

IDENTIFICATION DE REFUGES THERMIQUES

AU BAS-SAINT-LAURENT



Rapport final
N/Réf : 6-6203-1364

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Camden Peter, T.A.C.H, Zone d'exploitation contrôlée (ZEC) ds Bas-Saint-Laurent

Franceschini Tony, ing. f., PhD, Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent

Gendron Maxime, biol. M. Sc. et T.É.A., Réserve faunique Duchénier

Laurion Isabelle, prof. PhD, Laboratoire de bio-optique et géochimie aquatique, centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS)

Perillous Océane, biol. M. Sc., Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent

Perreault Manon, biol., Direction de la gestion des forêts (DGFo) du Bas-Saint-Laurent, ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Roussel-Garneau Élise, biol., Direction de la gestion de la faune (DGFa) du Bas-Saint-Laurent, ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, de la Faune et des Parcs

Tremblay Charles, biol., Réserve faunique Duchénier

RÉFÉRENCES À CITER

Franceschini T., Camden P., Gendron M., Laurion I., Perillous O., Perreault M., Roussel-Garneau É., Tremblay C., Tweddell S., Bérubé-Deschênes A. et Terrail R. Identification de refuges thermiques au Bas-Saint-Laurent. Rapport présenté à la Fondation de la Faune du Québec et aux tables de gestion intégrée des ressources et du territoire du Bas-Saint-Laurent. Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent, Rimouski, Québec. 56 p.

REMERCIEMENTS

Le travail a bénéficié du financement (1) de la Fondation de la faune du Québec à travers le programme d'Amélioration de la qualité des habitats aquatiques et (2) du programme sur l'aménagement durable des forêts du ministère des Ressources naturelles et des Forêts. Ce travail n'aurait pu être réalisé sans le soutien technique, humain et matériel de la réserve faunique Duchénier – Terfa, de la ZEC Bas-Saint-Laurent et de la direction de la gestion de la faune du ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, de la Faune et des Parcs. De plus, le travail a bénéficié de l'expertise bienvenue de l'Institut national de la recherche scientifique, de la direction de la gestion des forêts du ministère des Ressources naturelles des Forêts et de l'Organisme de Bassins Versants du Nord-Est du Bas-Saint-Laurent.

PARTENAIRES



Sauf mention contraire, les figures et photographies sont la propriété intellectuelle du Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent.

Le document est disponible au lien suivant :

https://tgirt.crdbsl.org/documentation/original/rapport_final_6-6203-1364.pdf

Dépôt légal, Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025.

ISBN : 978-2-9818071-6-8

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	8
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	9
2.1. DESCRIPTION DES LACS ÉTUDIÉS	9
2.2. IDENTIFICATION CARTOGRAPHIQUE DE REFUGES THERMIQUES POTENTIELS	10
2.3. MESURES DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU	10
2.3.2. INSTALLATION DES THERMOGRAPHES	11
2.3.3. ANALYSE DES DONNÉES.....	12
2.4. CARACTÉRISATION DU MILIEU FORESTIER.....	12
3. RÉSULTATS	14
3.1. DONNÉES DE TEMPÉRATURE AUX REFUGES THERMIQUES POTENTIELS	14
3.1.1. LAC LONG NUMÉRO UN	14
3.1.2. LAC LUNETTES	20
3.1.3. COMPARAISON AVEC LES DONNÉES CLIMATIQUES	24
3.2. RELATIONS ENTRE LES DONNÉES DE TEMPÉRATURE ET LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT FORESTIER DES REFUGES THERMIQUES POTENTIELS	25
3.3. LIENS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES DES COURS D'EAU ET LES TEMPÉRATURES ENREGISTRÉES	27
4. DISCUSSION.....	29
4.1. IDENTIFICATION DES REFUGES THERMIQUES.....	29
4.2. INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT FORESTIER ET DES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES COURS D'EAU SUR LA PRÉSENCE DE REFUGES THERMIQUES.....	31
5. CONCLUSIONS	33
6. RECOMMANDATIONS.....	34
7. BIBLIOGRAPHIE.....	36
8. ANNEXES	40

LISTE DES ACRONYMES

AÉC :	Aire équivalente de coupe
BGI :	Bloc de gestion intégrée
DHP :	Diamètre à hauteur de poitrine
EEE :	Espèces exotiques envahissantes
GINU :	Gespe'gewa'gi Institute of Natural Understanding
GRHQ :	Géobase du réseau hydrographique du Québec
IÉQM :	Inventaire écoforestier du Québec méridional
INRS :	Institut national de la recherche scientifique
MELCCFP :	Ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MPO :	Ministère des Pêches et Océans Canada
MRNF :	Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
OBKIR :	Organisme de bassin versant de Kamouraska, l'Islet, Rivière-du-Loup
OBVMR :	Organisme de bassin versant Matapédia-Restigouche
RADF :	Règlement sur l'aménagement durable des forêts
TFS :	Territoire faunique structuré
SFI :	Site faunique d'intérêt
ST :	Surface terrière
ZEC :	Zone d'exploitation contrôlée

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Zones d'installation potentielle des thermographes, pour les confluences entre a) deux cours d'eau et b) un tributaire et un lac	11
Figure 2 : Localisation des sites pouvant héberger un refuge thermique potentiel au a) lac Long Numéro Un et b) lac Lunettes	12
Figure 3 : Relevés de température en 2023 pour les six sites étudiés au lac Long Numéro Un.	17
Figure 4 : Relevés de température en 2024 pour les six sites étudiés au lac Long Numéro Un	18
Figure 5 : Relevés de température en 2024 pour les cinq sites étudiés au lac Lunettes	22
Figure 6 : Températures horaires relevées en a) 2023 et c) 2024 et précipitations journalières en b) 2023 et d) 2024 relevées entre juin et octobre à la station météorologique de Pointe-aux-Pères	24
Figure 7 : Surface terrière dans les placettes échantillonnées le long des cours d'eau pour le bassin-versant a) du lac Long Numéro Un et b) du lac Lunettes	25
Figure 8 : Historique des interventions forestières dans le bassin-versant du lac Lunettes	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques physiques et biologiques des lacs	10
Tableau 2 : Différences moyennes de températures en °C entre le refuge thermique potentiel et le témoin sur l'ensemble de la saison et sur chaque mois de l'étude en 2023 et en 2024 au lac Long Numéro Un	15
Tableau 3 : Températures en °C dans chacun des sites dans les emplacements témoin et de refuges thermiques potentiels pour la saison complète et pour chaque mois de l'étude en 2023 et 2024 au lac Long Numéro un	19
Tableau 4 : Différences moyennes de températures en °C entre le refuge thermique potentiel et le témoin sur l'ensemble de la saison et sur chaque mois de l'étude en 2024 au lac Lunettes	20
Tableau 5 : Températures en °C dans chacun des sites dans les emplacements témoin et de refuges thermiques potentiels pour la saison complète et pour chaque mois de l'étude en 2024 au lac Lunettes	23
Tableau 6 : Largeur et profondeur moyenne des cours d'eau en amont des confluences étudiées pour les bassins versants des lac long Numéro un et lac Lunettes.	28

RÉSUMÉ

L'objectif du projet est d'identifier des refuges thermiques pour l'omble de fontaine et l'omble chevalier dans deux bassins versants immédiats de lacs. Un premier lac est inclus dans une aire protégée, tandis que le second est situé dans une zone où de l'exploitation forestière est possible. Le projet a permis d'identifier cinq refuges thermiques sur une possibilité de 11 dans les deux bassins versants : le lac Long Numéro Un situé dans la réserve faunique Duchénier et le lac Lunettes situé dans la ZEC Bas-Saint-Laurent. Des variations journalières et saisonnières importantes ont été observées dans la température de l'eau aux sites étudiés. Dans tous les sites étudiés, des températures représentant un danger pour la croissance ($> 20^{\circ}\text{C}$) ou la survie ($> 27^{\circ}\text{C}$) du poisson ont été enregistrées. Ces températures dépassaient parfois 27°C pendant plusieurs jours. Par ailleurs, l'étude n'a pas permis de tirer des conclusions quant à un effet de l'environnement forestier, des interventions forestières et des caractéristiques des cours d'eau sur la présence de refuges thermiques. En effet, les données recueillies n'étaient pas suffisamment nombreuses pour obtenir des résultats statistiquement significatifs. En particulier, les environnements forestiers ne présentaient pas une variabilité suffisante et les refuges thermiques identifiés n'étaient pas assez nombreux pour observer de tels effets. L'étude renforce la pertinence d'augmenter les connaissances sur les déterminants des refuges thermiques. Enfin, cinq recommandations sont formulées :

- (i) Poursuivre les efforts d'identification de refuges thermiques dans les bassins versants.
- (ii) S'assurer d'étudier un nombre suffisant de refuges thermiques.
- (iii) Caractériser complètement les refuges thermiques en délimitant précisément la zone de refuge, étudiant les caractéristiques physico-chimiques des refuges thermiques et la fréquentation par le poisson des refuges thermiques.
- (iv) Faire des suivis à long terme des refuges thermiques pour identifier un effet des conditions météorologiques et ainsi mieux prévoir les conséquences des changements climatiques sur les refuges thermiques.
- (v) Faire un suivi de la température de l'eau lors d'une année d'intervention forestière.

1. INTRODUCTION

L'omble de fontaine et l'omble chevalier sont des espèces de poisson populaire auprès des pêcheurs sportifs. En effet, plus de 25 % des efforts de pêche et 40 % des captures concernent cette espèce au Québec (MPO 2012; 2019). Sa popularité s'explique par sa facilité de pêche puisqu'elle est accessible sur le territoire, et ne requiert pas d'équipement spécialisé. La pêche de l'omble est également populaire au Bas-Saint-Laurent. De nombreux territoires fauniques structurés, incluant les zones d'exploitation contrôlées (ZEC) et les réserves fauniques, proposent des forfaits de pêche à l'omble de fontaine et l'omble chevalier. Actuellement, les populations de ces salmonidés font face à plusieurs pressions liées aux activités humaines. Ces menaces concernent l'augmentation de la température de l'eau, la dégradation de la qualité du milieu aquatique, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes (EEE) et la surexploitation (Hudy et al. 2008; Hitt, Snook, et Massie 2017; Pershyn 2018).

La température de l'eau est une donnée importante pour assurer la survie de plusieurs espèces halieutiques, particulièrement les salmonidés. En effet, les températures élevées diminuent la solubilité des gaz et donc l'oxygénation de l'eau, ce qui peut entraîner des mortalités importantes chez ces espèces (Stednick 2008). Les refuges thermiques sont des zones d'eau froide dans les lacs et les rivières qui permettent à certaines espèces de poissons de trouver refuge lorsque la température de l'eau augmente. Il est souvent mentionné que la différence de température entre la zone d'eau froide et l'eau ambiante doit être de 3°C minimum pour être considérée comme refuge thermique (Sullivan et al. 2021). Toutefois, il est important de considérer la physiologie des poissons : les températures de croissance et de survie sont différentes d'une espèce à l'autre. Ainsi, il est souvent considéré que pour l'omble de fontaine et l'omble chevalier, la croissance des individus ralentit à partir d'une température de l'eau de 20°C et la mortalité intervient à des températures dépassant 27°C (Jonsson et Jonsson 2009; Elliott 1994). Les changements climatiques en cours se traduisent par des étés de plus en plus chauds et secs, et donc des températures de cours d'eau de plus en plus élevées et des étiages plus sévères.

Il existe de nombreux types de refuges thermiques, selon leur origine. Parmi ces refuges thermiques, certains proviennent du réseau de drainage superficiel, c'est-à-dire de tributaires qui arrivent directement dans un plan d'eau. Ces tributaires forment des panaches dans les plans d'eau dont la taille et la forme dépendent d'un grand nombre de variables, incluant le débit et la largeur du chenal, les caractéristiques du bassin versant (notamment la couverture forestière) et les températures du tributaire et du chenal (Dugdale 2014). D'autres refuges thermiques proviennent du réseau d'eaux souterraines et sont donc plus difficiles à identifier avec les approches conventionnelles. De plus, tous les cours d'eau se jetant dans un chenal ne vont pas nécessairement produire des refuges thermiques. Il est donc important de connaître l'emplacement de ces refuges thermiques pour assurer leur maintien dans le temps.

L'utilisation d'images optiques et infrarouges thermiques à haute résolution est une avenue possible afin de caractériser des refuges thermiques (Gillis et al. 2020; Lamontagne et Ménard 2024). Toutefois, cette méthode est dispendieuse. D'autres méthodes peuvent être considérées afin de réaliser un inventaire des refuges thermiques à moindre coût et accessibles pour les organismes de gestion. C'est pourquoi, il peut être judicieux d'appliquer des méthodes de détection plus conventionnelles, telles que l'installation de thermographes sur des bassins versants immédiats, c'est-à-dire les eaux entrant

directement dans le lac. Cela permet d'identifier les refuges thermiques dans un bassin versant de lacs d'intérêt, afin de pouvoir en adapter les modalités de protection, au besoin.

Un site faunique d'intérêt est un lieu circonscrit constitué d'un ou plusieurs éléments biologiques et physiques propices au maintien ou au développement d'une population ou d'une communauté faunique, dont la valeur biologique ou sociale le rend remarquable dans un contexte local ou régional et dont la sensibilité justifie l'adoption de modalités de protection particulières allant au-delà des dispositions légales existantes. Cette liste est établie conjointement par la direction de la gestion des Forêts et la direction de la gestion de la Faune du Bas-Saint-Laurent, en concertation avec les tables locales de gestion intégrée des ressources et du territoire. Les lacs à omble de fontaine en sympatrie simple et à haut rendement font partie de la liste des sites fauniques d'intérêt (SFI) au Bas-Saint-Laurent. Concernant ces SFI, les modalités de protection prévoient le maintien d'une lisière boisée de 20 m autour des lacs visés. De plus, la construction, l'amélioration et la réfection d'un pont ou d'un ponceau ne sont permises que pendant la période de réalisation des travaux exécutés entre les berges, qui s'échelonne du 1^{er} juin au 30 septembre. Concernant les SFI de la catégorie des lacs à omble chevalier, les modalités de protection prévoient le maintien d'une lisière boisée intacte de 30 m autour des lacs visés. De plus, des protections supplémentaires sont applicables pour l'omble chevalier en vertu de l'Entente administrative concernant la protection des espèces menacées ou vulnérables de la faune et de la flore et de d'autres éléments de biodiversité dans le territoire forestier du Québec¹.

L'objectif du projet est d'identifier des refuges thermiques pour l'omble de fontaine et l'omble chevalier dans deux bassins versants immédiats de lacs inclus dans la liste des SFI du Bas-Saint-Laurent. Les lacs visés sont situés pour l'un dans un territoire mis en réserve à des fins d'aires protégées sans intervention sylvicole depuis 2013, et pour l'autre dans un territoire faunique structuré avec présence d'exploitation forestière conventionnelle.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. DESCRIPTION DES LACS ÉTUDIÉS

Deux bassins versants au Bas-Saint-Laurent situés dans deux territoires fauniques structurés (TFS) sont visés. Dans la réserve faunique Duchénier, le lac Long Numéro Un constitue le premier bassin versant étudié, tandis que dans la ZEC Bas-Saint-Laurent, le bassin versant est celui du lac Lunettes. Ces bassins versants correspondent à des lacs d'importance pour les TFS participants au projet ([Tableau 1](#)). Le lac Long Numéro Un est un lac à omble chevalier et le lac Lunettes est un lac à omble de fontaine en sympatrie simple.

¹ <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/amenagement/Mesure-protection-omble-chevalier.pdf>

Tableau 1 – Caractéristiques physiques et biologiques des lacs

		Lac Long Numéro Un	Lac Lunettes
Descriptions métriques	Superficie (ha)	52,2	69,6
	Profondeur moyenne (m)	2,9	NA
	Profondeur maximale (m)	16,0	4,0
	Superficie du bassin versant (ha)	531	2 249
Données physico- chimiques (prises à 0,5 m de profondeur)	Température (°C)	19,6 (août 2023)	22,5 (août 2024)
	Oxygène dissous (ppm)	8,7	8,3
	pH	8,2	8,6
Espèce commerciale principale		Omble chevalier	Omble de fontaine
Espèces compétitrices et compagnes		Mulet perlé, Mené à ventre rouge du Nord, Mené à grosse tête	Mulet perlé, Mené du ventre rouge du Nord
Statistiques de pêche 2007-2018	Récolte moyenne	481	1313
	Succès de pêche moyen (%)	6,55	2,2

La description métrique et physico-chimique des lacs montre que ces deux plans d'eau sont similaires. Toutefois, la forme des lacs et des bassins versants montre une topographie relativement différente. De plus, le substrat des lacs est différent : le lac Long Numéro Un a un fond plutôt rocheux tandis que le lac Lunettes a un fond boueux. La végétation au bord du lac est peu présente dans le lac Long Numéro un, alors qu'elle est abondante dans le lac Lunettes. Une galerie de photographies est disponible en [annexe 1](#).

2.2. IDENTIFICATION CARTOGRAPHIQUE DE REFUGES THERMIQUES POTENTIELS

Chaque confluence d'eaux superficielles est identifiée cartographiquement. Ces confluences peuvent concerner un cours d'eau et un lac ou deux cours d'eau. Tous les cours d'eau permanents et intermittents sont considérés. Le réseau hydrographique utilisé provient de la géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), disponible auprès de la Direction générale de l'information géospatiale du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) et accessible via Données Québec². Chaque confluence ainsi identifiée est considérée comme un refuge thermique potentiel.

2.3. MESURES DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU

2.3.1. POSITION DES THERMOGRAPHES

La validation de chaque refuge thermique potentiel identifié cartographiquement s'est faite à l'aide de thermographes (Onset HOBO TidbiT MX2203). Pour chaque refuge thermique potentiel, deux thermographes ont été installés ([Figure 1](#)).

² <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/grhq>

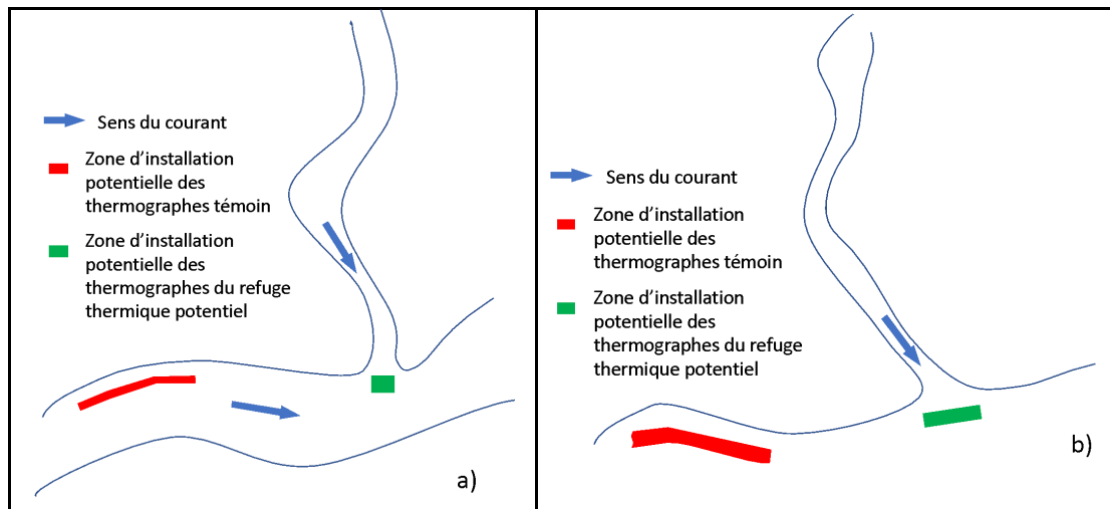


Figure 1 – Zones d'installation potentielle des thermographes, pour les confluences entre a) deux cours d'eau et b) un tributaire et un lac

Dans le cas des confluences de deux cours d'eau ([Figure 1a](#)), le premier thermographe est positionné à l'endroit du mélange entre le cours d'eau principal et le tributaire. Cet endroit dépend des caractéristiques des cours d'eau, comme leurs débits respectifs, leurs largeurs et leurs profondeurs. Le second thermographe sert de témoin et est positionné en amont du cours d'eau principal, idéalement à la même profondeur.

Dans le cas des confluences d'un tributaire et d'un lac ([Figure 1b](#)), un premier thermographe est positionné à l'endroit du mélange de l'eau du tributaire et de l'eau du lac. Cette position dépend des caractéristiques du terrain, notamment de la largeur du tributaire, du débit du tributaire et de la profondeur du lac à l'endroit du tributaire. Un second thermographe est installé dans le lac, à la même distance et profondeur du bord du lac que le premier thermographe. Ce second thermographe sert de témoin.

Il est à noter que le positionnement exact des thermographes a dû se plier aux réalités et contraintes du terrain. Si les conditions ne pouvaient pas être obtenues, les lignes directrices suivantes ont été suivies : les thermographes devaient être installés, autant que faire se peut, à la même profondeur et à la même distance du bord du lac.

2.3.2. INSTALLATION DES THERMOGRAPHES

La procédure d'installation des thermographes a fait l'objet de la rédaction d'un protocole ([Annexe 2](#)). Ce protocole résulte de discussions avec des experts du domaine et s'inspire largement du protocole rédigé par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) (Beaupré et al. 2017). Six sites ont fait l'objet d'installation de thermographes dans le bassin versant du lac Long Numéro Un et cinq sites ont été identifiés dans le bassin versant du lac Lunettes ([Figure 2](#)).

Dans le lac Long Numéro Un, les thermographes ont été installés le 22 juin 2023 et retirés le 18 octobre 2023. Ils ont été installés aux mêmes endroits le 12 juin 2024 et retirés le 17 octobre 2024. Des thermographes ont été installés dans le lac Lunettes uniquement en 2024, entre le 13 juin 2024 et le 18 octobre 2024. Il est à noter que le bassin versant du lac Lunettes se trouve en partie sur le territoire privé, qui ne fait pas partie de notre territoire d'étude. De plus, seule la partie en amont du bassin versant a été étudiée, et la partie nord du bassin versant n'a pas été considérée.

2.3.3. ANALYSE DES DONNÉES

Les données de températures entre le refuge thermique potentiel et la position témoin sont comparées de deux manières. D'abord, les séries chronologiques sont superposées l'une par rapport à l'autre. Puis, les données climatiques (température journalière et précipitation journalière) y sont également superposées. Cela permet d'identifier des périodes critiques où les températures entre le refuge thermique potentiel et le témoin sont très différentes, notamment lors des épisodes de chaleur. Par ailleurs, la différence moyenne de température dans l'ensemble de la période d'installation des thermographes, et pour chaque mois de prise de données, a été étudiée.

À partir de ces données et à l'aide de tests de comparaison, les refuges thermiques seront identifiés lorsque la différence entre la température du refuge thermique potentiel et le témoin est significativement inférieure de 3°C ou plus.

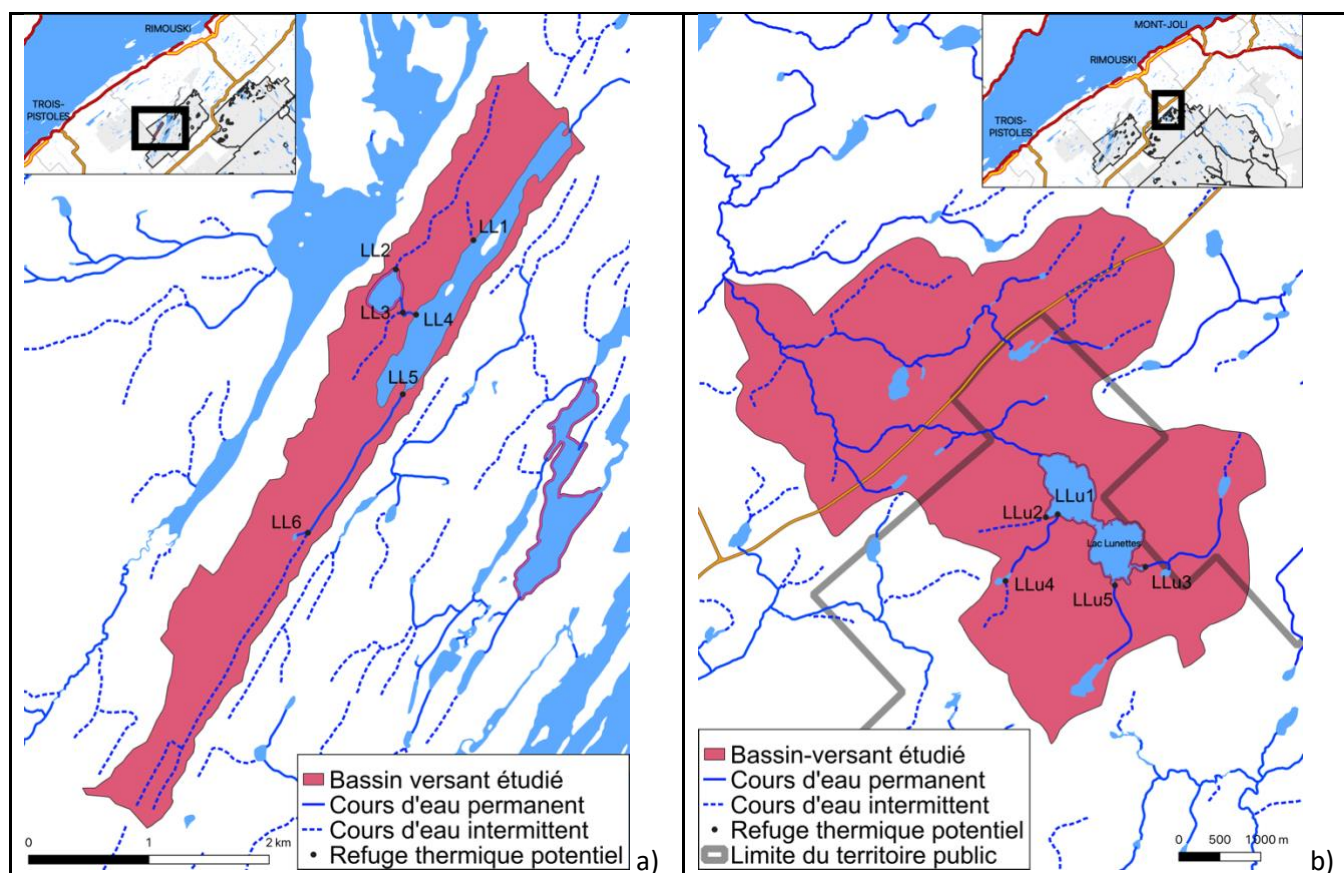


Figure 2 – Localisation des sites pouvant héberger un refuge thermique potentiel au a) lac Long Numéro Un et b) lac Lunettes

2.4. CARACTÉRISATION DU MILIEU FORESTIER

Les caractéristiques des peuplements forestiers des bassins versants visés ont été relevées. Les résultats du cinquième IÉQM (inventaire écoforestier du Québec méridional) ont été mis à profit. De même, l'historique de coupe dans le bassin versant a été reporté.

En plus de cela, un inventaire forestier le long des cours d'eau permanents a été réalisé afin de caractériser l'environnement d'écoulement de l'eau. Cet inventaire a été effectué en installant des placettes temporaires tous les 100 m le long des cours d'eau permanents de chaque lac étudié. À chaque placette, la largeur du cours d'eau et la profondeur du cours d'eau ont été reportées. De plus, une ou deux sous-placettes ont été implantées à 2 m de

part et d'autre de la rive du cours d'eau, dépendamment de la largeur du cours d'eau. À chaque sous-placette, les données suivantes ont été recueillies : hauteur et essence de trois arbres dominants dans un rayon de 2.82 m du centre, la surface terrière par essence et le type de substrat.

La présence ou l'absence d'un refuge thermique a été mise en relation avec les conditions forestières le long des cours d'eau. En particulier, les variables suivantes seront considérées : surface terrière, diamètre moyen des arbres, hauteur moyenne des arbres. Ces variables seront discriminées selon que les arbres sont des résineux ou des feuillus. Ainsi, les variables ont été moyennées pour tous les points d'inventaire réalisés en amont d'un refuge thermique potentiel.

En addition à ces données forestières, les caractéristiques du cours d'eau ont également été mises en relation avec la présence ou l'absence d'un refuge thermique. Précisément, la largeur moyenne et la profondeur moyenne du cours d'eau en amont d'un refuge thermique potentiel ont été considérées.

L'effet de l'ensemble de ces variables sur la présence d'un refuge thermique pourra être exploré à l'aide de tests de comparaison multiples qui permettront de déterminer les différences dans les conditions forestières selon la présence ou non d'un refuge thermique. Pour effectuer ces analyses statistiques, le logiciel d'analyse statistique R version 4.2.1 pour Mac sera utilisé.

3. RÉSULTATS

3.1. DONNÉES DE TEMPÉRATURE AUX REFUGES THERMIQUES POTENTIELS

3.1.1. LAC LONG NUMÉRO UN

Six sites pouvant héberger un refuge thermique potentiel ont été identifiés (Figure 2). En observant les courbes de températures mesurées dans les refuges thermiques potentiels et les témoins sur chacun des sites en 2023 (Figure 3) et en 2024 (Figure 4), ainsi que les moyennes des températures sur chacun des emplacements en 2023 et 2024 (Tableaux 2 et 3), il est constaté que les mois de juin et juillet sont les mois qui présentent les températures de l'eau les plus élevées, régulièrement comprises entre 20 °C et 27 °C. Il est à noter qu'au site LL1 du lac Long Numéro Un, le cours d'eau intermittent n'avait pu être repéré lors d'un premier passage en 2023. La localisation a été retrouvée plus tard dans la saison, ce qui explique que les données de mesures de températures de l'eau commencent au courant du mois de juillet pour ce site en 2023.

Tableau 2 – Différences moyennes de températures en °C entre le refuge thermique potentiel et le témoin sur l'ensemble de la saison et sur chaque mois de l'étude en 2023 et en 2024 au Lac Long Numéro Un

Refuge thermique potentiel	Différence de température en °C entre le témoin et le refuge thermique potentiel												
		2023						2024					
	Saison complète	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Saison complète	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	
LL1	0,16 (0,33)		0,04 (0,28)	0,16 (0,34)	0,14 (0,29)	0,27 (0,39)	0,09 (0,45)	-0,11 (0,31)	-0,01 (0,35)	0,06 (0,42)	0,18 (0,53)	0,37 (0,47)	
LL2	3,57 (2,68)	3,34 (2,55)	6,07 (2,32)	3,54 (2,23)	2,36 (1,91)	1,36 (1,51)	3,11 (1,7)	3,80 (2,31)	2,69 (1,65)	3,17 (1,65)	3,10 (1,19)	2,95 (1,31)	
LL3	-0,52 (0,60)	-0,57 (0,91)	-0,41 (0,38)	-0,40 (0,48)	-0,73 (0,77)	-0,55 (0,61)	0,83 (1,04)	0,50 (1,01)	1,07 (1,21)	1,39 (0,80)	0,67 (0,62)	-0,05 (0,42)	
LL4	1,89 (1,59)	1,27 (1,58)	1,54 (1,44)	1,54 (1,65)	2,75 (1,57)	1,97 (1,11)	3,31 (2,33)	3,88 (2,13)	3,35 (1,65)	3,85 (2,25)	2,85 (2,95)	2,55 (2,09)	
LL5	3,77 (1,75)	3,63 (1,69)	4,84 (1,56)	3,37 (1,83)	3,86 (1,50)	2,54 (1,11)	2,84 (1,83)	3,95 (2,09)	2,69 (1,94)	3,07 (1,74)	2,56 (1,37)	2,10 (1,57)	
LL6	-1,81 (2,34)	-0,71 (0,96)	-4,72 (2,54)	-1,26 (1,02)	-0,47 (0,37)	-0,16 (0,20)	1,14 (1,48)	-0,28 (0,33)	1,49 (1,930	2,42 (1,09)	1,17 (1,29)	-0,04 (0,46)	

Note : Les différences non significatives sont indiquées en italique. Les écarts-types sont mentionnés entre parenthèses. Les cellules grisées concernent des différences positives supérieures à 3 °C. Les sites encadrés correspondent aux refuges thermiques identifiés dans l'étude.

Les sites LL2, LL4 et LL5 présentent des différences de températures entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel comprises entre 1,89°C et 3,77°C en 2023 et entre 2,84°C et 3,31°C en 2024 (Tableau 2). Ces différences sont plus importantes lors des mois de juin, juillet et août. Pour ces trois sites, les températures moyennes annuelles de l'eau dans les zones témoins sont situées autour de 20°C alors que les zones de refuge thermique potentiel présentent des températures moyennes annuelles de l'eau autour de 17°C (Tableau 3). Il est également remarqué que les températures moyennes de l'eau lors des mois de juin, juillet et août dans les zones de refuges thermiques demeurent en grande majorité inférieures ou près de 20°C alors que dans les zones témoins ces températures mensuelles de l'eau peuvent dépasser 23 °C. Lorsqu'on observe les variations journalières des températures de l'eau (Figures 3 et 4), on constate une très grande variabilité de la température de l'eau tout au long de la saison. Que ce soit dans les zones témoins ou les zones de refuge thermique potentiel, la température de l'eau peut régulièrement dépasser 20°C, voire 27°C. Toutefois, cela arrive moins régulièrement dans les zones témoins. Ces trois sites sont considérés comme des refuges thermiques au vu de ces observations.

Les sites LL1, LL3 et LL6, quant à eux, présentent des différences de températures moyennes annuelles de l'eau entre les zones témoins et les zones de mélange proches de 0°C ou inférieures à 1°C en 2023 et 2024 (Tableau 2). Une exception notable est visible au site LL6 en 2023 où la température de la zone témoin était plus froide de 1,81 °C que la température de la zone de refuge thermique potentiel. Ce comportement est également visible lorsque les températures sont considérées à l'échelle mensuelle. Dans ces sites, les températures (Tableau 3) ainsi que les variations journalières des températures de l'eau (Figures 3 et 4) sont synchrones. Les sites LL1 et LL3 présentent régulièrement des températures au-delà du seuil de 20°C avec quelques dépassements du seuil de 27°C. Quant à lui, le site LL6 présente des températures de l'eau comprises entre 10°C et 15°C, excepté durant le mois de juillet en 2023 (température de l'eau autour de 22°C dans le site de refuge thermique potentiel). Ces trois sites ne sont pas considérés comme des refuges thermiques.

Il est à noter que pour certains des sites étudiés, des données sont manquantes. Cela s'explique principalement par le niveau d'eau dans les sites. En effet, les données téléchargées mentionnaient que le thermographe était émergé pendant certaines périodes. Afin de ne pas fausser l'étude, ces périodes où les thermographes n'étaient pas immergés ont été supprimées des analyses, de même que la demi-heure précédant l'émergence et la demi-heure suivant l'immersion des thermographes. Ce phénomène se retrouvait principalement en 2024 aux sites LL3 et LL6.

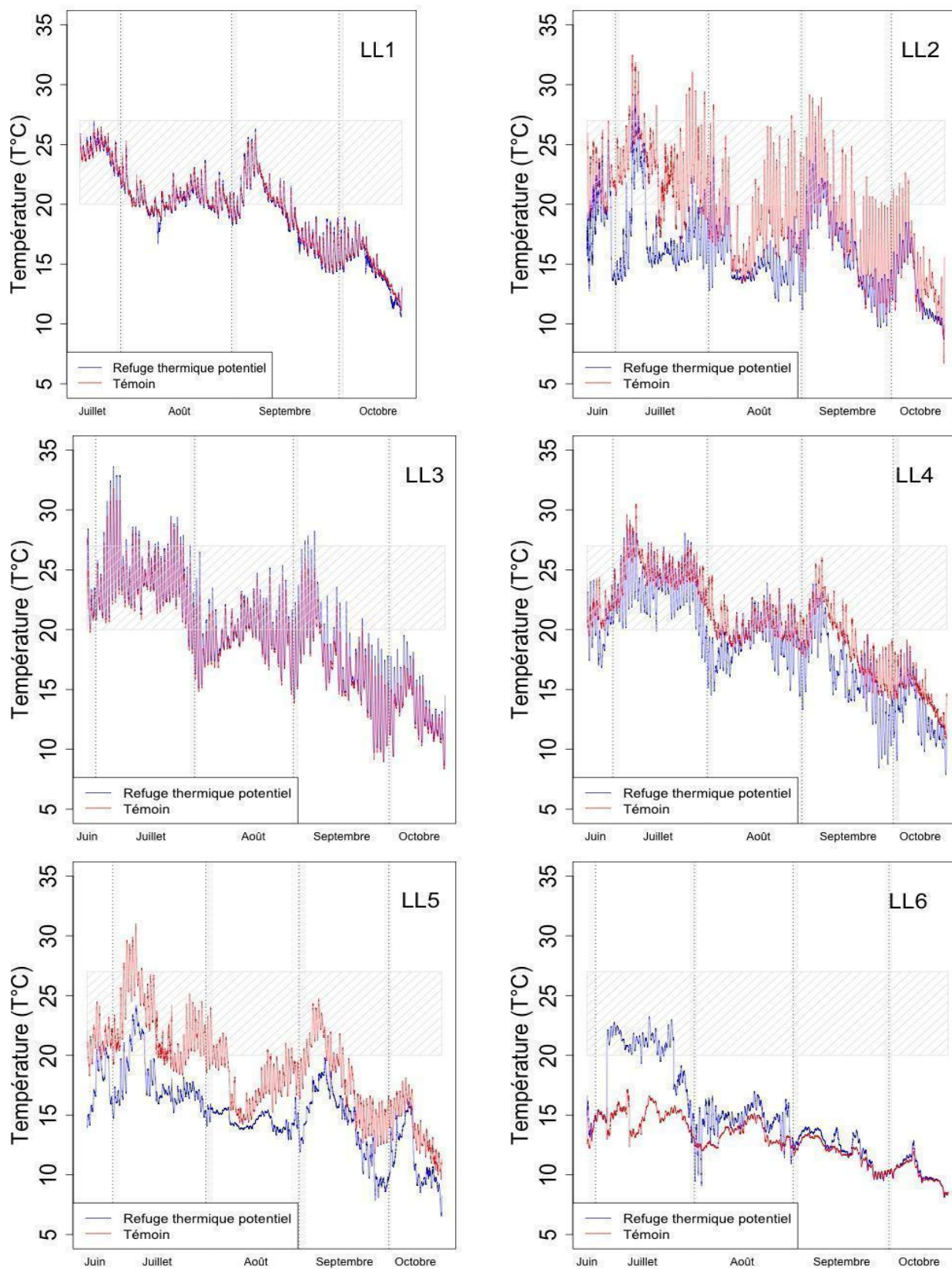


Figure 3 – Relevés de température en 2023 pour les six sites étudiés au lac Long Numéro Un pour les thermographes témoin (bleu) et les thermographes du refuge thermique potentiel (rouge). Les zones identifiées sont repérées dans la Figure 2a.

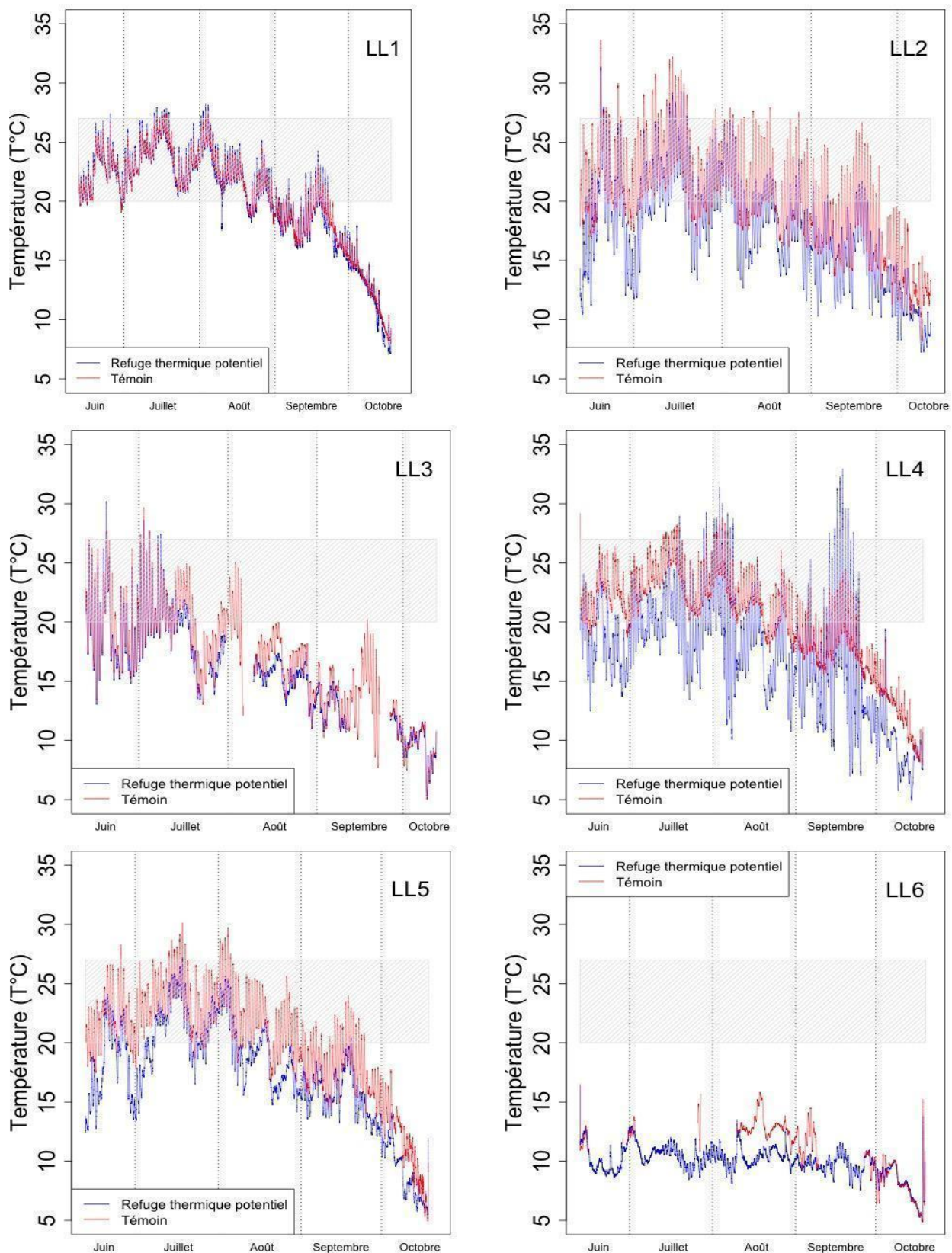


Figure 4 – Relevés de température en 2024 pour les six sites étudiés au lac Long Numéro Un pour les thermographes témoin (bleu) et les thermographes du refuge thermique potentiel (rouge). Les zones identifiées sont repérées dans la Figure 2a.

Tableau 3 – Températures en °C dans chacun des sites dans les emplacements témoin et de refuges thermiques potentiels pour la saison complète et pour chaque mois de l'étude en 2023 et 2024 au lac Long Numéro un

Site	Année	Saison complète		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre	
		Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel
LL1	2023	19,5 (3,3)	19,4 (3,4)			24,4 (0,9)	24,4 (1,0)	20,6 (1,0)	20,4 (1,1)	19,2 (2,6)	19,1 (2,7)	14,9 (1,7)	14,6 (1,8)
	2024	20,2 (4,3)	20,2 (4,4)	22,3 (1,6)	22,4 (1,7)	23,7 (1,7)	23,7 (1,8)	22,2 (2,0)	22,1 (2,1)	18,4 (1,6)	18,2 (1,8)	12,4 (2,5)	12,2 (2,6)
LL2	2023	19,5 (4,4)	15,9 (3,3)	22,0 (1,8)	18,7 (3,0)	23,5 (3,0)	17,4 (3,2)	18,7 (3,2)	15,1 (1,9)	18,4 (4,0)	16,0 (3,5)	14,4 (2,9)	13,0 (2,6)
	2024	20,4 (4,2)	17,3 (4,5)	22,1 (3,0)	18,3 (4,3)	23,3 (3,2)	20,6 (3,60)	21,5 (2,9)	18,4 (3,1)	18,1 (3,0)	15,0 (2,7)	13,1 (2,0)	10,2 (1,6)
LL3	2023	19,0 (4,5)	19,6 (4,5)	22,1 (1,5)	22,6 (2,0)	23,9 (2,4)	24,4 (2,6)	19,4 (1,9)	19,8 (2,0)	16,9 (3,4)	17,6 (3,7)	13,0 (1,9)	13,6 (2,2)
	2024	16,7 (4,4)	16,1 (4,3)	19,8 (3,1)	19,3 (3,2)	20,1 (3,0)	19,4 (3,1)	17,3 (2,5)	15,2 (1,4)	13,4 (2,1)	12,4 (1,3)	9,4 (1,5)	9,4 (1,3)
LL4	2023	20,5 (3,7)	18,6 (4,3)	21,5 (1,1)	20,2 (1,8)	24,9 (1,5)	23,3 (2,2)	20,4 (1,1)	18,8 (1,8)	19,0 (2,7)	16,3 (3,2)	14,8 (1,7)	12,8 (2,2)
	2024	20,0 (4,4)	16,7 (4,8)	22,1 (1,7)	18,2 (2,7)	23,6 (1,8)	20,3 (2,6)	22,0 (2,3)	18,2 (3,8)	18,3 (1,9)	15,4 (4,4)	12,2 (2,4)	9,7 (2,7)
LL5	2023	18,8 (3,9)	15,0 (3,1)	21,2 (1,2)	17,6 (2,0)	22,7 (2,8)	17,9 (2,2)	17,9 (2,1)	14,5 (0,7)	17,9 (3,2)	14,1 (3,0)	13,9 (2,1)	11,4 (2,4)
	2024	19,8 (4,8)	17,0 (4,6)	21,9 (2,2)	18,0 (3,1)	23,7 (2,2)	21,0 (2,8)	22,0 (2,6)	19,0 (2,7)	18,1 (2,1)	15,5 (1,8)	11,4 (3,0)	9,3 (2,6)
LL6	2023	12,8 (1,9)	14,6 (3,8)	13,5 (0,9)	14,2 (0,8)	14,9 (0,9)	19,6 (2,7)	13,3 (0,9)	14,5 (1,3)	11,8 (1,1)	12,3 (1,3)	10,1 (0,9)	10,2 (1,0)
	2024	11,0 (2,5)	10,0 (1,3)	11,8 (0,6)	10,2 (1,2)	12,9 (1,0)	10,6 (0,9)	12,9 (0,9)	10,4 (0,8)	11,1 (1,4)	9,8 (0,7)	8,4 (2,3)	8,5 (2,1)

Note : Les écarts-types sont mentionnés entre parenthèses. Les cellules grisées concernent des différences positives supérieures à 3 °C. Les sites encadrés correspondent aux refuges thermiques identifiés dans l'étude.

3.1.2. LAC LUNETTES

Cinq sites pouvant héberger un refuge thermique potentiel ont été identifiés (Figure 2). En observant les courbes de température mesurées dans les refuges thermiques potentiels et les témoins sur chacun des sites en 2024 (Figure 5), il est constaté que les mois de juin, juillet et août sont ceux qui présentent les températures de l'eau les plus élevées, régulièrement comprises entre 20 °C et 27 °C.

Tableau 4 – Différences moyennes de températures en °C entre le refuge thermique potentiel et le témoin sur l'ensemble de la saison et sur chaque mois de l'étude en 2024 au lac Lunettes

	Différence de température en °C entre le témoin et le refuge thermique potentiel					
	Saison complète	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.
LLu1	3,43 (2,16)	5,00 (2,15)	2,22 (1,14)			
LLu2	3,56 (2,85)	3,82 (2,60)	3,37 (3,02)			
LLu3	-0,06 (1,43)		-0,22 (1,58)	-0,16 (1,46)	-0,06 (1,56)	0,23 (0,92)
LLu4	1,15 (1,14)	1,53 (1,08)	0,86 (1,10)			
LLu5	0,21 (1,13)	2,23 (1,50)	0,26 (1,05)	0,09 (1,00)	0,004 (0,99)	0,03 (0,90)

Note : Les différences non significatives sont indiquées en italique. Les écarts-types sont mentionnés entre parenthèses. Les cellules grisées concernent des différences positives supérieures à 3 °C. Les sites encadrés correspondent aux refuges thermiques identifiés dans l'étude.

Les sites LLu1 et LLu2 présentent des différences de températures moyennes annuelles de l'eau entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel supérieures à 3°C (Tableau 4). Ces différences sont plus importantes lors des mois de juin et juillet. Pour ces deux sites, les températures moyennes annuelles de l'eau sont supérieures ou égales à 22 °C alors que les zones de refuge thermique potentielles présentent des températures moyennes annuelles de l'eau comprises entre 17,1 °C et 21,7 °C (Tableau 5). Il est également remarqué que les températures moyennes de l'eau lors des mois de juin, juillet et août dans les zones témoins restent dans leur grande majorité comprise entre 20 et 27°C (Figure 5). Dans les zones de refuges thermiques de ces deux sites, les températures de l'eau varient entre 15°C et 25°C. Lorsqu'on observe les variations journalières des températures de l'eau, on constate une très grande variabilité de la température de l'eau tout au long de la saison. Ces deux sites sont considérés comme des refuges thermiques au vu de ces observations.

Les sites LLu3, LLu4 et LLu5 présentent des différences de températures moyennes annuelles de l'eau entre les zones témoins et les zones de mélange comprises entre 0°C et 1,15 °C (Tableau 4). Ce comportement est également visible lorsque les températures sont considérées à l'échelle mensuelle. Dans ces sites, les températures (Tableau 5) ainsi que les variations journalières des températures de l'eau (Figure 5) sont synchrones. Ces trois sites présentent des températures de l'eau fréquemment comprises entre 20 et 27 °C, avec plusieurs dépassements du seuil de 27°C. Ces trois sites ne sont pas considérés comme des refuges thermiques.

Il est à noter que pour certains des sites étudiés, des données sont manquantes. Deux éléments peuvent expliquer cela. Tout d'abord, comme pour le lac Long Numéro Un, les thermographes présentaient des périodes d'émergence hors de l'eau ou d'enfouissement dans le fond du lac. Ce phénomène est observable notamment dans les sites LLu3 et LLu5. Afin de ne pas fausser l'étude, ces périodes où les thermographes n'étaient pas immergés ont été supprimées des analyses, de même que la demi-heure précédant l'émergence et la demi-heure suivant l'immersion des thermographes. Par ailleurs, des erreurs de manipulation ont entraîné l'échec des enregistrements de température sur de longues périodes. Ceci est visible dans les sites LLu1, LLu2 et LLu4. Ces phénomènes ne semblent pas dommageables pour notre étude puisqu'il est observé de manière générale que les écarts de température entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel sont similaires tout au long de la saison ([Tableaux 4 et 5](#)). Dans ces sites, les comparaisons de températures ne peuvent donc être réalisées que lorsque des températures ont été enregistrées dans les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel.

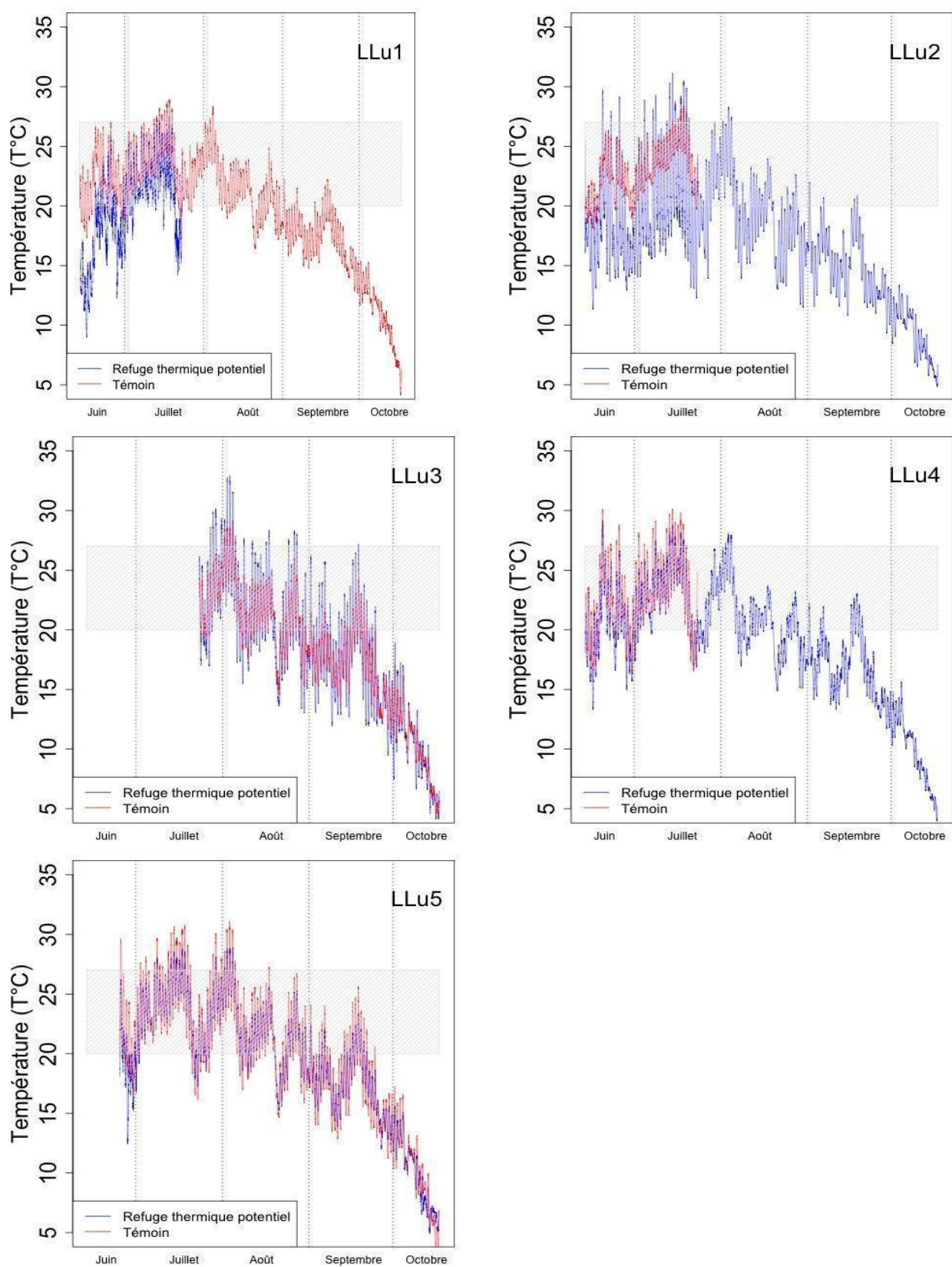


Figure 5 – Relevés de température en 2024 pour les cinq sites étudiés au lac Lunettes pour les thermographes témoin (bleu) et les thermographes du refuge thermique potentiel (rouge). Les zones identifiées sont repérées dans la Figure 2b.

Tableau 5 – Températures en °C dans chacun des sites dans les emplacements témoins et de refuges thermiques potentiels pour la saison complète et pour chaque mois de l'étude en 2024 au lac Lunettes

Site	Saison complète (mêmes périodes)		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre	
	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel	Témoin	Refuge potentiel
LLu1	23,1 (2,3)	19,7 (3,8)	22,0 (2,1)	17,1 (3,5)	23,6 (2,1)	21,7 (2,6)	21,5 (2,4)		17,4 (1,9)		10,7 (2,5)	
LLu2	23,0 (2,1)	19,4 (4,2)	21,8 (1,8)	18,0 (3,7)	23,9 (1,8)	20,7 (4,0)		19,1 (3,4)		14,9 (2,5)		9,1 (2,1)
LLu3	17,9 (5,1)	18,0 (5,7)			22,7 (1,9)	22,9 (3,3)	21,4 (2,8)	21,6 (3,8)	17,2 (2,5)	17,3 (3,6)	10,1 (2,8)	9,9 (3,2)
LLu4	23,0 (3,1)	21,9 (3,0)	21,9 (2,9)	20,4 (3,0)	23,9 (2,9)	22,7 (2,6)		20,6 (2,8)		16,8 (2,6)		9,6 (2,7)
LLu5	19,5 (5,6)	19,3 (5,2)	21,5 (2,8)	19,3 (2,7)	23,9 (3,1)	23,6 (2,5)	21,8 (3,3)	21,7 (2,8)	17,4 (3,0)	17,4 (2,4)	9,9 (3,1)	9,9 (2,8)

Note : Les écarts-types sont mentionnés entre parenthèses. Les cellules grisées concernent des différences positives supérieures à 3 °C. Les sites encadrés correspondent aux refuges thermiques identifiés dans l'étude.

3.1.3. COMPARAISON AVEC LES DONNÉES CLIMATIQUES

En 2023 et 2024, les variations de températures de l'eau sont synchrones avec les variations climatiques observées à la station météorologique de Pointe-au-Père, située à environ 45 km du lac Long Numéro Un et 26 km du lac Lunettes (Figure 6). Ainsi, le mois le plus chaud sur les deux années est le mois d'août avec des températures moyennes mensuelles respectivement de 16,9°C et 17,3°C en 2023 et 2024 et sont sous les moyennes normales climatiques pour la période 1981-2010³ (18,3°C). De manière globale, l'année 2023 a été plus fraîche que l'année 2024, notamment les trois premières semaines du mois d'août. Les précipitations ont été notablement supérieures en 2023 comparativement à 2024. Les précipitations moyennes pour la période 1981-2010 sont de 85,9 mm, 91,3 mm et 85,3 mm aux mois de juin, juillet et août. En 2023, les précipitations ont dépassé ces normales climatiques, tandis que 2024 a été une année plus sèche.

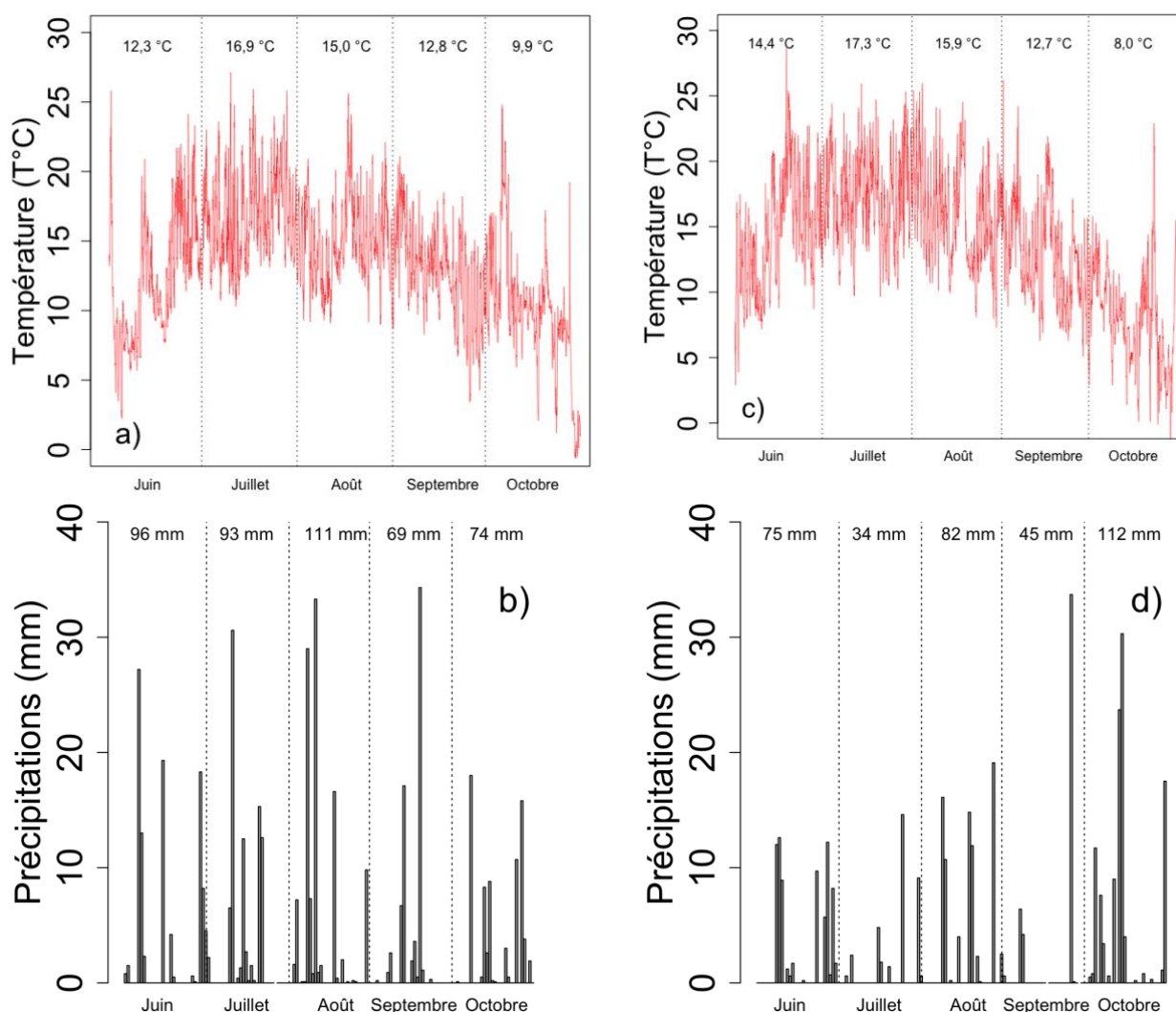


Figure 6 – Températures horaires relevées en a) 2023 et c) 2024 et précipitations journalières en b) 2023 et d) 2024 relevées entre juin et octobre à la station météorologique de Pointe-au-Père

³ <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/normales/sommaire.asp?cle=7056480>

3.2. RELATIONS ENTRE LES DONNÉES DE TEMPÉRATURE ET LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT FORESTIER DES REFUGES THERMIQUES POTENTIELS

En vue d'identifier si l'environnement forestier peut expliquer la présence ou l'absence d'un refuge thermique, plusieurs analyses ont été réalisées. Afin d'alléger le texte, l'ensemble des figures sur lesquelles s'appuie cette partie sont disponibles en annexes ([Annexes 3 à 5](#)). La surface terrière a été mise en relation avec les températures moyennes annuelles de la zone de refuge thermique potentielle, les températures moyennes mensuelles de la zone de refuge thermique potentielle et les différences de température entre la zone témoin et la zone de refuge thermique potentielle à l'échelle annuelle et mensuelle. De plus, les surfaces terrières ont été discriminées entre résineux et feuillus. Pour la hauteur et les diamètres à hauteur de poitrine (DHP) des arbres, seules les températures moyennes annuelles et mensuelles de la zone de refuge thermique potentielle sont présentées.

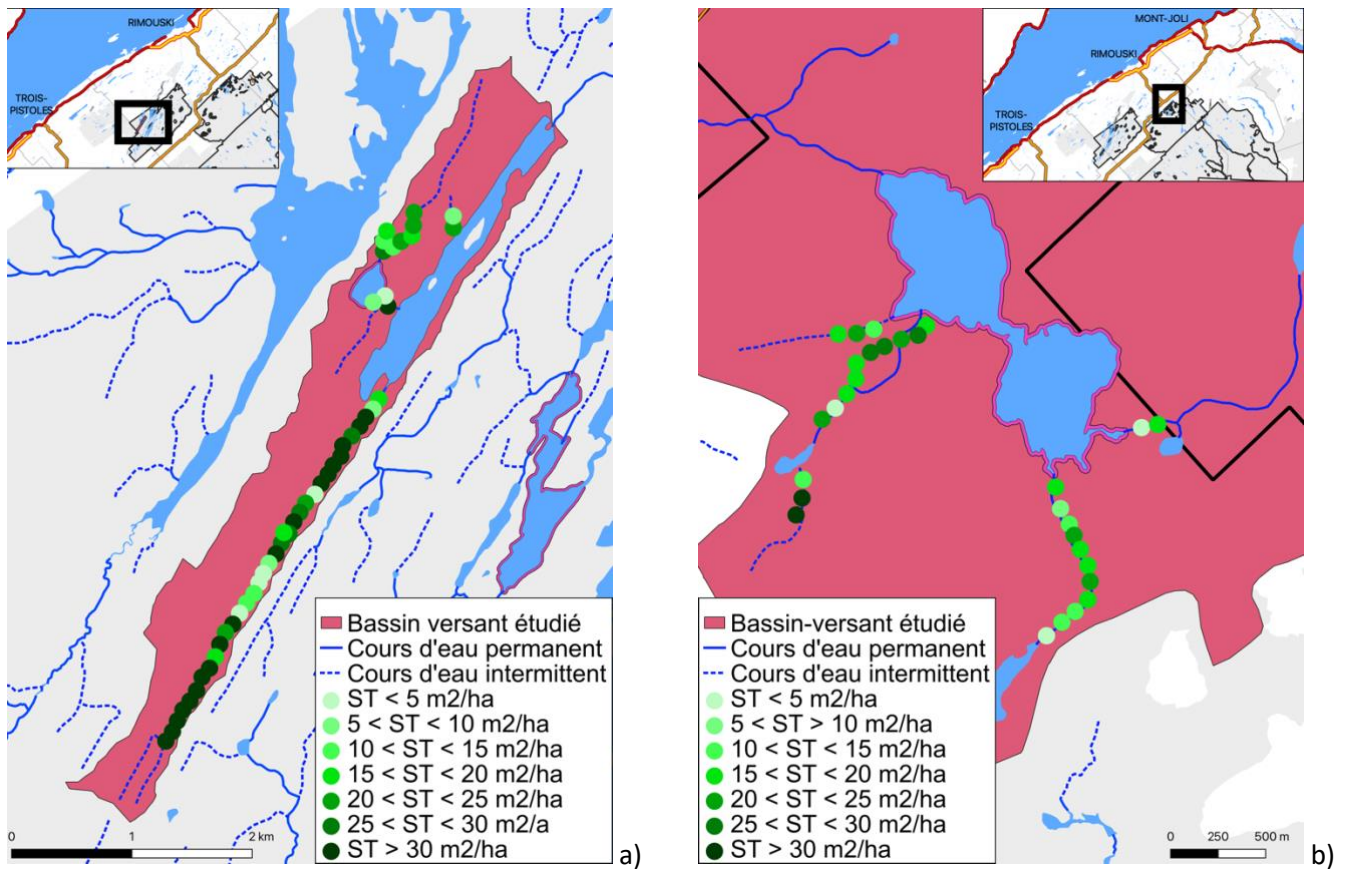


Figure 7 – Surface terrière (ST) dans les placettes échantillonnées le long des cours d'eau pour le bassin versant a) du lac Long Numéro un et b) du lac Lunettes

À titre d'exemple, la surface terrière sur les placettes échantillonnées dans le cadre de l'étude est présentée en [Figure 7](#). Il est observé que le long des cours d'eau du bassin versant du lac Long Numéro Un la surface terrière est relativement élevée, dépassant fréquemment 30 m².ha⁻¹, notamment dans la partie sud de l'aire étudiée. Dans le bassin versant du lac Lunettes, la surface terrière est plus faible et située autour de 15 m².ha⁻¹.

Quelle que soit la variable à expliquer étudiée et la variable explicative étudiée, le constat est le même. En effet, il est difficile d'observer une quelconque relation entre l'environnement forestier et la température de l'eau mesurée. D'après les observations et les analyses faites, il ne semblerait pas qu'il soit possible d'identifier une variable forestière qui explique la présence ou non d'un refuge thermique. Le constat est similaire lorsque les

données de température sont mises en relation avec la largeur et la profondeur du cours d'eau.

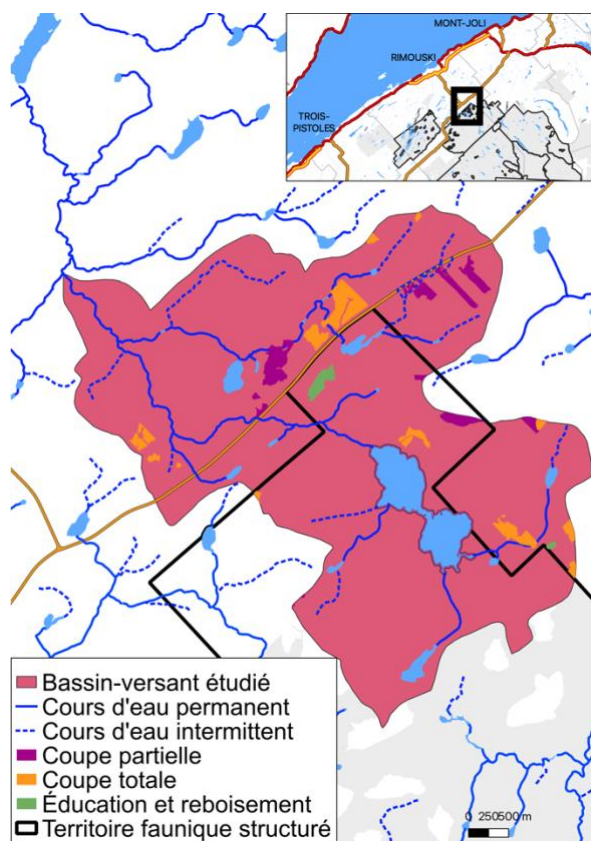


Figure 8 – Historique des interventions forestières dans le bassin versant du lac Lunettes

Par ailleurs, l'historique des interventions forestières a été reporté pour le bassin versant du lac Lunettes (Figure 8). Il est constaté que les interventions forestières sont situées majoritairement dans la partie nord du bassin versant qui n'alimente pas le lac Lunettes. Deux zones ont fait l'objet d'une coupe totale à l'est du lac Lunettes : 7,93 ha en 2019 et 3,75 ha en 2020. Ceci reste relativement modeste comparativement à la superficie du bassin versant (2 249 ha). Par ailleurs, il est à noter que ces coupes ont été réalisées dans la partie du bassin versant qui est sous tenure privée. Dans ce contexte, il est difficile de détecter un possible effet des interventions forestières sur la présence ou l'absence des refuges thermiques.

Cette analyse n'a pas été réalisée dans le bassin versant du lac Long Numéro Un. En effet, ce bassin versant est situé dans une zone où aucune intervention forestière n'a été réalisée depuis 2013. Ce territoire a été exclu de la planification forestière entre 2013 et 2023. Depuis 2023, la zone où est situé le bassin versant est mis en réserve par le ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) en vue de créer une aire protégée.

Il est intéressant de noter que les placettes ne se situent pas toujours aux emplacements mentionnés par le GRHQ. Par exemple, le cours d'eau alimentant le refuge thermique potentiel LL2 du lac Long Numéro Un présente deux bras alors que le GRHQ n'en indique qu'un (Figure 7a). Le refuge thermique potentiel LLu1 du lac Lunettes effectue un détour (Figure 7b). La consigne donnée aux équipes de terrain était de respecter la réalité du terrain. Ainsi, les placettes sont situées aux endroits où les cours d'eau se situent réellement.

3.3. LIENS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES DES COURS D'EAU ET LES TEMPÉRATURES ENREGISTRÉES

Les cours d'eau alimentant les refuges thermiques potentiels étudiés ont été caractérisés sur les mêmes placettes que celles ayant permis de déterminer l'environnement forestier. Dans le bassin versant du lac Long Numéro Un, la largeur moyenne des cours d'eau variait de 86,9 cm à 250 cm ([Tableau 6](#)), et la profondeur moyenne variait de 0 cm à 13,34 cm. Dans le bassin versant du lac Lunettes, la largeur moyenne des cours d'eau variait de 81,7 cm à 133,5 cm ([Tableau 6](#)) et la profondeur moyenne variait de 0,57 cm à 10,26 cm. Une profondeur de 0 cm signifiait que le lit du cours d'eau était visible, mais qu'aucun écoulement n'était répertorié. Une analyse de variance réalisée sur les caractéristiques des cours d'eau en fonction de la présence d'un refuge thermique n'a pas donné de résultat significatif.

En vue de confirmer si les caractéristiques des cours d'eau peuvent expliquer la présence ou l'absence d'un refuge thermique, plusieurs analyses ont été réalisées. Afin d'alléger le texte, l'ensemble des figures sur lesquelles s'appuie cette partie sont disponibles en annexes ([Annexes 6 et 7](#)). Ainsi, la largeur et la profondeur moyenne des cours d'eau en amont des refuges thermiques potentiels ont été mises en relation avec les températures moyennes annuelles et mensuelles de la zone de refuge thermique potentielle et les différences de température entre la zone témoin et la zone de refuge thermique potentielle à l'échelle annuelle et mensuelle. Quelles que soient les variables utilisées, il n'est pas possible d'identifier un quelconque effet de la largeur ou la profondeur du cours d'eau sur la présence d'un refuge thermique.

Tableau 6 – Largeur et profondeur moyennes des cours d’eau en amont des confluences étudiées pour les bassins versants des lacs long Numéro Un et Lunettes.

Bassin versant	Refuge thermique potentiel	Largeur moyenne du cours d’eau en amont du refuge thermique potentiel (cm)	Profondeur moyenne du cours d’eau en amont du refuge thermique potentiel (cm)
Lac Long Numéro Un	LL1	88,8 (25,9)	0,00 (0,00)
	LL2	136,7 (50,0)	0,44 (0,88)
	LL3	250,0 (0)	0,00 (0,00)
	LL4	130,0 (80,8)	1,00 (1,15)
	LL5	195,5 (95,4)	13,34 (19,00)
	LL6	86,9 (41,4)	6,34 (6,25)
	LLu1	102,9 (33,9)	0,57 (0,98)
	LLu2	129,0 (21,4)	2,95 (1,86)
	LLu3	110,0 (11,5)	10,00 (5,77)
	LLu4	81,7 (49,9)	9,33 (8,31)
Lac Lunettes	LLu5	133,5 (45,3)	10,26 (9,09)

Note : Les écarts-types sont mentionnés entre parenthèses. Les sites encadrés correspondent aux refuges thermiques identifiés dans l’étude.

4. DISCUSSION

4.1. IDENTIFICATION DES REFUGES THERMIQUES

L'utilisation de thermographe a permis l'identification de cinq refuges thermiques sur les onze sites étudiés. Les sites potentiels ont été identifiés à l'aide du GRHQ en répertoriant de manière systématique les confluences des cours d'eau et des plans d'eau. **La combinaison de ces deux procédés (thermographe et confluences) est donc efficace.** Des études précédentes ont utilisé une méthodologie similaire en rivières (Dugdale, Hannah, et Malcolm 2017; Wilbur et al. 2020; Gillis et al. 2020), mais très peu d'études se concentrent sur la recherche de refuges thermiques en lac. Peu d'études s'attardent à identifier des refuges thermiques en bord de lac, à la confluence des cours d'eau. En effet, il a été montré que l'omble de fontaine a tendance à fréquenter des eaux plus profondes en lac durant la saison estivale (Cote et al. 2020). Notre travail démontre que la méthodologie développée en rivière peut avantageusement être appliquée en lac.

Les deux bassins versants étudiés comportaient des caractéristiques topographiques et géomorphologiques différentes qui peuvent impliquer des cycles biologiques et physico-chimiques différents (Lacasse et Magnan 1992; Beauchamp, Christensen, et Smith 1992). Il est remarquable de constater que malgré ces différences, des refuges thermiques peuvent être identifiés dans les deux lacs étudiés.

Il est à noter que les thermographes permettent un monitoring précis de l'évolution dans le temps de la température de l'eau. Toutefois, ils ne permettent pas **de délimiter précisément les zones de refuges thermiques**, que ce soit en profondeur ou en superficie. Le panache d'eau froide pénétrant dans un plan d'eau est très probablement un phénomène hautement variable dans le temps et l'espace, et dépendant des conditions hydrologiques. De plus, au-delà de la température de l'eau, l'oxygénation de l'eau est une donnée importante pour la survie des salmonidés (Spoor 1990; Plumb et Blanchfield 2009). Il est attendu que les changements climatiques peuvent modifier la quantité d'oxygène dissous dans les plans d'eau et donc affecter la survie des poissons (Nkwilale et al. 2023; Trolle et al. 2011). Ainsi, il serait pertinent de compléter l'étude afin de suivre la concentration en oxygène dans les refuges thermiques. Par ailleurs, l'utilisation d'un drone muni d'une caméra thermique permettrait de circonscrire la superficie du refuge thermique identifié (Gillis et al. 2020; Mejia et al. 2023). Cependant, les résultats issus des caméras thermiques sont ponctuels. L'évaluation d'un refuge thermique par cette technologie devrait donc être réalisée à plusieurs reprises dans une année, à plusieurs moments d'une journée et dans des conditions météorologiques variées. De plus, il pourrait être profitable de vérifier si les refuges thermiques identifiés sont **fréquentés par l'omble de fontaine et l'omble chevalier** en réalisant soit des observations directes, soit des pêches expérimentales.

Plusieurs précautions sont à prendre pour assurer le succès de l'identification de refuges thermiques à l'aide de thermographes. Tout d'abord, il est essentiel que **l'installation des thermographes soit effectuée par des personnes ayant une bonne connaissance du plan d'eau ainsi qu'une expertise suffisante en hydrologie.** Cela permet de positionner adéquatement les thermographes dans les zones de mélange de l'eau entre cours d'eau et plan d'eau et qui constituent des zones de refuge thermiques potentiel. En 2023, ces problématiques ont été rencontrées sur le territoire de la ZEC Bas-Saint-Laurent. Il a donc été nécessaire de changer le bassin versant étudié, et de se concentrer sur le bassin versant du lac Lunettes. Ceci explique la prise de données en 2024 uniquement dans ce lac. De plus, il est important d'être **rigoureux dans la récolte des données**, puisque le travail amène à

manipuler un grand nombre de thermographes et à réaliser sur eux un grand nombre de manipulations.

L'évolution des températures de l'eau montre **l'importance capitale que les refuges thermiques peuvent avoir pour la survie du poisson**. En effet, une température de l'eau supérieure à 20°C peut avoir des conséquences sur la croissance ou la reproduction de l'omble de fontaine (Picard 1995). Des températures de l'eau supérieures à 27°C sont létales pour l'espèce (Jonsson et Jonsson 2009; Elliott 1994), et la survie des populations des salmonidés étudiés peut être problématique si ces températures sont régulièrement atteintes dans les plans d'eau. Dans notre étude, la température de l'eau est souvent comprise entre 20 °C et 27 °C, même dans les refuges thermiques identifiés. Toutefois, les refuges thermiques identifiés pourraient remplir leur fonction puisque ces températures sont moins fréquemment atteintes que dans les zones témoins.

La prise de données sur deux années successives au lac Long Numéro Un permet de **comparer deux années climatiques différentes**. En effet, 2023 a été une année pluvieuse avec des températures sous les normales climatiques alors que l'année 2024 a été plus chaude et plus sèche. De manière générale, il n'est pas observé que les températures de l'eau sont significativement plus élevées en 2024 qu'en 2023. Cependant, deux refuges thermiques sur trois (LL1 et LL5) présentent des températures de l'eau plus élevées en 2024 qu'en 2023 ; le troisième refuge thermique (LL4), quant à lui, présente des températures de l'eau plus faibles en 2024 qu'en 2023. Les refuges thermiques sont censés jouer un **rôle de survie pour les populations de poisson**. En effet, de telles températures de l'eau plus faibles peuvent réduire le stress thermique des individus et donc permettre aux organismes de croître adéquatement et de survivre (Mejia et al. 2023). Toutefois, ce comportement est dépendant des différents apports en eau fraîche dans les plans d'eau.

La méthodologie utilisée ici consistait à utiliser le GRHQ pour identifier des confluences des tributaires et des plans d'eau qui constituent donc des refuges thermiques potentiels. Toutefois, les observations de terrain et les informations du GRHQ peuvent parfois ne pas correspondre, comme cela est visible dans notre étude ([Figure 7](#)). **Les données de lit d'écoulement potentiel LIDAR pourraient être avantageusement utilisées en addition aux données issues du GRHQ**. De plus, ces lits d'écoulement pourraient aider quant à la détection d'éventuelles résurgences. **Les résurgences sont des zones importantes d'apport d'eau fraîche, d'origine souterraine, et qui peuvent résulter en refuges thermiques** (Torgersen et al. 2022; Sullivan et al. 2021). La connaissance de ces résurgences reste difficile et provient le plus souvent d'observations terrain aléatoires. La principale contrainte à l'utilisation des données issues du LIDAR est qu'il s'agit d'écoulement potentiel qui prédit la façon dont l'eau peut couler dans un bassin versant et non pas la présence réelle de cours d'eau (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts 2020). Ainsi, la validation terrain des informations données par les lits d'écoulement potentiel peut demander des ressources importantes.

L'effort d'identification des refuges thermiques au Bas-Saint-Laurent s'est développé ces dernières années. En effet, des refuges thermiques ont été identifiés le long du tronçon principal de la rivière Matapédia à l'aide de caméras infrarouges thermiques à haute résolution entre 2011 et 2013 (Gillis et al. 2020). Ceci a permis de mettre en place une procédure de conservation volontaire de ces refuges thermiques, en collaboration avec l'organisme de bassin versant Matapédia-Restigouche (OBVMR) et Gespe'gewa'gi Institute of Natural Understanding (GINU). De plus, en 2018, la caractérisation biologique des refuges thermiques de la rivière Ouelle a été réalisée grâce à l'organisme de bassin versant de Kamouraska, l'Islet, Rivière-du-Loup (OBAKIR) (Furois 2018). Ceci a permis de bonifier le plan

de conservation de la rivière Ouelle. Par ailleurs, plusieurs thermographes sont installés au Bas-Saint-Laurent depuis 2016 afin de suivre la température de l'eau de plusieurs rivières à saumon à travers le projet RivTemps (Daigle, St-Hilaire, et Boyer 2019). À proximité de la zone d'étude, des thermographes sont positionnés dans la rivière Rimouski, dont le lac Long Numéro Un est un lac de tête, ainsi que la rivière Mitis, dont le lac Lunettes est un lac de tête. **Il serait intéressant que des études complémentaires soient réalisées afin de comparer le comportement des refuges thermiques dans les lacs de tête et dans les rivières plus en aval (Mejia et al. 2023).**

4.2. INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT FORESTIER ET DES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES COURS D'EAU SUR LA PRÉSENCE DE REFUGES THERMIQUES

Il était attendu que l'étude permette d'identifier un lien entre les données dendrométriques (surface terrière, hauteur et DHP) sur la présence ou non d'un refuge thermique. En effet, l'ombrage est une variable importante sur la température de l'eau. Il a été montré que **plus les bandes riveraines sont denses avec des arbres hauts, plus les cours d'eau sont susceptibles d'être rafraîchis** (Baker et Bonar 2019). **Les arbres résineux seraient plus souvent associés avec des températures de l'eau plus faibles** (Dugdale et al. 2018). Par ailleurs, il semblerait que la composition et la structure de la bande riveraine aient un effet aussi important sur la température de l'eau que la largeur de la bande riveraine (DeWalle 2010). Les bords des cours d'eau dans les bassins versants étudiés étaient densément boisés avec des essences résineuses principalement (thuya occidental et sapin baumier).

Dans notre étude, une mesure directe de l'ombrage n'a pas été réalisée. Les données forestières utilisées étaient plutôt résumées en considérant l'ensemble des placettes situées en amont d'un refuge thermique. Il pourrait être pertinent de **considérer directement l'ombrage du cours d'eau** (mesurée en intensité lumineuse), puisqu'il a été montré que l'ombrage, mesuré par la quantité de rayons diffus sur les cours d'eau, est intimement corrélé aux variations de température des cours d'eau (Rutherford et al. 1997). De plus, la distance parcourue par un cours d'eau en sous-étage avant de se rendre dans le plan d'eau pourrait être utilisée.

La largeur et la profondeur des cours d'eau sont également des données qui peuvent expliquer la température de l'eau puisque ces variables ont un effet sur le débit des cours d'eau (Dugdale, Hannah, et Malcolm 2017). En effet, il a été montré qu'au-delà de 2 m de largeur, un cours d'eau ne peut plus bénéficier de l'ombrage de sa bande riveraine (Rutherford et al. 1997). De plus, les petits cours d'eau peu profonds sont plus sensibles aux variations de température dans la journée (Rutherford et al. 2004). L'absence de relation entre ces caractéristiques morphologiques des cours d'eau et la température peut s'expliquer de plusieurs manières. Tout d'abord, les cours d'eau étaient relativement étroits, souvent inférieurs à 2 m, ce qui pourrait empêcher de détecter un effet de la largeur de cours d'eau. De la même manière, la profondeur de cours d'eau dans l'étude était relativement faible, empêchant la détection d'un tel effet.

La présente étude n'a pas permis d'identifier un effet des interventions sylvicoles sur la présence des refuges thermiques. La principale raison à cela est que les bassins versants étudiés ne présentaient pas de coupes forestières d'importante superficie sur les dix dernières années. Par la mise à nu et le réchauffement du sol, on sait que les coupes forestières peuvent avoir un effet sur la température de l'eau des cours d'eau (Tremblay et al. 2009) et des plans d'eau (Steedman, Kushneriuk, et France 2001), mais également sur le régime hydrique (Tremblay 2007). Le législateur a pris en compte cette donnée dans le règlement sur l'aménagement durable des forêts (RADF) et impose le maintien d'une bande

riveraine de 20 m minimum le long des cours d'eau (article 27 du RADF). Cette bande est élargie à 60 m pour les rivières à saumon reconnues (article 55 du RADF).

Au Bas-Saint-Laurent, l'aire équivalente de coupe (AÉC) est un indicateur utilisé afin de diminuer les perturbations sur le régime hydrique d'un bassin versant. Cet indicateur prend en compte l'effet résiduel des coupes antérieures. Ainsi, l'AÉC représente la surface cumulative du bassin versant qui a été récoltée ou déboisée naturellement de diverses façons au cours des années, exprimée en fonction d'une superficie fraîchement coupée au cours de la dernière année par une coupe avec protection de la régénération et des sols (Langevin et Plamondon 2004). Les connaissances actuelles indiquent que l'augmentation du débit de pointe a un effet négligeable sur l'habitat du poisson si les coupes forestières couvrent moins de 50 % de la superficie du bassin versant (Tremblay 2007). En conséquence, la planification forestière réalisée au Bas-Saint-Laurent s'assure de ne pas dépasser le seuil de 50 % à l'échelle des blocs de gestion intégrée (BGI)⁴ pour 90 % des BGI des unités d'aménagement de la région (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts 2023). Bien que ces modalités visent d'abord à limiter les impacts de l'exploitation forestière sur le débit des cours d'eau, elles pourraient avoir un effet sur la température de l'eau. La présente étude aurait pu apporter une validation indirecte de la pertinence de cet indicateur.

Afin d'identifier formellement l'effet de l'exploitation forestière sur les dynamiques des refuges thermiques, il est suggéré de **réaliser une étude sur un bassin versant avant puis après une coupe forestière**. Ainsi, il serait possible d'analyser les effets de cette coupe sur la même série de refuges potentiels, avec le même positionnement des thermographes, permettant d'identifier plus clairement dans quelle mesure les effets d'une coupe se manifestent sur la température de l'eau.

Que ce soit pour l'environnement forestier, l'exploitation forestière ou les caractéristiques morphologiques du cours d'eau, nos résultats ne permettent pas de conclure quant à un effet de ces variables sur la présence ou l'absence d'un refuge thermique. Cependant, l'absence de relation significative n'exclut pas que ces effets puissent exister. En effet, avec un total de 11 sites de refuge potentiel étudiés, il est difficile de porter des conclusions solides statistiquement. Par ailleurs, l'intensité des écarts de température au sein d'un refuge donné varie largement entre son cœur et sa périphérie. L'installation des thermographes ne permettait de délimiter les refuges thermiques. Ainsi, il est probable que le positionnement des thermographes ait pu influencer de manière significative les écarts de température mesurés pour un refuge donné, réduisant ainsi la possibilité d'identifier l'influence de la surface terrière entre les différents refuges. De plus, la composition forestière de ces bassins versants est similaire, avec une prédominance d'essences résineuses. Pour remédier à cette limite, il est suggéré d'examiner un plus grand nombre de bassins versants présentant des conditions forestières variées. Si des bassins versants devaient compléter l'étude, il est recommandé de considérer les caractéristiques suivantes : (i) date de la dernière exploitation forestière; (ii) diversité dans la composition en essence; (iii) superficie variée en AÉC.

⁴ Un bloc de gestion intégrée est une unité territoriale regroupant des sous-bassins versants. Les BGI, d'une superficie moyenne d'environ 50 km², constituent une échelle qui respecte les préoccupations fauniques, forestières (planification) et environnementales.

5. CONCLUSIONS

Rappel des principaux résultats

- Cinq refuges thermiques ont été identifiés sur 11 sites investigués.
- Ces refuges thermiques montraient des écarts de température compris entre 1,3 °C et 6,1°C entre les mois de juin et août.
- La température de l'eau présente un caractère cyclique d'une journée à l'autre dans les sites témoins et les sites de refuges thermiques potentiels.
- La température de l'eau des sites témoins dépassait le seuil de 27 °C plus souvent que les sites de refuges thermiques identifiés.
- La présence ou l'absence d'un refuge thermique n'a pas pu être mise en relation avec l'environnement forestier ou les interventions sylvicoles.
- La présence ou l'absence d'un refuge thermique n'a pas pu être mise en relation avec les caractéristiques des cours d'eau.

L'étude réalisée a permis l'identification de cinq refuges thermiques sur les 11 sites explorés, avec des écarts de température qui pouvaient atteindre 6.1 °C dans les mois d'été. Les travaux réalisés ont mis en évidence que l'analyse cartographique minutieuse, la connaissance des plans d'eau et l'installation des thermographes aux endroits les plus pertinents sont des prérequis fondamentaux au succès d'une identification de refuges thermiques. Par ailleurs, des variations importantes de températures ont été enregistrées, de manière journalière et saisonnière. À de nombreuses occasions, la température de l'eau dépassait 20 °C, voire 27 °C, ce qui soulève des enjeux quant à la viabilité de l'habitat de l'omble de fontaine et de l'omble chevalier. Ces résultats renforcent la pertinence de l'étude de la température de l'eau dans les lacs et les rivières. En effet, les changements climatiques accentuent les problématiques liées à la température de l'eau et à la survie des salmonidés.

Cette étude montre également l'importance de poursuivre les efforts visant à comprendre les facteurs influençant les refuges thermiques. L'environnement forestier constitue une variable clé à prendre en compte dans l'analyse de la dynamique des refuges thermiques. Une meilleure compréhension de l'effet des interventions forestières sur la température de l'eau permettra d'affiner les stratégies de protection de l'habitat des salmonidés.

6. RECOMMANDATIONS

RECOMMANDATION 1 : Poursuivre les efforts d'identification de refuges thermiques dans les bassins versants.

Il est recommandé d'étudier un plus grand nombre de bassins versants. Cela permettrait d'enrichir le jeu de données afin de mieux cerner l'influence des différents facteurs tout en améliorant la connaissance du territoire et en identifiant les refuges thermiques. Il serait également pertinent de combiner différentes méthodes de détection des refuges thermiques telles que l'utilisation de thermographes et de drones équipés de caméra thermique. Ceci permettrait de délimiter spatialement et temporellement les refuges thermiques. L'exploitation des lits d'écoulement potentiel LIDAR permettrait également d'identifier certaines zones de refuges thermiques potentiels qui ne seraient pas identifiables en utilisant le GRHQ. Cette approche combinée permettrait de circonscrire plus précisément l'emplacement des refuges thermiques. De plus, il est recommandé d'élargir l'étude à l'ensemble des bassins versants dans leur entier, plutôt que de se limiter aux lacs de tête des rivières.

RECOMMANDATION 2 : S'assurer d'étudier un nombre suffisant de refuges thermiques potentiels.

L'étude n'a pas permis de mettre en évidence un effet de l'environnement forestier ou des caractéristiques physiques des cours d'eau sur la présence de refuges thermiques. Cette limitation s'explique par un nombre insuffisant de données pour tirer des conclusions statistiques significatives compte tenu de la complexité des facteurs impliqués. Des corrélations pourraient être mises en évidence en augmentant le nombre de refuges thermiques potentiels étudiés. Cette recommandation est en synergie avec la recommandation précédente.

RECOMMANDATION 3 : Caractériser complètement les refuges thermiques en délimitant précisément la zone de refuge, étudiant les caractéristiques physico-chimiques des refuges thermiques et la fréquentation par le poisson des refuges thermiques.

Il est important non seulement de mieux localiser et délimiter l'étendue des refuges thermiques, mais aussi de s'assurer que le taux d'oxygénation de l'eau y soit supérieur afin d'offrir un habitat optimal pour les poissons. De plus, il est nécessaire de vérifier si ces refuges sont effectivement fréquentés par l'omble de fontaine et l'omble chevalier afin d'en confirmer leur fonctionnalité.

RECOMMANDATION 4 : Effectuer des suivis à long terme des refuges thermiques.

L'étude a été réalisée sur une année dans un bassin versant et sur deux années dans l'autre. Pour mieux comprendre le fonctionnement des refuges thermiques, il est nécessaire de mesurer la température de l'eau sur plusieurs années. Cela permettrait d'étudier l'effet d'années spécifiques, telles que celles marquées par des événements climatiques extrêmes ou des interventions forestières, sur les refuges thermiques.

RECOMMANDATION 5 : Suivre la température de l'eau lors d'une intervention forestière.

Plusieurs modalités sont mises en œuvre pour protéger les cours d'eau. Toutefois, elles concernent principalement les problématiques de sédimentation ou de débit des cours d'eau. L'impact des interventions forestières sur la dynamique des refuges thermiques demeure mal compris. Considérant la multitude de facteurs influençant la dynamique de la température de l'eau, il serait pertinent d'évaluer l'impact d'une intervention forestière sur

la qualité d'un refuge thermique en mesurant les écarts de température avant, pendant et après l'intervention. Une telle étude permettrait également de déterminer si des mesures de protection spécifiques aux refuges thermiques doivent être élaborées.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Baker, J.P., and Bonar, S.A. 2019. Using a Mechanistic Model to Develop Management Strategies to Cool Apache Trout Streams under the Threat of Climate Change. *North American Journal of Fisheries Management* **39**(5): 849–867. <https://doi.org/10.1002/nafm.10337> .
- Beaupré, J., St-Hilaire, A., Daigle, A., Boyer, C., and Bergeron, N. 2017. Normes et procédures pour la collecte de données de température de l’eau en continu dans les cours d’eau. INRS, Centre Eau Terre Environnement. Available from <https://espace.inrs.ca/id/eprint/6538/1/R001730.pdf> [accessed 5 February 2025].
- Cote, D., Tibble, B., Curry, R.A., Peake, S., Adams, B.K., Clarke, K.D., and Perry, R. 2020. Seasonal and diel patterns in activity and habitat use by brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in a small Newfoundland lake. *Environ Biol Fish* **103**(1): 31–47. <https://doi.org/10.1007/s10641-019-00931-1>.
- Daigle, A., St-Hilaire, A., and Boyer, C. 2019. A Standardized Characterization of Northern Rivers Thermal Regimes from Uneven Time Series Lengths. **2019**: H21B-04W.
- DeWalle, D.R. 2010. Modeling Stream Shade: Riparian Buffer Height and Density as Important as Buffer Width. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* **46**(2): 323–333. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00423.x>.
- Dugdale, S.J. 2014. Analyse de la variabilité spatio-temporelle des refuges thermiques à l’échelle du paysage lotique: Importance pour les populations de saumon atlantique (*Salmo salar*). Institut National de la Recherche Scientifique (Canada). Available from <https://search.proquest.com/openview/1f91e04160908751e24e738e8d2bad53/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y> [accessed 2 February 2024].
- Dugdale, S.J., Hannah, D.M., and Malcolm, I.A. 2017. River temperature modelling: A review of process-based approaches and future directions. *Earth-Science Reviews* **175**: 97–113. doi:[10.1016/j.earscirev.2017.10.009](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.009).
- Dugdale, S.J., Malcolm, I.A., Kantola, K., and Hannah, D.M. 2018. Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. *Science of The Total Environment* **610–611**: 1375–1389. doi:[10.1016/j.scitotenv.2017.08.198](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.198).
- Elliott, J.M. 1994. Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press. Available from <https://academic.oup.com/book/53245> [accessed 2 February 2024].
- Furois, V. 2018. Suivi biologique des refuges thermiques du bassin versant de la rivière Ouelle. Organisme de bassins versants de Kamouraska, L’Islet et Rivière-du-Loup (OBAKIR). 47 p.
- Gillis, C.-A., Delisle-Gagnon, V., Gosselin, P., Chalifour, M., and Gosselin, M. 2020. Conservation volontaire, délimitation et caractérisation des bassins versants de refuges thermiques. Rapport Technique, Gespe’gewaq Mi’gmaq Resource Council. 37p.
- Hitt, N.P., Snook, E.L., and Massie, D.L. 2017. Brook trout use of thermal refugia and foraging habitat influenced by brown trout. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **74**(3): 406–418. NRC Research Press. doi:[10.1139/cjfas-2016-0255](https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0255).

- Hudy, M., Thieling, T.M., Gillespie, N., and Smith, E.P. 2008. Distribution, Status, and Land Use Characteristics of Subwatersheds within the Native Range of Brook Trout in the Eastern United States. *North American Journal of Fisheries Management* **28**(4): 1069–1085. Taylor & Francis. doi:[10.1577/M07-017.1](https://doi.org/10.1577/M07-017.1).
- Jonsson, B., and Jonsson, N. 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology* **75**(10): 2381–2447. doi:[10.1111/j.1095-8649.2009.02380.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02380.x).
- Lacasse, S., and Magnan, P. 1992. Biotic and Abiotic Determinants of the Diet of Brook Trout, *Salvelinus fontinalis*, in Lakes of the Laurentian Shield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **49**(5): 1001–1009. NRC Research Press. doi:[10.1139/f92-112](https://doi.org/10.1139/f92-112).
- Lamontagne, L., and Ménard, A. 2024. Refuges thermiques pour l’omble de fontaine dans le bassin de la petite rivière Eusèbe - Étude d’avant-projet. Rapport présenté à la Fondation de la faune du Québec et au ministère de l’Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, CÉGEP de St-Félicien, Québec. 48 p.
- Langevin, R., Plamondon, A.P., Québec (Province), and Direction de l’environnement forestier. 2004. Méthode de calcul de l’aire équivalente de coupe d’un bassin versant en relation avec le débit de pointe des cours d’eau dans la forêt à dominance résineuse. Ressources naturelles, Faune et Parcs, Québec, Québec.
- Mejia, F.H., Ouellet, V., Briggs, M.A., Carlson, S.M., Casas-Mulet, R., Chapman, M., Collins, M.J., Dugdale, S.J., Ebersole, J.L., Frechette, D.M., Fullerton, A.H., Gillis, C.-A., Johnson, Z.C., Kelleher, C., Kurylyk, B.L., Lave, R., Letcher, B.H., Myrvold, K.M., Nadeau, T.-L., Neville, H., Piégay, H., Smith, K.A., Tonolla, D., and Torgersen, C.E. 2023. Closing the gap between science and management of cold-water refuges in rivers and streams. *Global Change Biology* **29**(19): 5482–5508. doi:[10.1111/gcb.16844](https://doi.org/10.1111/gcb.16844).
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts. 2020. Lit d’écoulement potentiel issu du LiDAR - Données Québec. Available from <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/lits-d-ecoulements-potentiels-issus-du-lidar> [accessed 5 February 2025].
- Ministère des Ressources naturelles des Forêts. 2023. Plan d’aménagement forestier intégré tactique 2023-2028. Région du Bas-Saint-Laurent, Unité d’aménagement 012-72. *In* Gouvernement du Québec.
- MPO. 2012. Enquête sur la pêche récréative au Canada 2010. Pêche et Océans Canada, Analyses économiques et statistiques, Politiques stratégiques et Gestion des ressources, Gestion des écosystèmes et des pêches. ISBN 978-0-660-29279-3. Ottawa, 14 pages + annexes.
- MPO. 2019. Enquête sur la pêche récréative au Canada 2015. Pêche et Océans Canada. ISBN 978-1-100-54196-9, DFO/2012-1804. Ottawa, 13 pages + annexes.
- Nkwalale, L., Schwefel, R., Yaghouti, M., and Rinke, K. 2023. A simple model for predicting oxygen depletion in lakes under climate change. *Inland Waters* **13**(4): 576–595. Taylor & Francis. doi:[10.1080/20442041.2024.2306113](https://doi.org/10.1080/20442041.2024.2306113).
- Pershyn, C.E. 2018. Brook Trout *Salvelinus fontinalis* Distribution, Genetic Diversity, and Habitat Use in an Adirondack River System, New York. PhD Thesis, State University of New York College of Environmental Science and Forestry. Available from

<https://search.proquest.com/openview/56b6b2b184bedf0c1f6d6994ec687e13/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y> [accessed 2 February 2024].

- Picard, C.R. 1995. Factors that predict brook trout distribution, thermal habitat, and abundance in Northwestern Ontario streams. Thesis. Available from <https://knowledgecommons.lakeheadu.ca/handle/2453/2151> [accessed 5 February 2025].
- Plumb, J.M., and Blanchfield, P.J. 2009. Performance of temperature and dissolved oxygen criteria to predict habitat use by lake trout (*Salvelinus namaycush*) This paper is part of the series "Forty Years of Aquatic Research at the Experimental Lakes Area". Can. J. Fish. Aquat. Sci. **66**(11): 2011–2023. NRC Research Press. doi:[10.1139/F09-129](https://doi.org/10.1139/F09-129).
- Rutherford, J.C., Blackett, S., Blackett, C., Saito, L., and Davies-Colley, R.J. 1997. Predicting the effects of shade on water temperature in small streams. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research **31**(5): 707–721. Taylor & Francis. doi:[10.1080/00288330.1997.9516801](https://doi.org/10.1080/00288330.1997.9516801).
- Rutherford, J.C., Marsh, N.A., Davies, P.M., and Bunn, S.E. 2004. Effects of patchy shade on stream water temperature: how quickly do small streams heat and cool? Mar. Freshwater Res. **55**(8): 737–748. CSIRO PUBLISHING. doi:[10.1071/MF04120](https://doi.org/10.1071/MF04120).
- Spoor, W.A. 1990. Distribution of fingerling brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill), in dissolved oxygen concentration gradients. Journal of Fish Biology **36**(3): 363–373. doi:[10.1111/j.1095-8649.1990.tb05616.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb05616.x).
- Stednick, J.D. (Editor). 2008. Hydrological and Biological Responses to Forest Practices. Springer New York, New York, NY. doi:[10.1007/978-0-387-69036-0](https://doi.org/10.1007/978-0-387-69036-0).
- Steedman, R.J., Kushneriuk, R.S., and France, R.L. 2001. Littoral water temperature response to experimental shoreline logging around small boreal forest lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **58**(8): 1638–1647. NRC Research Press. doi:[10.1139/f01-103](https://doi.org/10.1139/f01-103).
- Sullivan, C.J., Vokoun, J.C., Helton, A.M., Briggs, M.A., and Kurylyk, B.L. 2021. An ecohydrological typology for thermal refuges in streams and rivers. Ecohydrology **14**(5): e2295. doi:[10.1002/eco.2295](https://doi.org/10.1002/eco.2295).
- Torgersen, C.E., Le Pichon, C., Fullerton, A.H., Dugdale, S.J., Duda, J.J., Giovannini, F., Tales, É., Belliard, J., Branco, P., Bergeron, N.E., Roy, M.L., Tonolla, D., Lamouroux, N., Capra, H., and Baxter, C.V. 2022. Riverscape approaches in practice: perspectives and applications. Biological Reviews **97**(2): 481–504. doi:[10.1111/brv.12810](https://doi.org/10.1111/brv.12810).
- Tremblay, Y. 2007. Effets de la récolte forestière sur 50% de la superficie de petits bassins versants sur les débits de pointe et la qualité de l'eau, forêt montmorency, Québec - ProQuest. Available from <https://www.proquest.com/openview/4c9ec11eea59bbf8a500e7d350676f1a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y> [accessed 5 February 2025].
- Tremblay, Y., Rousseau, A.N., Plamondon, A.P., Lévesque, D., and Prévost, M. 2009. Changes in stream water quality due to logging of the boreal forest in the Montmorency Forest, Québec. Hydrological Processes **23**(5): 764–776. doi:[10.1002/hyp.7175](https://doi.org/10.1002/hyp.7175).
- Trolle, D., Hamilton, D.P., Pilditch, C.A., Duggan, I.C., and Jeppesen, E. 2011. Predicting the effects of climate change on trophic status of three morphologically varying lakes: Implications for lake

restoration and management. *Environmental Modelling & Software* **26**(4): 354–370.
doi:[10.1016/j.envsoft.2010.08.009](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.08.009).

Wilbur, N.M., O’Sullivan, A.M., MacQuarrie, K.T.B., Linnansaari, T., and Curry, R.A. 2020.
Characterizing physical habitat preferences and thermal refuge occupancy of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) at high river temperatures. *River Research and Applications* **36**(5): 769–783. doi:[10.1002/rra.3570](https://doi.org/10.1002/rra.3570).

8. ANNEXES

Annexe 1 : Galerie photographique des lacs étudiés

Annexe 2 : Protocole d'installation des thermographes

Annexe 3 : Relations entre les données de températures et la surface terrière

Annexe 4 : Relations entre les données de températures et le DHP des arbres

Annexe 5 : Relations entre les données de températures et la hauteur des arbres

Annexe 6 : Relations entre les données de températures et la largeur des cours d'eau

Annexe 7 : Relations entre les données de températures et la profondeur des cours d'eau

Annexe 1 : Galerie photographique des lacs étudiés



Installation des thermographes dans les tubes de PVC troués



L'emplacement des thermographes est identifié par un ruban sur la végétation environnante ou directement sur un poteau installé dans l'eau (Gauche : lac Long Numéro Un, Droite : lac Lunettes)



Exemple de végétation en bordure de lac à la sortie d'un cours d'eau (Gauche : lac Long Numéro Un, Droite : Lac Lunettes)



Bord de lac constitué de bois mort au Lac Long Numéro Un



Bord de lac constitué de végétation abondante au lac Lunettes

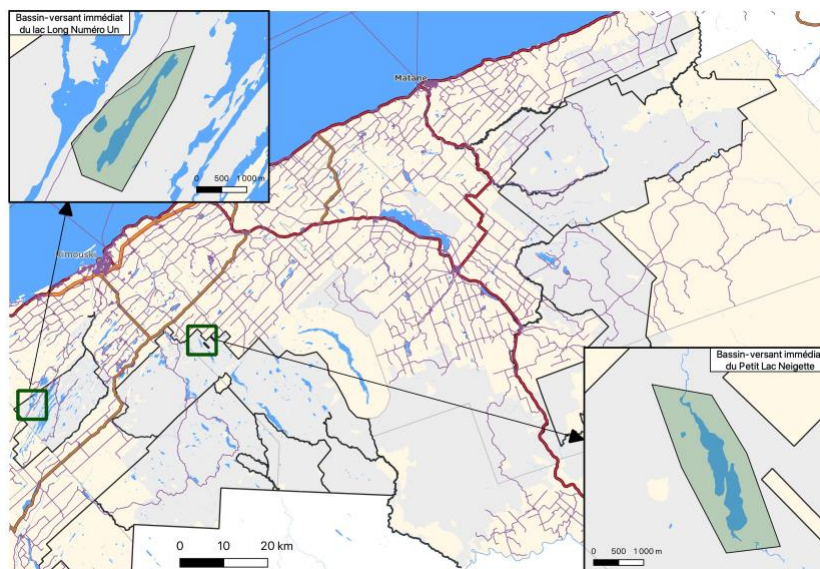


Aperçu des peuplements forestiers entourant les plans d'eau : thuya occidental au lac Long Numéro Un (gauche) et sapin baumier au lac Lunettes (droite)

Annexe 2 : Protocole d'installation des thermographes

Le protocole d'installation des thermographes est fortement inspiré des « Normes et procédures pour la collecte de données de température de l'eau en continu dans les cours d'eau ».

Bassins versants visés :

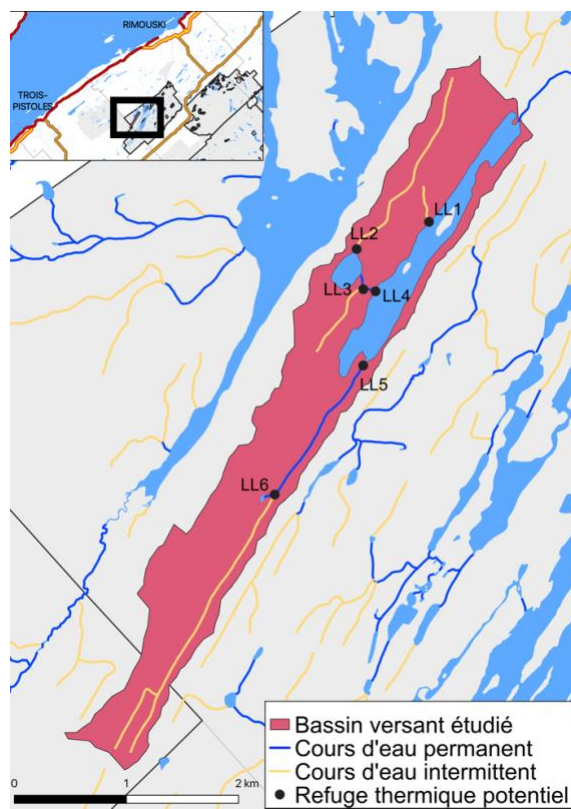


Carte générale de la zone d'étude

Deux bassins-versants au Bas-Saint-Laurent sont visés dans deux territoires fauniques structurés (TFS). Un premier lac sera situé sur le territoire de l'aire protégée de la réserve faunique Duchénier, où aucune coupe forestière n'a été effectuée. Un deuxième lac sera situé sur la ZEC Bas-Saint-Laurent, où l'historique du peuplement sera reporté.

Lac long Numéro Un :

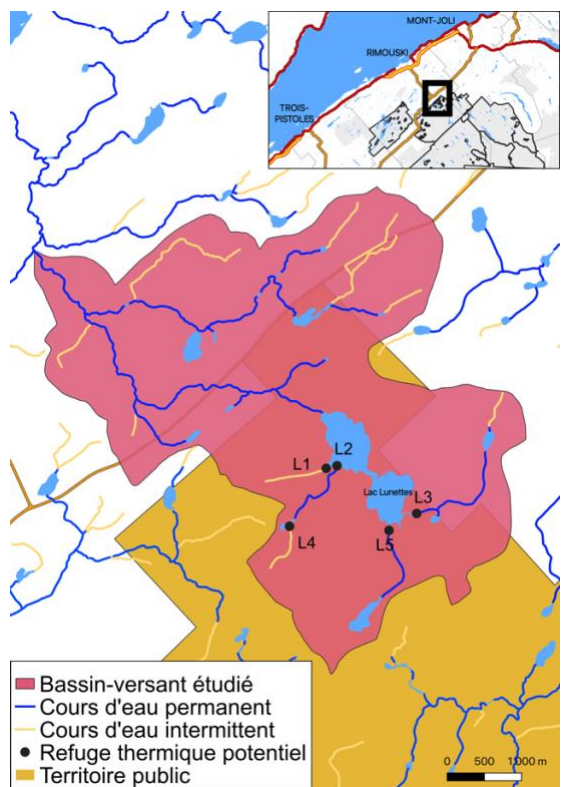
Six refuges thermiques sont à prospecter dans le bassin versant. De ces refuges potentiels, quatre concernent des refuges rivière/lac (RL), et deux correspondent à des refuges rivière/rievière (RR). Le sens d'écoulement se fait du sud vers le nord.



Emplacement des refuges thermiques potentiels au lac long N°2

Lac Lunettes :

Cinq refuges thermiques sont à prospecter dans le bassin versant et concernent des refuges rivière/lac (RL). Le sens d'écoulement se fait du sud vers le nord.



Emplacement des refuges thermiques potentiels au lac Lunettes

Choix des thermographes

Les thermographes utilisés sont des thermographes HOBO MX2203 TidbiT. Les caractéristiques de ces thermographes sont :

- Données téléchargeables via Bluetooth
- Mémoire de 98 000 mesures. À raison d'une mesure par heure, cela correspond à plus de 4000 jours de mesure.
- Étanche jusqu'à 120 m
- Batterie remplaçable par l'utilisateur
- Précision de 0,2 °C

Test des thermographes

Test de fonctionnement des thermographes avant mise à l'eau.

- 1- Préparer un bain d'eau dans un contenant assez grand (ex. une glacière), mettre le contenant dans une pièce à environ 20 °C, quatre heures avant d'y mettre les thermographes, pour lui donner le temps d'atteindre cette température.
- 2- Préparer un bain moitié eau, moitié glace dans un contenant assez grand (ex. une glacière) une ou deux heures avant d'y mettre les thermographes, pour lui donner le temps d'atteindre une température d'environ 0°C.
- 3- Programmer les thermographes en différé à une fréquence d'une mesure par dix minutes pour qu'ils commencent à prendre les mesures une fois qu'ils seront dans le premier bain.
- 4- Lorsque le premier bain est prêt (après quatre heures), bien mélanger l'eau, insérer les thermographes dans l'eau, noter l'heure.
- 5- Laisser une heure aux thermographes pour s'adapter, laisser enregistrer trois à cinq mesures et prendre simultanément, le plus près de l'heure d'enregistrement des thermographes, des mesures manuelles avec un thermomètre certifié par l'Institut National des Standards et Technologies (NIST).
- 6- Répéter les étapes 3 à 5 dans le deuxième bain.

Les mesures des thermographes sont ensuite lues et la moyenne des mesures sera comparée à la moyenne des mesures du thermomètre NIST et la valeur absolue de la différence devrait être équivalente ou inférieure à la valeur absolue de la précision de l'instrument (donnée par le fournisseur). Si le thermographe échoue le test de précision, il doit être soumis à un deuxième test. S'il échoue de nouveau, ce thermographe ne devrait pas être déployé sur le terrain et devrait plutôt être renvoyé au fournisseur.

Position des thermographes :

Indications générales

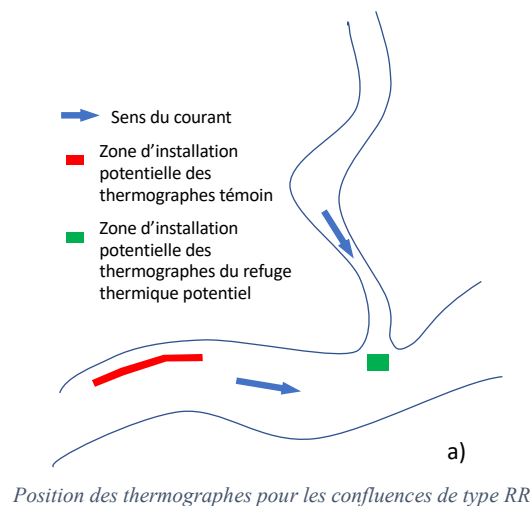
L'emplacement des thermographes varie selon que l'on se trouve dans une confluence RR ou RL. Certains éléments sont toutefois communs à l'ensemble des types de confluence.

- Éviter les zones où l'eau est stagnante le long des rives
- Éviter les zones profondes qui peuvent empêcher d'accéder au thermographe lors de niveau d'eau élevé
- Éviter les zones propices à l'installation de barrage de castors
- Favoriser les endroits où le thermographe peut rester submergé en tout temps, même pendant les périodes d'étiage
- Localiser précisément les sites d'installation à l'aide d'un GPS et le numéro du thermographe installé à chaque site

- Mesurer (ou estimer) la distance entre le thermographe et la berge
- Installer des rubans fluorescents sur la berge pour repérer le site d'installation
- Prendre des photos du site d'installation et de l'installation
- Noter tout renseignement pertinent pouvant faciliter le retour sur le site
- Vérifier les conditions hydrologiques (débit et précipitations) durant les 24H avant le déploiement prévu afin d'assurer la sécurité des installateurs.

Confluence RR

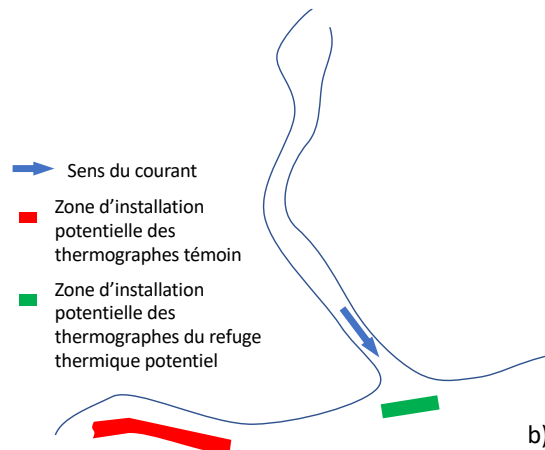
Dans le cas d'une confluence RR, deux thermographes sont installés. Le premier est situé dans le cœur supposé du refuge thermique potentiel. Il est installé à une distance équivalant à 0,5 fois la largeur du cours d'eau tributaire de l'embouchure du tributaire. Selon les observations faites sur le terrain au moment de l'installation du thermographe et selon le courant, le thermographe sera installé dans une zone englobant le milieu de la largeur du tributaire et la rive aval du tributaire. Le second thermographe est situé dans le cours d'eau. Il est installé en amont du refuge thermique potentiel, à au moins deux fois la largeur du cours d'eau principal à l'endroit de la confluence, et au milieu du cours d'eau.



Position des thermographes pour les confluences de type RR

Confluence RL

Dans le cas d'une confluence de type RL, deux thermographes sont installés. Le premier thermographe sera installé à une distance équivalant à 0,5 fois la largeur du cours d'eau tributaire de l'embouchure du tributaire. Selon les observations faites sur le terrain au moment de l'installation du thermographe et selon le courant, le thermographe sera installé dans une zone englobant le milieu de la largeur du tributaire et la rive du lac, de manière à prendre en compte le sens du courant du tributaire.

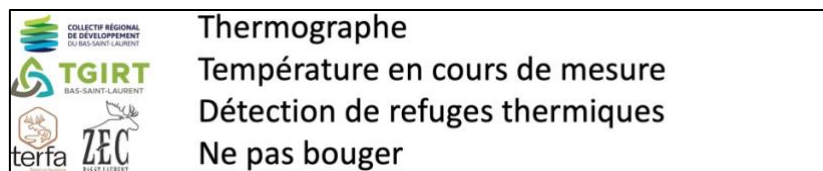


Position des thermographes pour les confluences de type RL

Préparation des thermographes

La première étape est de sélectionner avec soin l'heure et la date du lancement des thermographes. De même, les options de mesure doivent être déterminés et fixés avant installation. Le test de fonctionnement doit aussi avoir été réalisé. Il est nécessaire de s'assurer que la durée de vie de la batterie est suffisante pour l'opération envisagée.

Le thermographe est placé dans un tube de PVC blanc perforé. Le tube est assez long et large pour que le thermographe y soit inséré entièrement. Il est important que le tube soit blanc afin d'éviter les phénomènes de surchauffe causés par les radiations solaires. Les perforations permettent une bonne circulation de l'eau autour du thermographe. Un collier serre-câble de type tie-wrap est utilisé pour attacher le thermographe au tube de PVC. Une étiquette est également attachée au tie-wrap. Enfin, le numéro du thermographe est indiqué directement sur le PVC à l'aide d'un feutre de type Sharpie.



Exemple d'étiquette à attacher aux thermographes

Installation des thermographes

Dans tous les cas, il faut prévoir de l'affichage pour informer les utilisateurs de la présence de thermographes.

Lit meuble

Cette méthode doit être privilégiée à toute autre méthode. Cette installation nécessite l'utilisation de tiges d'acier de deux pieds de longueur munies d'un œillet et de diamètre minimum de 1/4 po. L'œillet permet de fixer facilement le thermographe sur la tige. La mise en place de la tige dans le lit se fait à l'aide d'une masse ou d'un enfonce-pieux manuel. La tige est ainsi enfoncée jusqu'à laisser dépasser l'œillet. L'objectif est que le thermographe soit situé à 15 cm au-dessus du lit de la rivière. Le tube de PVC est ensuite attaché à l'œillet à l'aide d'un tie-wrap de grande dimension, ou une corde résistante ou un fil électrique gainé de taille 14/2.

Du ruban fluorescent devrait également être ajouté à la tige pour faciliter le repérage de l'installation et des instruments au moment de la récupération.

Après chaque installation, il est important de vérifier la solidité de l'ensemble.

Lit rocheux

Si une tige d'acier ne peut pas être enfoncée dans le lit, il peut être nécessaire d'utiliser des blocs de béton de forme pyramidale. Le tube de PVC est alors fixé solidement au bloc de béton à l'aide d'un tie-wrap de grande dimension, ou une corde résistante ou un fil électrique gainé de taille 14/2. Du ruban fluorescent devrait également être ajouté à la tige pour faciliter le repérage de l'installation et des instruments au moment de la récupération. Le bloc de béton doit être partiellement recouvert avec des sédiments du lit pour qu'il ne soit pas trop visible. L'objectif est que le thermographe soit situé à 15 cm au-dessus du lit de la rivière. Il faut toutefois que le thermographe ne soit pas recouvert.

Après chaque installation, il est important de vérifier la solidité de l'ensemble.

Bord de lac

En bord de lac, une profondeur supérieure à 50 cm est trop importante pour que les thermographes soient positionnés dans le fond du lac. En conséquence, il pourrait être nécessaire d'attacher les thermographes sur la berge. Dans ces cas-là, il faut s'assurer que la paire de thermographe (contrôle et refuge) soit située à la même profondeur, idéalement à la moitié de la profondeur du bord du lac.

Méthode générique

Une technique utilisant des sacs en cordage ou toiles de jute pourrait être utilisée. Les sacs sont amenés au lieu d'installation du thermographe puis sont ensuite remplis soit de roches, soit de sédiments. Les sacs sont ensuite attachés aux thermographes. Des bouées rudimentaires (bidons vides) peuvent être utilisés.

Données de terrain

À l'endroit d'installation des thermographes, il est essentiel de prendre certaines données de repérage et d'identification. Ces données sont :

- Date
- Noms des opérateurs
- Localisation : nom du lac et du bassin versant, coordonnées GPS, schéma et photos du site
- Type de substrat d'installation du thermographe
- Conditions météorologiques
- Identifiant du thermographe
- Heure d'installation du thermographe
- Indications les plus précises possibles sur la position du thermographe
- Profondeur d'installation du thermographe
- Position dans le lit du thermographe
- Tout point de repère pertinent
- Toute information pertinente pouvant avoir un effet sur la position du thermographe et les mesures.

Contrôle de l'installation

L'installation des thermographes est visée pour la mi-juin.

Il est demandé qu'une visite de contrôle de tous les thermographes soit effectuée un mois après leur installation, soit à la mi-juillet. À cette occasion, un premier téléchargement de données est réalisé.

À la fin du mois d'août, une deuxième visite de contrôle est effectuée et un deuxième téléchargement des données est réalisé.

Durant le mois d'octobre, les thermographes sont enlevés de leur site et les données téléchargées une troisième fois.

Lors des visites de contrôle, il est important de noter tout changement dans l'installation. Pour cela, une copie des feuilles de terrain consignant l'installation des thermographes doit être amenée. Si un thermographe était introuvable, en conséquence de vandalisme ou d'écoulement fort, un remplacement est nécessaire. Il faudrait assurer un meilleur ancrage ou une meilleure dissimulation de l'installation.

Retrait des thermographes

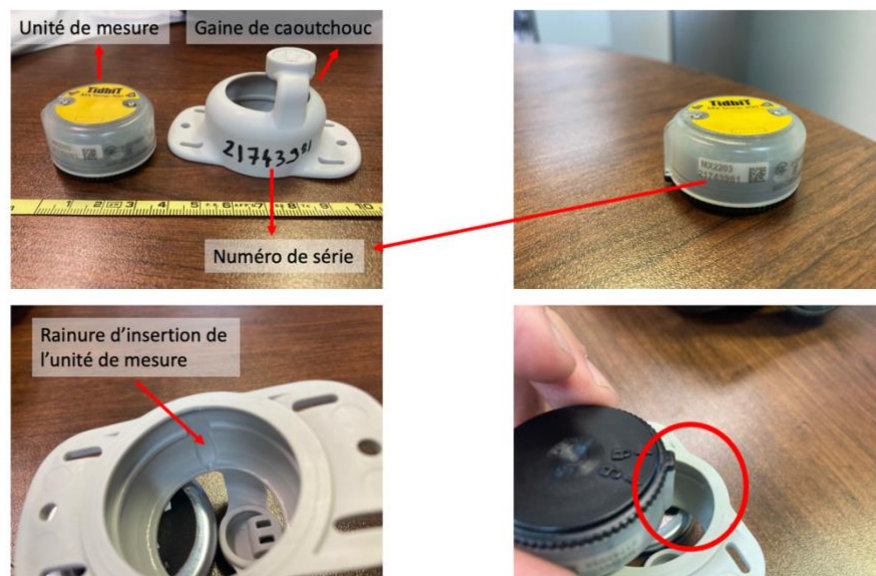
Une prise de notes lors du retrait des thermographes est nécessaire. Pour cela, il faut amener une copie des feuilles de terrain consignant l'installation des thermographes ainsi que les feuilles remplies lors des contrôles, si nécessaire. Les données sont téléchargées avant de procéder au retrait du thermographe. L'heure de retrait des thermographes doit être notée.

Après téléchargement des données, un test des thermographes doit être réalisé de nouveau.

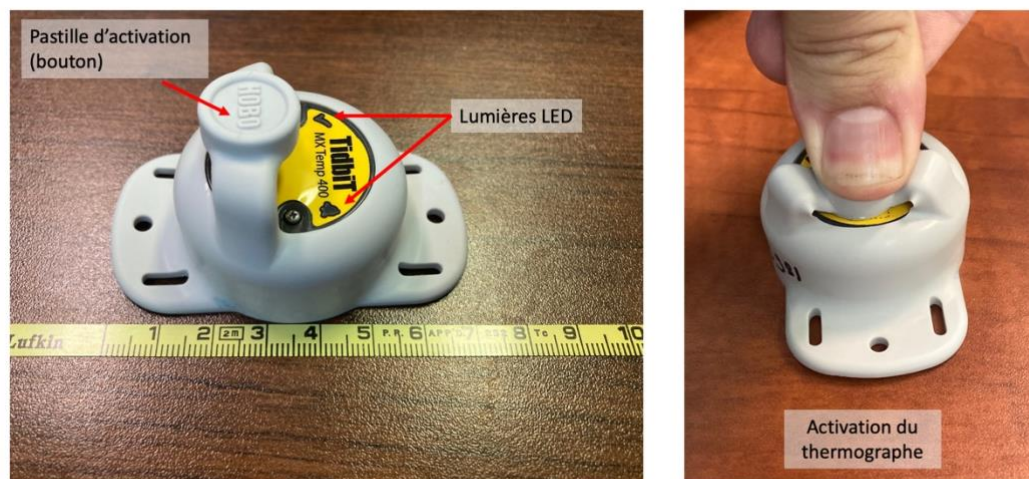
Une fois ces étapes réalisées, le matériel de terrain doit être nettoyés selon le protocole du fournisseur.

Configuration des thermographes

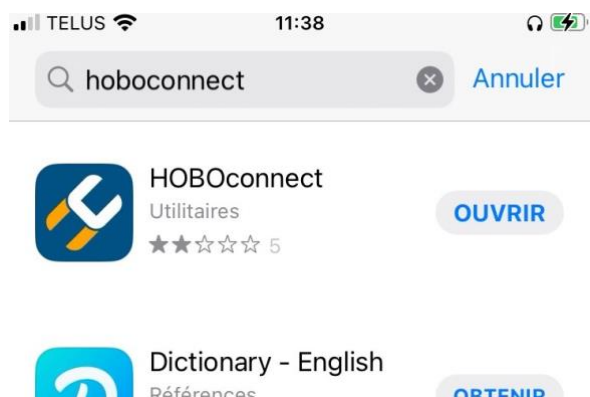
Le thermographe est composé d'une gaine en caoutchouc ainsi que de l'unité de mesure. Le numéro de série de chaque thermographe est annoté sur la gaine en caoutchouc. Ce numéro de série est également disponible sur l'unité de mesure.



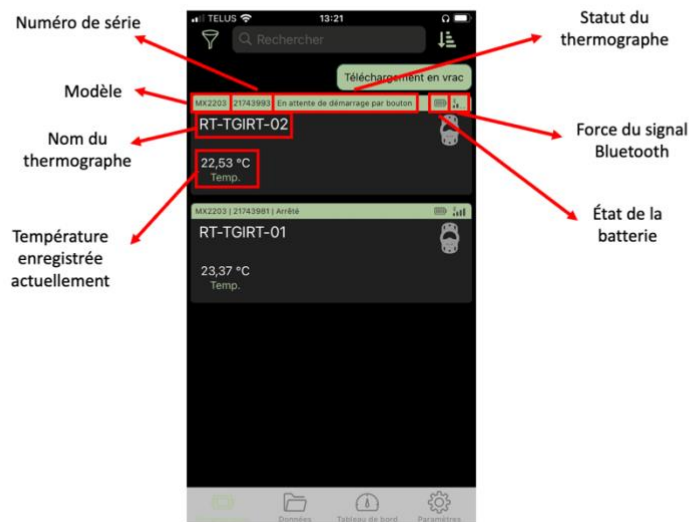
Afin d'activer la batterie du thermographe, il est nécessaire d'appuyer sur la pastille du dessus et en faisant contact avec l'unité de mesure. Les lumières LED vont s'allumer brièvement signalant l'allumage de l'unité de mesure.



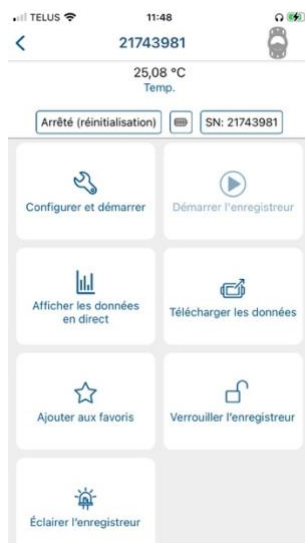
Avant de commencer les enregistrements du thermographe, il est nécessaire d'installer une application sur un appareil mobile (cellulaire ou tablette). Cette application est nommée HOBOconnect. De plus, il est recommandé de créer un compte sur le site internet HoboLink qui peut favoriser la gestion des données à télécharger.



Après l'installation, la page d'accueil de l'application ressemble à ceci. Dans la partie haute, l'ensemble des thermographes enregistrés par l'application sont disponibles. Lorsqu'un thermographe est détecté via Bluetooth par l'appareil mobile, celui-ci est automatiquement visible dans cette liste. Chaque encart est identifié par défaut par son nom. La dernière température enregistrée par le thermographe est également affichée.



En cliquant sur le thermographe choisi, l'écran propose 7 options. Les principales options sont : « Configurer et démarrer », « Démarrer l'enregistreur », « Afficher les données en direct » et « Télécharger les données ». L'option « démarrer l'enregistreur » est non disponible par défaut, car une configuration doit être faite. Cette option devient « Arrêter l'enregistrement » lorsque l'enregistrement est en cours.



Lorsque l'on clique sur « configurer et démarrer », plusieurs modifications sont disponibles. De plus, un bouton démarrer est également disponible et correspond à une validation de la configuration.

TELUS 11:48

Configurer et démarrer

Nom et groupe de l'enregistreur

Nom
21743981

Groupe
Aucun

Paramètres de l'enregistreur

Intervalle d'enregistrement
1 minute 0 deuxième

Capacité d'enregistrement
~68,3 jours

Démarrer l'enregistrement
Lors de l'enregistrement

Arrêter l'enregistrement
Arrêter à la saturation de la mémoire

Options de mise en pause

Mode d'enregistrement
Mode d'enregistrement fixe

Démarrer

- Nom. Par défaut, le nom est le numéro de série. Il est proposé de les re-numéroter de la manière suivante : RT_TGIRT_01, RT_TGIRT_02, etc.
- Groupe. Par défaut, cette section est vide. Il est proposé de nommer si ces thermographes iront dans la ZEC BSL ou la RF Duchénier, et donc d'utiliser les deux dénominations suivantes : « ZECBSL » et « TERFA ».
- Intervalle d'enregistrement. Par défaut, la valeur est positionnée à un intervalle de 1 min. La capacité d'enregistrement qui prend en compte à la fois la capacité de stockage et l'autonomie de la batterie est ajustée automatiquement. Pour un intervalle de 1 min, cela correspond à des mesures sur 68,3 jours. Il est proposé de fixer l'intervalle d'enregistrement à 5 min, ce qui donne une autonomie de stockage de plus de 400 jours.
- Démarrer l'enregistrement. L'option par défaut est de démarrer lors de l'enregistrement. Cela signifie que l'enregistrement démarre lorsque la configuration est terminée, en cliquant sur le bouton démarrer. Il est proposé de démarrer l'enregistrement à la pression sur le bouton. Pour cela, il faut s'assurer que l'unité de mesure est bien insérée dans la gaine de caoutchouc.

Unité de mesure
mal positionnée



Unité de mesure
bien positionnée



Une fois l'unité de mesure bien insérée, l'enregistrement à la pression du bouton se fait en appuyant sur la pastille du dessus et en faisant contact avec l'unité de mesure.



- Arrêter l'enregistrement. Par défaut, cela est fixé à la saturation de la mémoire. Il est proposé de ne pas changer cette option.
- Option de mise en pause. Ne rien changer.
- Mode d'enregistrement. Ne rien changer.
- Mode économies d'énergie. Par défaut, le Bluetooth est toujours activé. Il est proposé de cocher plutôt Bluetooth désactivé dès détection d'eau pour économiser de la batterie.
- Affichage LED. Ne rien changer.
- Télécharger les données via Hoboconnect. Ne rien changer.
- Nm du capteur/canal. Ne rien changer
- Alarmes et paramètres d'alarme. Ne rien changer.

Il est possible de changer la batterie, si elle est épuisée. Pour cela, il faut enlever l'unité de mesure de la gaine. Sur le dessous de l'unité de mesure, des pictogrammes en forme de cadenas permettent d'ouvrir l'unité de mesure. La batterie à l'intérieur doit être positionnée avec la partie la plus large vers le haut, c'est-à-dire avec le côté + vers le haut.



Unité de mesure
verrouillée



Unité de mesure
déverrouillée

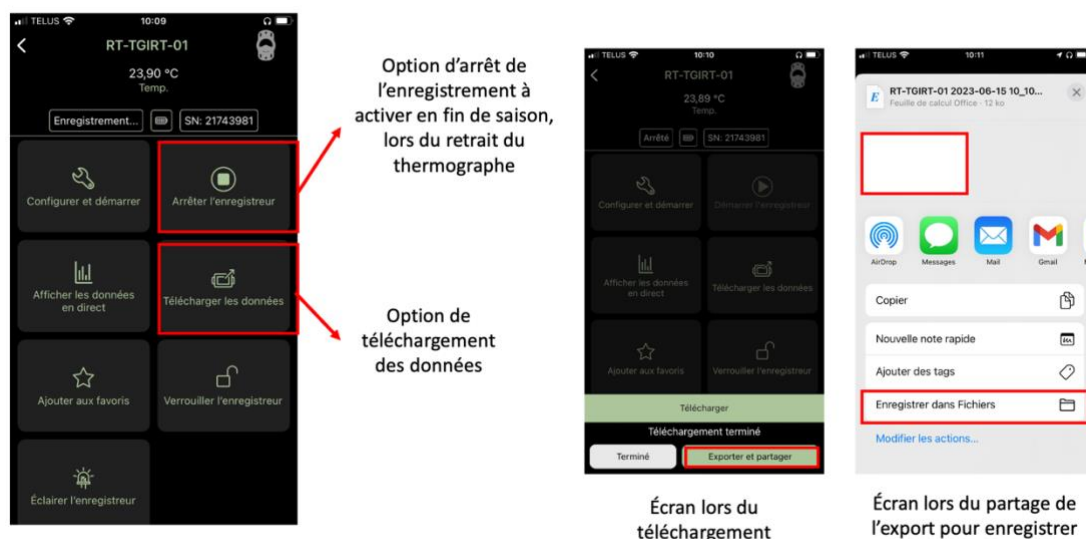


Positionnement de
la batterie

Téléchargement des données

Il est essentiel que les thermographes soient retirés de l'eau pour le téléchargement des données avec la configuration sélectionnée.

Sur l'écran d'accueil, la liste des thermographes à portée du Bluetooth est disponible. Cliquer sur le thermographe dont on veut télécharger les données. Puis attendre que l'application se connecte au thermographe. **Lors des relevés en cours de saison, il est important de ne pas arrêter l'enregistrement.** Si cela était fait par erreur, il faudrait reconfigurer le thermographe à l'aide de l'application. Il est possible de télécharger les données sans arrêter l'enregistrement. Pour cela, il suffit de cliquer sur le bouton de téléchargement. Il est recommandé, après l'enregistrement, de cliquer sur le bouton « exporter et partager », puis d'enregistrer dans le fichier de son choix. Cela facilite le transfert ultérieur des fichiers de l'appareil mobile à l'ordinateur.



Annexe 3 : Relations entre les données de températures et la surface terrière

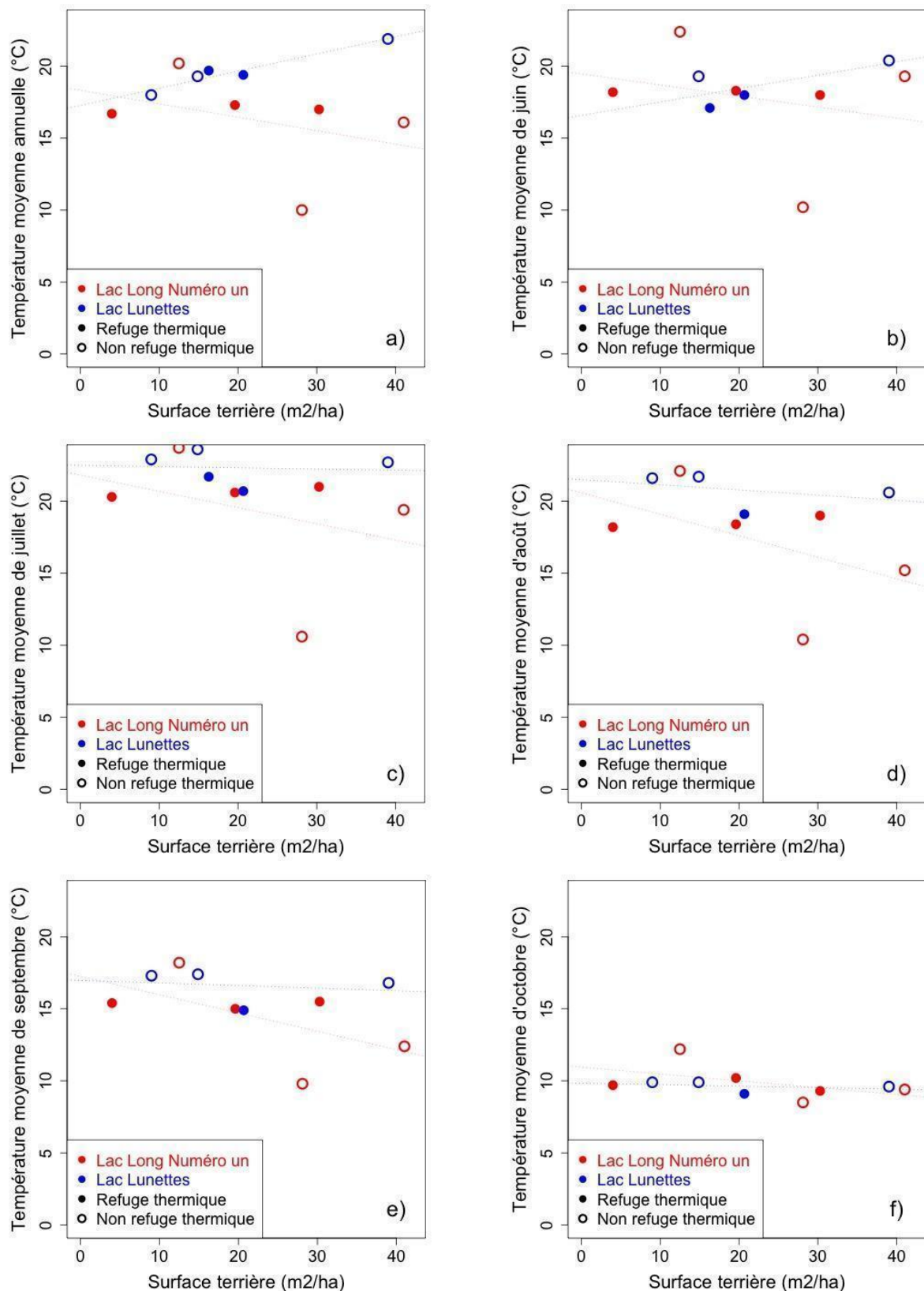


Figure A3.1 – Relations entre la surface terrière **totale** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

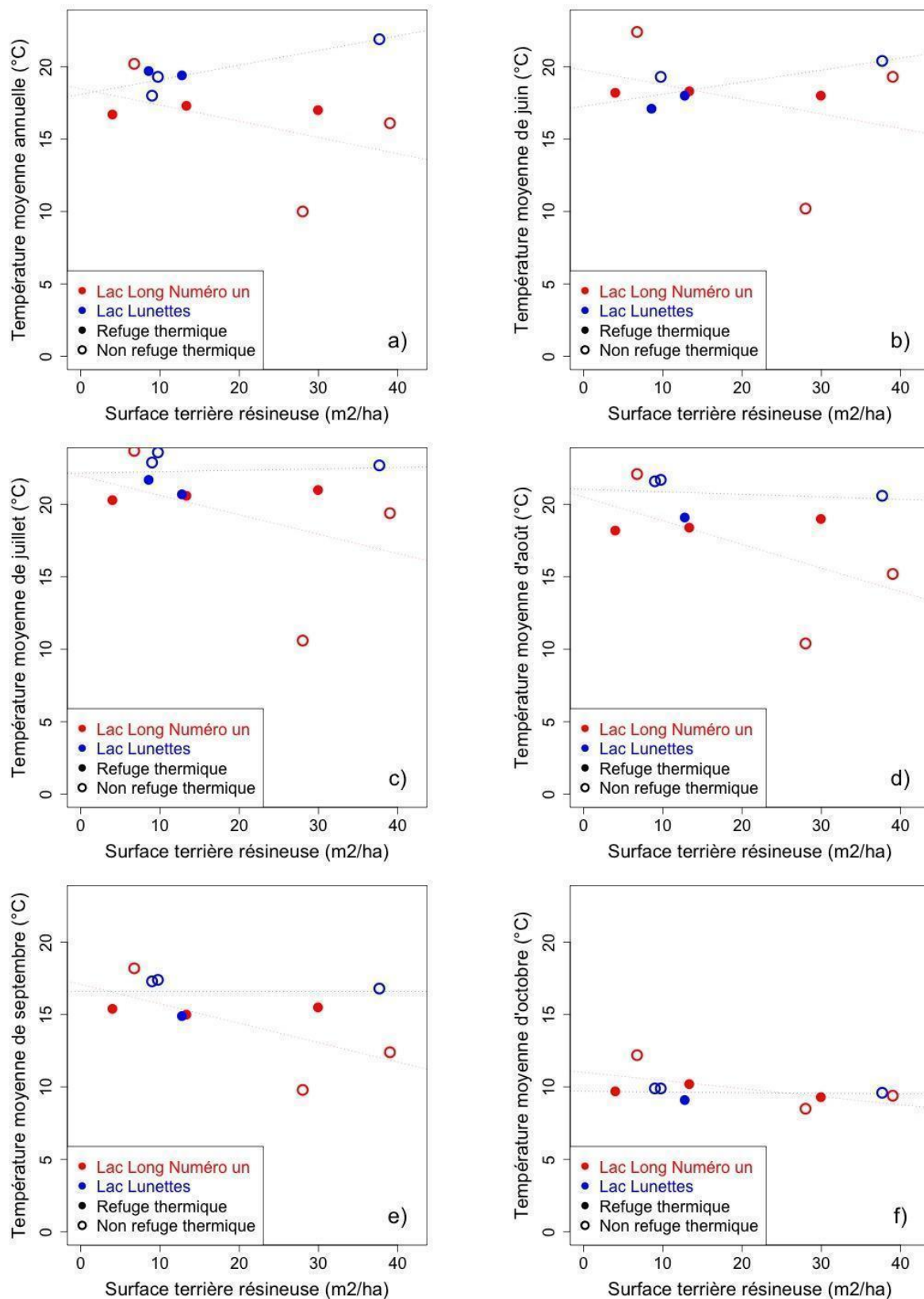


Figure A3.2 — Relations entre la surface terrière résineuse du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

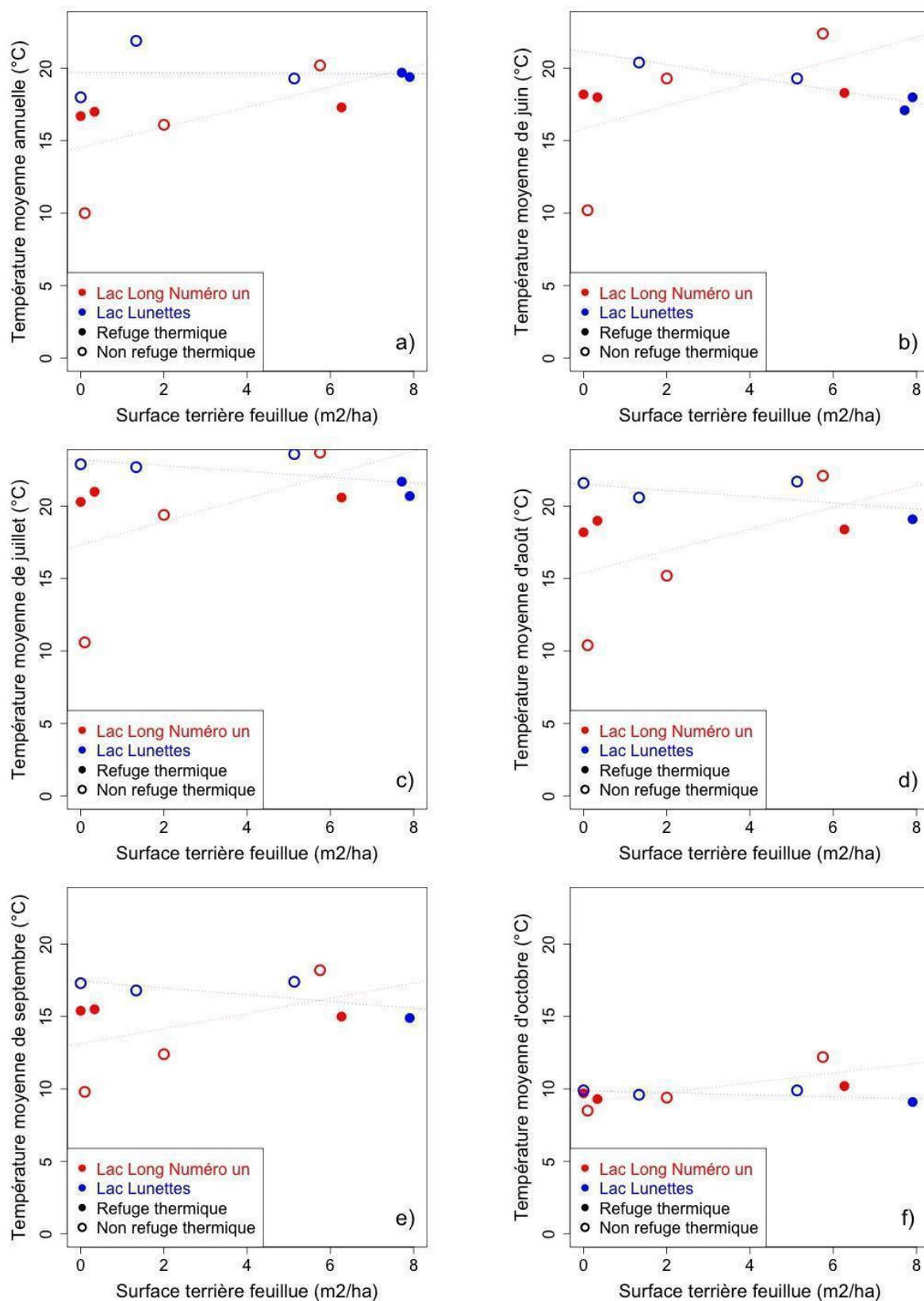


Figure A3.3 – Relations entre la surface terrière feuillue du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

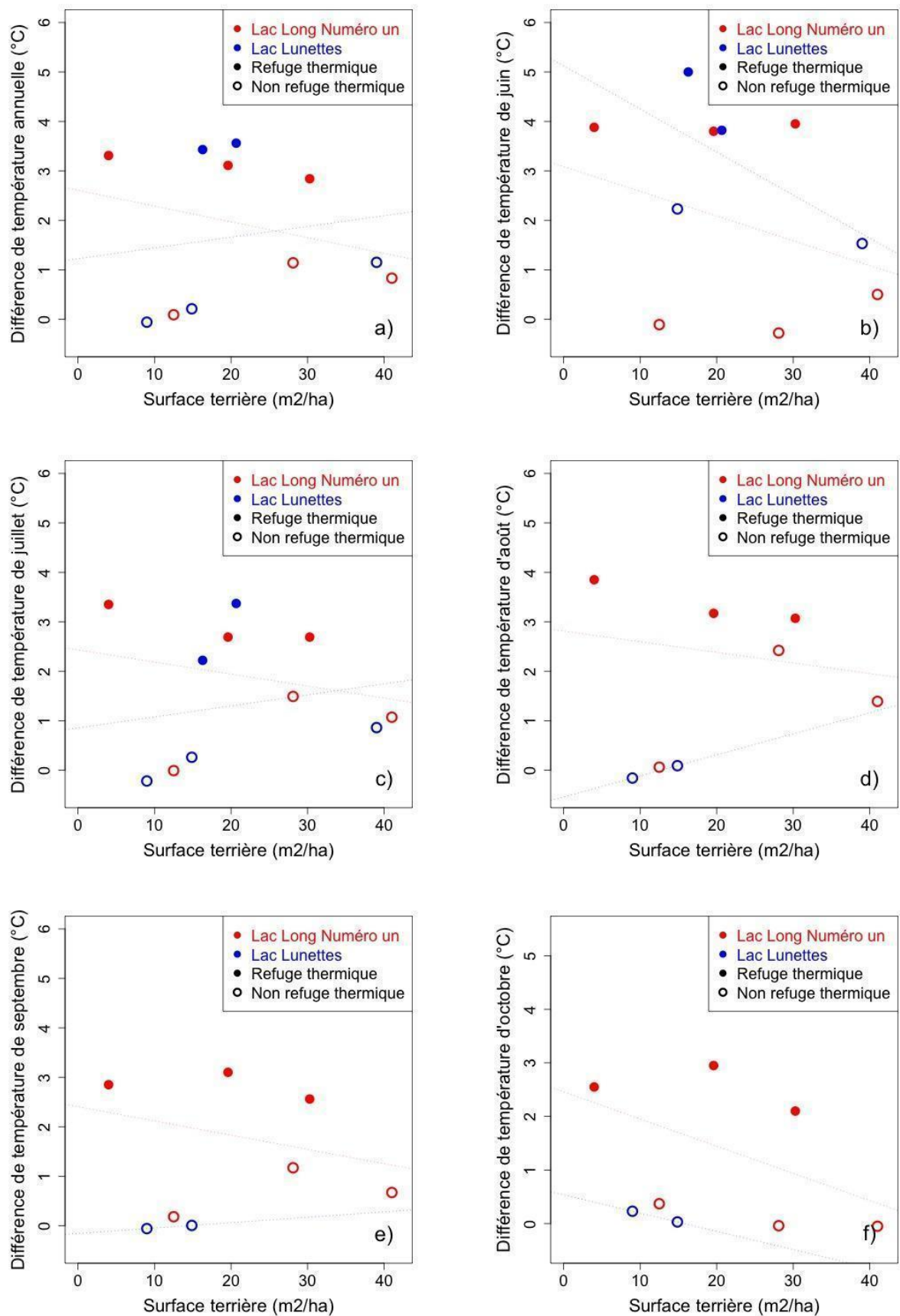


Figure A3.4 – Relations entre la surface terrière **totale** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la différence de température entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

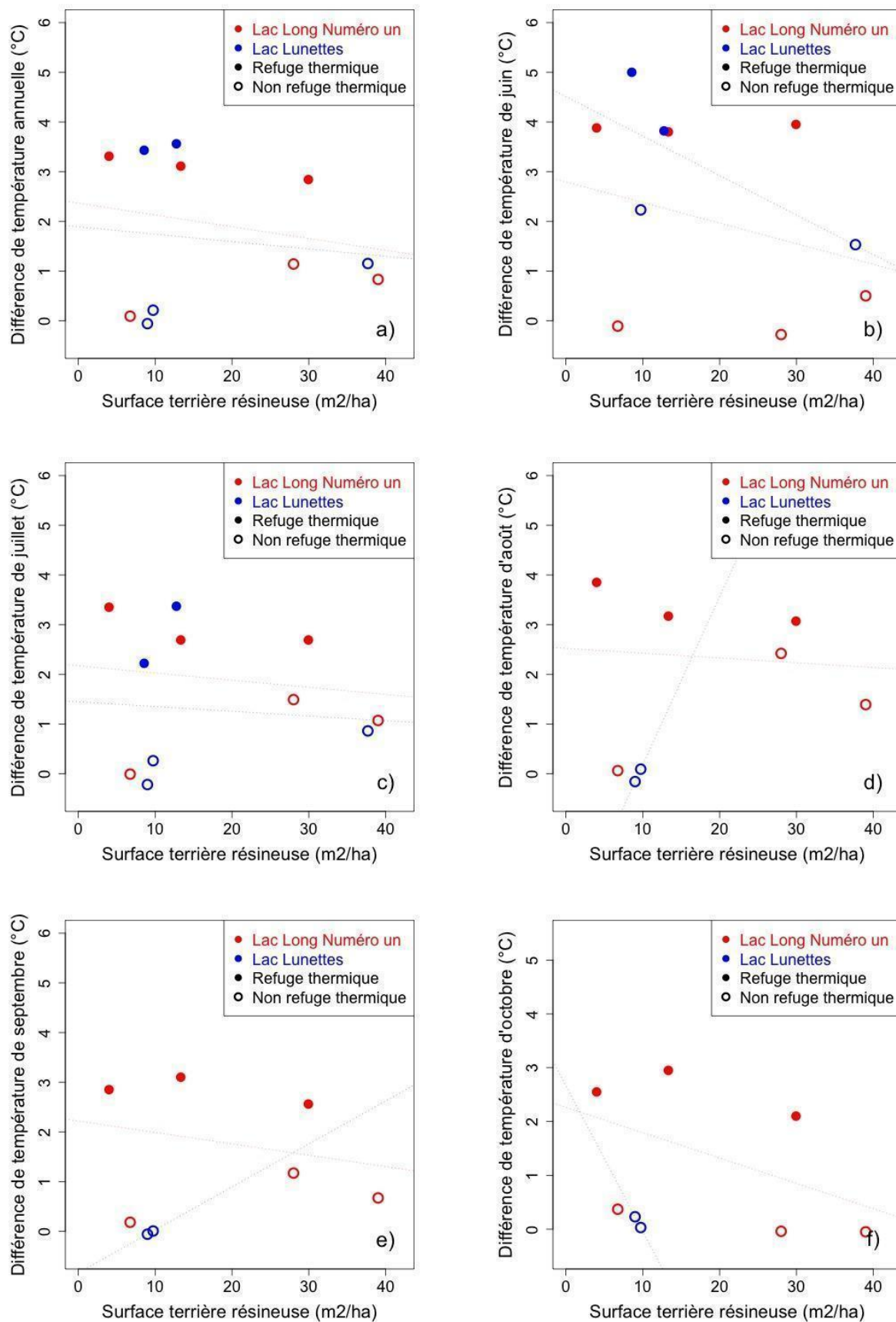


Figure A3.5 – Relations entre la surface terrière **résineuse** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la différence de température entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

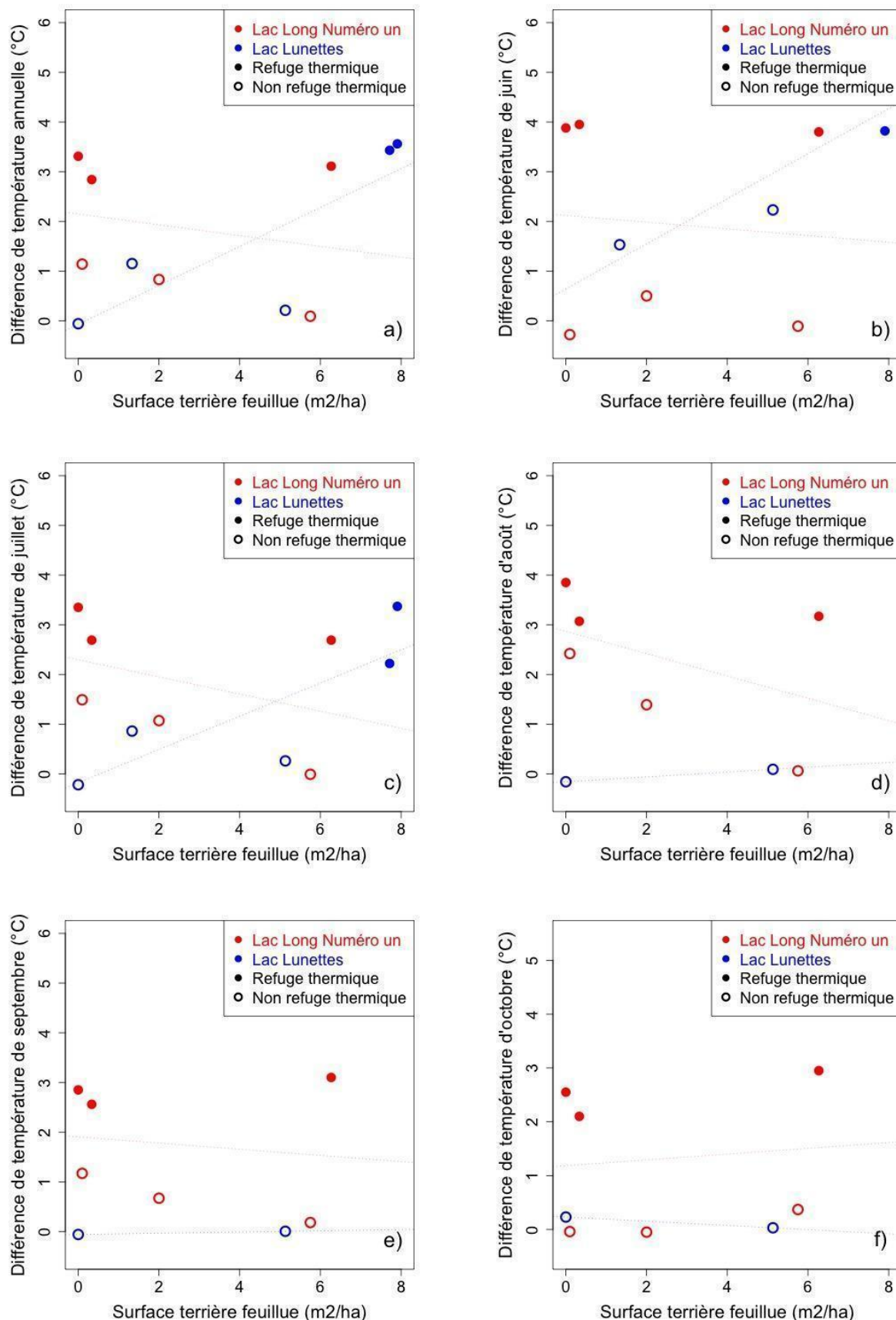


Figure A3.6 – Relations entre la surface terrière **feuillue** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la différence de température entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

Annexe 4 : Relations entre les données de températures et le DHP des arbres

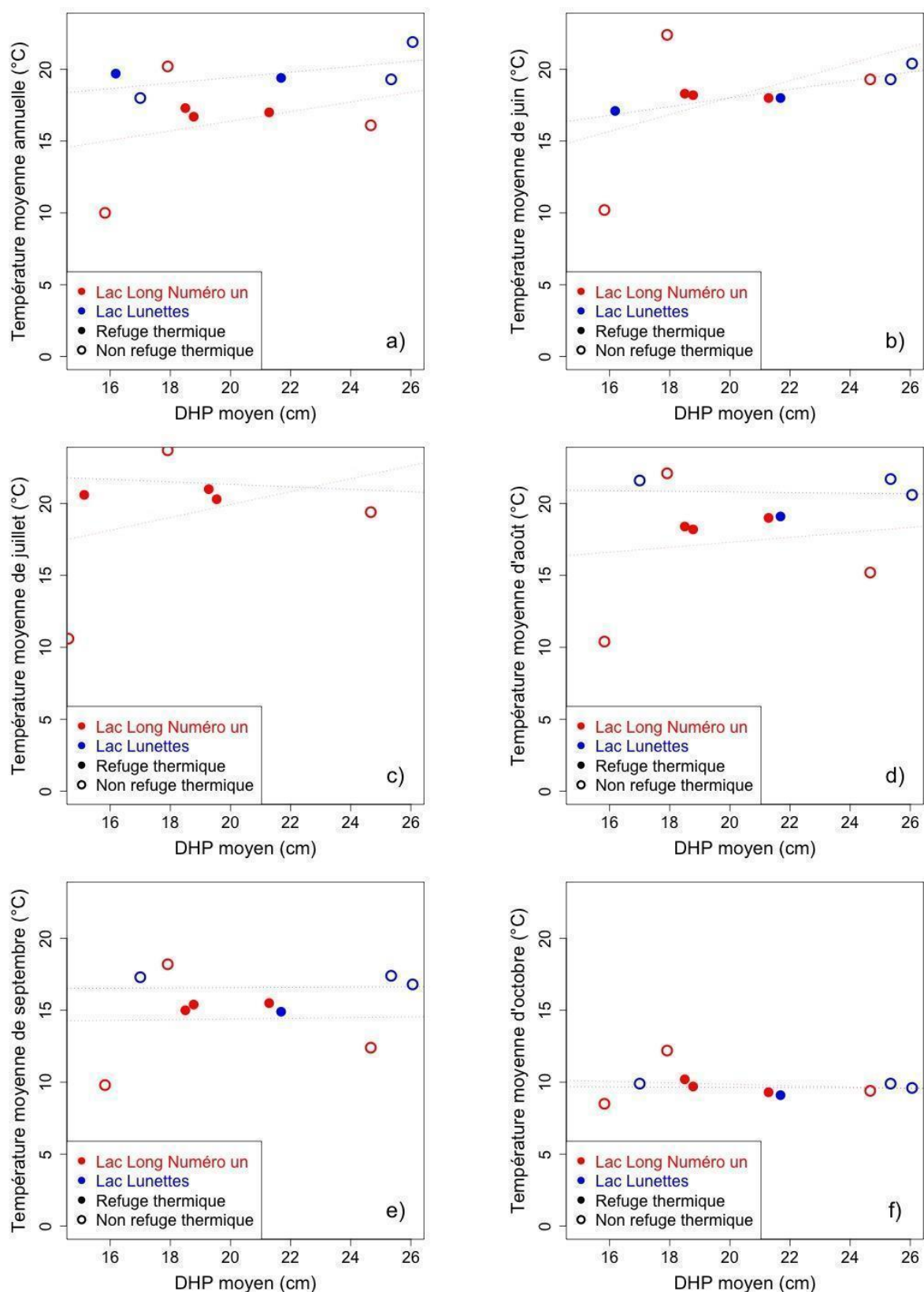


Figure A4.1 – Relations entre diamètre à hauteur de poitrine **moyen des arbres** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

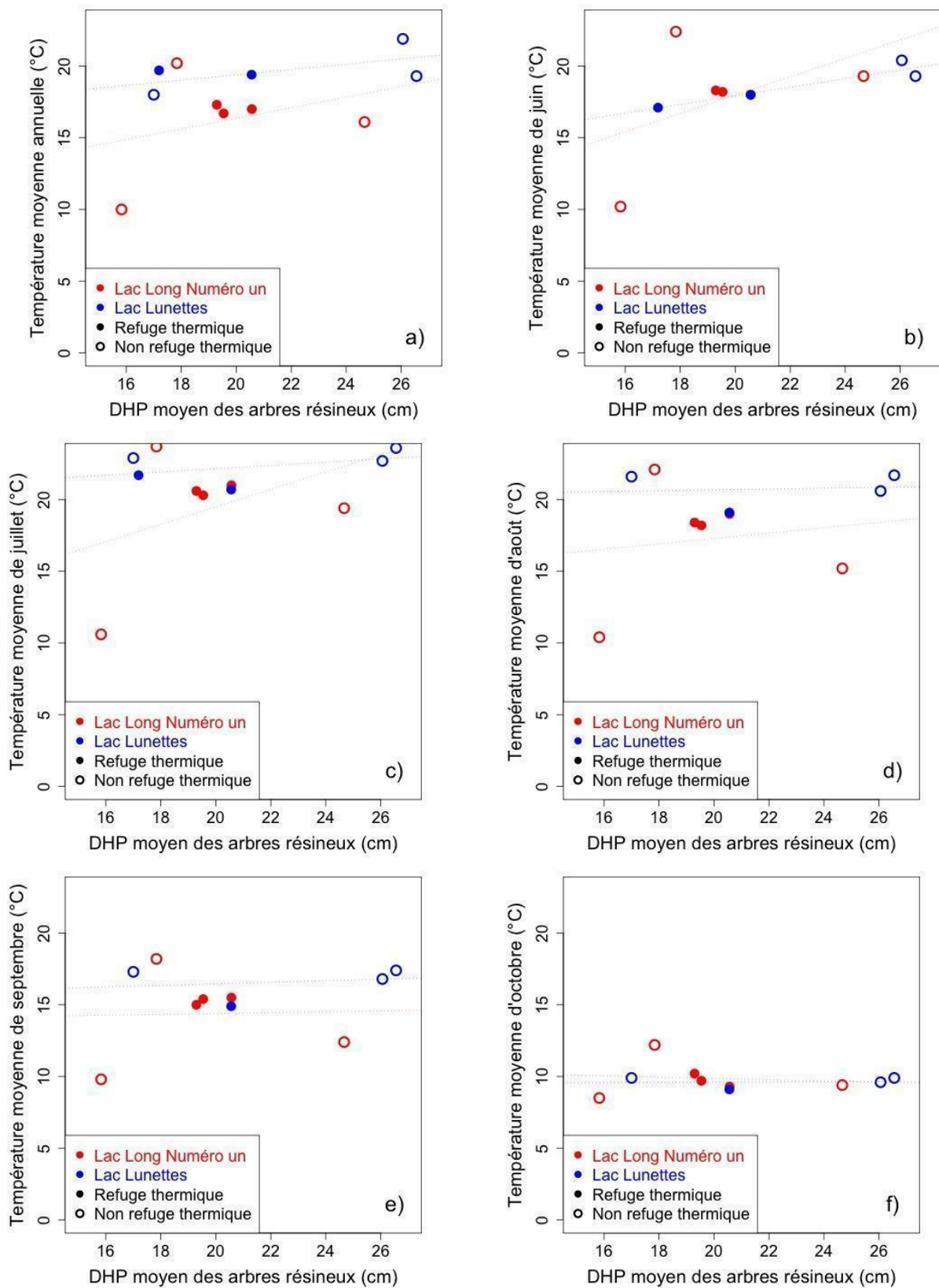


Figure A4.2 – Relations entre diamètre à hauteur de poitrine **moyen des arbres résineux** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

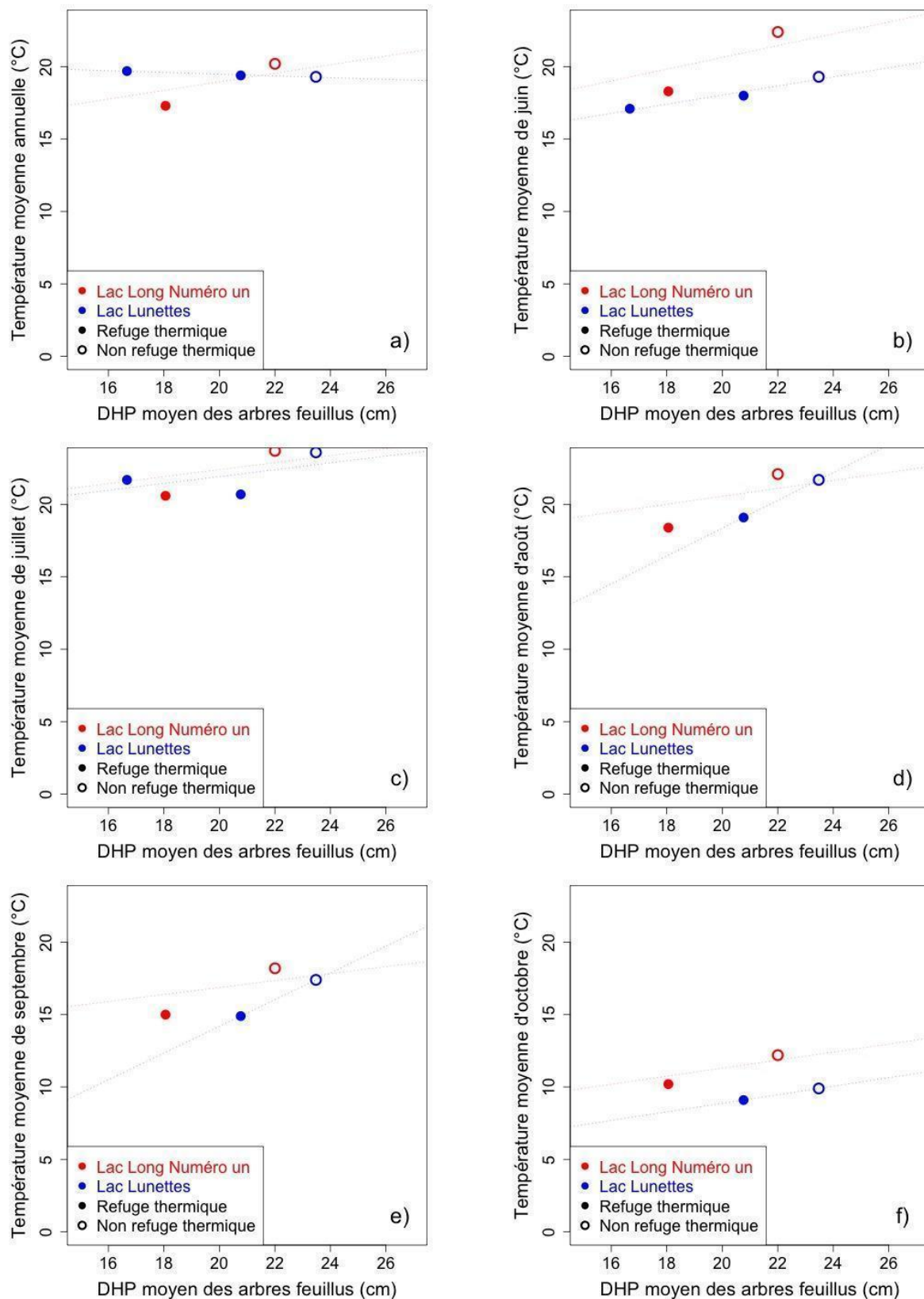


Figure A4.3 – Relations entre diamètre à hauteur de poitrine **moyen des arbres feuillus** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

Annexe 5 : Relations entre les données de températures et la hauteur des arbres

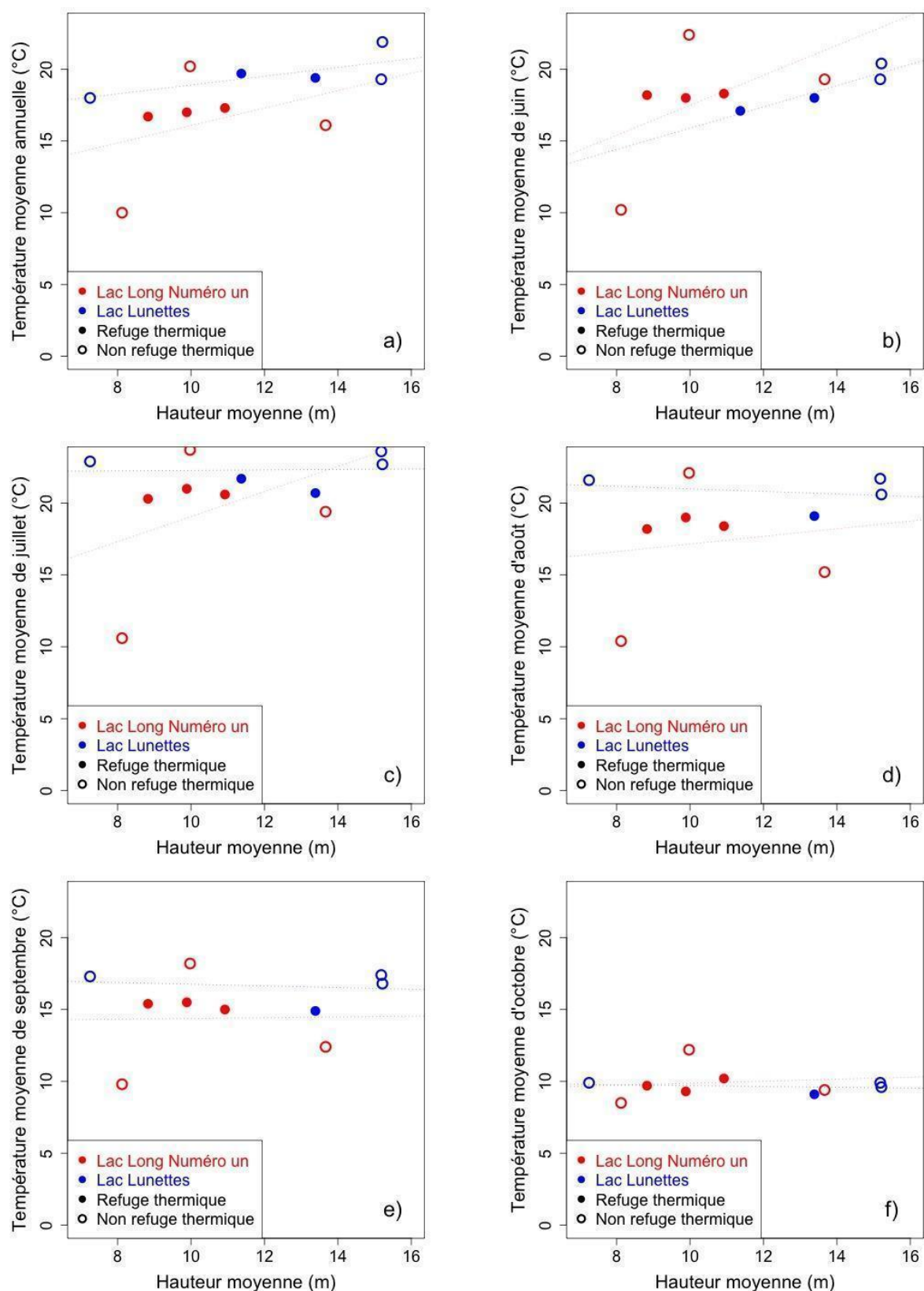


Figure A5.1 – Relations entre hauteur **moyenne des arbres** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

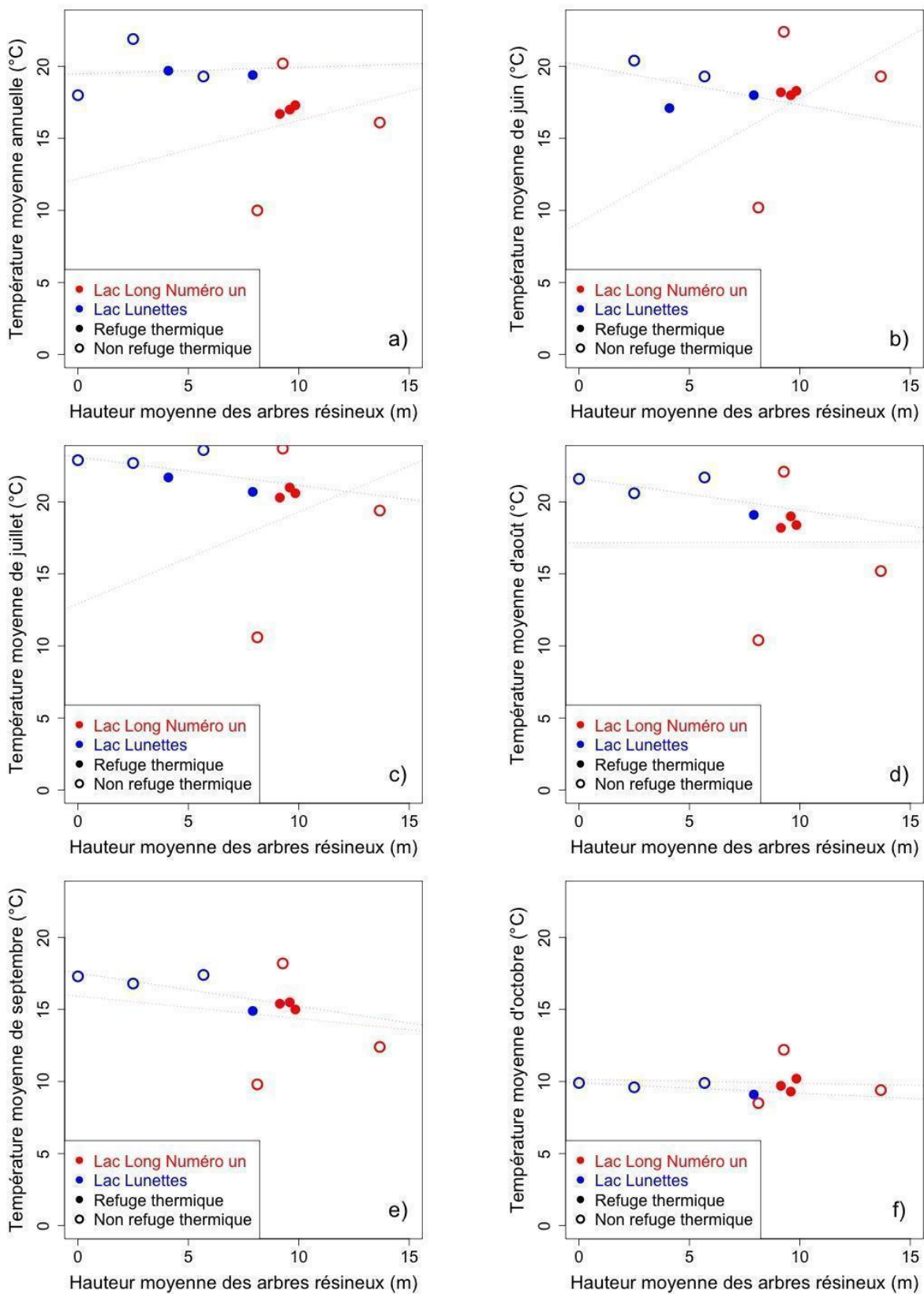


Figure A5.2 – Relations entre hauteur **moyenne des arbres résineux** du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

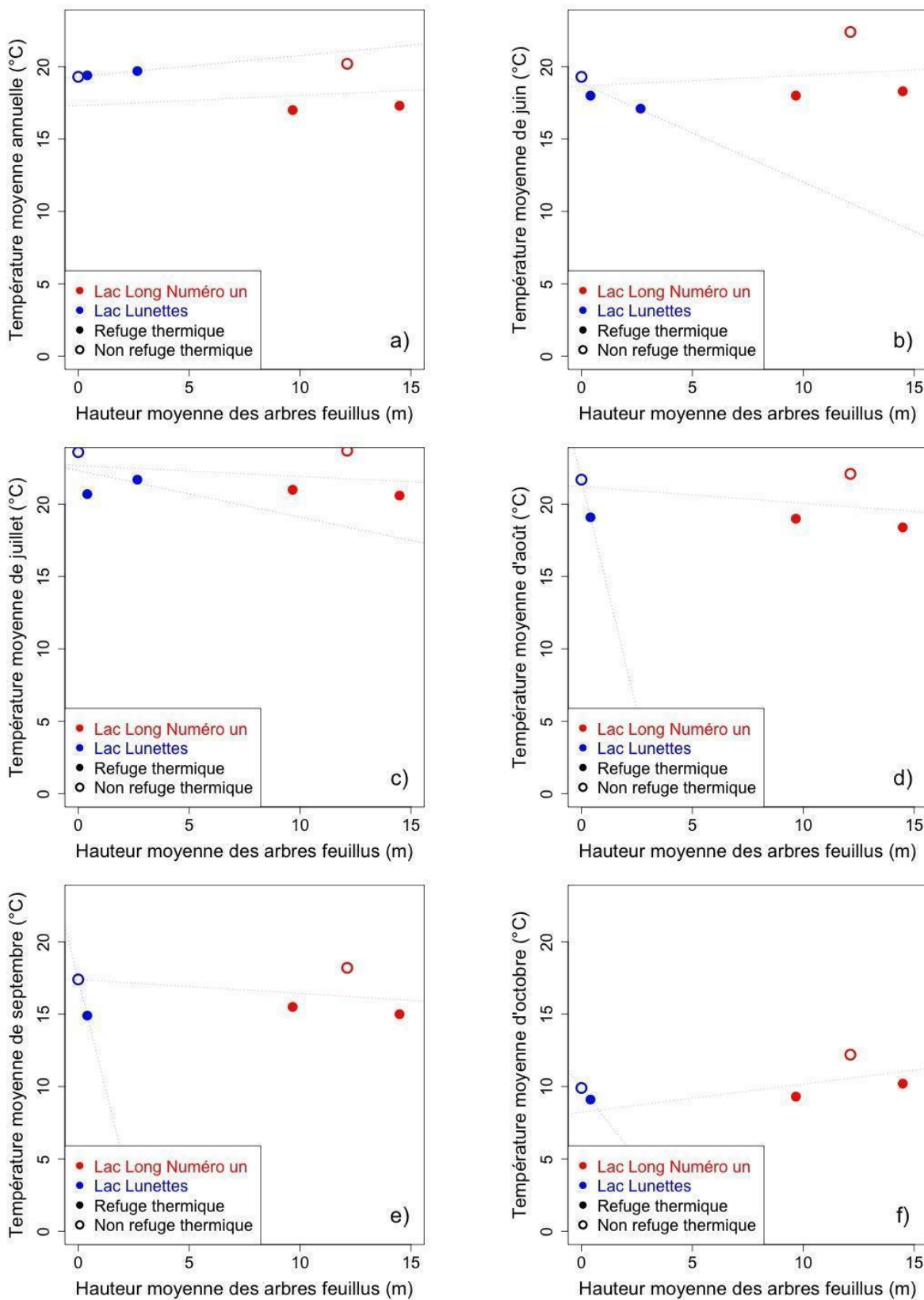


Figure A5.3 – Relations entre hauteur moyenne des arbres feuillus du peuplement en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

Annexe 6 : Relations entre les données de températures et la largeur des cours d'eau

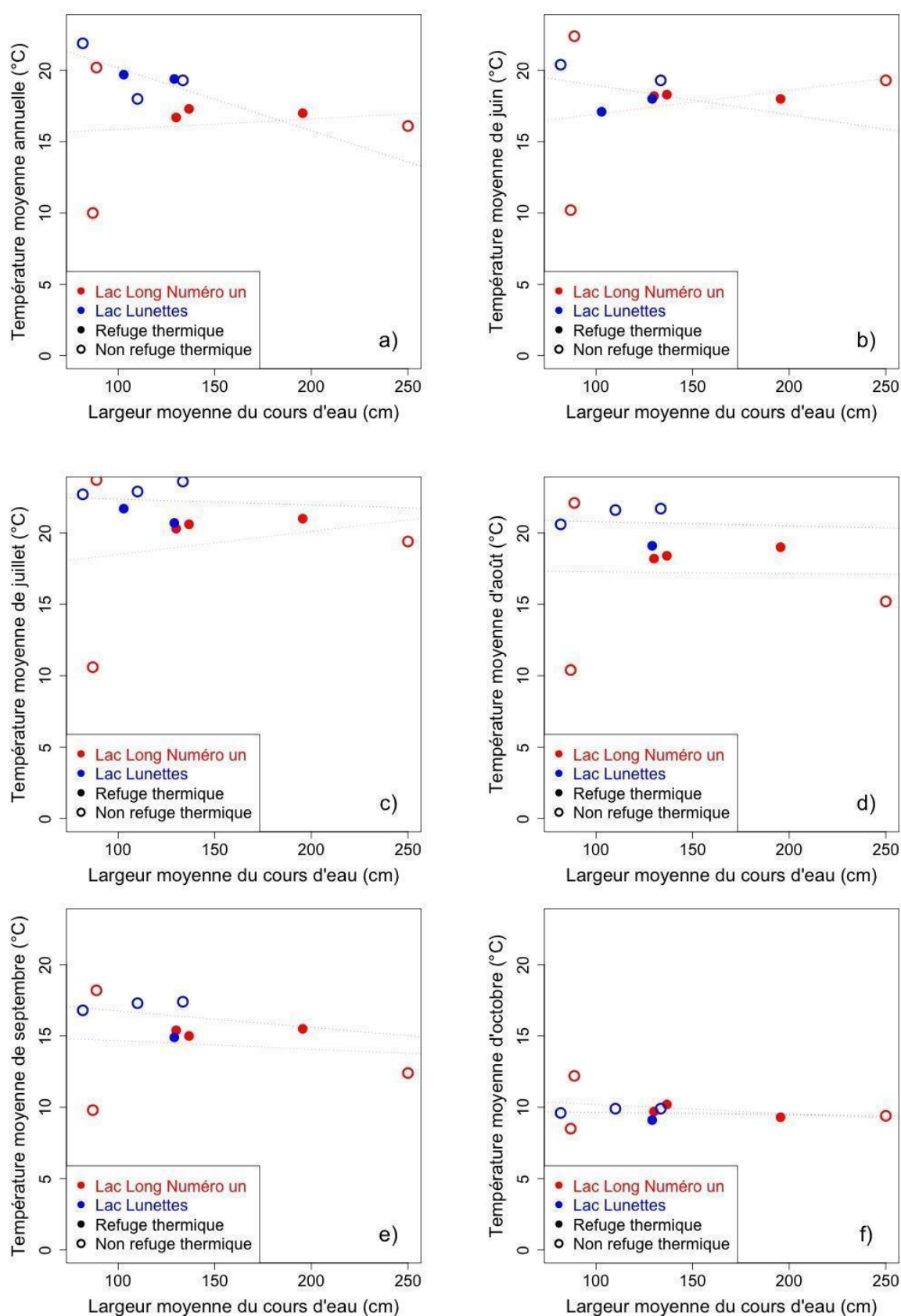


Figure A6.1 – Relations entre la largeur moyenne des cours d'eau en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

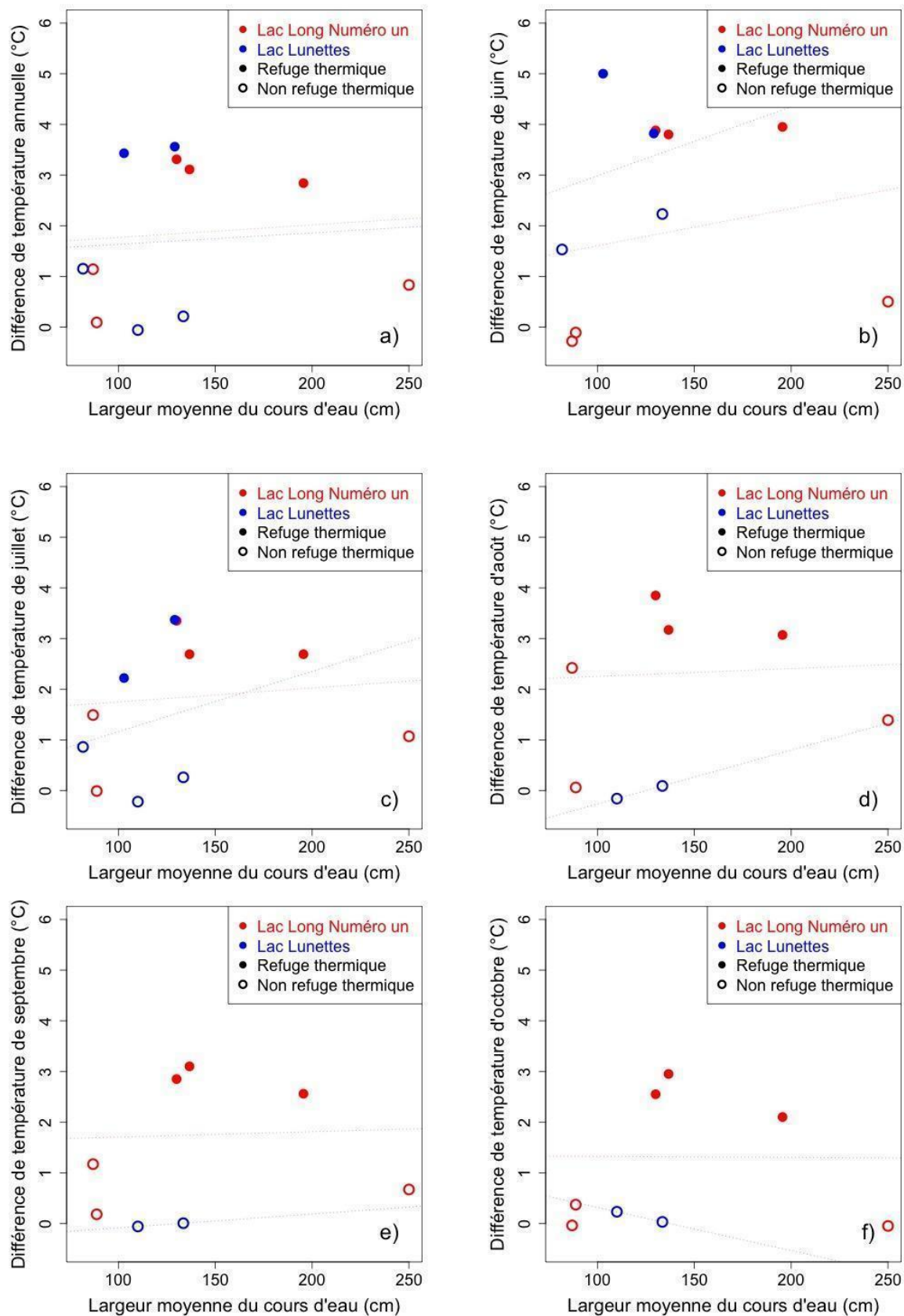


Figure A6.2 – Relations entre la largeur moyenne des cours d’eau en amont de la confluence en fonction de la différence de température entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d’août, e) le mois de septembre et f) le mois d’octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n’ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

Annexe 7 : Relations entre les données de températures et la profondeur des cours d'eau

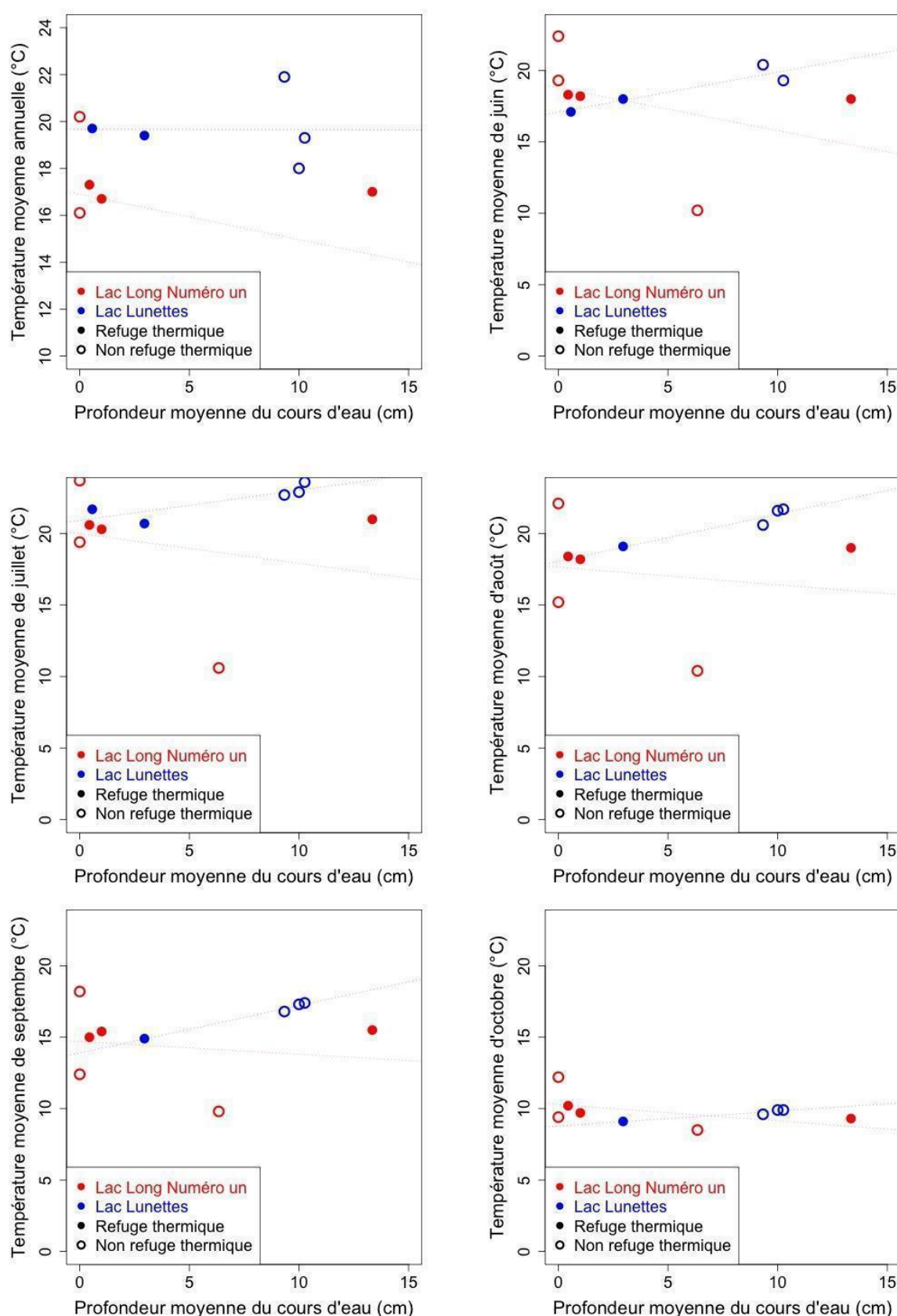


Figure A7.1 – Relations entre la profondeur moyenne des cours d'eau en amont de la confluence en fonction de la température moyenne de l'eau pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.

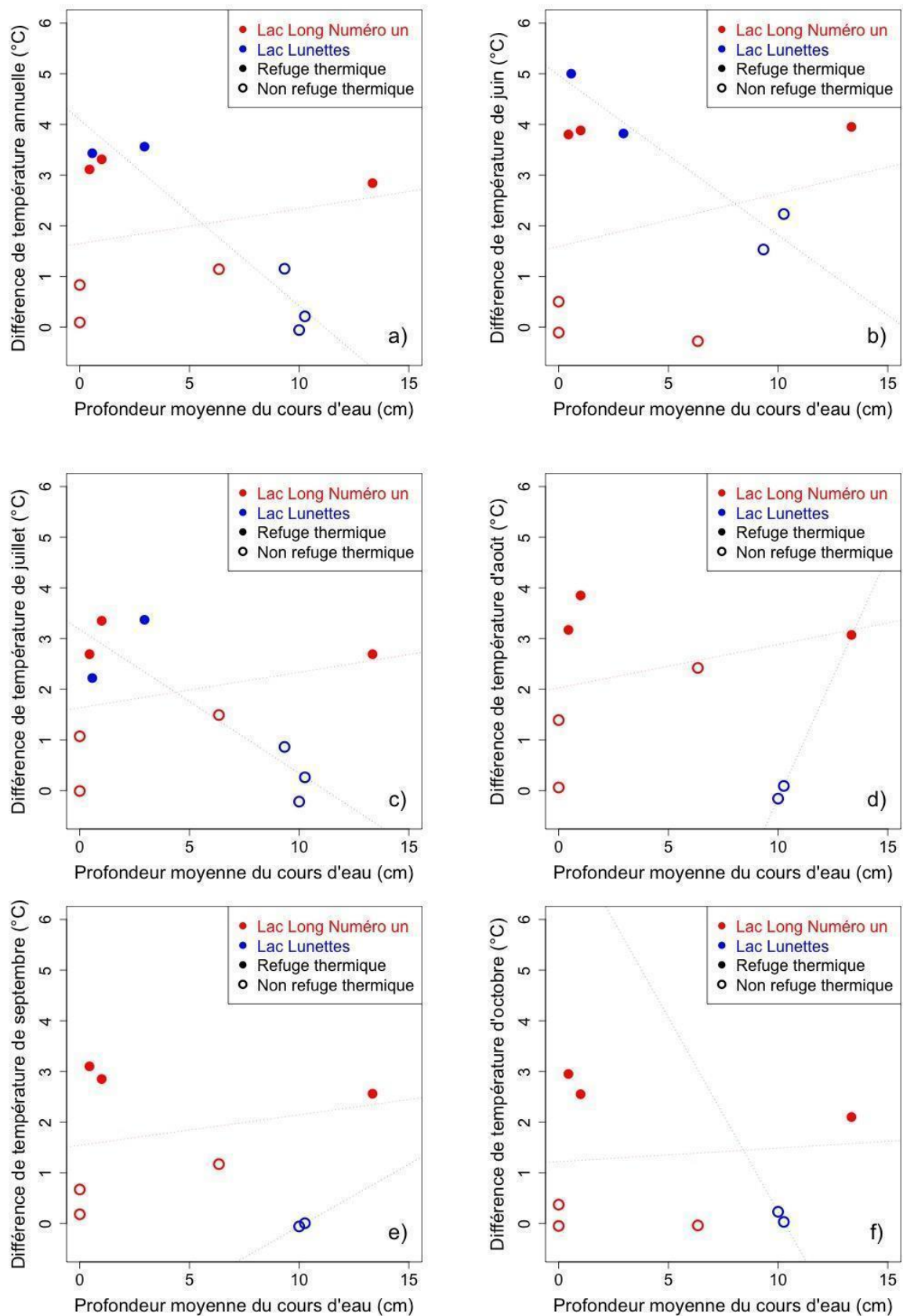


Figure A7.2 – Relations entre la profondeur moyenne des cours d'eau en amont de la confluence en fonction de la différence de température entre les zones témoins et les zones de refuge thermique potentiel pour a) la saison complète, b) le mois de juin, c) le mois de juillet, d) le mois d'août, e) le mois de septembre et f) le mois d'octobre. Les symboles en rouge correspondent aux données issues du lac Long Numéro un. Les symboles en bleu correspondent aux données issues du lac Lunettes. Les symboles pleins correspondent aux confluences considérées comme des refuges thermiques. Les symboles vides correspondent aux confluences qui n'ont pas de caractéristiques de refuges thermiques. Les traits pointillés correspondent à des régressions linéaires simples.