sélectionné vs non-sélectionné). Dans la première frayère, les sites sélectionnés ont affiché des succès d'éclosion et d'émergence significativement supérieurs à ceux des sites non-sélectionnés. La deuxième frayère a démontré de façon encore plus drastique la prépondérance de l'effet du site sur l'effet du substrat. Les succès d'éclosion et d'émergence ont été près de six fois plus élevés dans les sites sélectionnés que dans les sites non-sélectionnés, en dépit du fait que la charge sédimentaire était plus importante dans cette frayère et qu'il y avait très peu de différence au niveau des caractéristiques du substrat des sites sélectionnés et non-sélectionnés. Les résurgences, qui était la variable prédominante entre les sites sélectionnés et non-sélectionnés, empêcheraient les sédiments fins de s'accumuler sur les œufs jusqu'à l'émergence. Le mouvement de l'eau de résurgence débarrasserait également les œufs des

déchets métaboliques de l'environnement d'incubation (Coble, 1961; Sowden et Power, 1985; Chapman 1988, Curry *et al.*, 1995).

Bien que la proportion de particules fines ($< 1\text{mm}^2$) était plus élevée dans les sites non-sélectionnés que dans les sites sélectionnés de la première frayère, nous n'avons observé aucune différence significative dans les succès d'éclosion et d'émergence, entre les sites sélectionnés et les sites non-sélectionnés. La seule différence significative a été observée entre le témoin (Astro-turf™) et le substrat sélectionné. Dans la deuxième frayère, les comparaisons multiples de Tukey ont également démontré que les différences au sein du substrat se situent seulement entre le témoin vs les substrats sélectionnés et non-sélectionnés. Pour l'ensemble de l'étude, on ne dénote aucune différence significative pour les succès d'éclosion et d'émergence entre les substrats sélectionnés et non-sélectionnés. Les différences observées entre le témoin et les différents substrats témoignent des effets négatifs que peut avoir un substrat possédant une forte charge sédimentaire sur l'incubation et l'émergence, en augmentant le colmatage des œufs tout en diminuant la circulation de l'eau dans l'environnement d'incubation. La présence de résurgences d'eau souterraine viendrait donc atténuer les effets que la composition du substrat pourrait avoir en absence de résurgence. Ceci est en accord avec l'étude de Sowden et Power (1985), qui suggère que la survie d'embryons de truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) était fortement liée au contenu en oxygène dissous et la vitesse des eaux souterraines dans les nids. La concentration en oxygène dissous n'était pas liée à la composition du substrat et ne comptait que pour une faible proportion de la variance des vitesses des résurgences dans les nids (Sowden & Power, 1985). L'étude de Bernier-

Bourgault et Magnan (2001), suggèrent que les succès d'éclosion et d'émergence étaient reliés principalement au substrat d'incubation et à la vitesse de l'eau de surface comparativement aux autres caractéristiques des sites. Cependant, cette frayère avait été aménagée et ne présentait pas de résurgences d'eau souterraine. Globalement, les fondements de l'aménagement basés sur les caractéristiques du substrat ne semblent pas s'appliquer lorsqu'on observe des résurgences d'eau souterraine au sein des frayères à omble de fontaine.

Pour les deux frayères à l'étude, nous avons observé que la température de l'eau interstitielle était généralement plus chaude que l'eau de surface durant la période d'incubation pour ensuite devenir plus froide durant la période d'émergence. L'écoulement d'eau souterraine lors de la période d'incubation des œufs d'omble de fontaine (novembre à avril) pourrait donc jouer un rôle régulateur important en protégeant les nids contre les variations de température des eaux de surface et de la glace (Fraser, 1985 ; Gunn, 1986; Curry *et al.*, 1995).

Conclusions

Cette étude a permis de discriminer les effets des résurgences et des caractéristiques du substrat sur la sélection des sites et les succès d'éclosion et d'émergence de l'omble de fontaine dans des habitats naturels. Dans une perspective d'aménagement, la recherche et la valorisation de zones de résurgences devraient être considérées avant même la planification de travaux d'aménagement reliés à la modification du substrat contenu dans le lit des aires de reproduction. De plus, la

considération des processus de recharge et de décharge de la nappe phréatique devrait être prise en compte sur l'ensemble du bassin versant des zones concernées par de tels travaux d'aménagement.

Références bibliographiques

- Baril, M. 1999. Écologie et comportement reproducteur de l'omble de fontaine, *Salvelinus fontinalis*, dans une frayère aménagée. Thèse de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières. 51 pp.
- Baril, M. & P. Magnan. 2002. Seasonal timing and diel activity of lacustrine brook charr, *Salvelinus fontinalis*, spawning in a lake outlet. *Env. Bio. Fish.* 64 : 175-181.
- Baxter, C.V. & F.R. Hauer. 2000. Geomorphology, hyporheic exchange, and selection of spawning habitat by bull trout (*Salvelinus confluentus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 : 1470-1481.
- Bernier-Bourgault, I. 2000. Facteurs déterminant la sélection d'un site de fraye ainsi que les succès d'éclosion et d'émergence chez l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) dans une frayère aménagée. Thèse de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières. 67 pp.
- Bernier-Bourgault, I. & P. Magnan. 2002. Factors affecting redd site selection, hatching, and emergence of brook charr, *Salvelinus fontinalis*, in an artificially enhanced site. *Env. Bio. Fish.* 64 : 333-341.
- Bernier-Bourgault, I., F. Guillemette & P. Magnan 2003. A new incubator for salmonid egg incubation and collection of emergent larvae N. *Amer. J. Fish. Management* (in review).
- Blanchfield, P.J. & M.S. Ridgway. 1997. Reproductive timing and use of redd sites by lake-spawning brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 747-756.
- Bjornn, T.C. & D.W. Reiser. 1991. Habitat requirements of salmonids in streams. In : Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats. *Ams. Fish. Soc. Special publication.* 19 : 83-138.
- Chapman, D.W. 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 117: 1-21.
- Coble, D.W. 1961. Influence of water exchange and dissolved oxygen in redds on survival of steelhead trout embryos. *Trans. Am. Fish. Soc.* 90 : 469-474.

- Curry, R.A. & D.L.G. Noakes. 1995. Groundwater and the selection of spawning sites by brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 1733-1740.
- Fraser, J.M. 1982. An atypical brook charr (*Salvelinus fontinalis*) spawning area. Env. Biol. Fish. 7: 385-388.
- Fraser, J.M. 1985. Shoal spawning of brook trout, *Salvelinus fontinalis*, in a precambrian shield lake. Naturaliste can. 112: 163-174.
- Freeze, R.A. & J.A. Cherry. 1979. Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 604 pp.
- Geist, D.R. 2000. Hyporheic discharge of river water into fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) spawning areas in the Hanford Reach, Columbia River. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57 : 1647-1656.
- Guillemette, F. 2001. Déterminants de la sélection des sites de fraye en lac et du succès d'éclosion des œufs chez l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). Thèse de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières. 62 pp.
- Gunn, J.M. 1986. Behaviour and ecology of salmonid fishes exposed to episodic pH depressions. Env. Bio. Fish. 17: 241-252.
- Lachance, S., P. Bérubé, & M. Lemieux. 2000. In situ survival and growth of three brook trout strains, *Salvelinus fontinalis*, subjected to acid conditions of anthropogenic origin at the egg and fingerling stages. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 1562-1573.
- Lee, D.R. & J.A. Cherry. 1978. A field exercise on groundwater flow using seepage meters and mini-piezometers. J. Geol. Ed. 27: 6-10.
- Peterson, R.H. 1978. Physical characteristics of Atlantic salmon spawning gravel in some New Brunswick streams. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.: 1-13.
- Power, G. 1980. The brook charr *Salvelinus fontinalis* in Charrs : Salmonids fishes of the genus *Salvelinus*. Edited by E.K. Balon. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, Netherlands. pp. 141-203.
- Quinn, N.W.S. 1995. General features of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) spawning sites in lakes in Algonquin Provincial Park, Ontario. Can Field Nat. 109 :205-209.
- Reiser, D.W. & T.A. Wesche. 1977. Determination of physical and hydraulic preferences of brown and brook trout in the selection of spawning locations. In Water Research

- Series No. 64 Water Resources Research Institute, University of Wyoming, Laramie Wyo.
- Piper, R.G., I.B. McElwain, L.E. Orme, J.P. McCraren, L.G. Flower & J.R. Leonard. 1982. Fish hatchery management. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington. 517 pp.
- Silver, S.J., C.E. Warren & P. Douduroff. 1963. Dissolved oxygen requirements of developing steelhead trout chinook salmon embryos at different water velocities. *Trans. Am. Fish. Soc.* 92 : 327-343.
- Smith, A.K. 1973. Development and application of spawning velocity and depth criteria for Oregon Salmonids. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 102: 312-316.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. 1981. *Biometry*. 2nd ed. Freeman and company, San Francisco, CA. 859p.
- Soulsby, C., A.F. Youngson, H.J. Moir. & Malcom, I.A. 2001. Fine sediment influence on salmonid habitat in a lowland agricultural stream : a preliminary assessment. *Science of the Total Environment* 265 : 295-307.
- Sowden, T.K. & G. Power. 1985. Prediction of rainbow trout embryo survival in relation to groundwater seepage and particle size of spawning substrates. *Trans. Am. Fish. Soc.* 114: 804-812.
- Thibodeaux, L.J. & J.D. Boyle. 1987. Bedform-generated connective transport in bottom sediment. *Nature* 325 :341-343.
- Webster, D.A. & G. Eiriksdottir. 1976. Upwelling water as a factor influencing choice of spawning sites by brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Trans. Am. Fish. Soc.* 105: 416-421.
- Witzel, L.D. & H.R. MacCrimmon. 1983. Redd-site selection by brook trout and brown trout in southwestern Ontario streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112: 760-771.