

Direction de l'Aménagement de la Faune
Région Chaudière-Appalaches

Influence de l'ombrage produit par la végétation riveraine sur la température de l'eau.

Un paramètre d'importance pour le maintien
d'un habitat de qualité pour le poisson

Par

Yves Grégoire et
Guy Trecia

Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune
Secteur Faune

Lévis
Mars 2007

Référence à citer :

Grégoire, Y. et G. Tencia 2007. Influence de l'ombrage produit par la végétation riveraine sur la température de l'eau: un paramètre d'importance pour le maintien d'un habitat de qualité pour le poisson. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec. Direction de l'aménagement de la faune de la région de la Chaudière-Appalaches. x + 19p + 4 annexes.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

CHARGÉ DE PROJET

Guy Trecia, biologiste

TRAVAUX DE TERRAIN

Pierre-Yves Collin
Guy Trecia
François Lajoie (GIRB)

ANALYSE STATISTIQUE

Yves Grégoire

ANALYSE BIOLOGIQUE

Guy Trecia

RÉDACTION

Yves Grégoire
Guy Trecia

RÉVISION SCIENTIFIQUE

Pierre Bérubé, DRF
Luc Major, DAF 12

RÉSUMÉ

Des thermographes (enregistreurs de température) ont été installés dans deux cours d'eau agro-forestiers de la région Chaudière-Appalaches, les rivières Boyer et Petite Sainte-Marguerite, de manière à évaluer les différences de température entre des stations situées en milieux boisé et ouvert. L'enregistrement des données a été effectué à toutes les deux heures de juin à novembre 2006.

L'ombrage au dessus de l'eau était le principal paramètre pour expliquer les différences de température notées, lesquelles auraient été encore plus marquées si le parcours en milieu ouvert avait été plus long et davantage exposé aux radiations solaires.

Les résultats montrent une différence de température de l'eau statistiquement significative de l'ordre de 1 à 2°C, selon la rivière. La différence entre les stations est la plus prononcée quand la température de l'air est chaude et que le débit faible soit, en période d'étiage estival.

Une différence de 1 à 2°C peut suffire à changer la disponibilité du cours d'eau pour des espèces sensibles comme l'omble de fontaine. Dans le centre-sud du Québec, une hausse de la température des cours d'eau peut exercer des effets négatifs sur l'alimentation, la croissance, la densité et la biomasse des salmonidés. Quelques degrés de différence peuvent donner l'avantage à des espèces compétitrices de l'omble de fontaine et même, déterminer sa présence ou son absence.

L'implantation d'une bordure de végétation riveraine suffisamment haute et dense pour ombrager les cours d'eau en milieu agricole apparaît donc comme une mesure simple et efficace pour conserver une température de l'eau adéquate et satisfaire les besoins de la faune aquatique. Pour créer un ombrage efficace, la hauteur de la végétation riveraine à maintenir devrait être en proportion de la largeur du cours d'eau. En plus d'offrir de l'ombrage au cours d'eau, la végétation riveraine y favorise également le contrôle de la turbidité, un paramètre qui accentue le réchauffement de l'eau.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	v
Table des matières.....	vii
Liste des Tableaux.....	ix
Liste des figures.....	xi
Liste des annexes.....	xii
Introduction.....	1
Méthodologie.....	2
Région d'étude.....	2
Débit des rivières Etchemin et du Sud.....	4
Analyses statistiques.....	5
Analyses de variances.....	5
Régressions linéaires simples.....	5
Corrélations.....	6
Traitements par classes de débit et de température de l'air.....	6
Analyses de variance à deux facteurs de classification.....	6
Résultats.....	8
Analyses de variances.....	8
Régressions linéaires simples.....	11
Corrélations.....	14
Traitements par classes de débit et de température de l'air.....	14
Discussion.....	18
Conclusion.....	19
Références.....	21
Annexes.....	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) montrant les effets de la station (amont, centre, et aval) et du mois (juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre) sur la température maximale quotidienne de l'eau de la rivière Boyer.....	8
Tableau 2.	Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) montrant les effets de la station (amont et aval) et du mois (juillet, août, septembre, octobre et novembre) sur la température maximale quotidienne de l'eau de la Petite rivière Sainte-Marguerite.....	9
Tableau 3.	Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données brutes) montrant les effets de la station (amont, centre, et aval) et du mois (juillet, août, septembre) sur la température maximale quotidienne de l'eau de la Petite rivière Sainte-Marguerite.	10
Tableau 4.	Régressions linéaires simples entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations boisée et ouvertes et les variables environnementales.	11
Tableau 5.	Régression linéaire multiple entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations amont et centre de la rivière Boyer et les variables environnementales.	13
Tableau 6.	Régression linéaire multiple entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite et les variables environnementales.	13
Tableau 7.	Corrélation entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations boisée et ouvertes et les variables environnementales.	14

Tableau 8.	Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) montrant les effets de la température de l'air (inférieur à 15, entre 15 et 20, supérieur à 20) et du débit quotidien moyen (faible moyen fort) sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et centre de la rivière Boyer.....	15
Tableau 9.	Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur le logarithme des données) montrant les effets de la température de l'air (inférieur à 15, entre 15 et 20, supérieur à 20) et du débit quotidien moyen (faible moyen fort) sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite.....	16

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Localisation des thermographes installés sur la rivière Boyer nord en 2006	3
Figure 2.	Localisation des thermographes installés sur la rivière petite Sainte-Marguerite en 2006	4
Figure 3.	Comparaison de la température maximale quotidienne de la rivière Boyer en 2006 entre les stations et le mois. La moyenne et l'écart-type sont indiqués. Les mois qui ne diffèrent pas entre eux sont regroupés par un trait horizontal.....	9
Figure 4.	Comparaison de la température maximale quotidienne de la Petite rivière Sainte-Marguerite en 2006 entre les stations et le mois.	10
Figure 5.	Régressions linéaires simples entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations boisée et ouvertes et les variables environnementales.	12
Figure 6.	Comparaison de l'écart quotidien des température maximales de l'eau des stations amont et centre de la rivière Boyer en 2006 selon les classes de température et de débit.	15
Figure 7.	Comparaison de l'écart quotidien des température maximales de l'eau des stations mont et centre de la rivière Boyer en 2006 selon les classes de température et de débit.	17

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1. Moyennes, écart-type, erreur-type et taille des échantillons des températures maximales de l'eau de chaque station par mois les rivières Boyer et Petite Sainte-Marguerite.....25
- Annexe 2. Test de comparaison multiple de LSMeans provenant de l'analyse de variance bi-factorielle (Mois et Station) pour chaque facteur pour les rivières Boyer (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) et Petite Sainte-Marguerite (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang pour juillet à novembre et appliqué sur les données brutes de juillet à septembre).....26
- Annexe 3. Moyennes, écart-type, erreur-type et taille des échantillons des écarts quotidiens de températures maximales de l'eau pour chaque combinaison de température maximale de l'air et de débit de la rivière témoin pour les rivières Boyer et Petite Sainte-Marguerite.....28
- Annexe 4. Test de comparaison multiple de LSMeans provenant de l'analyse de variance bi-factorielle (débit et température) pour chaque facteur pour les rivières Boyer (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) et Petite Sainte-Marguerite (modèle linéaire mixte appliqué sur le logarithme des données).....29

INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, l'agriculture intensive s'est souvent traduite par l'enlèvement de toute la végétation ligneuse en bordure des cours d'eau pour maximiser les surfaces en culture. Plusieurs cours d'eau ont également été redressés, reprofilés et recalibrés de sorte qu'ils sont très exposés au réchauffement par le soleil. Dans le sud du Québec, de 30 000 à 40 000 km linéaires de cours d'eau auraient ainsi été aménagés par le ministère de l'Agriculture du Québec (Beaulieu 1999).

La température de l'eau est une variable clé de la qualité de l'habitat du poisson (Hunt *et coll.* 2006, Rashleigh *et coll.* 2005, Power *et coll.*, 1999, Stoneman and Jones 2000) et constitue un facteur déclencheur de la prolifération des algues. La concentration d'oxygène dissous dans l'eau est inversement proportionnelle à la température de l'eau. Ainsi, une eau plus fraîche contient davantage d'oxygène pour supporter les processus chimiques et biologiques qui interviennent dans l'écosystème aquatique. Entre autres, les variations de température le long d'un cours d'eau régissent la répartition spatiale des espèces (Edwards and Cunjack 2006).

La zone de confort de l'omble de fontaine se situe entre 12 et 22°C (Taniguchi *et coll.* 1998, Isaak and Hubert 2004). La quête alimentaire de l'espèce chute drastiquement au-delà de 24 °C. De plus, Magoulick et Wilzbach (1998) ont observé que la consommation de proies ainsi que la croissance étaient plus fortes à 13 °C qu'à 18. Des températures excédant 25 ou 26 °C sont considérées létales et déjà, au-delà de 22 °C, la concentration de protéine Hsp70 s'accroît et indique une réponse de stress qui ne se rétablira qu'après un délai proportionnel à la durée et à l'intensité de l'exposition (Lund *et coll.* 2003).

La densité des salmonidés (Creque *et coll.* 2005) et leur biomasse (Jones *et coll.* 2006) peuvent être diminuées par une hausse de la température des cours d'eau. Quelques degrés de différence peuvent donner l'avantage à des espèces compétitrices de l'omble de fontaine (Taniguchi *et coll.* 1998, Taniguchi and Nakano 2000) ou même expliquer son absence d'un cours d'eau (Flebbe *et coll.* 2006, Picard *et coll.* 2003). Pendant les périodes plus chaudes de l'année, lorsque l'eau dépasse 20°C, l'omble de fontaine recherche, lorsqu'elles sont disponibles, les résurgences et la confluence de petits tributaires plus froids qui lui permettront de conserver une température corporelle plus basse (Baird and Kruger 2003). La rapidité avec laquelle la température de l'eau est haussée amplifie également la réponse de stress chez les salmonidés (Quigley and Hinch 2006). À cet effet, Johnson (2004) a montré comment un ombrage artificiel fourni par une toile installée au-dessus d'un cours d'eau sur 150 mètres de long change le bilan thermique de celui-ci.

Objectif du projet

Ce projet vise à mesurer en conditions naturelles l'influence de l'ombrage procuré par la végétation ligneuse haute sur la température d'un cours d'eau en zone agricole, en considérant un minimum d'interactions causées par d'autres paramètres.

MÉTHODOLOGIE

Plusieurs facteurs autres que l'ombrage peuvent faire varier la température de l'eau entre deux stations de mesure: l'apport d'eau souterraine ou de surface, le temps de transit de l'eau entre les stations qui est influencé par la pente et le débit, la fermeture du couvert végétal au-dessus de l'eau (insolation), la présence de zones d'eau morte ou de cascades (évaporation), la nature du substrat (alluvial ou roche mère), l'orientation cardinale du cours d'eau en regard des heures d'ensoleillement maximal, etc. Le choix du site d'expérimentation vise à minimiser l'influence des paramètres autres que l'ombrage, autant que possible dans des conditions naturelles. Le cours d'eau doit traverser des sections de longueur suffisante pour modifier sa température et ce, sans influence externe également susceptible d'interférer. Ainsi, il ne doit pas y avoir de nouveaux tributaires entre deux stations.

Région d'étude

La rivière Boyer nord et la Petite rivière Sainte-Marguerite ont été sélectionnées pour suivre en continu la température de l'eau. Ces deux rivières, d'ordre 2 (Ste-Marguerite, selon la classification de Strahler 1957) ou 3 (Boyer nord) traversent des secteurs agroforestiers, dans la région de la Chaudière-Appalaches.

Dans la Boyer, la température de l'eau a été mesurée à intervalle de deux heures du 16 juin au 8 novembre 2006, à l'aide de thermographes de marque Onset (Hobo Pendant Data Logger) installés à trois stations. La première station est située à l'amont, après un parcours en zone boisée (environ 1 900 m à vol d'oiseau) où la température de l'eau est relativement fraîche (figure 1). La station suivante vers l'aval est localisée après que le cours d'eau ait franchi une bonne distance (environ 850 m) en zone ouverte exposée à l'ensoleillement. Cette station est susceptible d'illustrer l'augmentation des températures maximales atteintes par l'eau lorsque privée d'ombrage. La troisième station est située en milieu boisé, en aval de la zone ouverte (environ 680 m), afin de mesurer la température de l'eau après le retour du cours d'eau en zone ombragée.

La température de l'air a également été enregistrée près de la station médiane avec un thermographe installé au niveau du sol, mais caché de l'ensoleillement direct.

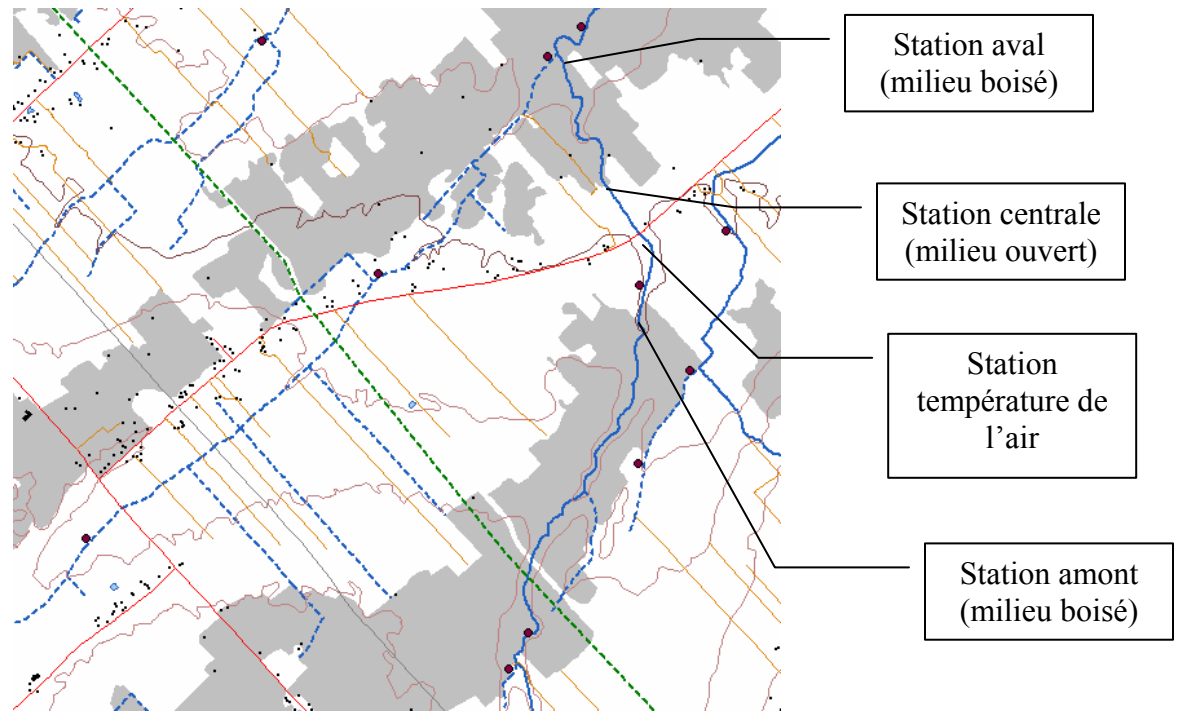


Figure 1. Localisation des thermographes installés sur la rivière Boyer nord en 2006

La température de l'eau a également été mesurée dans la Petite rivière Sainte-Marguerite à intervalle de deux heures, à deux stations (figure 2). La station amont est située après que la rivière ait traversé plus de 2 km de zones entièrement boisées ; en milieu forestier, la rivière reçoit également l'écoulement de quelques cours d'eau intermittents. La deuxième station est localisée en aval après avoir parcouru environ 1,3 km en milieu agricole (ouvert). Par la suite, le cours d'eau traverse une alternance de zone ouvertes et boisées qui se prête moins à des comparaisons de la température de l'eau.

Les enregistrements de température de l'eau à la station amont ont débuté le 8 juin 2006 pour se terminer le 8 novembre 2006. À la station aval, les enregistrements ont débuté seulement le 5 juillet 2006. C'est pourquoi les dates antérieures à cette dernière n'ont pas été retenues aux fins de l'analyse comparative des données. La température de l'air utilisée pour les comparaisons est celle mesurée à la station de la rivière Boyer, laquelle se trouve dans la même région géographique, à environ 26 km à vol d'oiseau.

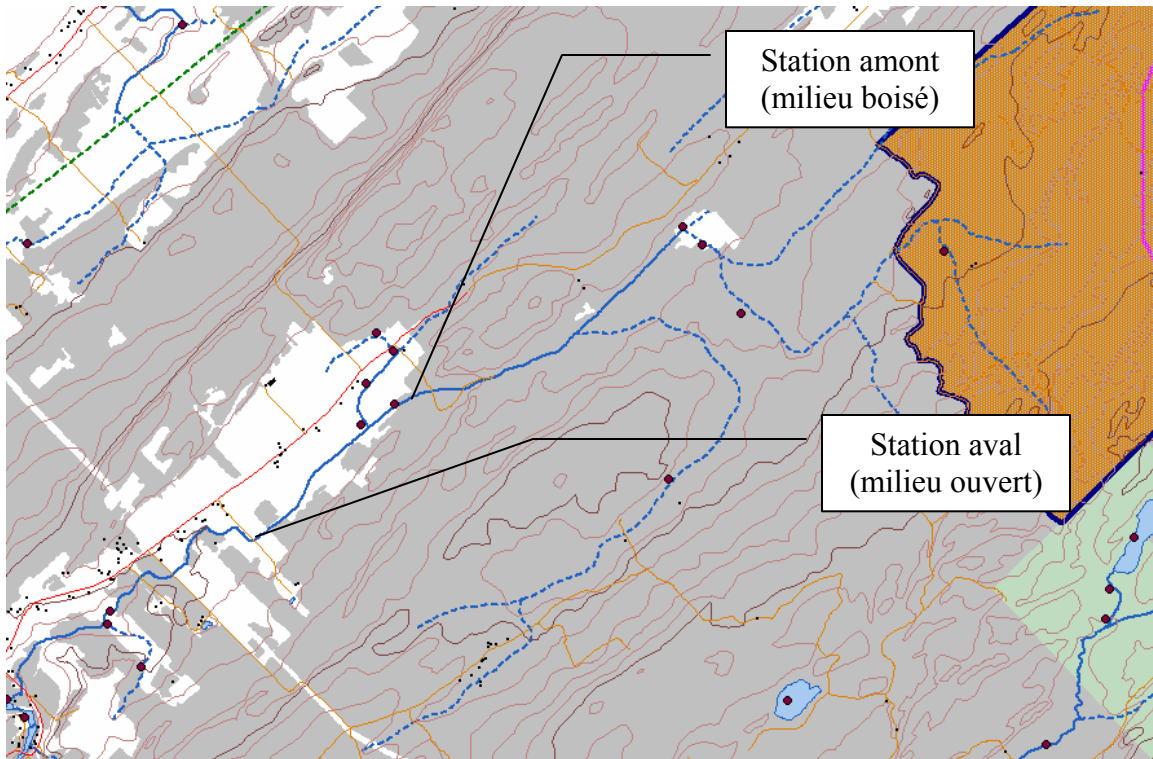


Figure 2. Localisation des thermographes installés sur la rivière petite Sainte-Marguerite en 2006

Débit des rivières Etchemin et du Sud

Les variations quotidiennes de débit causées par les précipitations sont susceptibles d'influencer la température de l'eau en modifiant l'apport du ruissellement, la vitesse d'écoulement, etc. Les périodes pluvieuses s'accompagnent aussi d'une diminution de l'irradiation par le soleil. En l'absence de stations de relevés de débit aux sites de mesure de la température de l'eau, les données des stations hydrométriques permanentes les plus rapprochées opérées par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) ont été utilisées pour quantifier les variations journalières de débit et utiliser ces données pour commenter les variations observées de la température de l'eau.

Les débits moyens quotidiens des rivières Etchemin à la station hydrométrique de référence 023303 et du Sud à la station hydrométrique de référence 023106 ont été fournis par le Centre d'expertise hydrique du Québec du MDDEP. La première de ces stations se situe à Saint-Henri, à proximité de la rivière Boyer (environ 6km) et reçoit les eaux d'un bassin versant de 1 160 km² ; la seconde station hydrométrique se situe à Arthurville, légèrement en aval de l'exutoire de la rivière Petite Sainte-Marguerite (environ 2,5 km), et reçoit les eaux d'un bassin versant de 821 km².

Analyses statistiques

Analyses de variances

Pour chacune des deux rivières considérées, dans le but de comparer les stations entre elles, un modèle linéaire mixte d'analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs de classification, soit la station (amont, aval et centre selon le cas) et le mois (juin ou juillet à novembre selon le cas) a été utilisé afin de déceler s'il existait des différences significatives au sein des températures maximales quotidiennes de l'eau. Le même modèle a été réutilisé pour la Petite rivière Sainte-Marguerite en omettant les données provenant des mois d'octobre et novembre.

En prémisses à l'application de chaque ANOVA, le test de Shapiro-Wilk a été utilisé afin de vérifier la normalité des résidus. Ce test a indiqué que la distribution des données ne suivait pas la loi normale dans la majorité des cas. Des transformations logarithmique et racinaire ont été utilisées sans succès afin de tenter de normaliser les résidus. Pour cette raison, il a été choisi d'effectuer une analyse de variance sur les rangs afin de comparer les données entre elles.

Lorsque l'ANOVA indiquait que l'un des facteurs était significatif, le test de comparaisons multiples de LSMeans (SAS Institute, 1999) a été employé afin de déterminer où se trouvaient les différences significatives. Le seuil de signification pour les tests de comparaison multiple correspond à :

$$\alpha = 0,05 / [n (n-1)]$$

où, α est le seuil de signification du test de comparaisons multiples et n représente le nombre de classes pour un facteur.

Régressions linéaires simples

La régression linéaire simple a été utilisée afin de mesurer la relation entre la température de l'air de la rivière Boyer et l'écart quotidien des températures maximales de l'eau des stations amont et centre, dans le cas de la rivière Boyer, et celui des stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite. Elle a aussi été utilisée afin de mesurer la relation entre le débit de la rivière Etchemin à la station hydrométrique de référence 023303 et l'écart quotidien des températures maximales de la rivière Boyer, ainsi qu'entre le débit de la rivière du Sud à la station hydrométrique de référence 023106 et l'écart quotidien des températures maximales de la Petite rivière Sainte-Marguerite.

La régression linéaire multiple a aussi été utilisée afin de mesurer le degré de variation au niveau des écarts quotidiens des températures maximales de l'eau de chacune des deux rivières qui peut être expliqué par la température de l'air mesurée à la rivière Boyer et le débit quotidien moyen de la station hydrométrique de référence la plus rapprochée.

Corrélations

Le test de corrélation de rang de Spearman a été employé afin de mesurer le degré de liaison qui unit les écarts quotidiens de températures maximales de l'eau de chaque rivière et la température de l'air ainsi que le débit quotidien moyen mesuré à la station hydrométrique de référence appropriée.

Traitements par classes de débit et de température de l'air

Les écarts quotidiens des températures maximales ont été répartis selon trois classes de température de l'air, soit les températures inférieures à 15 °C ($T < 15$ °C), celles comprises entre 15 à 20 °C et celles supérieures à 20 °C ($T \geq 20$ °C). Les écarts ont aussi été répartis selon trois classes de débit, soit les débits jugés faibles ($Q < 6$ m³/s), les moyens (6 m³/s $\leq Q < 18$ m³/s) et les forts ($Q \geq 18$ m³/s). Les limites entre les classes des deux variables ont été choisies de manière à générer une distribution des données la plus égale possible entre les neuf combinaisons issues de ces variables. L'objectif visé consistait à obtenir une taille échantillonnale minimale de 4 pour chaque combinaison même si une taille d'échantillon de 3 reste valide.

La répartition des données le long des axes des deux variables n'a pas permis d'obtenir une taille échantillonnale minimale de 4 pour chaque combinaison (annexe 3). Pour la combinaison « débit faible » et « température inférieure à 15 °C » pour la Petite rivière Sainte-Marguerite, il n'a pas été possible d'obtenir d'une taille d'échantillon supérieure à 3. Pour ce qui est de la combinaison « débit fort » et « température de l'air entre 15 et 20 °C » également pour la Petite rivière Sainte-Marguerite, aucune valeur d'écart de température ne correspondait à cette combinaison. L'absence de valeurs dans cette combinaison fait en sorte qu'il était impossible d'utiliser l'analyse de variance avec les deux facteurs débit et température.

Pour y remédier, des valeurs d'écarts quotidiens de températures maximales ont été générées pour les journées du 30 juin, 1^{er} et 2 juillet 2006, où les conditions de débit et de température de l'air correspondaient à la combinaison manquante. Les données ont été générées à partir de l'équation de régression multiple entre l'écart quotidien de températures maximales de l'eau, d'une part, et le débit quotidien moyen de la rivière du Sud ainsi que la température de l'air mesurée à la rivière Boyer, d'autre part.

Analyses de variance à deux facteurs de classification

Suite à cet exercice, pour chacune des rivières à l'étude, un modèle linéaire mixte d'analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs de classification a été utilisé afin de déceler s'il existait des différences significatives au sein de l'écart des températures maximales quotidiennes de l'eau. Les deux facteurs de classification utilisés étaient la classe de débit (faible, moyen, fort) et la classe de température de l'air de la rivière Boyer (inférieur à 15, entre 15 et 20, supérieur à 20). Tel qu'expliqué précédemment, pour les

valeurs de débits, la station hydrographique de la rivière Etchemin a servi de référence pour l'analyse de la rivière Boyer alors que la station de la rivière du Sud a été celle utilisée pour l'analyse pour la Petite rivière Sainte-Marguerite.

La procédure décrite dans la section «analyses de variances» pour vérifier la normalité des données et la transformation de celles-ci, le cas échéant, a également été utilisée. Le test de comparaison multiples de LSMeans a été utilisé conformément à la procédure décrite dans cette section.

RÉSULTATS

Analyses de variances

Le modèle mixte d'analyse de variance indique que la température maximale quotidienne de l'eau de la rivière Boyer diffère significativement entre les mois (tableau 1, figure 3 et annexe 2) toutefois, aucune différence significative n'est détectée entre les stations (amont, centre et aval) (tableau 1 et figure 3). La température de l'eau est significativement plus élevée en juin et en juillet qu'aux autres mois (figure 1 et annexe 2); elle est significativement plus élevée au mois d'août que lors des mois de septembre, d'octobre et de novembre (figure 3 et annexe 2); elle est significativement plus élevée en septembre qu'en octobre et novembre (figure 3 et annexe 2). Finalement, elle est significativement plus élevée en octobre qu'en novembre. Les valeurs moyennes de température maximales de l'eau sont indiquées à l'annexe 1.

Tableau 1. Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) montrant les effets de la station (amont, centre, et aval) et du mois (juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre) sur la température maximale quotidienne de l'eau de la rivière Boyer. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

Effet	Degrés de liberté		F	P
Station	2	420	1,08	0,3419
Mois	5	420	409,49	< 0,0001*
Station x Mois	10	420	0,18	0,9978

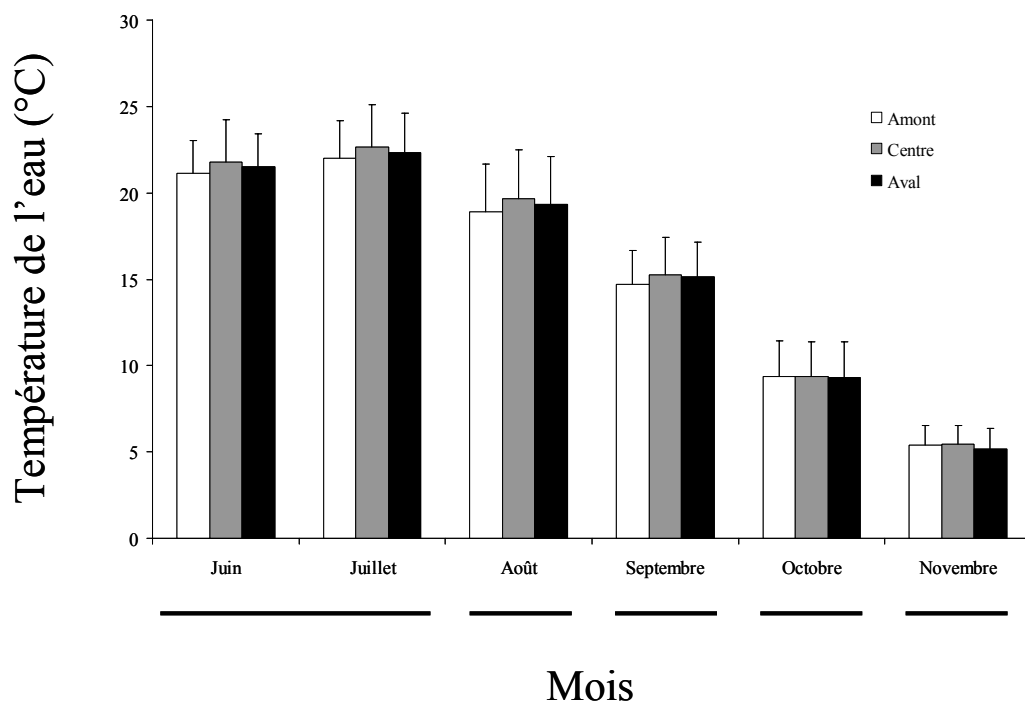


Figure 3. Comparaison de la température maximale quotidienne de la rivière Boyer en 2006 entre les stations et le mois. La moyenne et l'écart-type sont indiqués. Les mois qui ne diffèrent pas entre eux sont regroupés par un trait horizontal.

L'ANOVA indique une interaction significative entre les deux facteurs, pour la Petite rivière Sainte-Marguerite (figure 4 et annexe 2). Lorsqu'on décompose cette interaction, la température maximale quotidienne de l'eau n'est significativement plus élevée à la station aval que pour les mois d'août et de septembre (annexe 2). Les valeurs moyennes de température maximales de l'eau sont indiquées à l'annexe 1.

Tableau 2. Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) montrant les effets de la station (amont et aval) et du mois (juillet, août, septembre, octobre et novembre) sur la température maximale quotidienne de l'eau de la Petite rivière Sainte-Marguerite. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

Effet	Degrés de Liberté	F	P	
Station	1	244	12,32	0,0005*
Mois	4	244	202,11	< 0,0001*
Station x Mois	4	244	3,81	0,0050*

En omettant les mois d'octobre et de novembre, le modèle d'analyse de variance utilisé pour la Petite rivière Sainte-Marguerite indique que la température maximale quotidienne de l'eau de la Petite rivière Sainte-Marguerite diffère toujours significativement entre les mois (tableau 3). La température de l'eau est significativement plus élevée en juillet que

lors des mois d'août et de septembre (figure 3 et annexe 2). Elle est significativement plus élevée en août qu'en septembre (figure 3 et annexe 2). L'ANOVA indique aussi une différence significative entre les stations amont et aval au niveau de la température maximale quotidienne de l'eau, (tableau 3), celle-ci étant significativement plus élevée à la station aval qu'à la station amont (figure 3 et annexe 2). L'effet de l'interaction entre les deux facteurs n'est pas significatif (tableau 3).

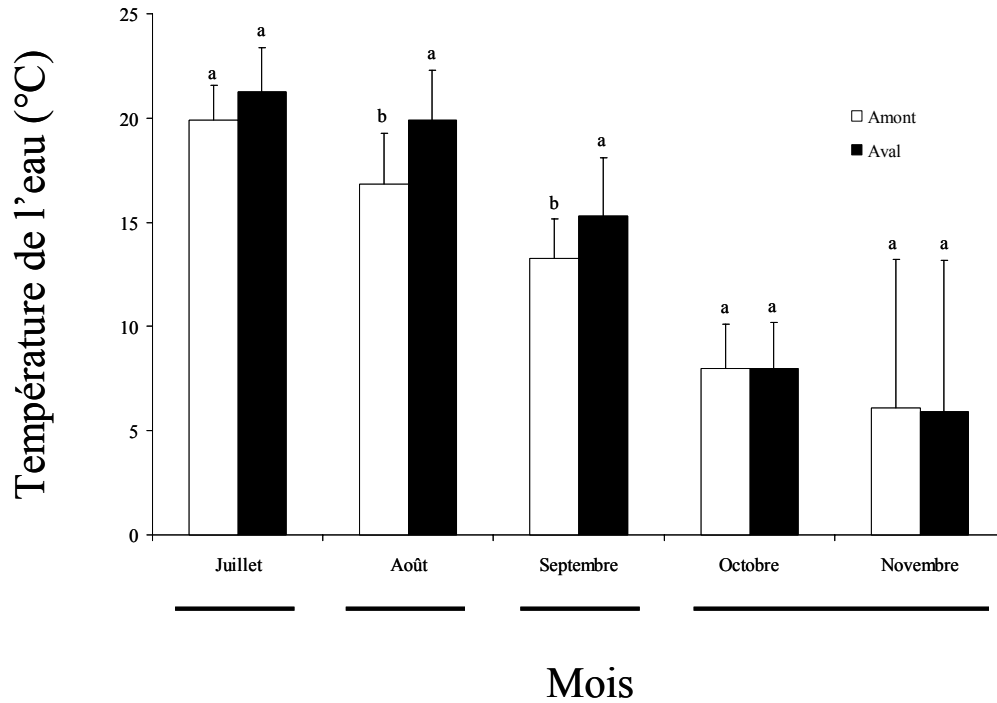


Figure 4. Comparaison de la température maximale quotidienne de la Petite rivière Sainte-Marguerite en 2006 entre les stations et le mois. La moyenne et l'écart-type sont indiqués. Les histogrammes dont les lettres diffèrent indiquent les différences significatives entre les stations. Les mois qui ne diffèrent pas entre eux sont regroupés par un trait horizontal.

Tableau 3. Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données brutes) montrant les effets de la station (amont, centre, et aval) et du mois (juillet, août, septembre) sur la température maximale quotidienne de l'eau de la Petite rivière Sainte-Marguerite. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

Effet	Degrés de liberté	F	P
Station	1 170	39,41	< 0,0001*
Mois	4 170	114,77	< 0,0001*
Station x Mois	4 170	21,10	0,1260

Régressions linéaires simples

La régression linéaire simple indique une relation significative entre l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et centre de la rivière Boyer et la température de l'air de celle-ci (tableau 4). L'écart de température de l'eau augmente de façon proportionnelle à la température de l'air (figure 5). Cette relation explique plus de 33 % de la variation de l'écart quotidien de température de l'eau (tableau 4). La régression linéaire simple indique aussi une relation significative entre l'écart de température de l'eau de la rivière Boyer et le débit quotidien moyen de la rivière Etchemin (tableau 4). L'écart de température de l'eau diminue lorsque que le débit quotidien moyen augmente (figure 5). Cette relation explique près de 26 % de la variation de l'écart quotidien de température de l'eau (tableau 4).

La régression linéaire simple indique également une relation significative entre l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite et la température de l'air de la rivière Boyer (tableau 4). L'écart de température de l'eau augmente lui aussi de façon proportionnelle à la température de l'air (figure 5). Cette relation explique 28 % de la variation de l'écart quotidien de température de l'eau (tableau 4). Tout comme pour la rivière Boyer, la régression linéaire simple indique aussi une relation significative entre l'écart de température de l'eau de la Petite rivière Sainte-Marguerite et le débit quotidien moyen de la rivière du Sud (tableau 4). L'écart de température de l'eau diminue lorsque que le débit quotidien moyen augmente (figure 5). Cette relation explique plus de 40 % de la variation de l'écart quotidien de température de l'eau (tableau 4).

Tableau 4. Régressions linéaires simples entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations boisées et ouvertes et les variables environnementales. Les régressions significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

	n	ordonnée à l'origine	pente	P	R ²
Boyer					
Température de l'air	146	-0,3134	0,0438	< 0,0001*	0,3337
Débit quotidien moyen (log naturel)	146	1,1426	-0,2664	< 0,0001*	0,2577
Petite Sainte-Marguerite					
Température de l'air	127	-0,6055	0,1214	< 0,0001*	0,2799
Débit quotidien moyen (log naturel)	109	3,3736	-0,9602	< 0,0001*	0,4034

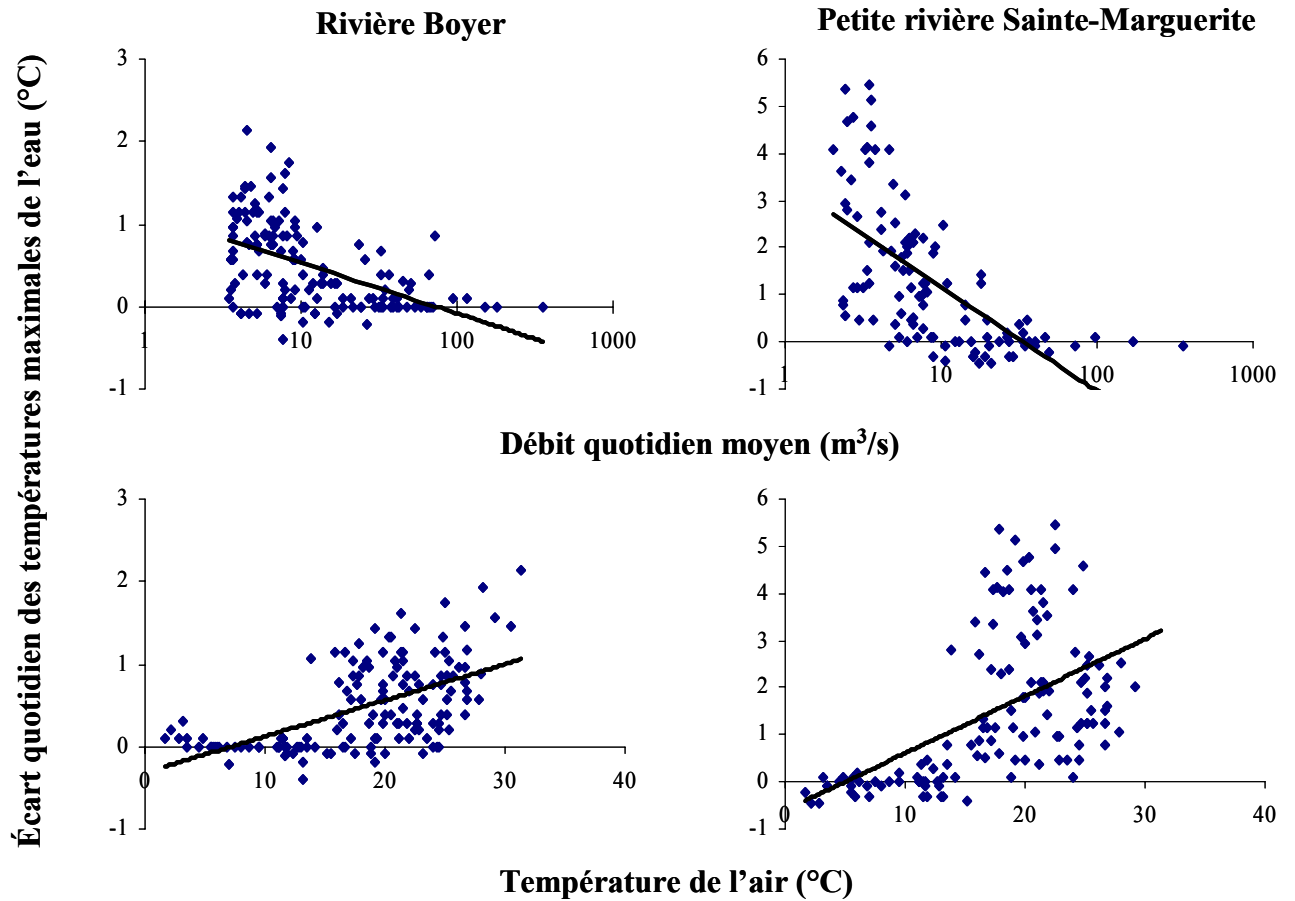


Figure 5. Régressions linéaires simples entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations boisée et ouvertes et les variables environnementales.

La régression multiple indique une relation significative (Tableau 5) entre l'écart quotidien des températures maximales de l'eau des stations amont et centre de la rivière Boyer et la température de l'air à la rivière Boyer ainsi que le débit quotidien moyen de la rivière Etchemin. Cette relation explique plus de 39 % de la variation au sein de l'écart quotidien des températures maximales des stations amont et centre de la rivière Boyer ($R^2 = 0,393$).

Tableau 5. Régression linéaire multiple entre l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et centre de la rivière Boyer et les variables environnementales. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	F	P
Régression	2	15,509	7,755	46,273	< 0,0001*
Résidu	143	23,965	0,168		
Total	145	39,474			

	Coefficient	Erreur standardisée	Coefficient standardisé	t	P
Ordonnée à l'origine	0,260	0,181	0,26	1,436	0,1531
Température de l'air	0,033	0,006	0,430	5,642	< 0,0001*
Débit quotidien moyen (log naturel)	-0,149	0,040	-0,285	-3,733	0,0003*

La régression multiple indique également une relation significative (Tableau 6) entre l'écart quotidien des températures maximales des stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite et la température de l'air à la rivière Boyer ainsi que le débit quotidien moyen de la rivière du Sud. Cette relation explique près de 46 % de la variation au sein de l'écart quotidien des températures maximales des stations amont et centre de la rivière Boyer ($R^2 = 0,459$).

Tableau 6. Régression linéaire multiple entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite et les variables environnementales. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	F	P
Régression	2	114,889	57,445	48,428	< 0,0001*
Résidu	107	135,304	1,265		
Total	109	250,193			

	Coefficient	Erreur standardisée	Coefficient standardisé	t	P
Ordonnée à l'origine	1,864	0,522	1,864	3,574	0,0005*
Température de l'air	0,059	0,018	0,282	3,324	0,0012*
Débit quotidien moyen (log naturel)	-0,727	0,128	-0,481	-5,670	< 0,0001*

Corrélations

Le test de corrélation de rang de Spearman indique une corrélation positive entre l'écart de température de l'eau de la rivière Boyer et la température de l'air de celle-ci; le test montre une corrélation négative entre l'écart de température de l'eau de la rivière Boyer et le débit moyen quotidien de la rivière Etchemin (tableau 7). Ce test donne les mêmes résultats pour la Petite rivière Sainte-Marguerite en ce qui concerne la corrélation entre l'écart de température de l'eau de cette rivière, d'une part, et la température de l'air à la rivière Boyer et le débit quotidien moyen de la rivière du Sud, d'autre part (tableau 7).

Tableau 7. Corrélations entre l'écart quotidien de température maximale de l'eau entre les stations boisées et ouvertes et les variables environnementales. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

	n	Rho	Z	P
Boyer				
Température de l'air	146	0,587	7,068	< 0,0001*
Débit quotidien moyen (log naturel)	146	-0,509	-6,129	< 0,0001*
Petite Sainte-Marguerite				
Température de l'air	127	0,624	7,006	< 0,0001*
Débit quotidien moyen (log naturel)	110	-0,727	-7,590	< 0,0001*

Traitements par classes de débit et de température de l'air

L'analyse de variance indique un effet significatif de la température de l'air à la rivière Boyer sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et centre de la rivière Boyer (tableau 8). L'écart de température de l'eau est significativement plus élevé lorsque la température de l'air est supérieure à 20 °C que pour les deux autres classes de température (figure 6 et annexe 4). Celui-ci est aussi significativement plus élevée lorsque la température de l'eau se situe entre 15 et 20 °C que lorsque celle-ci est inférieure à 15 °C (figure 6 et annexe 4). L'ANOVA indique également un effet significatif du débit quotidien moyen de la rivière Etchemin sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et centre de la rivière Boyer (tableau 8). L'écart de température de l'eau est significativement plus élevé lorsque le débit est faible que pour les deux autres classes de débit (figure 6 et annexe 4). Aucune différence significative n'est retrouvée entre les classes de débit fort et moyen au niveau de l'écart des températures de l'eau (figure 6 et annexe 4). Aucune interaction significative n'est détectée entre les deux facteurs (tableau 8).

Tableau 8. Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) montrant les effets de la température de l'air (inférieur à 15, entre 15 et 20, supérieur à 20) et du débit quotidien moyen (faible moyen fort) sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et centre de la rivière Boyer. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

Effet	Degrés de liberté		F	P
Température de l'air	2	137	19,76	< 0,0001*
Débit quotidien moyen	2	137	5,63	0,0045*
Température x Débit	4	137	1,03	0,3921

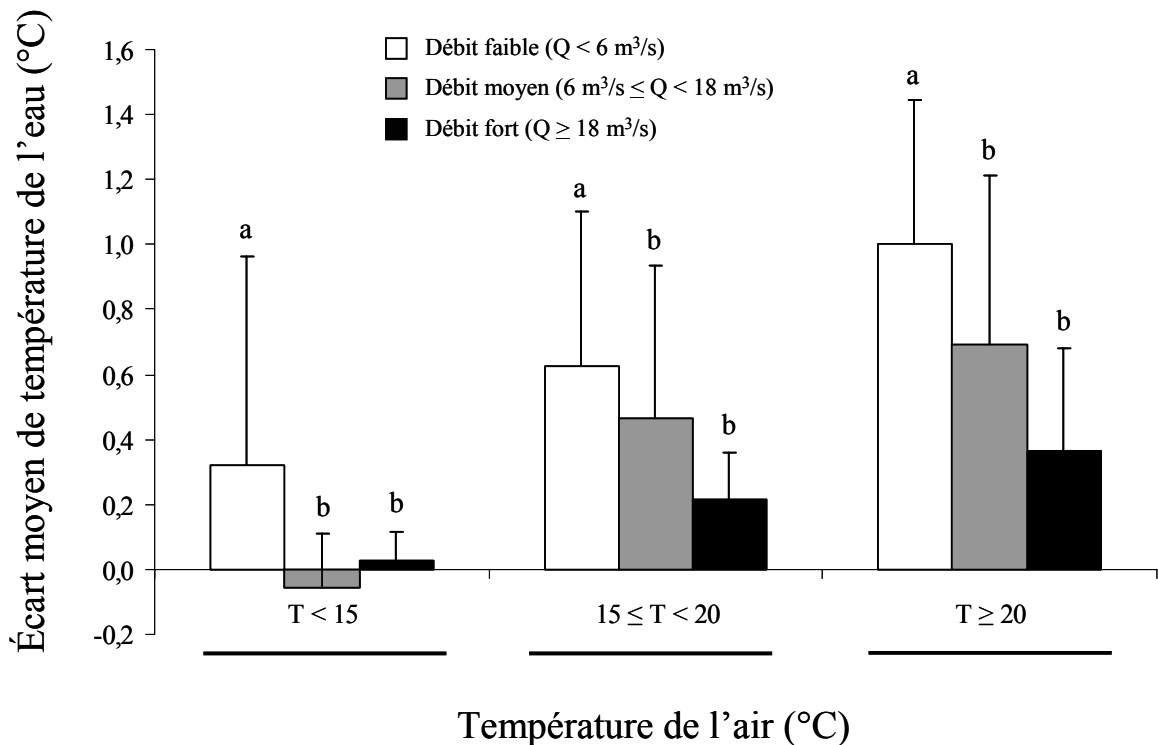


Figure 6. Comparaison de l'écart quotidien des température maximales de l'eau des stations amont et centre de la rivière Boyer en 2006 selon les classes de température et de débit. La moyenne et l'écart-type sont indiqués. Les histogrammes dont les lettres différent indiquent les différences significatives entre les classes de débit. Les classes de températures de l'air qui ne diffèrent pas entre elles sont regroupées par un trait horizontal.

L'ANOVA indique également un effet significatif de la température de l'air à la rivière Boyer sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite (tableau 9). Celui-ci est significativement plus élevé pour les classes de température comprises entre 15 et 20 °C et supérieure à 20 °C que pour la classe de température inférieure à 15 °C (figure 7 et annexe 4). Aucune différence significative n'est retrouvée au niveau de cette variable entre les classes de température entre 15 et 20 °C et supérieure à 20 °C (figure 7 et annexe 4). L'ANOVA indique également un effet significatif du débit quotidien moyen de la rivière du Sud sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite (tableau 9). L'écart de température de l'eau est significativement plus élevé lorsque le débit est faible que pour les deux autres classes de débit (figure 7 et annexe 4). Aucune différence significative n'est retrouvée entre les classes de débit fort et moyen au niveau de l'écart des températures de l'eau (figure 7 et annexe 4). Une interaction significative est détectée entre les deux facteurs (tableau 9).

Tableau 9. Résumé de l'ANOVA (modèle linéaire mixte appliqué sur le logarithme des données) montrant les effets de la température de l'air (inférieure à 15, entre 15 et 20, supérieure à 20) et du débit quotidien moyen (faible moyen fort) sur l'écart quotidien des températures maximales de l'eau entre les stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite. Les différences significatives à 0,05 sont indiquées par un *.

	Degrés de liberté		F	P
Température de l'air	2	104	40,67	< 0,0001*
Débit quotidien moyen	2	104	32,75	< 0,0001*
Température x Débit	4	104	2,52	0,0457*

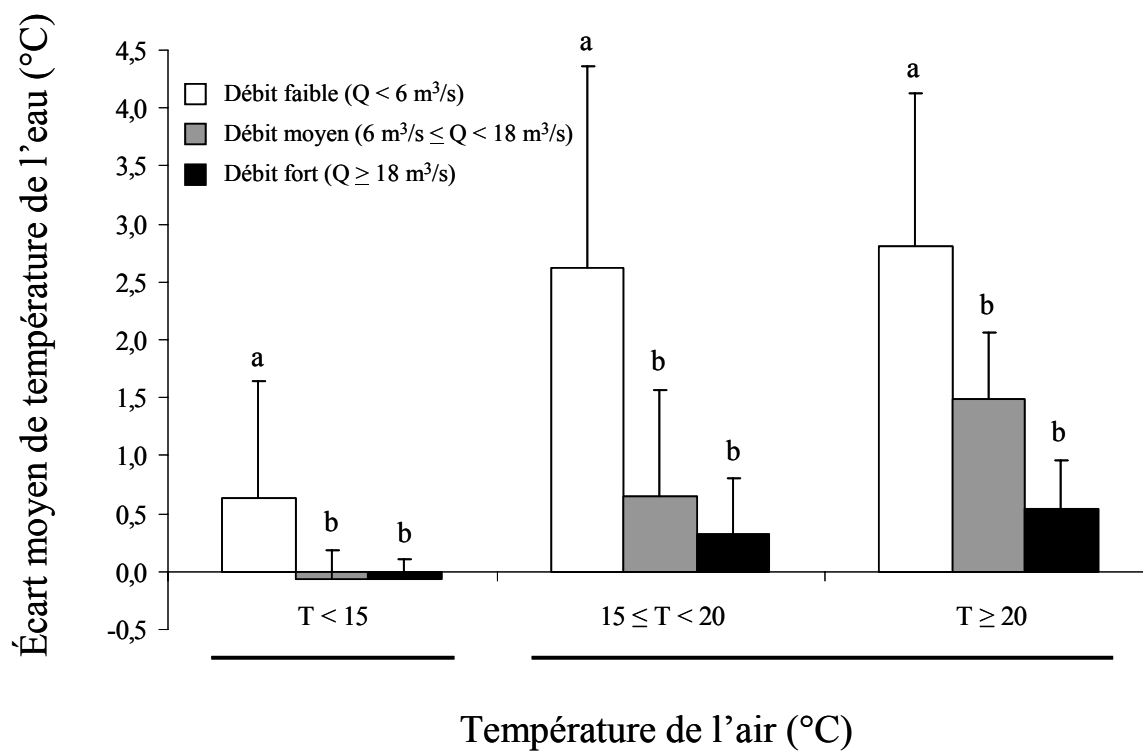


Figure 7. Comparaison de l'écart quotidien des température maximales de l'eau des stations amont et aval de la Petite rivière Sainte-Marguerite en 2006 selon les classes de température et de débit. La moyenne et l'écart-type sont indiqués. Les histogrammes dont les lettres différent indiquent les différences significatives entre les classes de débit. Les classes de températures de l'air qui ne diffèrent pas entre elles sont regroupées par un trait horizontal.

DISCUSSION

L'analyse de variances à deux facteurs de classification a d'abord considéré l'ensemble des données de température de l'eau récoltées, incluant les mois d'octobre et de novembre. La variabilité plus marquée des températures entre les mois masque les différences entre les stations (en milieux boisé et ouvert). Toutefois, l'ANOVA a permis de montrer que pour la Petite rivière Sainte-Marguerite, la température maximale quotidienne de l'eau est plus élevée en milieu ouvert que boisé, et cela par 2°C.

Par la suite, la régression linéaire simple a permis de mettre en lumière que les écarts de température entre les stations amont (boisé) et aval (ouvert) augmentent quand la température de l'air s'accroît également. La relation explique respectivement 28 et 33% des écarts de température de l'eau pour les rivières Petite Sainte-Marguerite et Boyer. On en déduit aisément que pendant les périodes les plus chaudes, l'influence de l'ombrage est plus déterminante.

Par contre, quand le débit augmente, les écarts de température entre les stations s'amenuisent. Cette relation inverse explique 40% et 26% des variations, pour les rivières petite Sainte-Marguerite et Boyer respectivement. L'augmentation des débits fait suite à des précipitations; simultanément, les vitesses augmentent et l'eau franchit plus rapidement la distance entre les stations, laissant moins de temps pour un changement de la température de l'eau. De plus, l'irradiation par le soleil diminue lorsque la météo est pluvieuse.

Lorsque l'influence des paramètres de température de l'air et de débit est analysée avec les corrélations de rang de Spearman, les mêmes conclusions se confirment à savoir que plus la température de l'air augmente, plus l'écart de température de l'eau entre les stations ombragée et ouverte s'accroît; également, plus le débit augmente, moins l'écart de température entre les stations est marqué.

Finalement, le regroupement par classe de températures de l'air et de débits montre pour la rivière Boyer que l'augmentation de la température de l'air accroît les écarts de température de l'eau entre les stations, surtout pour les températures supérieures à 20 °C et dans une moindre mesure, pour celles entre 15 et 20 °C; le regroupement par classe montre aussi qu'à faible débit, les écarts sont plus marqués que pour les débits moyens ou forts.

La présence de végétation riveraine est un des éléments du milieu naturel qui définit la qualité de l'habitat pour le poisson (Rashleigh *et coll.* 2005). Jones *et coll.* (2006) estiment que si une bande riveraine protégée de 30 m de large permettrait à 63% des cours d'eau de Géorgie (É.-U.) de maintenir une température adéquate pour les salmonidés, la réduction à 15 m de large de cette bande ne permettra qu'à 9% des cours d'eau d'en faire autant. Les auteurs ont noté une différence de température moyenne hebdomadaire de 2 °C entre les deux largeurs de bande boisée et une augmentation de 25% des matières fines dans le milieu aquatique. Wilkerson *et coll.* (2006) ont noté que le

long des cours d'eau du Maine où l'exploitation forestière n'a pas laissé de bande riveraine protégée, la température moyenne hebdomadaire de l'eau était de 1,4 à 4,4 °C plus chaude qu'aux endroits où une bande de 23 m avait été laissée en place. Blann *et coll.* (2002) ont estimé, à partir d'une modélisation de données, la différence de température moyenne hebdomadaire à 2,5 °C entre des cours d'eau exposés à l'ensoleillement et d'autres ombragés au Minnesota.

CONCLUSION

La végétation haute en bordure des cours d'eau traversant le territoire agricole est une composante qui permet de réduire la température de l'eau et de conserver des conditions plus favorables au maintien des processus biologiques et des espèces plus sensibles. La hauteur de la végétation riveraine à maintenir devrait évidemment être en proportion de la largeur du cours d'eau. Cette végétation offre aussi de nombreux autres avantages (stabilisation des berges, interception des matières fines et des nutriments, effet de brise-vent, embellissement du paysage, etc). En plus d'offrir de l'ombrage au cours d'eau, la végétation riveraine favorise en particulier le contrôle de la turbidité de l'eau, un paramètre qui contribue au réchauffement de l'eau.

Pour des longueurs réduites de 800 à 1 300 mètres en milieu ouvert, la température de l'eau peut augmenter de 1 à 2 °C, ce qui est suffisant pour rendre un milieu moins propice à sa colonisation par l'omble de fontaine, une espèce sportive recherchée et particulièrement sensible aux températures supérieures à 22 °C. Souvent, le parcours d'une rivière en milieu agricole ouvert sans végétation riveraine est beaucoup plus long et les écarts de température sont alors probablement encore plus drastiques. Le rétablissement d'un couvert végétal arbustif ou arborescent de qualité (hauteur, largeur, densité) en bordure des cours d'eau agricoles constituerait à n'en pas douter une mesure efficace pour protéger les cours d'eau contre une élévation néfaste de la température de l'eau et satisfaire les besoins de la faune aquatique.

RÉFÉRENCES

- AHMADI-NEDUSHAN, B. A. ST-HILAIRE, T. OUARDA, L. BILODEAU, É. ROBICHAUD, N. THIEMONGE AND B. BOBEE. 2007. Predicting river water temperatures using stochastic models: case study of the Moisie River (Québec, Canada). *Hydrological Processes*, 21(1): 21-34.
- BAIRD, O. E. AND C. C. KRUEGER. 2003. Behavioral thermoregulation of brook and rainbow trout: Comparison of summer habitat use in an Adirondack River, New York, *Trans. Amer. Fisheries Soc.*, 132(6) : 1194-1206.
- BEAULIEU, R. 1999. Historique des travaux de drainage au Québec et état du réseau hydrographique, colloque régional sur les cours d'eau.
- BLANN, K., J. F. NERBONNE AND B. VONDRACEK. 2002. Relationship of riparian buffer type to water temperature in the driftless area ecoregion of Minnesota. *N. Amer. J. Fisheries Management*, 22(2) : 441-451.
- CREQUE, S. M., E. S. RUTHERFORD AND T. G. ZORN. 2005. Use of GIS-derived landscape-scale habitat features to explain spatial patterns of fish density in Michigan rivers. *North Am. J. Fisheries Management* 25(4) : 1411-1425.
- EDWARDS, P. AND R. CUNJAK. 2006. Influence of water temperature and streambed stability on the abundance and distribution of slimy sculpin (*Cottus cognatus*). *Environmental Biology of Fishes* eFirst 8 dec 2006.
- FLEBBE, P. A., L. D. ROGHAIER AND J. L. BRUGGINK. 2006. Spatial modelling to project southern Appalachian trout distribution in a warmer climate. *Trans. Amer. Fisheries Soc.*, 135(5) : 1371-1382.
- HUNT, R. J., M. STRAND AND J. F. WALKER. 2006. Measuring groundwater-surface water interaction and its effect on wetland stream benthic productivity, Trout Lake watershed, northern Wisconsin, USA. *J. Hydrology* 320(3-4) : 370-384.
- ISAAK, D. J. AND W. A. HUBERT. 2004. Nonlinear response of trout abundance to summer stream temperature across a thermally diverse montane landscape. *Trans. Amer. Fisheries Soc.*, 133(5) : 1254-1259.
- JOHNSON, S. 2004. Factors influencing stream temperatures in small streams : substrate effects and a shading experiment. *J. Can Sci. Halieut. Aquat.* 61 : 913-923.

- JONES, K. L., G. C. POOLE, J. L. MEYER, W. BRUMBACK AND E. A. KRAMER. 2006. Quantifying expected ecological response to natural resource legislation: a case study of riparian buffers, aquatic habitat, and trout populations. *Ecology and Society*, 11(2) : 15-15.
- LESSARD, J. L. AND D. B. HAYES. 2003. Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. *River Research and Applications*, 19(7) : 721-732.
- LUND, S. G., M. E. A. LUND, AND B. L. TUFTS. 2003. Red blood cell Hsp 70 mRNA and protein as bio-indicators of temperature stress in the brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *J. Can. Sci Halieutiques et Aquatiques*, 60 : 460-470.
- MAGOULICK, D. D. AND M. A. WILZBACH. 1998. Effect of temperature and macrohabitat on interspecific aggression, foraging success, and growth of brook trout and rainbow trout pairs in laboratory streams. *Trans. Amer. Fisheries Soc.*, 127(5) : 708-717.
- PICARD, C. R., M. A. BOZEK AND W. T. MOMOT. 2003. Effectiveness of using summer thermal indices to classify and protect brook trout streams in northern Ontario. *N. Amer. J. Fisheries Management*, 23(1) : 206-215.
- POWER, G., R.S. BROWN AND J. G. IMHOF. 1999. Groundwater and fish : insights from North America. *Hydrological processes* 13(3) : 401-422.
- QUIGLEY, J. T. AND S. G. HINCH. 2006. Effects of rapid experimental temperature increases on acute physiological stress and behaviour of stream dwelling juvenile Chinook salmon. *J. Thermal Biology*, 31(5) : 429-441.
- RAHEL, F. J. AND N. P. RIBELINK. 1999. Spatial patterns in relation among brown trout (*Salmo trutta*) distribution, summer air temperature, and stream size in Rocky Mountain streams. *Can J. Fisheries and Aquatic Sci.*, 56(1) : 43-51.
- RASHLEIGH, B., R. PALMAR, J.M. JOHNSTON AND M. C. BARBER. 2005. Predictive habitat models for the occurrence of stream fishes in the mid Atlantic highlands. *North Am. J. Fisheries Management* 25(4) : 1353-1366.
- SAS INSTITUTE. 1999. SAS/STAT user's guide, version 8. SAS Institute, Cary, NC.
- STONEMAN, C. L. AND M. L. JONES. 2000. The influence of habitat features on the biomass and distribution of three species of southern Ontario stream salmonines. *Trans. Amer. Fisheries Soc.*, 129(3) : 639-657.
- STRAHLER, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* 38 : 913-920.

- TANIGUCHI, Y. AND S. NAKANO. 2000. Condition specific competition : implications for the altitudinal distribution of stream fishes. *Ecology* 81(7) : 2027-2039.
- TANIGUCHI, Y., F. J. RAHEL, D. C. NOVINGER AND K. G. GERON. 1998. Temperature mediation of competitive interactions among three fish species that replace each other along longitudinal stream gradients. *Can J. Fisheries and Aquatic Sci.*, 55(8) : 1894-1901.
- WILKERSON, E., J. M. HAGAN, D. SIEGEL AND A. A. WHITMAN. 2006. The effectiveness of different buffer widths for protecting headwater stream temperature in Maine. *Forest Sci.*, 52(3) : 221-231.

ANNEXES

Annexe 1. Moyennes, écart-type, erreur-type et taille des échantillons des températures maximales de l'eau de chaque station par mois les rivières Boyer et Petite Sainte-Marguerite

Rivière Boyer

Station	Mois	Température maximale quotidienne (°C)			
		Moyenne	Écart-type	Erreur-type	n
Amont	Juin	21,128	1,917	0,495	15
Amont	Juillet	21,982	2,166	0,389	31
Amont	Août	18,906	2,744	0,493	31
Amont	Septembre	14,709	1,967	0,359	30
Amont	Octobre	9,369	2,039	0,366	31
Amont	Novembre	5,378	1,171	0,414	8
Centre	Juin	21,776	2,479	0,640	15
Centre	Juillet	22,646	2,462	0,442	31
Centre	Août	19,679	2,825	0,507	31
Centre	Septembre	15,240	2,202	0,402	30
Centre	Octobre	9,357	2,015	0,362	31
Centre	Novembre	5,444	1,073	0,379	8
Aval	Juin	21,504	1,899	0,490	15
Aval	Juillet	22,326	2,298	0,413	31
Aval	Août	19,334	2,764	0,496	31
Aval	Septembre	15,136	2,022	0,369	30
Aval	Octobre	9,298	2,076	0,373	31
Aval	Novembre	5,185	1,190	0,421	8

Petite rivière Sainte-Marguerite

Station	Mois	Température maximale quotidienne (°C)			
		Moyenne	Écart-type	Erreur-type	n
Amont	Juillet	19,890	1,698	0,327	27
Amont	Août	16,854	2,428	0,436	31
Amont	Septembre	13,283	1,882	0,344	30
Amont	Octobre	8,000	2,100	0,377	31
Amont	Novembre	6,098	7,145	2,526	8
Aval	Juillet	21,248	2,117	0,407	27
Aval	Août	19,908	2,371	0,426	31
Aval	Septembre	15,294	2,801	0,511	30
Aval	Octobre	7,986	2,193	0,394	31
Aval	Novembre	5,924	7,266	2,569	8

Annexe 2. Test de comparaison multiple de LSMeans provenant de l'analyse de variance bi-factorielle (Mois et Station) pour chaque facteur pour les rivières Boyer (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) et Petite Sainte-Marguerite (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang pour juillet à novembre et appliqué sur les données brutes de juillet à septembre). Le seuil de significativité varie d'un test à l'autre.

Rivière Boyer

Mois

Comparaison		t	P
Juin	Juillet	-2,56	0,0109
Juin	Août	5,63	< 0,0001*
Juin	Septembre	16,37	< 0,0001*
Juin	Octobre	26,83	< 0,0001*
Juin	Novembre	23,28	< 0,0001*
Juillet	Août	10,13	< 0,0001*
Juillet	Septembre	23,35	< 0,0001*
Juillet	Octobre	36,39	< 0,0001*
Juillet	Novembre	27,73	< 0,0001*
Août	Septembre	13,31	< 0,0001*
Août	Octobre	26,25	< 0,0001*
Août	Novembre	21,23	< 0,0001*
Septembre	Octobre	12,73	< 0,0001*
Septembre	Novembre	12,59	< 0,0001*
Octobre	Novembre	4,42	< 0,0001*

* significatif à 0,033

Petite rivière Sainte-Marguerite

Mois (juillet à novembre)

Comparaison		t	P
Juillet	Août	5,10	< 0,0001*
Juillet	Septembre	13,60	< 0,0001*
Juillet	Octobre	24,42	< 0,0001*
Juillet	Novembre	16,60	< 0,0001*
Août	Septembre	8,84	< 0,0001*
Août	Octobre	20,02	< 0,0001*
Août	Novembre	13,47	< 0,0001*
Septembre	Octobre	11,02	< 0,0001*
Septembre	Novembre	7,73	< 0,0001*
Octobre	Novembre	0,64	0,5212

* significatif à 0,0050

Station (juillet à novembre)

Comparaison		t	P
Amont	Aval	-3,51	0,0005*

* significatif à 0,0500

Petite rivière Sainte-Marguerite

Mois x Station (juillet à septembre)

Comparaison entre amont et aval par mois

	t	P
Juillet	3,55	0,0607
Août	26,14	< 0,0001*
Septembre	8,39	0,0041*
Octobre	0,00	0,9634
Novembre	0,00	0,9800

* significatif à 0,0100

Petite rivière Sainte-Marguerite

Mois (juillet à septembre)

Comparaison		t	P
Juillet	Août	5,20	< 0,0001*
Juillet	Septembre	14,82	< 0,0001*
Août	Septembre	10,00	< 0,0001*

* significatif à 0,0167

Station (juillet à septembre)

Comparaison		t	P
Amont	Aval	-6,28	< 0,0001*

* significatif à 0,0500

Annexe 3. Moyennes, écart-type, erreur-type et taille des échantillons des écarts quotidiens de températures maximales de l'eau pour chaque combinaison de température maximale de l'air et de débit de la rivière témoin pour les rivières Boyer et Petite Sainte-Marguerite.

Température maximale de l'air (°C)	Débit de la rivière Etchemin (m ³ /s)	Écart quotidien de température maximale de l'eau entre la station amont et centre de la rivière Boyer (°C)			
		Moyenne	Écart-type	Erreur-type	n
T < 15	Q < 6	0,322	0,643	0,371	3
T < 15	6 < Q < 18	-0,054	0,162	0,054	9
T < 15	Q > 18	0,028	0,087	0,016	29
15 < T < 20	Q < 6	0,626	0,476	0,112	18
15 < T < 20	6 < Q < 18	0,464	0,47	0,121	15
15 < T < 20	Q > 18	0,214	0,143	0,071	4
T > 20	Q < 6	1,002	0,443	0,097	21
T > 20	6 < Q < 18	0,692	0,523	0,087	36
T > 20	Q > 18	0,366	0,316	0,095	11

Température maximale de l'air (°C)	Débit de la rivière du Sud (m ³ /s)	Écart quotidien de température maximale de l'eau entre la station amont et centre de la Petite rivière Sainte-Marguerite (°C)			
		Moyenne	Écart-type	Erreur-type	n
T < 15	Q < 6	0,638	1,008	0,381	7
T < 15	6 < Q < 18	-0,060	0,246	0,068	13
T < 15	Q > 18	-0,064	0,170	0,037	21
15 < T < 20	Q < 6	2,623	1,731	0,433	16
15 < T < 20	6 < Q < 18	0,652	0,920	0,375	6
15 < T < 20	Q > 18	0,324	0,486	0,281	3
T > 20	Q < 6	2,806	1,316	0,281	22
T > 20	6 < Q < 18	1,484	0,577	0,129	20
T > 20	Q > 18	0,534	0,425	0,190	5

Annexe 4. Test de comparaison multiple de LSMeans provenant de l'analyse de variance bi-factorielle (débit et température) pour chaque facteur pour les rivières Boyer (modèle linéaire mixte appliqué sur les données ordonnées en rang) et Petite Sainte-Marguerite (modèle linéaire mixte appliqué sur le logarithme des données). Les différences significatives à 0,0167 sont indiquées par un *.

Rivière Boyer

Classes de température de l'air

Comparaison		t	P
T < 15	15 ≤ T < 20	-3,43	0,0008*
T < 15	T ≥ 20	-6,34	< 0,0001*
15 ≤ T < 20	T ≥ 20	-2,52	0,0130*

Classes de débit

Comparaison		t	P
Faible	Moyen	2,67	0,0084*
Faible	Fort	3,23	0,0015*
Moyen	Fort	1,01	0,3151

Petite rivière Sainte-Marguerite

Classes de température de l'air

Comparaison		t	P
T < 15	15 ≤ T < 20	-4,91	< 0,0001*
T < 15	T ≥ 20	-8,88	< 0,0001*
15 ≤ T < 20	T ≥ 20	-2,36	0,0200

Classes de débit

Comparaison		t	P
Faible	Moyen	6,35	< 0,0001*
Faible	Fort	7,02	< 0,0001*
Moyen	Fort	1,84	0,0687