



IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES HABITATS THERMIQUES DES SALMONIDÉS DANS LES RIVIÈRES DU NORD DU QUÉBEC

Rapport final

Mars 2022

Ce rapport est rendu possible grâce au soutien financier du gouvernement du Québec et répond aux objectifs du Plan pour une économie verte 2030. Les travaux ont été réalisés avec la participation du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec.

Auteurs:

Claudine Boyer et André St-Hilaire

Centre Eau, Terre et Environnement
Institut national de la recherche scientifique

Rapport présenté au : ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP)

Citation suggérée : Boyer, C. et St-Hilaire A. (2022). Impacts des changements climatiques sur les habitats thermiques des salmonidés dans les rivières du nord du Québec. Rapport remis au Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, 116 p.

TABLE DES MATIERES

1	Résumé.....	11
2	Contexte du projet.....	13
3	Contexte climatique pour le Nunavik	14
4	Méthodologie	16
4.1	Sélection de stations de mesure : données de température de l'eau et présence des salmonidés ciblés par l'étude	16
4.2	Données Climatiques.....	19
4.2.1	Réseau de stations météorologiques et données d'observations de Teau	19
4.2.2	Données des scénarios climatiques pour les périodes historique et future	20
4.3	Modélisation des températures de l'eau.....	28
4.3.1	Modèle thermique	28
4.3.2	Calage du modèle thermique sur les données observées aux stations choisies	29
4.4	Incertitude et niveau de confiance des simulations thermiques aux stations	36
4.4.1	Classification des incertitudes de l'estimation de Tair par les scénarios climatiques aux stations.....	36
4.4.2	Classification des incertitudes des modèles de thermie de l'eau aux stations	37
4.5	Évaluation du niveau de confiance des températures simulées par rivière	39
4.6	Indicateurs thermiques.....	44
5	Résultats	45
5.1	Indicateur thermique global : moyenne des températures estivales	46
5.1.1	Delta de changements de la température moyenne estivale de l'eau entre les périodes futures et de référence	49
5.2	Indicateurs thermiques spécifiques.....	54
5.2.1	Saumon atlantique	55
5.2.2	Ombre chevalier	68
5.3	Tendances globales dans les changements des indicateurs thermiques et effets potentiels pour les deux espèces de poisson à l'étude : résumé en fonction la température moyenne estivale simulée à la période de référence	85
5.3.1	Changements dans les conditions thermiques pour la croissance optimale des saumons et ombles chevaliers: opportunités et contraintes.....	85
5.3.2	Changements dans les conditions thermiques stressantes: augmentation des contraintes pour l'omble chevalier et opportunités pour le saumon	87
6	Discussion et Conclusion	89

7 Synthèse des résultats : représentation spatiale des changements projetés dans les conditions thermiques pour l'omble chevalier comparativement à ceux pour le saumon	92
8 Références	97
9 Annexes	101
9.1 Listes des 16 modèles climatiques	101
9.2 Nombre annuel de données au cours de la période estivale (toutes les stations)	102
9.3 Classement des stations en fonction de Teau moy simulée pour la période de référence 1981-2010 (liste stations avec suivi thermique de plus de deux ans).	112
9.4 Cartes supplémentaires	115

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. a) Température moyenne estivale pour la période de référence 1981-2010 et b) la période 2041-2070 (scénario rcp4.5, modéré). c) Moyenne estivale des précipitations totales pour la période de référence 1981-2010 et d) la période 2041-2070 (scénario rcp4.5, modéré). Source: Ouranos (<https://portclim.ouranos.ca/#/regions/0>) 15
- Figure 2. Diagramme en boîtes des moyennes estivales des températures de l'air observées (Tair max, Tair min et Tair moy) aux stations météorologiques du Nunavik (n = 20). Les traits indiquent les valeurs moyennes. (Source des données de température: MELCC, 2020 ; <http://www.cen.ulaval.ca/nordicanad/>) 16
- Figure 3. a) Localisation des stations de thermie dans la région du Nord-du-Québec. Le nombre total de données journalières disponibles est inscrit pour chacune des stations. Les stations qui seront traitées dans le présent rapport sont identifiées par une étoile rouge. La station en temps réel Aux Mélèzes est identifiée par le point bleu clair; b) Stations et bassins versants choisis pour l'étude. Les bassins sont regroupés en quatre grandes zones géographiques; c) Distribution spatiale des deux espèces de poissons étudiés (l'ensemble d'un bassin est coloré même si les poissons ne sont possiblement pas observés à la grandeur du bassin). 19
- Figure 4. Localisation des stations météorologiques (croix bleues), des stations de température de l'eau en rivière (étoiles) et des points de grille des scénarios climatiques (cercles vides). Les limites des polygones de Thiessen associés à chaque station de climat sont représentées par les traits bleus. 21
- Figure 5. Grille d'extraction des données quotidiennes des scénarios climatiques pour chaque position de stations Teau sur le site de Téléchargement — Données Climatiques Canada (donneesclimatiques.ca). Le contour du point de grille en rouge localise un exemple d'un point d'extraction des données simulées. 22
- Figure 6. Moyenne interannuelle des températures de l'air pour les données observées et simulées et la période d'année concomitante (2015-2020) indiquée dans l'encadré au centre de la figure. Les données de températures de l'air représentées proviennent de la station de climat Aux Mélèzes associée au site de mesure de Teau du même nom. 24
- Figure 7. Différence entre les moyennes mensuelles de Tair observées aux stations (78) et simulées aux points de grille pour les années concomitantes. Les résultats de Tair max, Tair moy et Tair min sont représentés. 25
- Figure 8. a) Amplitude des écarts entre les Tair moy simulées et observées à la période estivale pour chacune des stations et b) Localisation des stations Teau (cercles magenta et noirs) pour lesquels les écarts entre Tair moy simulée et observée en été sont plus grands que la moyenne du groupe de stations plus un écart-type ($\text{moy} \Delta \text{Tair moy} \pm 1\sigma$). 27
- Figure 9. Tendence de moyenne interannuelle de Tair moy (moyenne, P90 et P10 de 16 modèles climatiques) pour rcp4.5 et rcp8.5. Station climatique associée à la station Aux Mélèzes. ... 28
- Figure 10. Nombre de stations avec mesures de températures de l'eau en fonction des années. 30
- Figure 11. Réponse ajustée partitionnée (s, fonction lissée) entre les contributions de chacun des deux prédicteurs. Modèle appliqué pour Tmax et utilisant les données de l'année entière et l'ensemble des années avec données. a) stations Aux Mélèzes et b) station Buet_Bu1. La bande bleue indique l'intervalle de confiance. 31
- Figure 12. Résultats de la modélisation de Teau max en fonction des prédicteurs. a) station Aux Mélèzes; b) station Buet_Bu1. Modèle appliqué pour l'année entière et utilisant l'ensemble des années avec données. 32
- Figure 13. Comparaison des Teau moy journalières observées (étoiles vertes) et prédites pour la période d'observation. a) station Aux Mélèzes ; b) station Buet_Bu1. Les points bleu, rouge et magenta représentent respectivement la moyenne des modèles, le percentile 10 et le percentile 90. 33

- Figure 14. Distributions spatiales a) du niveau global de confiance associée à la modélisation thermique de l'eau à chaque station; b) des incertitudes liées à la modélisation de Tair; c) des incertitudes liées à la modélisation de Teau.43
- Figure 15. Moyenne estivale de Teau moy simulée à partir de la moyenne des modèles climatiques (en bleue) pour la période de référence (1981-2010). Le percentile P90 et le percentile P10 des modèles climatiques sont représentés en orangé et vert respectivement. Le code de couleur pour les rivières indique la zone géographique d'appartenance (tel que représenté à la figure 3).47
- Figure 16. Distribution spatiale de la moyenne interannuelle estivale de la température de l'eau (Teau moy) simulée pour la période de référence, 1981-2010. Les niveaux d'incertitudes liées aux simulations de Teau (combine les codes d'incertitude de Tair et Teau) sont représentés à chaque station par les croix. <https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=a32e320e18d643aea877c7c072892a59>48
- Figure 17. Moyenne estivale de Teau moy (moyenne, prc90 et prc10 des 16 modèles climatiques) pour rcp4.5 et rcp8.5. Station Aux Mélézes49
- Figure 18. Delta de variation des moyennes estivales de température de l'eau entre la période de référence et les périodes 2011-2040 (période 1), 2041-2070 (période 2) et 2071-2100 (période 3). a) Teau moy; b) Teau max; c) Teau min. Les résultats pour la moyenne des modèles climatiques sont présentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Le code de couleur pour les rivières indique la zone géographique d'appartenance (tel que représenté à la figure 3).52
- Figure 19. Distribution spatiale des deltas Teau moy pour la période 2 (2041-2070). a) Scénario rcp4.5; b) Scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les percentiles 25% et 75 % des RMS sont de 1,1°C et 1,5°C pour les stations étudiées. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.54
- Figure 20. Nombre de stations par classe du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (saumon atlantique) simulé avec la moyenne des modèles climatiques pour la période de référence et la période 2071-2100 (rcp8.5). Cinq stations parmi les 78 ont un nombre insuffisant de jours de données en été et ne sont pas comptabilisées dans les données représentées.55
- Figure 21. Distribution spatiale du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (Saumon atlantique) (moyenne des modèles climatiques) pour la période de référence. Les cercles blancs indiquent un jour annuel ou moins de croissance optimale.57
- Figure 22. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (saumon atlantique) estimé à partir de la moyenne des modèles climatiques pour les trois périodes. Les résultats des scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont représentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.58
- Figure 23. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (saumon atlantique) pour la période 2, 2041-2070. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent la présence de saumons dans la rivière. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.61
- Figure 24. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (saumon atlantique) estimé pour la période 3, 2071-2100. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.63
- Figure 25. Distribution spatiale des deltas du nombre de jours de croissance optimale (Saumon atlantique) (moyenne des modèles climatiques) pour la période 2. a) Scénario rcp4.5; b)

- Scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.65
- Figure 26. Delta de changements du nombre de jours de stress primaire (saumon atlantique) estimé à partir de la moyenne des modèles climatiques pour les trois périodes. Les résultats des scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont représentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.66
- Figure 27. Delta de changements du nombre de stress primaire (saumon atlantique) estimé pour la période 3, 2071-2100, scénario rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.67
- Figure 28. Nombre de stations par classe de nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période de référence et pour la période 2071-2100 (rcp8.5). Cinq stations parmi les 78 ont un nombre insuffisant de jours de données en été et ne sont pas comptabilisées dans les données représentées.69
- Figure 29. Distribution spatiale du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (Omble chevalier) (moyenne des modèles climatiques) pour la période de référence. Les cercles vides indiquent un jour annuel ou moins de croissance optimale.70
- Figure 30. Delta de changements du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (omble chevalier) estimé à partir de la moyenne des modèles climatiques pour les trois périodes. Les résultats des scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont représentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.71
- Figure 31. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période 1, 2011-2040. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé. ..74
- Figure 32. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période 2, 2041-2070. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé. ..76
- Figure 33. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période 3, 2071-2100. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé. ..78
- Figure 34. Distribution spatiale des deltas du nombre de jours de croissance optimale (Omble chevalier) (moyenne des modèles climatiques) pour la période 2041-2070. a) Scénario rcp4.5; b) Scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.80
- Figure 35. Delta de changements du nombre de stress primaire (omble chevalier) estimé pour la période 3, 2071-2100. a) scénario rcp4.5; b) scénario rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé. ..83
- Figure 36. Distribution spatiale du delta du nombre annuel moyen de jours stress thermiques primaires simulés pour le percentile P90 des modèles climatiques, pour la période 3, 2071-2100 et scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.84
- Figure 37. Delta de changement du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (moyenne de modèles climatiques) en fonction des classes de la moyenne estivale de Teau moy (période de référence). a) Pour le saumon rcp4.5 et b) Pour le saumon rcp8.5; c) Pour l'omble chevalier rcp4.5 et d) Pour l'omble chevalier rcp8.5. Classe 1: $6^{\circ}\text{C} < T < 8^{\circ}\text{C}$; Classe 2: $8^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$; Classe 3: $10^{\circ}\text{C} < T < 12^{\circ}\text{C}$; Classe 4: $12^{\circ}\text{C} < T < 14^{\circ}\text{C}$; Classe 5: $14^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les saumons sont observés dans les rivières des classes 4 et 5 et dans 3 des 12 rivières de la classe 3.86

- Figure 38. Delta de changement du nombre annuel moyen de jours de stress thermique primaire (moyenne de modèles climatiques) en fonction des classes de la moyenne estivale de Teau moy (période de référence). a) pour le saumon rcp4.5 et b) pour le saumon rcp8.5; c) pour l'omble rcp4.5 et d) pour l'omble rcp8.5. Classe 1: $6^{\circ}\text{C} < T < 8^{\circ}\text{C}$; Classe 2: $8^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$; Classe 3: $10^{\circ}\text{C} < T < 12^{\circ}\text{C}$; Classe 4: $12^{\circ}\text{C} < T < 14^{\circ}\text{C}$; Classe 5: $14^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les saumons sont observés dans les rivières des classes 4 et 5 et dans 3 des 12 rivières de la classe 3.88
- Figure 39. Distribution spatiale des stations pour lesquels le nombre de jours de croissance optimale et le delta de changements de ce nombre sont inférieurs pour l'omble chevalier que pour le saumon à la période 2071-2100 et pour les scénarios rcp4.5 et rcp8.5. Les triangles noirs indiquent les stations où le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale pour le saumon est supérieur à celui pour l'omble chevalier. a) les résultats obtenus avec la moyenne des modèles climatiques; b) les résultats obtenus avec P90 des modèles climatiques. Pour simplifier la carte, les niveaux de confiance « faibles », « limité » et « nul » sont représentés par un même symbole et les niveaux « modérés » et « bon » ne sont pas représentés. Le nom de la rivière associée à chacune des stations est inscrit. Les stations où le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale et le delta de changements à la période 2071-2100 sont supérieurs pour l'omble chevalier que pour le saumon sont identifiées par une petite étoile rouge.96
- Figure 40. Distribution spatiale de la moyenne interannuelle estivale de la température de l'eau (Teau max) simulée pour la période de référence, 1981-2010. Les niveaux d'incertitudes liées aux simulations de Teau (combine les codes d'incertitude de Tair et Teau) sont représentés à chaque station par les croix.115
- Figure 41. Distribution spatiale nombre de jour de croissance optimale pour le saumon à la période 2071-2100 (P3) et pour le scénario rcp8.5.116
- Figure 42. Distribution spatiale nombre de jour de croissance optimale pour l'omble chevalier à la période 2071-2100 (P3) et pour le scénario rcp8.5.117
- Figure 43. Synthèse des résultats pour le saumon atlantique à la période 2071-2100 (P3) pour la moyenne des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles verts s'ajoutent aux cercles jaunes pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles jaunes indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5. 118
- Figure 44. Synthèse des résultats pour le saumon atlantique à la période 2071-2100 (P3) pour P90 des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles rouges s'ajoutent aux cercles orange pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles oranges indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5.119
- Figure 45. Synthèse des résultats pour l'omble chevalier à la période 2071-2100 (P3), pour la moyenne des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles verts s'ajoutent aux cercles jaunes pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles jaunes indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5. Les stations où le delta de changement du nombre de stress thermique est supérieur à la moyenne des stations avec rcp8.5 sont représentées.120

Figure 46. Synthèse des résultats pour l'omble chevalier à la période 2071-2100 (P3) pour P90 des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles rouges s'ajoutent aux cercles oranges pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles orange indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5. Les stations où le delta de changement du nombre de stress thermique est supérieur à la moyenne des stations avec rcp8.5 sont représentées.....121

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Résumé des informations concernant les scénarios climatiques (https://donneesclimatiques.ca/portail/).	22
Tableau 2. Différences (Δ) entre les moyennes mensuelles simulées et observées pour 78 stations (période d'années concomitante).	26
Tableau 3. Nombre annuel moyen de mesures de température de l'eau (données valides) disponibles pour l'ensemble des stations (incluant celles non sélectionnées pour l'étude).	30
Tableau 4. Résultat des modèles GAM (1.4) pour Teau moy: valeurs des RMSE et du R^2 pour les stations choisies. Les cellules grisées indiquent les stations avec 2 ans et moins de données. Le nombre estival de données est surligné en grisé lorsqu'il représente moins de 75 % du nombre annuel de données (nb < 69 données par été).	34
Tableau 5. Niveau de confiance résultant des codes d'incertitude pour les deux niveaux de simulation pour chaque station étudiée.	40
Tableau 6. Indicateurs thermiques pour les espèces de salmonidés sélectionnés (saumon atlantique (SA) et omble chevalier (OC)).	45
Tableau 7. Rivière avec delta de changement du nombre annuel moyen de jours de stress thermique supérieur à deux pour P90 des modèles climatiques, le scénario rcp8.5 et la période 2071-2100. Les cellules grisées indiquent les rivières avec des deltas supérieurs à 20 jours (pour toutes les stations).	81

1 RÉSUMÉ

La température de l'eau des rivières sera modifiée par l'augmentation projetée des températures de l'air. Pour le Nunavik, ces modifications pourraient transformer la répartition des salmonidés. Des modèles de température de l'eau ont été construits à l'aide des températures observées de l'air et de l'eau. Ces modèles ont ensuite été utilisés avec les projections de la température de l'air obtenues des modèles climatiques. La moyenne et les 90^e et 10^e percentiles des modèles climatiques et deux scénarios d'émission (modéré rcp4.5 et élevé rcp8.5) ont permis de construire les séries temporelles de température de l'eau de 1981 à 2100. Les séries ont été simulées pour 78 stations réparties sur 30 rivières du Nunavik. Pour tenir compte du faible nombre de données disponibles pour construire les modèles de température de l'eau et des incertitudes liées aux modélisations des températures, un indice de confiance a été développé et attribué aux stations modélisées. Le niveau de confiance des séries est variable d'une station à l'autre et généralement faible ou limité pour les stations au sud de la baie d'Ungava où peu de données d'observations étaient disponibles. L'amplitude des changements par rapport à la période de référence, 1981-2010, a été quantifiée pour trois périodes futures de 30 ans. Les résultats indiquent une augmentation de la température moyenne estivale de l'eau entre 0,16° et 2,46°C pour 2041-2070 et entre 0,21°C et 4,14°C pour 2071-2100 selon les stations et les scénarios.

Les températures moyennes estivales, les nombres de jours de croissance optimale et de stress thermiques sont les trois indicateurs thermiques utilisés pour évaluer les impacts sur les populations de saumon atlantique et d'omble chevalier. L'augmentation généralisée des températures estivales de l'eau entraîne un accroissement du nombre de jours de croissance optimale par rapport à la période de référence pour les deux espèces de poisson. Toutefois, pour la majorité des rivières du sud de la baie d'Ungava (Aux Mélézes, Du Gue, A la Baleine, Delay, Nepihjee, Deharveng), une réduction de ce nombre est projetée pour l'omble chevalier dès la première période 2011-2040. Du côté de la baie d'Hudson, une réduction est projetée pour l'ensemble des stations des rivières Alinotte et Iktotat avec les scénarios d'émission élevée à la période 2071-2100 pour l'omble chevalier. Pour ces rivières, un accroissement des stress thermiques est projeté pour l'omble chevalier à la même période lorsque les conditions extrêmes (P90 et rcp8.5) sont considérées. Ce constat diffère du saumon pour lequel aucun enjeu lié au stress thermique n'est projeté pour l'ensemble des rivières étudiées. La colonisation par le saumon pourrait ainsi être avantagée dans certaines rivières où la température estivale est supérieure à 10°C à la période de référence.

Pour certaines des rivières où la température moyenne estivale de l'eau simulée est entre 10°C < T < 12°C à la période de référence, l'augmentation conjointe des stress thermiques pour l'omble chevalier et l'augmentation plus rapide des conditions thermiques favorables à la colonisation par le saumon pourrait avantager ce dernier. Ces conditions simultanées sont projetées à la limite entre les zones sud et ouest de la baie d'Ungava (Nepihjee, Compeau, Deharveng) et dans la zone de la baie d'Hudson (Iktotat et Alinotte).

ABSTRACT

Thermal conditions of river habitats will be modified by the projected increase in air temperatures. For Nunavik, these modifications could transform the distribution of salmonids. Thermal models were built using observed air and water temperatures and then used with the mean and 90th and 10th percentiles of the climate models and two emission scenarios (rcp4.5 and 8.5). Water temperature time series were simulated for 78 stations distributed in 30 Nunavik rivers. To account for the small amount of data available to build the thermal models and the uncertainties linked to the temperature modelling, a confidence index was developed and attributed to each station. The level of confidence is spatially variable and is generally low or limited for stations south of Ungava Bay where little observation data was available. The magnitude of changes from the reference period (1981-2010) was quantified for three 30 years future periods. Results indicated an increase of summer mean water temperature between 0,16° and 2,46°C for 2041-2070 and between 0,21°C and 4,14°C for 2071-2100 according to stations and scenarios.

The average summer temperature, the mean annual number of days of optimal growth and the mean annual number of days of thermal stress are the three thermal indicators used to assess impacts on Atlantic salmon and Arctic char populations. Overall, the increase in summer temperatures leads to an increase in the number of days of optimal growth compared to the reference period for the two species of Salmonidae. For the majority of rivers in southern Nunavik (Aux Mélézes, Du Gue, A la Baleine, Delay, Nepihjee, Deharveng), a reduction in this number is projected for Arctic char as early as the first period, 2011-2040. On the Hudson Bay side, a reduction is projected for all stations on the Alinotte and Iktotat rivers with high emission scenarios for the 2071-2100 period. For these rivers, an increase in thermal stress is projected for Arctic char during the same period when extreme conditions (P90 and rcp8.5) are considered. This is different than salmon, for which thermal stress for salmon does not emerge as an issue for any of the studied rivers. Colonization by salmon could be favoured in several of the rivers where the summer temperature is above 10°C during the reference period.

For some of the rivers where the average simulated summer temperature is between 10°C < T < 12°C during the reference period, the joint increase in thermal stress for char and more rapid increase in thermal conditions favourable to colonization by salmon could benefit the latter. These simultaneous conditions are projected at the limit of the southern and western zones of Ungava Bay (Nepihjee, Compeau, Deharveng) and in the Hudson Bay zone (Iktotat and Alinotte).

Mots-clés: Nunavik, rivière, omble chevalier, saumon atlantique, température, modélisation thermique, changements climatiques

Keywords: Nunavik, river, Arctic char, Atlantic salmon, temperature, thermal modelling, climate change

2 CONTEXTE DU PROJET

Ce rapport présente la méthodologie et les résultats du projet *Impacts des changements climatiques sur les habitats thermiques des salmonidés dans les rivières du nord du Québec*. Ce projet s'inscrit dans la démarche du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) visant à identifier, analyser et cartographier les vulnérabilités du territoire arctique québécois, dans le cadre de l'action 6.8 du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques (PACC).

Le projet réalisé s'inscrit plus spécifiquement dans la phase II (2017-2021) de l'action 6.8 centrée sur les ressources biologiques et plus particulièrement sur les espèces de salmonidés habitant les lacs et les rivières du Nunavik. L'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), qui peut coexister sous formes résidente et anadrome, est d'un grand intérêt à cause de sa valeur écologique, économique et sociale pour les populations locales. Plusieurs questions sont toutefois soulevées concernant les impacts probables des changements climatiques sur les températures de l'eau et sur l'abondance, la répartition et la productivité de ce salmonidé au Nunavik et du saumon atlantique (*Salmo salar*) ainsi que sur la coexistence de ces deux espèces. Les impacts pour ces deux salmonidés qui résident et cohabitent dans les rivières du Nunavik sont ainsi ciblées par la présente étude. L'étude portant sur le milieu lacustre a été réalisée et finalisée en 2020 par Bélanger et coll. (2020).

Les températures de l'eau préférentielles de l'omble chevalier sont globalement plus fraîches que celles du saumon atlantique tant pour les températures minimales, maximales et optimales d'activité, de confort et de stress. L'omble chevalier commence à adopter des stratégies de survie à des températures au-delà de 18 à 21°C, les seuils thermiques varient toutefois selon les régions et selon les études de laboratoire (Swift, 1965; Jobling, 1983; Larsson and Berglund 1998; Thyrel et al. 1999, Gilbert, 2020). Selon certains auteurs, l'histoire thermique, l'ontogenèse et le contexte génétique influenceraient les performances thermiques de l'omble chevalier et expliqueraient les différents seuils thermiques observés dans les études. Ces effets n'ont toutefois pas été clairement caractérisés chez l'omble chevalier contrairement à d'autres salmonidés, comme le saumon. Les spécificités des populations d'omble chevalier du Nunavik sont aussi peu connues. Celles du saumon du Nunavik sont aussi méconnues.

Dans l'optique de mieux évaluer les effets des modifications spatio-temporelles du climat sur la thermie des habitats des espèces de poissons ciblés par l'étude, les objectifs du projet sont de 1) créer des modèles statistiques à partir des séries chronologiques récemment récoltées aux stations de mesure installées par le MFFP dans la région du Nunavik; 2) utiliser ces modèles thermiques avec les scénarios climatiques pour générer des séries de températures de l'eau pour la période de référence 1981 et 2010 et pour les horizons 2041-2070 et 2071-2100; 3) quantifier les changements thermiques projetés pour la période future par rapport à des conditions de référence et 4) évaluer les impacts potentiels sur les conditions de maintien et de cohabitations des salmonidés dans les rivières du Nunavik.

Ce rapport est rendu possible grâce au soutien financier du gouvernement du Québec et répond aux objectifs du Plan pour une économie verte 2030. Les travaux ont été réalisés avec la participation du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec. Le MFFP et des collaborateurs locaux ont soutenu le déploiement d'un réseau additionnel de stations de mesure des températures de l'eau entre 2017 et 2021, dans plusieurs rivières du Nunavik. Ces déploiements ont été réalisés dans le cadre de la stratégie visant à adapter les mesures de gestion des ressources fauniques aux changements climatiques. Ces séries temporelles de températures de l'eau sont à la base des résultats présentés dans ce rapport.

3 CONTEXTE CLIMATIQUE POUR LE NUNAVIK

La cartographie des moyennes estivales des températures de l'air et des précipitations totales estivales fournit une image du contexte climatique de référence et de l'évolution projetée pour la période 2041-2070 (Figure 1). Sur ces cartes, les scénarios climatiques produits par Ouranos indiquent que les températures moyennes estivales au Nunavik varient entre 5°C et 12°C pour la période de référence 1981-2010 (Figure 1a). Les températures les plus froides sont situées entre Salluit et le secteur du parc des Pingualuit. Les précipitations moyennes varient pour la période estivale entre 115 mm et 200 mm pour la même période de référence (Figure 1c). La zone nord-ouest du Nunavik, entre Puvirnituq et Salluit, est la zone qui reçoit le moins de précipitations.

Les projections climatiques indiquent une augmentation globale des températures estivales entre 1,5°C et 3,0°C en 2041-2070 (Figure 1b) par rapport aux températures de 1981-2010 pour les scénarios d'émission de gaz à effet de serre modéré et élevé (ces deux scénarios d'émission sont décrits plus en détail dans la section méthodologie). L'augmentation projetée est d'une amplitude équivalente pour le printemps et l'automne. Pour la période hivernale, l'augmentation projetée est supérieure aux autres saisons et varie entre 4,0°C et 7,5°C pour la majorité de cette zone pour 2041-2070 et les scénarios rcp4.5 et rcp8.5. Pour cette saison, les plus fortes augmentations sont projetées pour les secteurs nord du Nunavik. Une augmentation des précipitations estivales entre 6 mm et 20 mm est projetée par les scénarios climatiques pour 2041-2070.

Les données observées aux stations météorologiques indiquent qu'au cours de la période d'échantillonnage des températures de l'eau, qui s'étend de 2015 à 2021, les températures de l'air étaient globalement supérieures à celles de la période de référence 1981-2010 (Figure 2). L'année 2018 est l'année pour laquelle les températures de l'air étaient similaires à celle de la période de référence. L'année 2020 est l'année la plus chaude.

La répartition spatiale des données climatiques et leurs fluctuations interannuelles au cours de la période d'observation permettront de contextualiser les résultats des simulations thermiques de l'eau aux différentes stations du réseau.

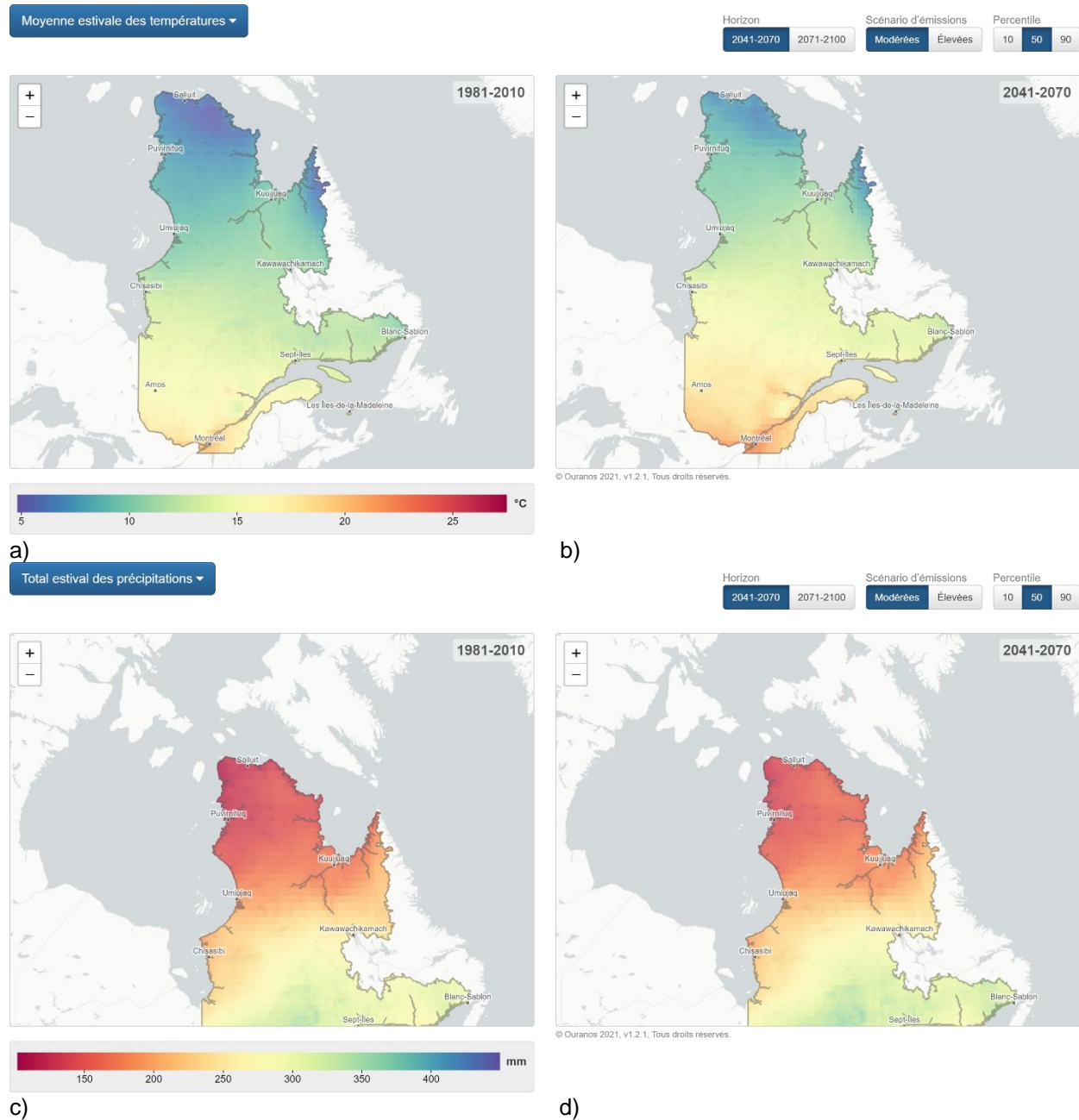


Figure 1. a) Température moyenne estivale pour la période de référence 1981-2010 et b) la période 2041-2070 (scénario rcp4.5, modéré). c) Moyenne estivale des précipitations totales pour la période de référence 1981-2010 et d) la période 2041-2070 (scénario rcp4.5, modéré). Source: Ouranos (<https://portclim.ouranos.ca/#/regions/0>).

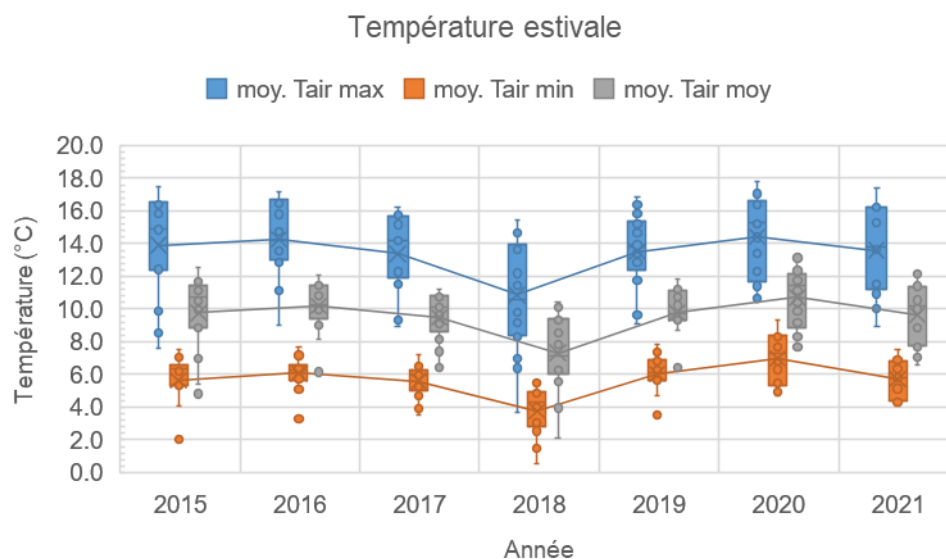


Figure 2. Diagramme en boîtes des moyennes estivales des températures de l'air observées (Tair max, Tair min et Tair moy) aux stations météorologiques du Nunavik (n = 20). Les traits indiquent les valeurs moyennes. (Source des données de température: MELCC, 2020 ; <http://www.cen.ulaval.ca/nordicanad/>).

4 MÉTHODOLOGIE

4.1 SÉLECTION DE STATIONS DE MESURE : DONNÉES DE TEMPÉRATURE DE L'EAU ET PRÉSENCE DES SALMONIDÉS CIBLÉS PAR L'ÉTUDE

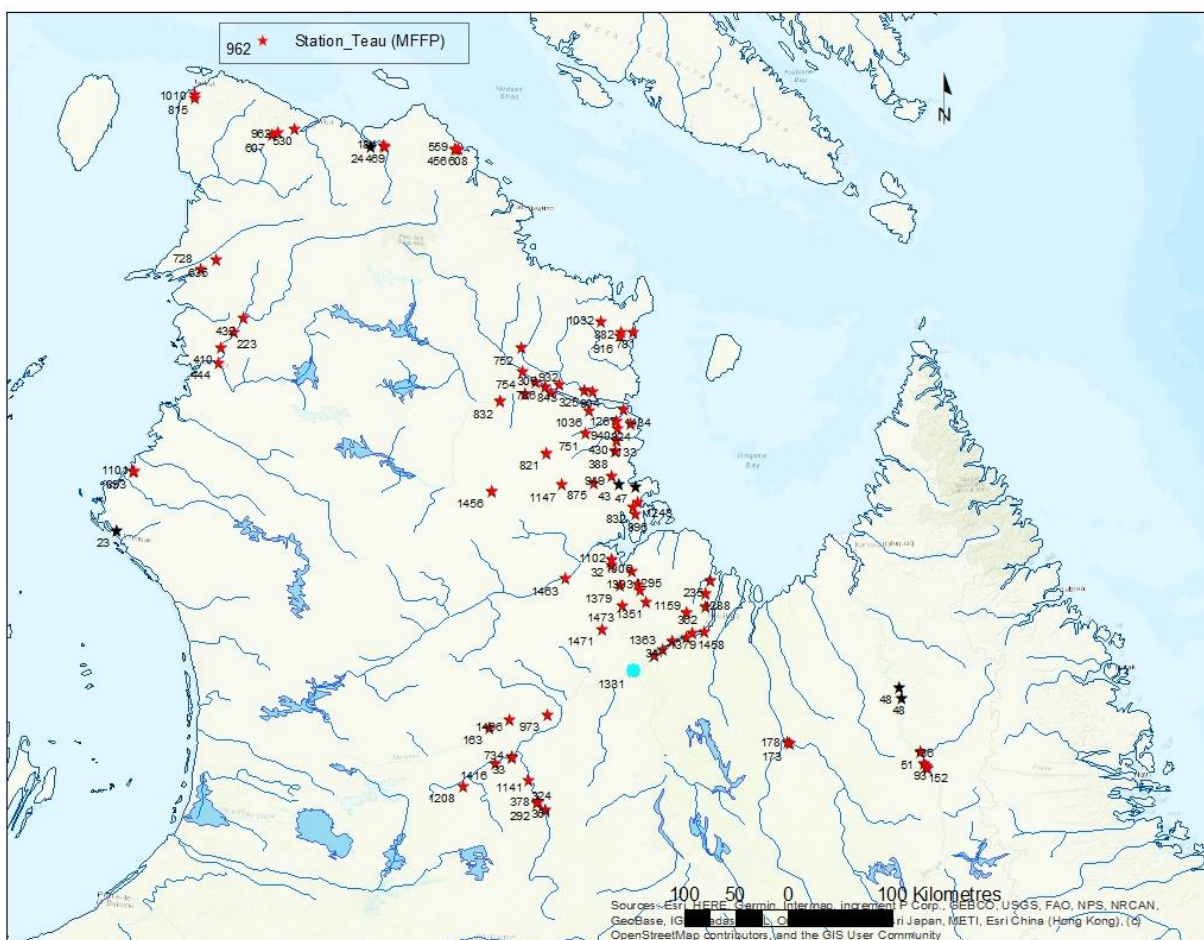
Les données de température de l'eau proviennent de la base de données RivTemp qui regroupe majoritairement les données des rivières à saumons de l'est du Canada récoltées par les nombreux partenaires du réseau (www.rivtemp.ca). La base de données RivTemp prend graduellement de l'expansion par l'ajout de données provenant de rivières où le saumon n'est pas présent. Pour le Nunavik, les stations de mesure sont maintenues par le MFFP et ses partenaires, incluant par exemple les pourvoyeurs et le MELCC. Les stations de mesure installées dans les rivières du Nunavik sont localisées sur la Figure 3a. Le nombre total de données journalières disponibles est inscrit pour chacune des stations.

L'installation des stations dans cette région est très récente. La plus ancienne (Aux Mélézes) a des données depuis 2015. Pour la majorité des stations, le suivi a débuté après 2017. La présente étude analyse 78 stations ayant 2 ans et plus de données. Il est à noter que le faible nombre de données aura un effet marqué sur l'incertitude, le niveau de confiance et la fiabilité des résultats des simulations thermiques, notamment lorsque seulement 2 ans de données sont disponibles, que celles-ci sont contrastées du point de vue de leurs conditions climatiques et que les séries annuelles sont incomplètes. Cet aspect sera discuté aux

sections 4.4 et 4.5, où une méthode d'évaluation du niveau de confiance associée aux données à chacune des stations est proposée.

Les stations et les bassins versants choisis pour l'étude sont localisés à la figure 3b. Les bassins sont regroupés en quatre grandes zones géographiques : le nord du Nunavik (en gris), la zone de la baie d'Hudson (en bleu royal), le secteur ouest de la baie d'Ungava (en bleu pâle) et le secteur sud de celle-ci (en jaune pâle). Ces zones seront reprises dans la présentation des résultats pour faciliter la localisation relative des rivières analysées.

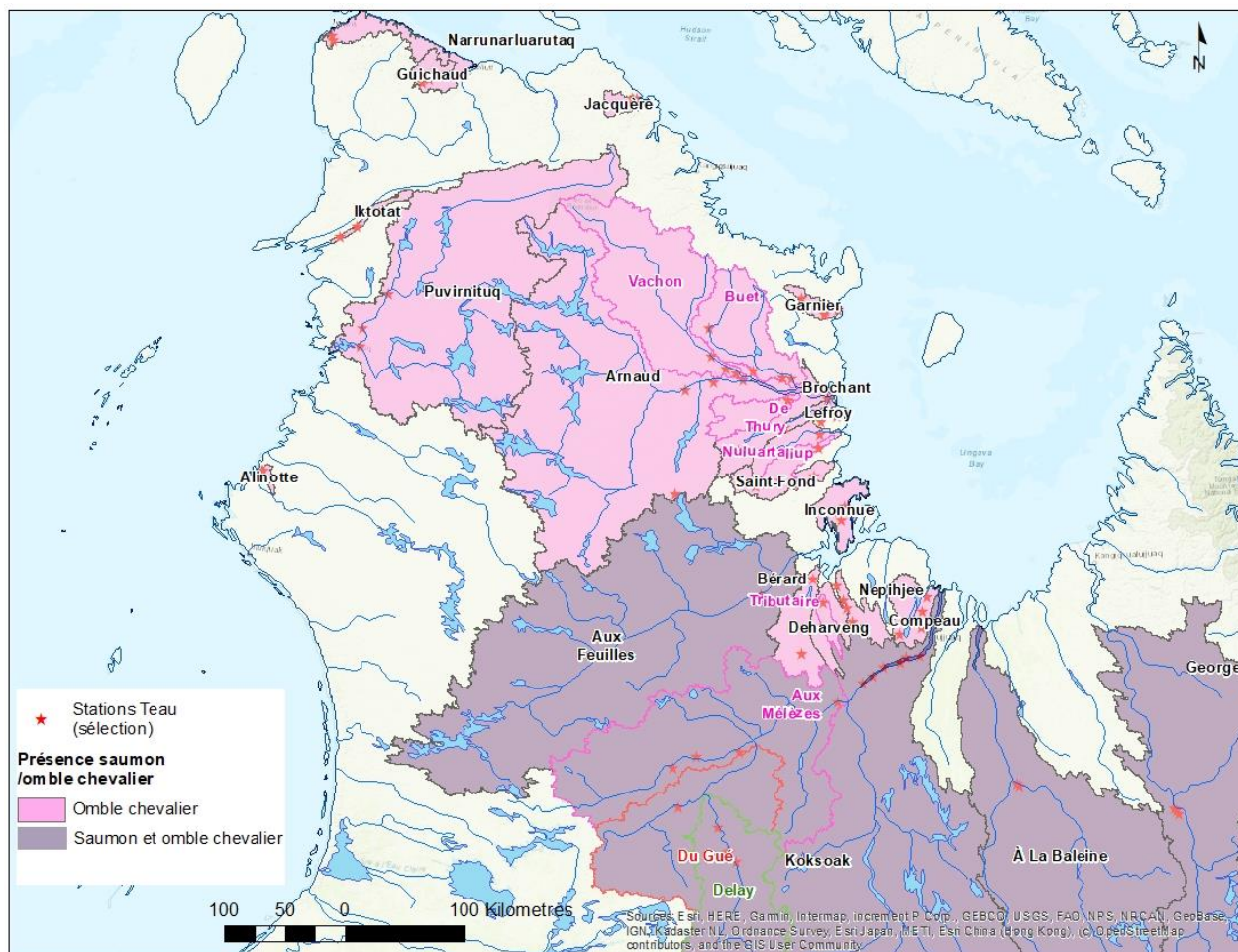
Finalement, la distribution spatiale actuelle des deux espèces de poissons (omble chevalier, mixte : saumon et omble) dans les bassins sélectionnés pour l'étude est représentée à la figure 3c. Ce patron spatial général combine les connaissances historiques partagées par les communautés autochtones et les travaux en faune aquatique réalisés au Nunavik par le MFFP au cours des dernières années. L'ensemble des bassins est coloré lorsque la présence de l'une ou l'autre des espèces est observée, ceci même si les poissons ne sont possiblement pas observés à la grandeur du bassin. Les ombles chevaliers résidents ou anadromes ne sont pas distingués dans ce patron.



a)



b)



c)
 Figure 3. a) Localisation des stations de thermie dans la région du Nord-du-Québec. Le nombre total de données journalières disponibles est inscrit pour chacune des stations. Les stations qui seront traitées dans le présent rapport sont identifiées par une étoile rouge. La station en temps réel Aux Mélézes est identifiée par le point bleu clair; b) Stations et bassins versants choisis pour l'étude. Les bassins sont regroupés en quatre grandes zones géographiques; c) Distribution spatiale des deux espèces de poissons étudiés (l'ensemble d'un bassin est coloré même si les poissons ne sont possiblement pas observés à la grandeur du bassin).

4.2 DONNÉES CLIMATIQUES

4.2.1 Réseau de stations météorologiques et données d'observations de Teau

Les données de températures de l'air mesurées aux stations météorologiques du réseau du MELCC et du CEN ont été utilisées pour construire les modèles thermiques qui serviront à construire les séries temporelles de Teau (Figure 4). L'association entre les stations de thermie et de climat a été faite à l'aide des polygones de Thiessen tracés autour des stations météorologiques. Le réseau de stations de climat est peu développé et par conséquent, plusieurs des stations Teau sont associées aux mêmes stations de

climat (Figure 4). Le réseau étant épars, aucune approche d'interpolation, krigeage ou autre, n'a été appliquée sur les données pour la présente étude, car la structure de covariance spatiale est insuffisante pour de telles approches lorsque la densité des stations est faible.

L'utilisation des polygones de Thiessen a pour effet que l'aire d'influence d'une station est supérieure à la grille de 10km x 10km sur laquelle les données d'observation historiques sont interpolées et qui sert de base pour les simulations climatiques au Canada. L'utilisation des données d'observation des stations de climat est une alternative qui est justifiée par le fait qu'actuellement les données Anusplin¹ (données observées et interpolées et sur la grille de 10km x 10km) ne sont pas disponibles actuellement pour les années récentes (après 2017).

4.2.2 Données des scénarios climatiques pour les périodes historique et future

Source de données

Les données climatiques simulées sont projetées sur une grille de 10km x 10km (Figure 5) et disponibles via le portail d'accès aux données climatiques. Ce portail est le résultat de la «collaboration d'Environnement et Changement Climatique Canada, le Centre de Recherche informatique de Montréal (CRIM), Ouranos, le Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC), le Centre climatique des Prairies (CCP) et HabitatSeven ». Les données des scénarios climatiques sont extraites pour les points de grille les plus près des stations de mesure de la température de l'eau. La figure 4 localise les stations de Teau (étoile rouge) et les points de grille utilisés pour extraire les scénarios climatiques (cercle bleu). Les scénarios proviennent de 16 modèles climatiques (liste en annexe 9.1) appliqués avec deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre (scénarios du GIEC, voir tableau 1): rcp4.5 (modéré) et rcp8.5 (élevé). Il est considéré que tous les scénarios de forçage sont équiprobables.

La méthode nommée « Bias-corrected constructed analogues with quartile mapping reordering » ou BCCAQ (Hiebert et al., 2018; résumé au tableau 1) est la méthode utilisée pour la mise à l'échelle statistique des sorties de modèles climatiques développée par le Pacific Climate Impacts Consortium. Les données climatiques journalières simulées incluent les températures de l'air maximum et minimum (Tair max et Tair min) et la précipitation totale.

Les points de grille les plus près des stations Teau sont localisés sur le site web de téléchargement (Figure 5). Par la suite, les températures maximales (Tair max) et minimales (Tair min) journalières ainsi que les précipitations totales journalières sont téléchargées. La température moyenne journalière est calculée à

¹ ANUSPLIN produit des données quotidiennes interpolées à partir des données, vérifiées et traitées pour la qualité pour fin d'interpolation, de températures maximales et minimales quotidiennes et des données de précipitations totales pour toutes les stations canadiennes. Le traitement comprend la vérification et l'ajustement à l'aide de procédures de contrôle de qualité pour fin d'interpolation (Hutchinson, 2009), et correction pour une définition différente du jour climatologique aux stations météorologiques principaux et ordinaires (Hopkinson, 2011). (<http://scenarios-climatiques.canada.ca/?page=homogenized-data>)

partir de Tair max et Tair min. La période des données climatiques simulées à l'aide des modèles climatiques s'étend de 1950 à 2100.

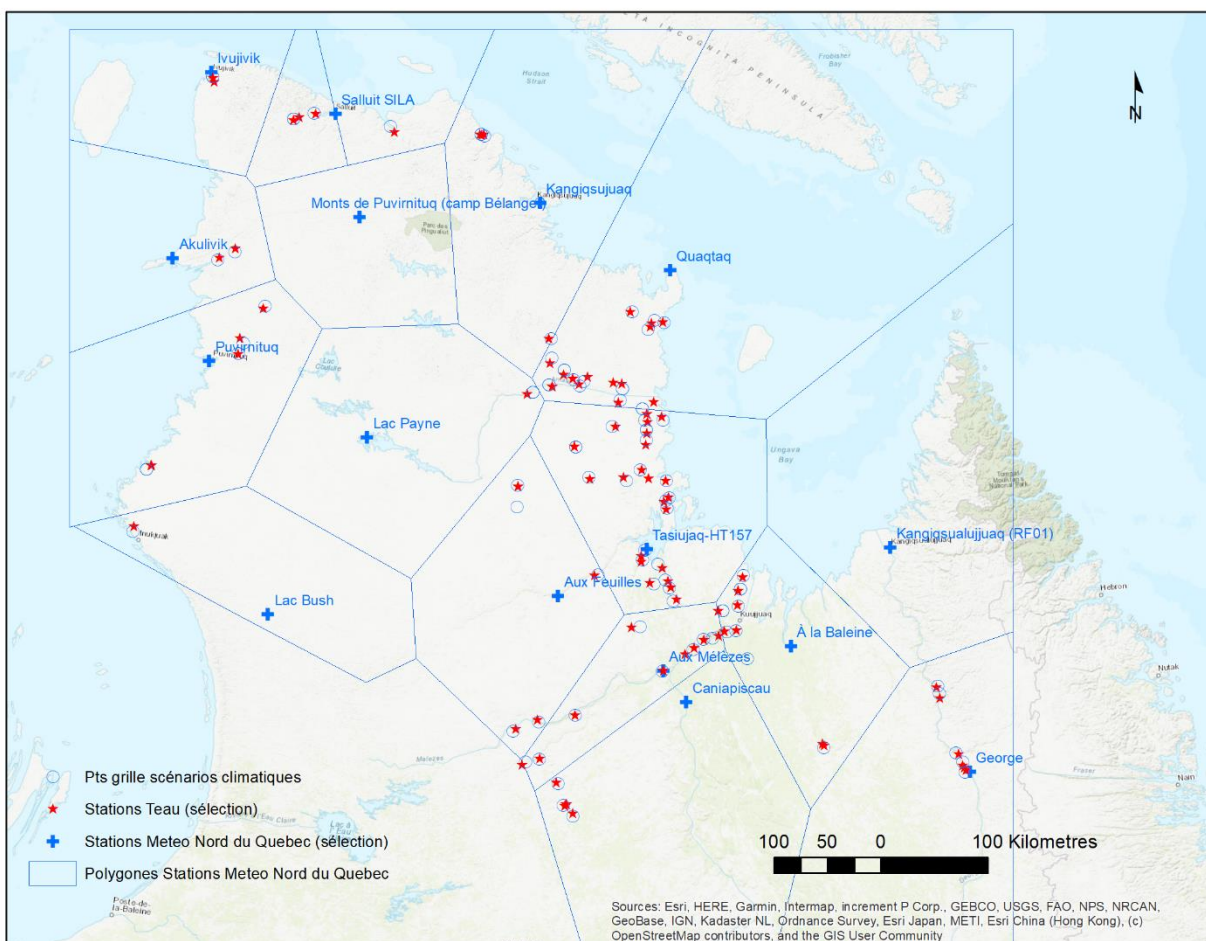


Figure 4. Localisation des stations météorologiques (croix bleues), des stations de température de l'eau en rivière (étoiles) et des points de grille des scénarios climatiques (cercles vides). Les limites des polygones de Thiessen associés à chaque station de climat sont représentées par les traits bleus.

Tableau 1. Résumé des informations concernant les scénarios climatiques
(<https://donneesclimatiques.ca/portail/>).

<p>Modèles climatiques : Utiliser des modèles climatiques représentatifs de la moyenne de l'ensemble des 16 modèles climatiques individuels et des percentiles 10 et 90.</p> <p>Scénarios d'émissions futures de gaz à effet de serre : Utiliser 2 scénarios :</p> <p>rcp4.5 : scénario à émissions mondiales modérées. Ce scénario comprend des mesures pour limiter (atténuer) les changements climatiques.</p> <p>rcp8.5 : scénario à fortes émissions mondiales. Ce scénario entraîne le réchauffement le plus prononcé.</p> <p>Mise à l'échelle des modèles climatiques : La méthode de mise à l'échelle statistique des sorties de modèles climatiques développée par le Pacific Climate Impacts Consortium, la méthode BCCAQ.</p> <ul style="list-style-type: none"> « BCCAQ est une méthode de mise à l'échelle statistique des sorties de modèles climatiques développée par le Pacific Climate Impacts Consortium. Elle s'applique sur les températures et les précipitations quotidiennes incluant les indices d'extrêmes. Hybride de BCCA (Maurer et coll. 2010) et de QMAP (Gudmundsson et al. 2012), la méthode combine la correction de biais par mappage de quantiles avec une approche analogue en utilisant la grande échelle quotidienne des champs de température et de précipitation. BCCAQ a été développée pour corriger les biais des séries de précipitations quotidiennes des modèles climatiques afin d'améliorer la conservation des propriétés statistiques (p. ex. les moyennes, les variances et les quantiles) des séries d'observations historiques (obtenues de la base de données ANUSPLIN dans le cas présent). La robustesse de la méthodologie a été testée sur trois critères : séquences quotidiennes des événements de précipitations, caractéristiques des distributions et corrélations spatiales. BCCAQv2 est une modification de BCCAQ qui conserve à large échelle des changements projetés pour chaque quantile durant les étapes de mappage des quantiles, alors que d'autres méthodes ont tendance à amplifier le signal des changements climatiques. C'était par exemple le cas avec la méthode utilisée pour BCCAQv1. La préservation du signal du changement climatique est importante pour préserver les relations physiques avec les changements de température projetés. »

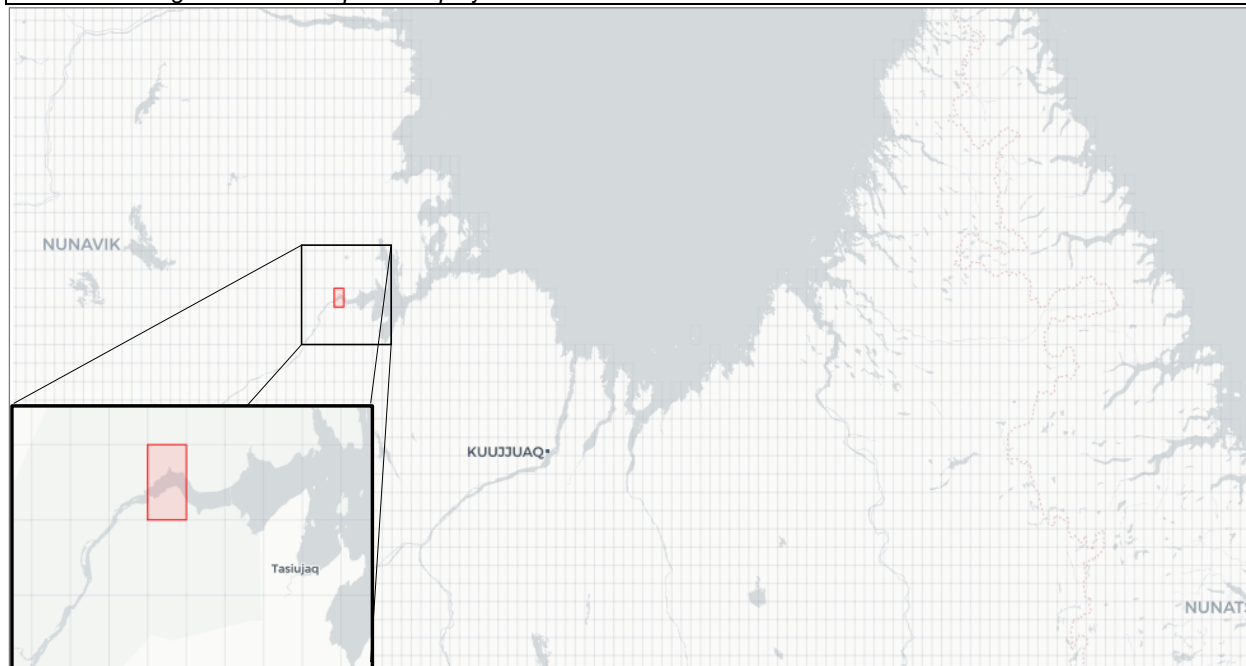


Figure 5. Grille d'extraction des données quotidiennes des scénarios climatiques pour chaque position de stations Teau sur le site de [Téléchargement — Données Climatiques Canada \(donneesclimatiques.ca\)](https://donneesclimatiques.ca). Le contour du point de grille en rouge localise un exemple d'un point d'extraction des données simulées.

Pour chaque scénario d'émissions futures de gaz à effet de serre (rcp4.5 et rcp8.5), les moyennes journalières des modèles climatiques (moyModeles) et les percentiles 10^e (P10) et 90^e (P90) de ces modèles sont calculés pour Tair max, Tair min et Tair moy. Pour chaque scénario d'émission et chaque station, il y a ainsi trois séries temporelles de températures de l'air pour Tair max, Tair min et Tair moy qui seront utilisées pour la modélisation thermique future, et ce, pour un total de 18 séries temporelles de température de l'air par station. Les moyennes journalières des modèles climatiques représentent une version lissée des fluctuations temporelles de la température, c'est pourquoi il a été décidé d'inclure des limites supérieures (P90) et inférieures (P10). Ces limites permettent d'avoir une meilleure représentation de la variabilité potentielle des températures de l'air et ultimement des températures de l'eau. Dans le cadre de ce travail, les percentiles 10^e et 90^e ont servi à produire un éventail élargi de valeurs de températures de l'eau à partir des modèles thermiques.

Les moyennes interannuelles de Tair simulées sur la période de référence 1981-2010 (et pour les trois autres périodes de 30 ans : 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100) ont été calculées pour l'ensemble des stations de mesure Teau et pour différents intervalles de temps, notamment la période estivale de juillet à septembre inclusivement.

Validation des valeurs de Tair moy

Les moyennes journalières interannuelles de Tair simulées par les modèles climatiques sont comparées aux données observées aux stations météorologiques associées aux stations de mesure de température de l'eau (rappelons que chaque station météo peut être associée à plusieurs stations Teau différentes). Cette étape vise à évaluer la représentativité globale, et par station, de la moyenne des modèles climatiques et des percentiles 10^e et 90^e. Cette comparaison directe est une alternative à la comparaison entre données simulées et observées/interpolées (Anusplin), lesquelles n'étaient pas disponibles au moment d'initier cette étude.

La comparaison visuelle pour des stations météorologiques retenues pour l'étude indique que globalement les moyennes interannuelles simulées et observées sont similaires (Figure 6; station Aux Mélèzes). Tel qu'attendu, la variabilité journalière est toutefois plus grande pour les données observées que pour les données simulées issues de la moyenne des modèles climatiques et les percentiles.

Les diagrammes en boîtes montrent les différences entre les moyennes mensuelles (Tair max, Tair moy et Tair min) observées et simulées pour le groupe de 78 stations Teau (Figure 7). Les différences sont relativement importantes pour certaines stations et varient entre -3,4° et 5,6°C pour Tair moy. Les plus grandes différences sont toutefois observées pour les mois d'automne et d'hiver (novembre à avril). Les températures simulées pour les mois d'hiver sont généralement surestimées par rapport à celles observées. Rappelons que plusieurs stations de Teau sont associées avec une même station de Tair pour les données observées et que les données simulées sont celles correspondant au point de grille le plus près de la station Teau.

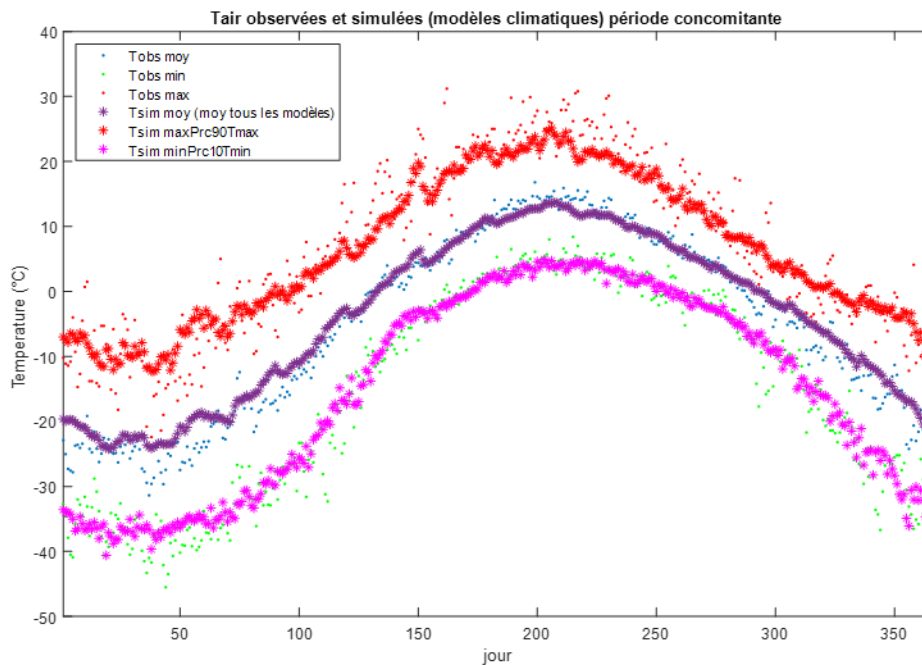


Figure 6. Moyenne interannuelle des températures de l'air pour les données observées et simulées et la période d'année concomitante (2015-2020) indiquée dans l'encadré au centre de la figure. Les données de températures de l'air représentées proviennent de la station de climat Aux Mélèzes associée au site de mesure de Teau du même nom.

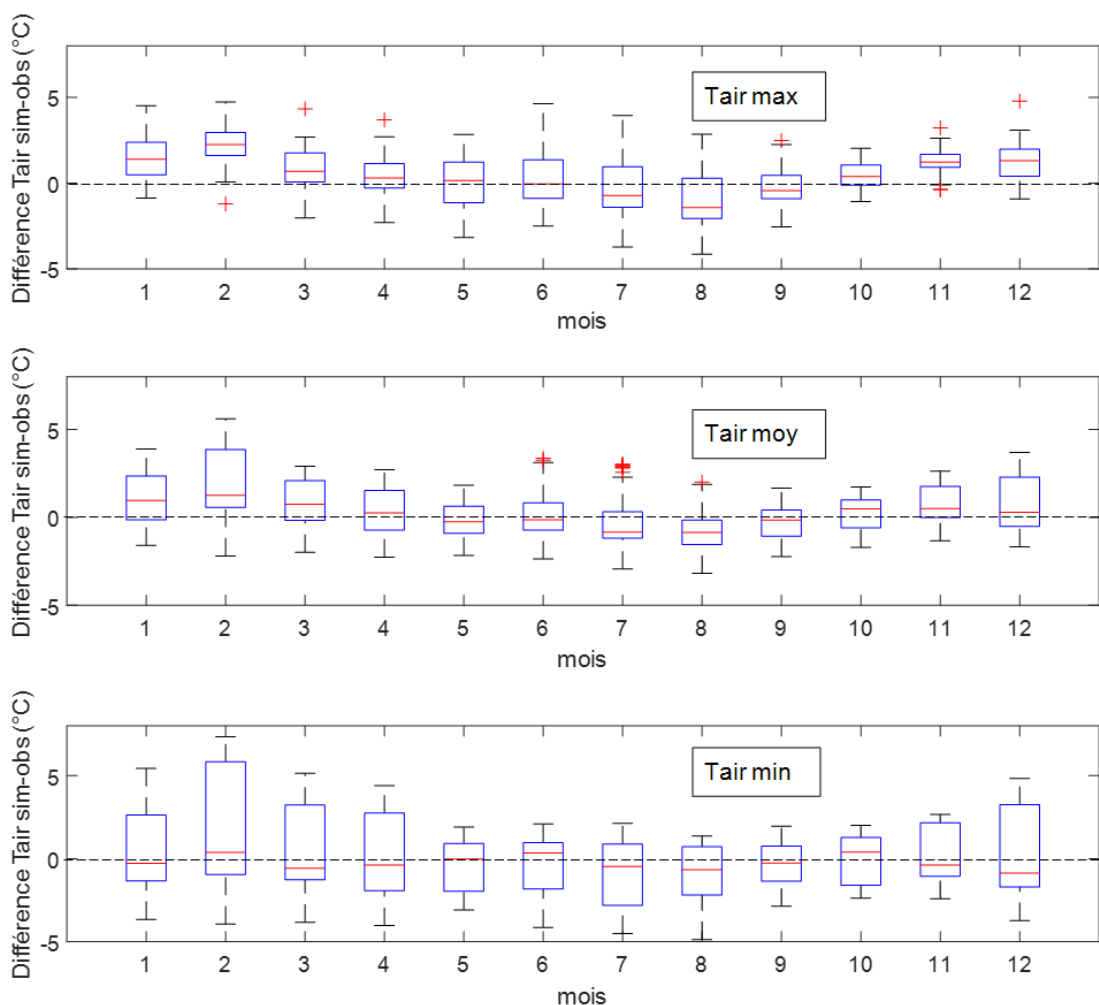
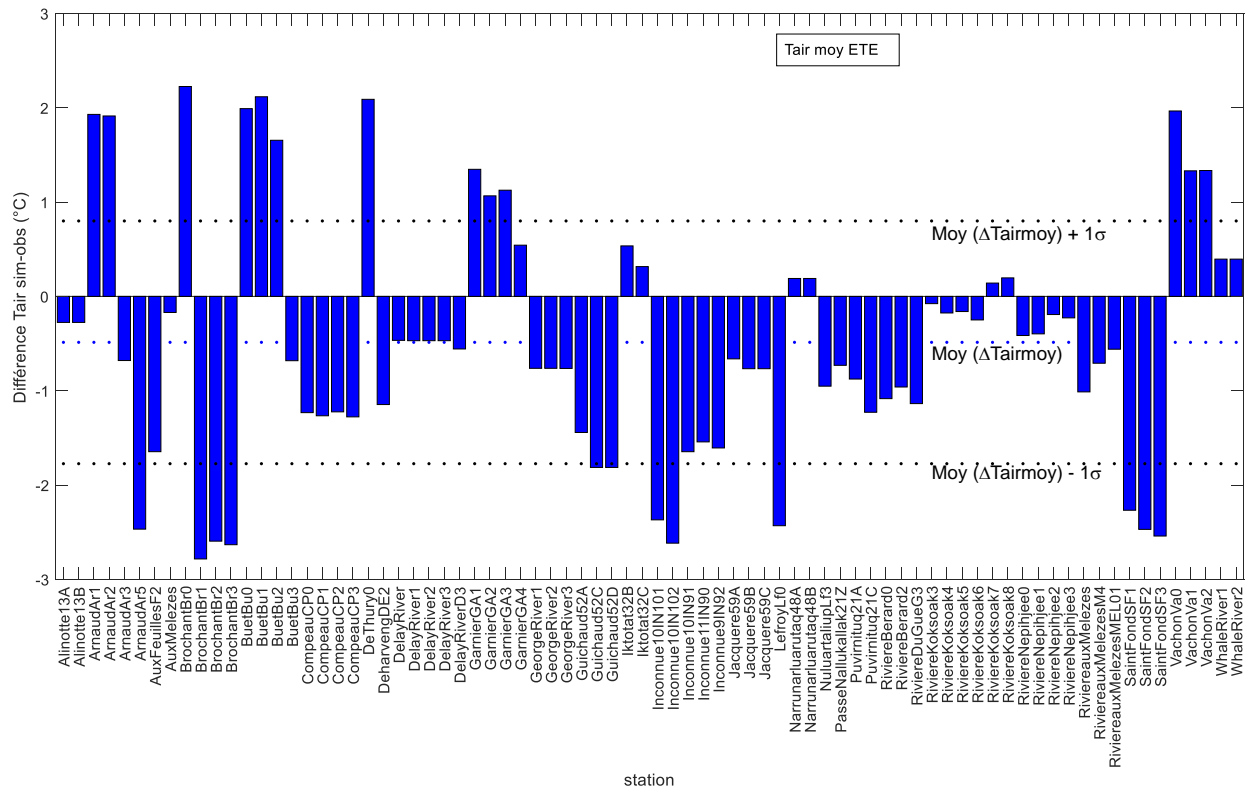


Figure 7. Différence entre les moyennes mensuelles de Tair observées aux stations (78) et simulées aux points de grille pour les années concomitantes. Les résultats de Tair max, Tair moy et Tair min sont représentés.

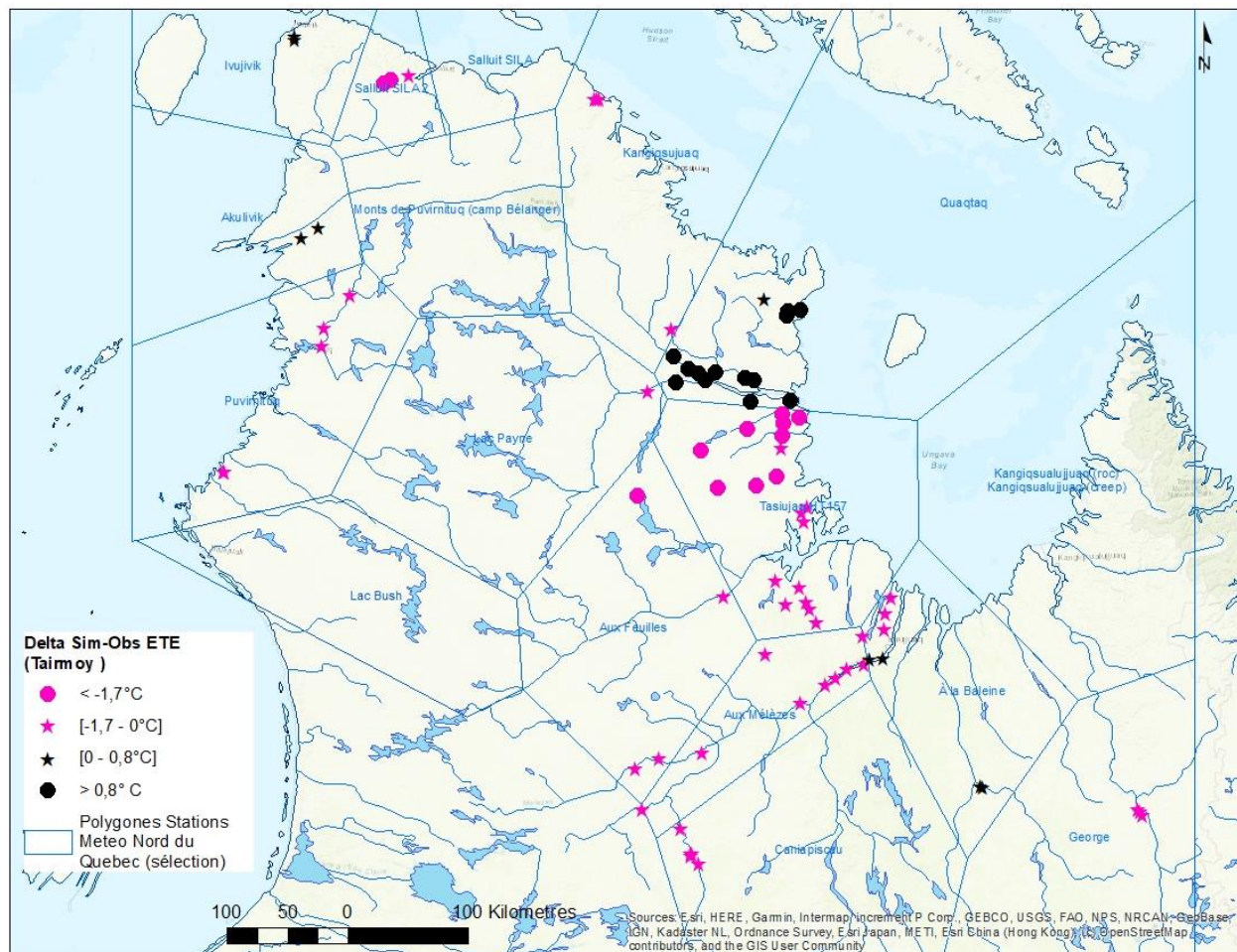
Les différences entre les températures observées et simulées pour les mois d'été (juillet, août et septembre) et pour l'ensemble de la période estivale sont moins marquées que pour les mois d'hiver (Tableau 2). Bien que la différence médiane soit toujours presque nulle, les différences peuvent cependant atteindre $\pm 4^{\circ}\text{C}$. Les écarts entre Tair moy simulées pour la période estivale et Tair moy observée pour la même période sont plus importants pour certaines stations (Figure 8a). Les écarts les plus grands sont calculés pour les stations situées le long de la côte ouest de la baie d'Ungava et particulièrement les stations représentées par les stations météos Tasiujaq-HT157 (pour stations Teau au nord du polygone) et Quaqtq (Figure 8b). Pour ces stations, les températures de l'air sont plus fortement sur- ou sous-estimées que pour l'ensemble des stations.

Tableau 2. Différences (Δ) entre les moyennes mensuelles simulées et observées pour 78 stations (période d'années concomitante).

	juillet	Août	septembre	ÉTÉ (juillet à septembre)
Max_ΔTair max	3.93	2.84	2.48	3.93
Moy_ΔTair max	0.06	-0.77	-0.26	-0.33
Min_ΔTair max	-3.73	-4.15	-2.55	-4.15
Max_ΔTair moy	3.03	2.00	1.67	3.03
Moy_ΔTair moy	-0.36	-0.79	-0.31	-0.49
Min_ΔTair moy	-2.93	-3.18	-2.23	-3.18
Max_ΔTair min	2.14	1.36	1.95	2.14
Moy_ΔTair min	-0.77	-0.81	-0.36	-0.65
Min_ΔTair min	-4.50	-4.87	-2.87	-4.87



a)



b)
 Figure 8. a) Amplitude des écarts entre les Tair moy simulées et observées à la période estivale pour chacune des stations et b) Localisation des stations Teau (cercles magenta et noirs) pour lesquels les écarts entre Tair moy simulée et observée en été sont plus grands que la moyenne du groupe de stations plus un écart-type ($\text{moy}\Delta\text{Tair moy} \pm 1\sigma$).

Aperçu des tendances des valeurs simulées de Tair moy

Les températures de l'air simulées entre 1981 et 2100 mettent en évidence la tendance temporelle ascendante marquée (Exemple pour la station Aux Mélézes, Figure 9). Les moyennes des modèles climatiques pour rcp4.5 (trait bleu) et rcp8.5 (trait rouge) sont représentées avec les tendances pour les extrêmes de l'éventail soit que le P90 (rcp8.5, en magenta) et P10 (rcp4.5, en vert). Pour cette station, la moyenne annuelle de Tair moy projeté passerait de $-5,2^{\circ}\text{C}$ à $-0,9^{\circ}\text{C}$ selon le rcp4.5 ($0,04^{\circ}\text{C} / \text{an}$) et à $3,1^{\circ}\text{C}$ selon le rcp8.5 ($0,07^{\circ}\text{C} / \text{an}$). Pour la période estivale, le taux de croissance de Tair moy est de $0,03^{\circ}\text{C} / \text{an}$ pour rcp4.5 ($15,8^{\circ}\text{C}$ à la fin de la période) et de $0,07^{\circ}\text{C} / \text{an}$ pour rcp8.5 ($19,5^{\circ}\text{C}$ à la fin de la période).

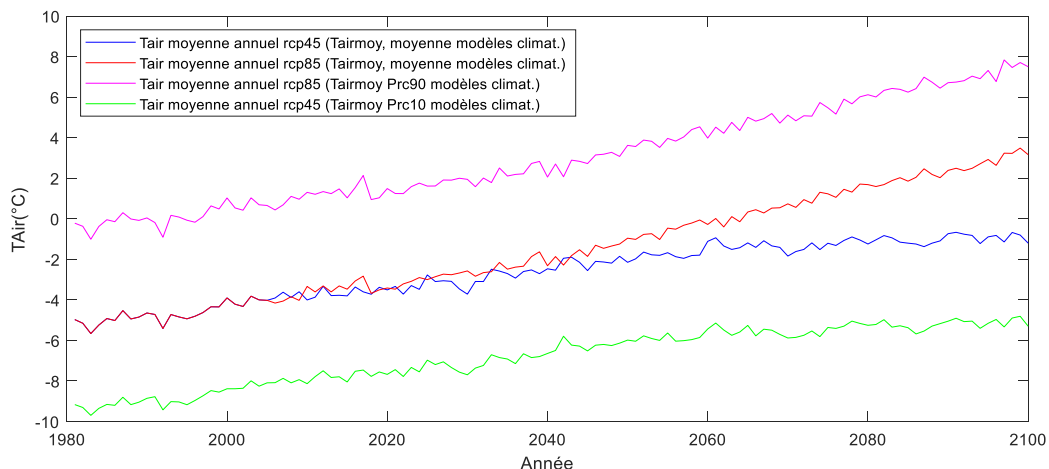


Figure 9. Tendence de moyenne interannuelle de Tair moy (moyenne, P90 et P10 de 16 modèles climatiques) pour rcp4.5 et rcp8.5. Station climatique associée à la station Aux Mélézes.

4.3 MODÉLISATION DES TEMPÉRATURES DE L'EAU

4.3.1 Modèle thermique

Le modèle additif généralisé (GAM à deux prédicteurs, Tair et jour de l'année) est utilisé pour créer les modèles thermiques à chaque station de Teau (à l'aide des températures de l'air observées) et pour modéliser par la suite la réponse thermique future des rivières à ces sites en fonction des températures de l'air simulées. Le modèle GAM est un modèle linéaire généralisé (GLM) dans lequel les prédicteurs sont représentés par la somme des fonctions de lissage (« spline ») calées sur les données. Le progiciel mgcv du logiciel R (4.0.3) a été utilisé (Wood, 2011). Malgré certaines lacunes notamment en ce qui concerne le suivi de l'évolution temporelle du maximum de température, ce modèle s'est avéré le plus performant lors d'une étude antérieure (Boyer *et coll.*, 2020). Laanaya *et coll.* (2017) ont aussi obtenu de bons résultats avec ce type de modèle pour une rivière dans la région du Saguenay. Certains des paramètres et critères du modèle sont spécifiés par l'utilisateur.

Les intrants du modèle thermique GAM choisis pour modéliser les températures journalières (j) de l'eau (Teau) incluent les prédicteurs Tair et le jour de l'année (JulDate) et prennent la forme suivante :

$$\text{Réponse : } g(E(\text{Teau Moy } j)) \quad \sim \quad \text{Prédicteurs : } f_1(\text{Tair moy } j) + f_2(\text{JulDate } j)$$

Où g est la fonction de liaison et $E(\text{Teau Moy } j)$ la valeur attendue pour la réponse. La réponse ajustée est partitionnée entre les contributions de chacun des deux prédicteurs. Les deux fonctions de lissage f_1 et f_2

sont des splines cubiques définies de façon automatique en respectant les critères spécifiés dans le descriptif du modèle GAM. Dans le cas présent, les critères utilisés sont :

Famille = gaussien
Méthode = "REML"
Gamma = 1,4 (les valeurs de 1,0 et 2,0 ont aussi été testées)
Fonction de liaison: identité

Famille: ce critère décrit le type de distribution des erreurs et la fonction de liaison à utiliser dans le modèle.

Méthode : ce critère réfère à la méthode pour estimer les paramètres des fonctions de lissage. La méthode choisie est « REML » (Restricted Maximum Likelihood). Il s'agit d'une méthode d'estimation de la variance par maximum de vraisemblance. REML est moins sensible aux minima locaux que les autres critères et son emploi est de ce fait préférable.

Gamma spécifie le paramètre pour contrôler le degré de lissage de la fonction. Plus le chiffre est bas, plus le lissage est faible et plus la courbe se rapproche des points. La valeur de gamma est augmentée au-delà de 1, pour produire des modèles plus lisses.

Les modèles thermiques sont construits de façon indépendante pour Teau moy, Teau min et Teau max.

4.3.2 Calage du modèle thermique sur les données observées aux stations choisies

Contraintes liées aux données observées

Les températures observées dans les rivières du Nunavik sont utilisées pour caler les modèles par station. Comme spécifier précédemment, l'historique des séries temporelles de température dans cette région du Québec est très court, par conséquent les modèles s'appuient sur très peu de données, lesquelles sont obtenues sur un nombre très limité d'années de suivi. Les années avec données sont aussi parfois incomplètes.

Le nombre annuel moyen de mesures valide de température de l'eau par station est de 173. Parmi l'ensemble des stations avec des données, 34 % ont en moyenne entre 150 et 210 mesures annuellement et 28% entre 240 et 270 (Tableau 3). Le nombre annuel moyen de mesures est toutefois inférieur à 90 pour 18% des stations. Les mois d'été sont aussi incomplets pour quelques stations (annexe 9.2). Ces données proviennent quelquefois de mois différents d'une année à l'autre, parfois du début de l'été et parfois de la fin de l'été. Tel que mentionné précédemment, les températures de l'air mesurées aux stations météorologiques en 2018 sont les plus froides et 2020 est l'année la plus chaude de la période d'observation (2015-2021). Pour Teau moy observée, la différence de la moyenne estivale est d'environ 3,3°C entre ces deux années pour l'échantillon des stations étudiées.

Les particularités des séries de données observées imposent des contraintes qu'il importe de souligner puisque celles-ci limiteront fortement la portée des résultats de simulation. Afin de représenter le plus grand nombre de stations possible, nous avons opté pour la construction des modèles thermiques à partir de l'ensemble des données disponibles. Ceci même si idéalement, il serait préférable de se limiter aux années ayant des conditions climatiques similaires. La majorité des stations utilisées ($n > 70$) ont des données en 2018 et 2019 (Figure 10).

Tableau 3. Nombre annuel moyen de mesures de température de l'eau (données valides) disponibles pour l'ensemble des stations (incluant celles non sélectionnées pour l'étude).

Nb moyen de données par an	Fréquence (station / année)	Fréquence (station / année) cumulée
0-30	2	2%
30-60	12	15%
60-90	3	18%
90-120	7	26%
120-150	6	32%
150-180	19	52%
180-210	13	66%
210-240	6	72%
240-270	11	84%
270-300	15	100%
300-330	0	100%
330-366	0	100%

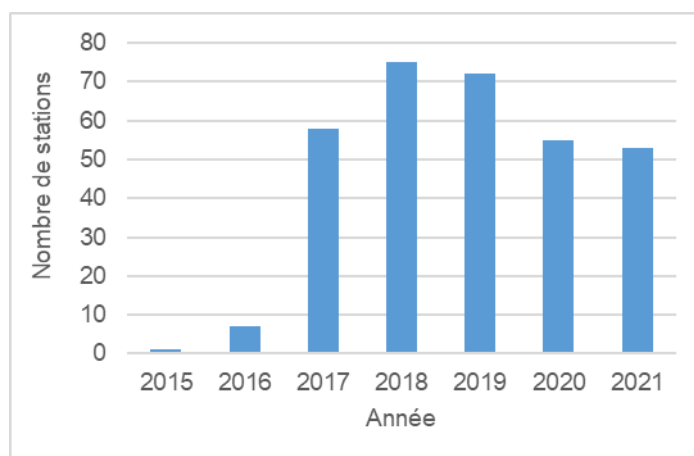


Figure 10. Nombre de stations avec mesures de températures de l'eau en fonction des années.

L'effet de la plage de données observées sur les résultats des simulations issus des modèles thermiques est montré pour les stations Aux Mélézes et Buet_Bu1 à la figure 11. Pour la première station, la plage de données couvre deux étés complets (Figure 11a). Pour la seconde station, les données couvrent deux séries partielles et une complète (Figure 11b). Les données de température de l'eau de ces deux stations

ont par conséquent des signatures très distinctes. La qualité de la modélisation est inférieure dans le cas de la station Buet_Bu1. La qualité variable des résultats pour des modélisations de Teau pour les stations Aux Mélèzes (bonne représentativité) et Buet_Bu1 (faible représentativité) est montrée aux figures 12a et 12b.

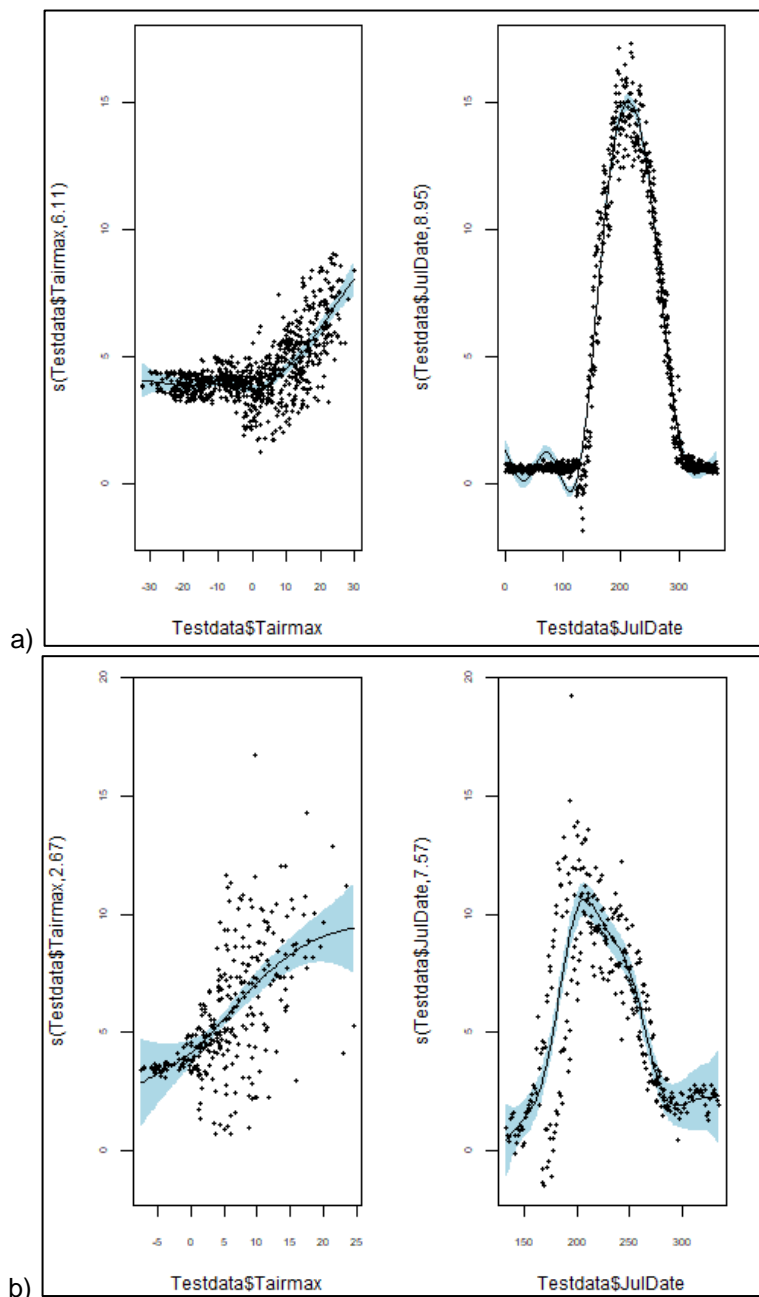


Figure 11. Réponse ajustée partitionnée (s, fonction lissée) entre les contributions de chacun des deux prédicteurs. Modèle appliqué pour Tmax et utilisant les données de l'année entière et l'ensemble des années avec données. a) stations Aux Mélèzes et b) station Buet_Bu1. La bande bleue indique l'intervalle de confiance.

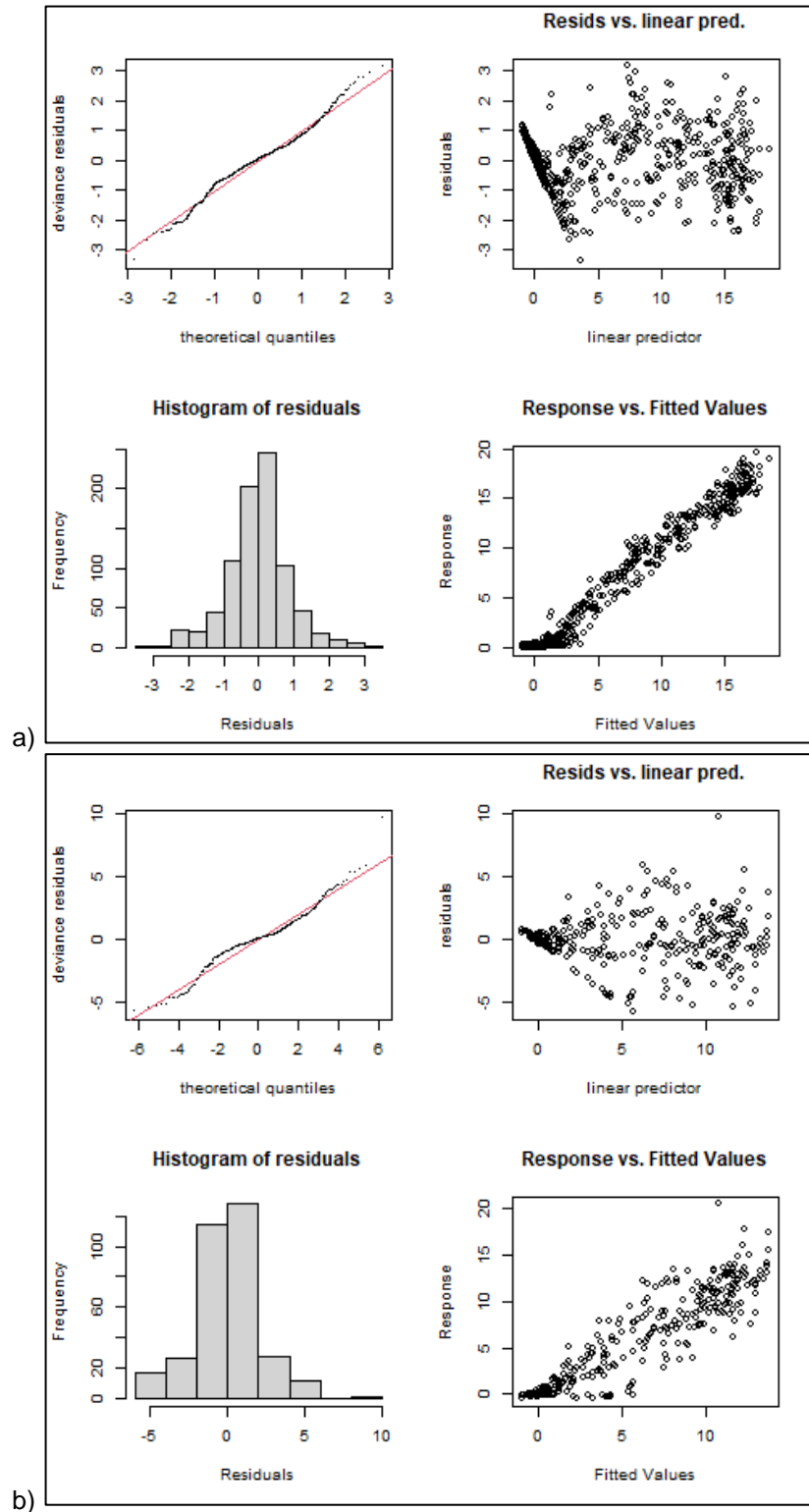
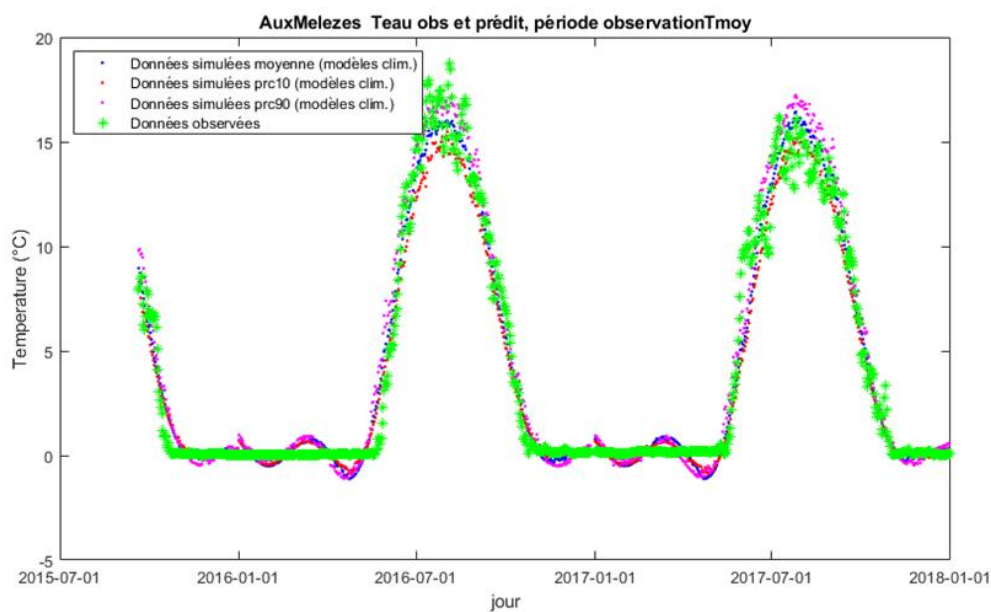
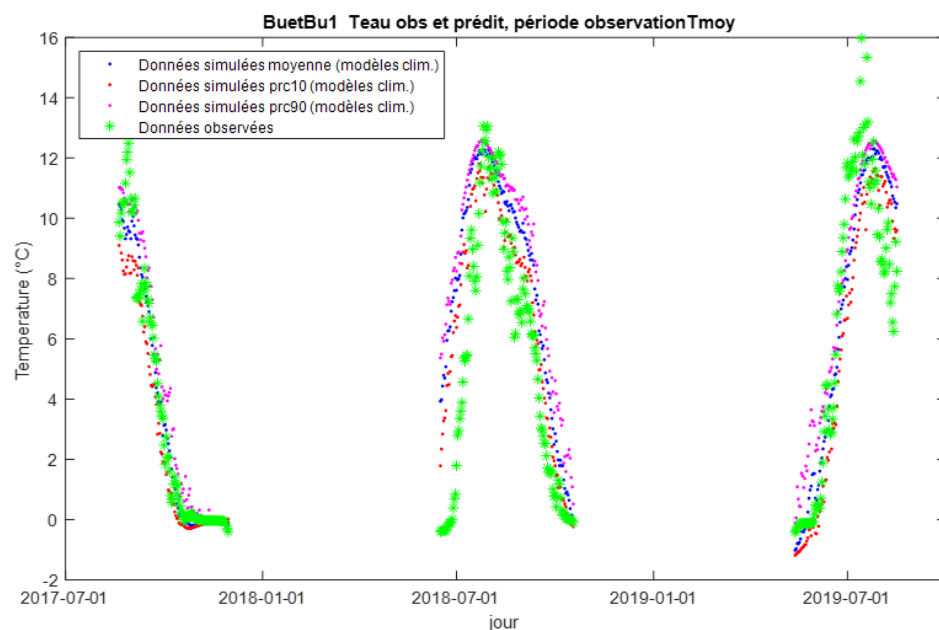


Figure 12. Résultats de la modélisation de Teau max en fonction des prédicteurs. a) station Aux Mélèzes; b) station Buet_Bu1. Modèle appliqué pour l'année entière et utilisant l'ensemble des années avec données.

Les valeurs simulées pour la période d'observation sont présentées avec les températures observées aux figures 13a et 13b. Les données simulées pour la station Buet_Bu1 (Figures 13a) s'écartent plus fortement des données observées que celles de la station Aux_Mélèzes (Figures 13b). La figure 13a permet notamment de visualiser l'effet du contraste climatique entre les années de mesure qui ont servi à construire le modèle et le fait que la plage annuelle d'observation soit partielle et différente entre deux années.



a)



b)

Figure 13. Comparaison des Teau moy journalières observées (étoiles vertes) et prédites pour la période d'observation. a) station Aux Mélèzes ; b) station Buet_Bu1. Les points bleu, rouge et magenta représentent respectivement la moyenne des modèles, le percentile 10 et le percentile 90.

Évaluation de la qualité des modèles thermiques :

La qualité des modèles thermiques est évaluée à partir de RMSE (« Root Mean Squared Error » ou erreur quadratique moyenne) et du R^2 . Le AIC (« Akaike's Information Criteria ») a aussi été utilisé pour comparer les trois modèles créés (GAM 1, GAM 1.4 et GAM 2). Les RMSE varient entre 0,46 et 2,03 °C pour Teau moy tandis que les R^2 varient entre 0,60 et 0,98 (tableau 4). Il est entendu que comme le nombre de données disponibles est faible pour certaines stations, la performance de ces indicateurs peut être réduite, notamment si l'étendue des valeurs de Tair et Teau est limitée. Ainsi, les R^2 élevés et les RMSE faibles peuvent signifier que le modèle s'appuie sur un très faible nombre de données estivales et que celui-ci s'ajuste fortement sur ces données (ex. station George_River_3). L'ajout de données couvrant plusieurs années pourra agrandir cet intervalle, nécessitant une nouvelle calibration des modèles et un nouveau calcul des estimateurs de qualité des simulations.

Tableau 4. Résultat des modèles GAM (1.4) pour Teau moy: valeurs des RMSE et du R^2 pour les stations choisies. Les cellules grisées indiquent les stations avec 2 ans et moins de données. Le nombre estival de données est surligné en grisé lorsqu'il représente moins de 75 % du nombre annuel de données (nb < 69 données par été).

Station	RMSE (GAM 1.4)	R^2 (GAM 1.4)	Nb total de données	Nb d'années	Nb données estivales
Aux Mélèzes	0,87	0,92	830	3	195
Buet_Bu1	1,95	0,64	325	3	182
Delay_River	0,65	0,93	324	2	91
Delay_River_1	0,52	0,97	361	2	88
Delay_River_2	0,61	0,95	378	2	105
Delay_River_3	0,72	0,95	292	2	95
George_River_1	0,87	0,86	136	3	136
George_River_2	0,66	0,87	152	4	152
George_River_3	0,46	0,95	93	3	93
Nuluartaliup_Lf3	1,41	0,86	388	3	178
Riviere_Koksoak_3	0,61	0,94	245	2	95
Riviere_Koksoak_5	0,53	0,96	347	2	95
Riviere_Nepihjee_0	0,6	0,96	235	2	95
Riviere_Nepihjee_2	0,75	0,95	362	2	95
Vachon_Va0	2,03	0,69	309	3	185
Whale_River_1	1,04	0,66	178	4	134
Whale_River_2	1,07	0,60	173	4	129
Alinotte_13A	0,99	0,97	866	4	281
Alinotte_13B	0,89	0,98	1074	4	281
Arnaud_Ar1	1,73	0,89	931	5	379
Arnaud_Ar2	1,34	0,93	1367	5	379
Arnaud_Ar3	1,42	0,93	825	5	343
Arnaud_Ar5	1,32	0,94	1455	5	375
Aux_Feuilles_F2	1,26	0,95	1462	5	370
Brochant_Br0	1,10	0,94	1266	5	376

Brochant_Br1	1,30	0,93	1385	5	349
Brochant_Br2	1,90	0,88	785	5	347
Brochant_Br3	1,54	0,91	716	5	349
Buet_Bu0	1,49	0,92	903	5	377
Buet_Bu2	1,59	0,91	842	5	378
Buet_Bu3	1,62	0,90	694	5	346
Compeau_CP0	1,50	0,93	1252	5	349
Compeau_CP1	1,69	0,91	962	5	347
Compeau_CP2	1,34	0,92	1261	5	347
Compeau_CP3	1,57	0,92	1302	5	347
De_Thury_0	1,39	0,93	1035	5	377
Deharveng_DE2	1,52	0,93	1336	5	352
Delay_River_D3	0,97	0,96	376	2	92
Garnier_GA1	1,55	0,90	780	5	378
Garnier_GA2	1,58	0,90	881	5	378
Garnier_GA3	1,48	0,91	915	5	378
Garnier_GA4	1,53	0,88	1031	5	378
Guichaud_52A	1,62	0,90	529	4	281
Guichaud_52C	1,11	0,93	961	4	280
Guichaud_52D	1,34	0,90	606	4	281
Iktotat_32B	1,24	0,96	727	4	280
Iktotat_32C	1,23	0,95	634	4	273
Inconnue_10_IN101	1,68	0,90	783	5	348
Inconnue_10_IN102	1,50	0,88	895	5	348
Inconnue_10_IN91	1,57	0,92	854	5	348
Inconnue_11_IN90	1,35	0,94	1194	5	348
Inconnue_9_IN92	1,57	0,91	796	5	348
Jacquere_59A	1,12	0,93	606	4	282
Jacquere_59B	1,14	0,89	557	4	282
Jacquere_59C	1,15	0,87	454	4	282
Lefroy_Lf0	1,52	0,91	1084	5	346
Narrunarluarutaq_48A	0,85	0,96	932	3	219
Narrunarluarutaq_48B	0,91	0,96	737	3	219
Passe_Nallukallak_21Z	1,33	0,94	443	4	263
Puvirnituaq_21A	1,33	0,94	409	4	238
Puvirnituaq_21C	1,49	0,93	431	4	280
Riviere_Berard_0	1,20	0,94	1060	5	345
Riviere_Berard_2	1,22	0,94	774	3	229
Riviere_Koksoak_4	1,12	0,96	666	3	223
Riviere_Koksoak_6	1,19	0,96	715	3	223
Riviere_Koksoak_7	1,40	0,93	957	3	224
Riviere_Koksoak_8	1,13	0,95	914	3	214
Riviere_Nepihjee_1	1,34	0,94	782	3	229
Riviere_Nepihjee_3	1,54	0,92	670	3	229

Riviere_aux_Melezes_M4	1,19	0,96	1465	5	375
Riviere_aux_Melezes_MEL01	0,80	0,98	334	2	127
SaintFond_SF1	1,60	0,91	908	5	348
SaintFond_SF2	1,58	0,91	839	5	348
SaintFond_SF3	1,62	0,91	1105	5	349
Vachon_Va1	1,72	0,89	785	5	379
Vachon_Va2	1,75	0,88	753	5	379
riviere_Du_Gue_G3	1,31	0,95	1415	5	373

4.4 INCERTITUDE ET NIVEAU DE CONFIANCE DES SIMULATIONS THERMIQUES AUX STATIONS

Considérant les limites imposées notamment par les séries partielles de données de température de l'eau et le faible nombre d'années avec des données ainsi que celles liées à la distribution éparsée des stations météorologiques, un code qualifiant les deux niveaux de modélisation, climatique (Tair) et thermie de l'eau (Teau), a été développé. Il s'appuie sur une évaluation distincte faite pour chacun de ces deux niveaux de modélisation.

D'une part, une évaluation de la qualité des scénarios climatiques par rapport aux données de Tair observées aux stations météorologiques qui ont servi à construire le modèle thermique². Et d'autre part, une évaluation de la fiabilité du modèle thermique créé à partir des données observées en tenant compte des particularités de celles-ci notamment le nombre de données de Teau, la période annuelle avec données et les conditions climatiques des années d'observations. Les niveaux de confiance sont définis à l'issue de la combinaison des codes d'incertitude des deux niveaux de modélisation.

4.4.1 Classification des incertitudes de l'estimation de Tair par les scénarios climatiques aux stations

La classification des incertitudes liées à l'estimation de Tair par les scénarios climatiques est faite en comparant les données simulées aux points de grille les plus près des stations de mesure de température de l'eau avec les données observées aux stations météorologiques associées aux stations de thermie (méthode des polygones de Thiessen). Ce choix est justifié par le fait que les données interpolées sur la grille de 10km par 10 km, ne sont pas disponibles pour la période d'observation. Les différences calculées incluent donc à la fois les effets liés à la spatialisation de la variable Tair sur la grille (qui n'est pas incluse dans les données observées) et l'effet des modèles climatiques. Les stations d'observation dans le nord du Québec sont aussi moins nombreuses que dans le sud. Par conséquent, il peut y avoir un décalage entre

² Rappel : La comparaison avec les données de Tair observées aux stations météorologiques est une alternative à la comparaison avec les données interpolées pour la grille Anusplin, lesquelles ne sont pas disponibles pour la période 2017 et 2021 (section 3.2.1).

la représentativité des variables climatiques observées et transposées directement à une station de thermie et celles projetées et interpolées sur la grille 10km x 10km et extraites à cette même station.

L'amplitude de l'écart entre T_{air} simulée et T_{air} observée pour la période estivale (pour la durée d'observation) pour chaque station (i) sert à définir le niveau d'incertitude. Les classes sont définies par un seuil fixe de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et un seuil relatif basé sur la moyenne ($\text{moy}(\Delta T_{air} \text{ moy}_i)$) et l'écart-type ($\pm 1\sigma$) de l'ensemble des valeurs locales observées dans l'échantillon de stations étudiées. Pour l'échantillon de 78 stations, la moyenne des écarts est de $-0,44^{\circ}\text{C}$ et l'écart-type est de $1,27^{\circ}\text{C}$. Les classes suivantes sont définies :

- Incertitude faible :
 - classe définie par une valeur seuil fixée $\Delta T_{air} \text{ moy}_i \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - 22 stations
- Incertitude modérée \Rightarrow seuil : $(\text{moy}(\Delta T_{air} \text{ moy}_i)) \pm 1\sigma$ (soit $0,83^{\circ}\text{C}$ et $-1,72^{\circ}\text{C}$) :
 - $0,5^{\circ}\text{C} < (\Delta T_{air} \text{ moy}_i) < 0,83^{\circ}\text{C}$ et $-1,72^{\circ}\text{C} < (\Delta T_{air} \text{ moy}_i) < -0,5^{\circ}\text{C}$:
 - 33 stations
- Incertitude élevée \Rightarrow seuil : $(\text{moy}(\Delta T_{air} \text{ moy}_i)) \pm 1\sigma$
 - Surestimées ($\Delta T_{air} \text{ moy}_i > 0,82^{\circ}\text{C}$):
 - 13 Stations : Garnier_GA1, Garnier_GA2, Garnier_GA3, Vachon_Va0, Vachon_Va1, Buet_Bu0, Buet_Bu1, Buet_Bu2, Arnaud_Ar1, Arnaud_Ar2, Vachon_Va0, De_Thury_0, Brochant_Br0
 - Sous-estimées ($\Delta T_{air} \text{ moy}_i < -1,72^{\circ}\text{C}$):
 - 10 Stations : Arnaud_Ar5, Brochant_Br1, Brochant_Br2, Brochant_Br3, Lefroy_Lf0, SaintFond_SF1, SaintFond_SF2, SaintFond_SF3, Inconnue_10_IN101, Inconnue_10_IN102

4.4.2 Classification des incertitudes des modèles de thermie de l'eau aux stations

La classification des incertitudes des modèles thermiques aux stations s'appuie d'une part sur les écarts entre les T_{eau} moy simulées et observées, et d'autre part, sur la qualité des données d'observation utilisées pour construire les modèles thermiques et sur une qualification de celles-ci. La période estivale est ciblée puisque cette période est la plus importante pour les objectifs du projet et que la collecte de données de terrain est limitée à cette période pour certaines stations.

a) Écarts entre les T_{eau} moy simulées et observées

Les incertitudes dans les écarts entre T_{eau} moy simulées et observées sont classées en trois groupes. Les seuils sont définis selon un seuil fixe de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et un seuil relatif basé sur la moyenne ($\text{moy}(\Delta T_{eau} \text{ moy}_i)$) et l'écart-type ($\pm 2\sigma$) de l'ensemble des valeurs locales observées dans l'échantillon de stations étudiées.

Pour l'échantillon de 78 stations, la moyenne des écarts est de $-0,09^{\circ}\text{C}$ et l'écart-type est de $0,48^{\circ}\text{C}$. Les classes suivantes sont définies :

- Incertitude faible (attribution de la valeur numérique 0) :
 - Classe définie par une valeur seuil fixée à $(\Delta T_{\text{eau moy}_i) \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
 - 56 stations

- Incertitude modérée (attribution de la valeur numérique 1) \Rightarrow seuil : $\Delta T_{\text{eau moy}_i \pm 2\sigma$ (soit $0,86^{\circ}\text{C}$ et $-1,04^{\circ}\text{C}$) :
 - $-1,04^{\circ}\text{C} < (\Delta T_{\text{eau moy}_i) < -0,5^{\circ}\text{C}$ et $0,5^{\circ}\text{C} < (\Delta T_{\text{eau moy}_i) < 0,86^{\circ}\text{C}$
 - 18 stations

- Incertitude élevée (attribution de la valeur numérique 2) \Rightarrow seuil : $\Delta T_{\text{eau moy}_i \pm 2\sigma$:
 - Surestimées ($\Delta T_{\text{eau moy}_i > 0,86^{\circ}\text{C}$) \Rightarrow stations : Buet_Bu1 et Vachon_Va0.
 - Sous-estimées ($\Delta T_{\text{eau moy}_i < -1,04^{\circ}\text{C}$) \Rightarrow stations : Arnaud_Ar5 et Puvirnituc_21C.

b) Qualité des données d'observation utilisées pour construire les modèles thermiques

La qualité des données d'observation est définie à partir :

1. *Nombre d'années de données (valeur numérique de 1 à 4) :*
 - 1 < 3 ans
 - 2 3 ans et contraste dans les conditions climatiques
 - 3 3 ou 4 ans ; avec 2 ou 3 ans de données sous conditions climatiques similaires
 - 4 ≥ 5 ans

2. *Nombre total de données en été (valeur numérique de 1 à 4) :*
 - 1 < 184
 - 2 $184 < \text{Nb} < 276$
 - 3 $276 < \text{Nb} < 460$
 - 4 > 460 (équivalent de 5 années de données pour les mois d'été)

3. *Mois couvert au cours de la période estivale annuellement (valeur numérique de 1 à 3).*
 - 1 juillet OU août
 - 2 juillet et août
 - 3 juillet à sept

Le seuil de 5 ans de données (et l'équivalent de 460 données en été) est arbitraire. Il vise à accroître la probabilité d'observer une variété de conditions climatiques tout en permettant de représenter adéquatement la réponse thermique des rivières et à assurer l'inclusion d'un maximum de stations. Les autres seuils sont adaptés compte tenu des données disponibles au moment de l'étude. Les valeurs numériques attribuées sont par la suite additionnées. La valeur numérique totale pour la qualité des

données d'observation varie entre 3 (médiocre) et 11 (très bonne) et inclut une part d'évaluation relative puisque les seuils utilisés pour les classes sont basés sur l'échantillon de 78 stations utilisées.

Le code d'incertitude lié aux modèles thermiques combine les deux facettes de l'évaluation pour chacune des stations. La valeur numérique attribuée à l'incertitude liée aux écarts entre Teau moy (en a) est soustraite de celle attribuée à la qualité des données d'observation (en b). Les valeurs finales sont par la suite regroupées en trois classes :

- Incertitude faible \Rightarrow valeurs numériques entre 9 et 11
- Incertitude modérée \Rightarrow valeurs numériques entre 6 et 8
- Incertitude élevée \Rightarrow valeurs numériques ≤ 5

4.5 ÉVALUATION DU NIVEAU DE CONFIANCE DES TEMPÉRATURES SIMULÉES PAR RIVIÈRE

Les niveaux de confiance résultant de la combinaison des codes d'incertitude pour les deux niveaux de modélisation pour chaque station étudiée sont indiqués au tableau 5. Le classement obtenu est partiellement relatif, en ce sens qu'il tient compte des valeurs obtenues pour l'échantillon de stations étudiées en plus d'une valeur fixe ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) définie pour chacune des variables. Cinq niveaux de confiance sont définis: limité (niveau inférieur), faible, adéquat, modéré, bon (niveau supérieur). Un niveau de confiance est associé à chacune des stations et est appliqué pour qualifier la fiabilité des indicateurs thermiques et de l'amplitude des deltas de changements de ceux-ci lors de la présentation des résultats et de la cartographie des indicateurs. Pour l'une des stations, seule la direction de changement pourra être qualifiée, le niveau de confiance est défini comme « nul ».

Finalement, la distribution spatiale de l'indice caractérisant le niveau de confiance global attribué aux stations indique que les résultats pour les stations du sud ont un faible niveau de confiance compte tenu notamment du peu de données observées à ces stations (Figure 14a). Les stations du côté ouest de la baie d'Ungava sont classées « adéquat », il est toutefois attendu que l'incertitude élevée des simulations des températures de l'air pourra venir teinter les résultats des projections. Les distributions spatiales de l'indice d'incertitude pour Tair et Teau (Figure 14b et 14c) permettent de visualiser la variable qui influe sur le résultat de l'indice de confiance.

La distribution spatiale de l'indice d'incertitude pour Tair met en évidence les groupements de stations en fonction de leur association avec les stations météorologiques utilisées et associées aux stations de thermie par les polygones de Thiessen (Figure 14b). Les stations pour lesquelles les simulations de Tair sont les moins bonnes (incertitude élevée) sont localisées principalement du côté ouest de la baie d'Ungava, tel que spécifié précédemment (Figure 8b). Les stations du bassin de la Koksoak tendent à avoir une incertitude plus faible que les autres stations environnantes.

La distribution spatiale de l'indice d'incertitude pour Teau ne permet pas de voir de groupement de stations avec des indices similaires (Figure 14c). On note toutefois que la majorité des stations ayant une plus forte incertitude pour l'estimation de Teau sont localisées au sud du Nunavik. Ces stations ont très peu de données.

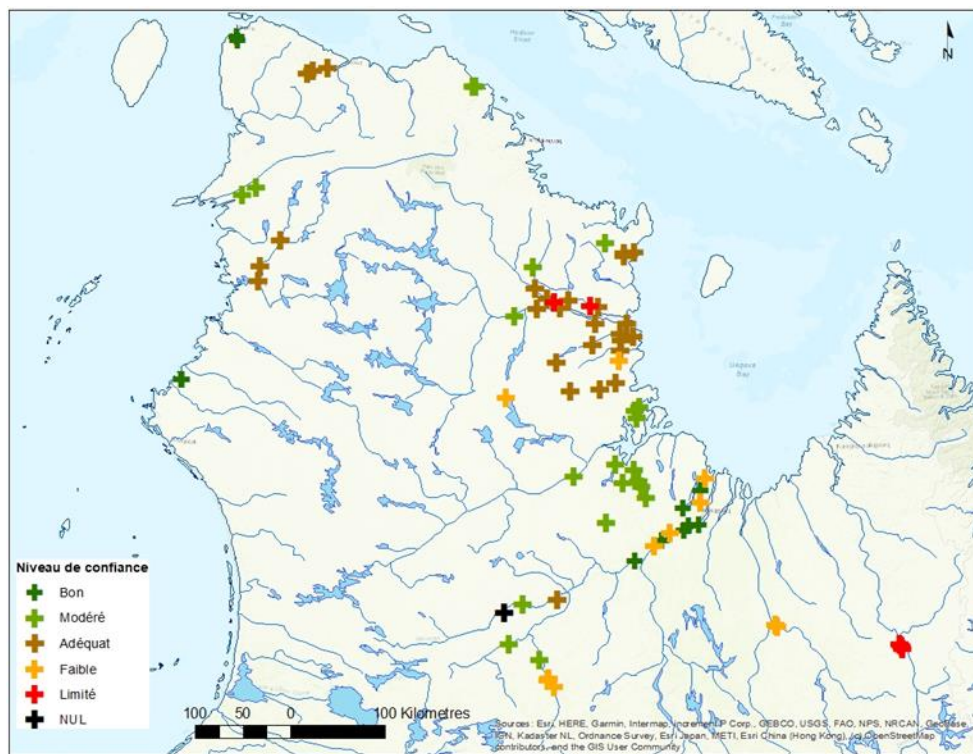
Le nombre limité de données ne permet pas d'avoir un très haut niveau de confiance pour la majorité des stations. Le niveau de confiance des résultats pourrait être rehaussé par l'ajout éventuel de nouvelles données de terrain, puisque le faible nombre d'années de données et le faible nombre annuel de données réduisent la cote initiale attribuée aux résultats des modèles thermiques.

Tableau 5. Niveau de confiance résultant des codes d'incertitude pour les deux niveaux de simulation pour chaque station étudiée.

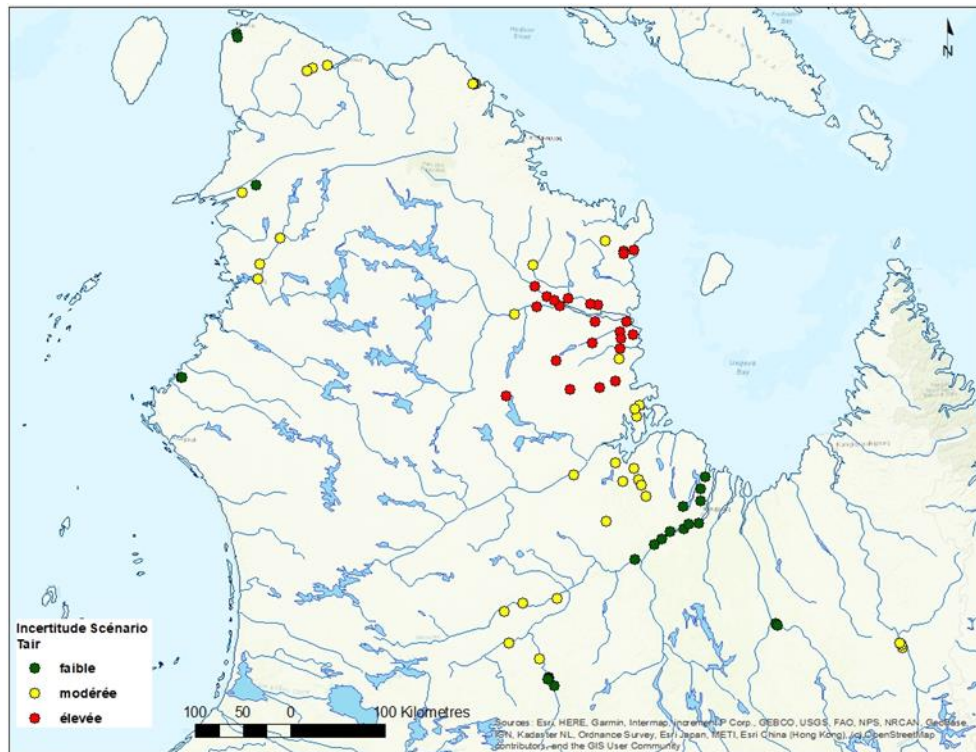
Stations	Incertitude de l'estimation de Tair	Tair fortement sous-estimé ($\Delta-$) ou surestimé ($\Delta+$)	Incertitude de l'estimation de Teau	Niveau de confiance
Alinotte_13A	faible		faible (9)	bon
Alinotte_13B	faible		faible (9)	bon
Arnaud_Ar1	élevée		faible (9)	Adéquat
Arnaud_Ar2	élevée		faible (10)	Adéquat
Arnaud_Ar3	modérée		faible (10)	Modéré
Arnaud_Ar5	élevée	$\Delta-$	modérée (8)	Faible
Aux Feuilles_F2	modérée		faible (9)	Modéré
Brochant_Br0	élevée	$\Delta+$	faible (10)	Adéquat
Brochant_Br1	élevée	$\Delta-$	faible (9)	Adéquat
Brochant_Br2	élevée	$\Delta-$	faible (9)	Adéquat
Brochant_Br3	élevée	$\Delta-$	faible (10)	Adéquat
Buet_Bu0	élevée	$\Delta+$	faible (9)	Adéquat
Buet_Bu1	élevée		élevée (4)	Limité
Buet_Bu2	élevée		faible (10)	Adéquat
Buet_Bu3	modérée		faible (10)	Modéré
Compeau_CP0	modérée		faible (10)	Modéré
Compeau_CP1	modérée		faible (10)	Modéré
Compeau_CP2	modérée		faible (10)	Modéré
Compeau_CP3	modérée		faible (10)	Modéré
De_Thury_0	élevée	$\Delta+$	faible (9)	Adéquat
Deharveng_DE2	modérée		faible (10)	Modéré
Delay_River D3	modérée		faible (10)	Modéré
Garnier_GA1	élevée		faible (9)	Adéquat

Garnier_GA2	élevée		faible (10)	Adéquat
Garnier_GA3	élevée		faible (10)	Adéquat
Garnier_GA4	modérée		faible (10)	Modéré
Guichaud_52A	modérée		modérée (8)	Adéquat
Guichaud_52C	modérée		modérée (8)	Adéquat
Guichaud_52D	modérée		modérée (8)	Adéquat
Iktotat_32B	modérée		faible (9)	Modéré
Iktotat_32C	faible		modérée (8)	Modéré
Inconnue_10_IN101	élevée	Δ-	faible (9)	Adéquat
Inconnue_10_IN102	élevée	Δ-	faible (9)	Adéquat
Inconnue_10_IN91	modérée		faible (10)	Modéré
Inconnue_11_IN90	modérée		faible (10)	Modéré
Inconnue_9_IN92	modérée		faible (10)	Modéré
Jacquere_59A	modérée		faible (9)	Modéré
Jacquere_59B	modérée		faible (9)	Modéré
Jacquere_59C	modérée		faible (9)	Modéré
Lefroy_Lf0	élevée	Δ-	faible (9)	Adéquat
Narrunarluarutaq_48A	faible		faible (9)	bon
Narrunarluarutaq_48B	faible		faible (9)	bon
Passe_Nallukallak_21Z	modérée		modérée (7)	Adéquat
Puvirnituaq_21A	modérée		modérée (7)	Adéquat
Puvirnituaq_21C	modérée		modérée (7)	Adéquat
Riviere_Berard_0	modérée		faible (10)	Modéré
Riviere_Berard_2	modérée		faible (10)	Modéré
Riviere_Koksoak_4	faible		faible (10)	bon
Riviere_Koksoak_6	faible		faible (10)	bon
Riviere_Koksoak_7	faible		faible (10)	bon
Riviere_Koksoak_8	faible		faible (10)	bon
Riviere_Nepihjee_1	faible		faible (10)	bon
Riviere_Nepihjee_3	faible		faible (10)	bon
Riviere_aux_Melezes_M4	modérée		faible (10)	Modéré
Riviere_aux_Melezes_MEL01	modérée		modérée (8)	Adéquat
SaintFond_SF1	élevée	Δ-	faible (9)	Adéquat
SaintFond_SF2	élevée	Δ-	faible (10)	Adéquat
SaintFond_SF3	élevée	Δ-	faible (9)	Adéquat
Vachon_Va1	élevée		faible (10)	Adéquat
Vachon_Va2	élevée		faible (10)	Adéquat
Riviere_Du Gue_G3	modérée		faible (9)	Modéré
Delay_River	faible		élevée (5)	Faible
Delay_River_1	faible		élevée (5)	Faible
Delay_River_2	faible		élevée (5)	Faible

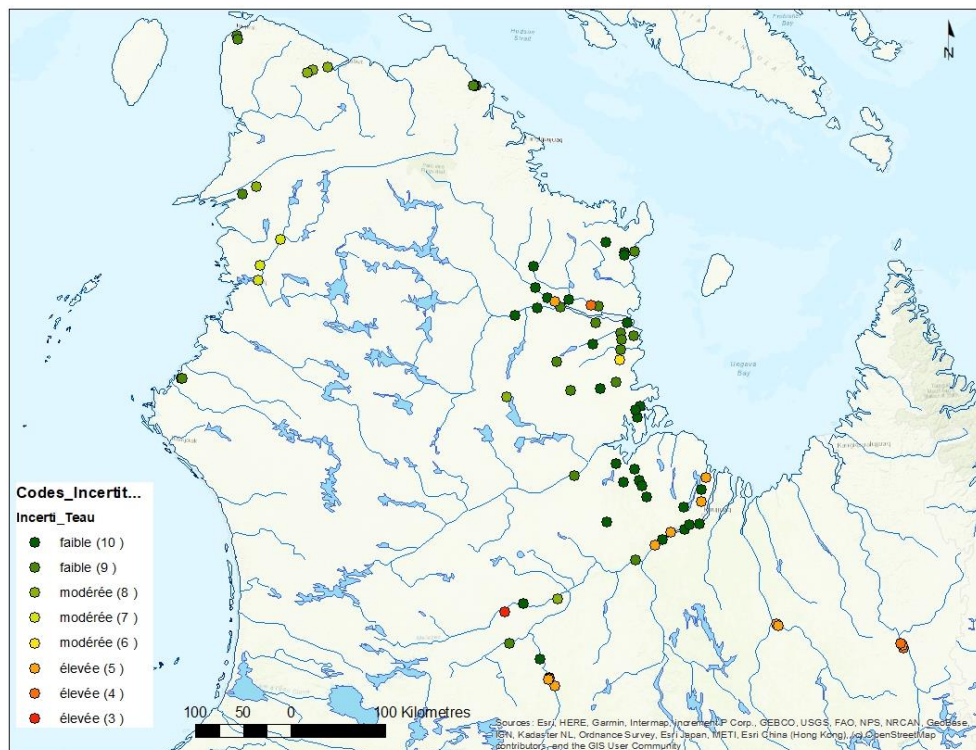
Delay_River_3	faible		élevée (5)	Faible
George_River_1	modérée		élevée (4)	Limité
George_River_2	modérée		élevée (5)	Limité
George_River_3	modérée		élevée (4)	Limité
Aux_Melezes	faible		faible (9)	bon
Nuluartaliup_Lf3	modérée		modérée (6)	Faible
Vachon_Va0	élevée		élevée (5)	Limité
Whale_River_1	faible		élevée (5)	Faible
Whale_River_2	faible		élevée (5)	Faible
Riviere_Koksoak_3	faible		élevée (5)	Faible
Riviere_Koksoak_5	faible		élevée (5)	Faible
Riviere_Nepihjee_0	faible		élevée (5)	Faible
Riviere_Nepihjee_2	faible		élevée (5)	Faible
Riviere_aux_Melezes	modérée		élevée (3)	NUL



a)



b)



c)

Figure 14. Distributions spatiales a) du niveau global de confiance associée à la modélisation thermique de l'eau à chaque station; b) des incertitudes liées à la modélisation de Tair; c) des incertitudes liées à la modélisation de Teau.

4.6 INDICATEURS THERMIQUES

La sélection des indicateurs thermiques vise à représenter des conditions d'habitats qui sont thermiquement favorables et contraignantes pour les salmonidés et qui permettent le suivi de ces conditions dans le temps. Ces indicateurs doivent toutefois pouvoir être modélisés adéquatement afin de favoriser le développement de recommandations pertinentes et applicables. Les indicateurs thermiques choisis ciblent principalement les juvéniles des deux espèces de poissons qui sont en rivière au cours de la période estivale (Tableau 6). Les adultes sont aussi soumis aux stress thermiques s'ils sont présents en rivière au cours de l'été.

Les indicateurs de croissance optimale et de stress (stress primaires) sont basés sur la température moyenne journalière (Teau moy). Ce choix est justifié par le fait que globalement la fiabilité est inférieure pour des indicateurs nécessitant une combinaison de deux mesures journalières différentes (ex. Teau min et Teau max). D'autres indicateurs pourront être analysés lorsque l'ajout de données permettra d'accroître la fiabilité des simulations journalières de Teau.

Les seuils pour l'indicateur de croissance optimale sont ceux pour lesquels il existe un certain consensus dans la littérature (Swift, 1965; Jobling, 1983; Larsson and Berglund 1998; Thyrel et al. 1999; Lyttikäinen et coll., 1997; Larsson, 2005; Dubos, 2021). Il est entendu que la croissance peut être observable en deçà du seuil inférieur de Teau moy et au-delà du seuil supérieur de Teau moy. Les seuils ne sont donc pas des seuils expliquant la présence ou l'absence de population.

Les seuils pour la croissance optimale du saumon atlantique sont mieux définis que ceux pour l'omble chevalier. Pour cette dernière espèce, les limites thermiques sont plus floues et la littérature suggère des différences notables selon les populations et leur position géographique. Peu de données existent actuellement concernant spécifiquement les populations d'omble du Nunavik, par conséquent les seuils utilisés reflètent davantage un contexte global que des seuils adaptés spécifiquement aux populations locales d'omble. Il en est de même pour les seuils de stress thermique primaire.

Les conditions thermiques hivernales, importantes pour la survie et le développement des œufs, ne sont pas examinées, puisque la période d'incubation est généralement moins bien représentée dans les données observées et les données des modèles climatiques sont moins bonnes pour cette période. La qualité des données simulées est ultimement influencée.

Il est à noter que les indicateurs thermiques sont développés uniquement à partir des températures simulées. Bien que les modèles développés à partir des données observées tiennent compte indirectement des conditions locales, les facteurs tels que le débit, les écoulements sous la surface, les fluctuations du pergélisol, les modifications dans la végétation et l'incidence du rayonnement solaire, ne sont pas analysés dans l'étude.

Il est aussi entendu que des facteurs non thermiques (ex. : disponibilité des habitats et des nutriments, la compétition entre les individus et entre les espèces) influent sur les conditions de croissance et sur les stress. Ces facteurs ne sont pas analysés dans cette étude.

Tableau 6. Indicateurs thermiques pour les espèces de salmonidés sélectionnés (saumon atlantique (SA) et omble chevalier (OC)).

Indicateurs	Espèces de salmonidés	Description	Intérêt de l'indicateur
Moyenne estivale (interannuel) de Teau		Moyenne estivale de Teau moyen (jour)	Évaluer les modifications du contexte thermique global au cours de la période de croissance estivale.
Période : 1 juillet – 30 septembre		Moyenne estivale de Teau maximum et minimum (jour)	
Jours de croissance optimale (nombre annuel et degré-jours)		Condition thermique de croissance optimale (des juvéniles) selon les espèces de salmonidés ciblés par l'étude :	Évaluer s'il y a amélioration ou détérioration des conditions thermiques optimales de croissance sur une période annuelle circonscrite. (Référence : Larsson & Berglund, 1998; Larsson, 2005; Elliot and Elliot, 2010; Heggenes et coll., 2021; Dubos, 2021)
Période : 1 juillet – 30 septembre	SA ⇒	16°C < Teau moy < 20°C	
	OC ⇒	11°C < Teau moy < 16°C	
Nombre de jours de stress thermique primaire		Conditions de stress thermique (des juvéniles) selon les espèces de salmonidés ciblés par l'étude	Évaluer l'évolution temporelle des contraintes thermiques sur la santé et la survie des espèces de salmonidés ciblés par l'étude (saumon et omble chevalier). (Référence : Larsson, 2005; Elliot and Elliot, 2010; Heggenes et al., 2021)
Période : 1 juillet – 30 septembre	SA ⇒	<i>Stress primaire</i> : Teau moy > 20°C	
	OC ⇒	<i>Stress primaire</i> : Teau moy > 18°C	

5 RÉSULTATS

Les scénarios climatiques pour la période 1981 à 2100 ont servi à simuler la thermie des rivières du nord du Québec et quantifier l'amplitude moyenne des changements (deltas) thermiques projetés pour trois périodes de 30 ans : 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100 par rapport à la période de référence 1981-2010.

Les résultats obtenus pour les trois groupes d'indicateurs thermiques définis au tableau 6 sont utilisés pour décrire l'amplitude des modifications thermiques projetées pour les habitats des deux espèces de salmonidés (saumon atlantique et omble chevalier) présentes dans les rivières du Nunavik. Ainsi, les deltas de changements des moyennes des températures estivales (Teau moy, Teau max et Teau min), du nombre annuel moyen de jours avec des conditions optimales de croissance et du nombre annuel moyen de jours de stress thermique primaire sont calculés par période de 30 ans par rapport à la période de référence

(1981-2010). Les seuils pour les indicateurs de croissance et de stress sont différents pour le saumon et l'omble chevalier (voir tableau 6).

Le niveau de confiance attribué aux données simulées à la station (tableau 5) accompagne la présentation (graphique et cartographique) des résultats des indicateurs thermiques. Les stations pour lesquelles le niveau de confiance est inférieur à adéquat sont présentées séparément des autres. Un code de couleur permet aussi de localiser les rivières en fonction des zones géographiques délimitées à la figure 3c. Les rivières où les deux espèces de salmonidés sont observées sont aussi identifiées sur les figures.

Il est à noter qu'il y a un élargissement de la plage des valeurs représentant l'ensemble des modèles climatiques avec le temps. L'enveloppe autour de la moyenne est donc plus étendue pour la période 2071-2100 que pour les périodes précédentes. Les écarts entre P10 et P90 donnent une indication de l'étendue de cette enveloppe.

5.1 INDICATEUR THERMIQUE GLOBAL : MOYENNE DES TEMPÉRATURES ESTIVALES

Les températures moyennes estivales (Teau moy) simulées à partir de la moyenne des modèles climatiques pour la période de référence 1981-2010 varient entre 6,3°C et 10,3°C pour les stations à l'étude (Figure 15). La fourchette des températures s'étend entre 5,5°C et 16,0°C pour la même période lorsque les simulations sont faites avec les P90 et P10 des modèles climatiques. L'étendue de la plage entre P90 et P10 est en moyenne de 1,9°C, mais varie entre 0,5°C et 3,6°C selon les stations.

La répartition spatiale de la moyenne interannuelle estivale de Teau moy (période de référence) aux stations est cohérente et indique une réduction globale des températures du sud au nord, ceci malgré les niveaux de confiance variables envers des températures simulées (Figure 16). Pour certaines stations, les températures moyennes estivales simulées sont plus chaudes qu'attendu compte tenu de leur latitude. C'est le cas par exemple, des stations de la rivière Alinotte (situées en aval d'un réseau de lacs), de la station aval sur la rivière Iktotat, des stations Arnaud 2 et 3 et des stations aval des rivières Buet et De Thury. Les moyennes estivales de Teau moy simulées pour la période de référence sont présentées et classifiées à l'annexe 9.3 (à titre informatif, la distribution spatiale de Teau max est présentée à annexe 9.4, figure 40).

Selon l'évolution temporelle projetée, le taux moyen d'augmentation de la moyenne estivale de Teau moy (moyenne des modèles climatiques) entre la fin de la période de référence (2011) et la fin de la période de projection climatique (2100) est estimé à 0,10°C/ 10 ans pour le scénario rcp4.5 et de 0,25°C/ 10 ans pour le rcp8.5. L'exemple de la Station Aux Mélézes est montré à la Figure 17. Ce taux varie selon les stations. Les stations des rivières Puvirnituk, Iktotat et Alinotte (le niveau de confiance global est qualifié de modéré et bon) ont un taux plus élevé que les autres stations (taux_i > (moy+1σ)). Les taux varient entre 0,18°C et 0,21°C/ 10 ans pour le scénario rcp4.5 et entre 0,39°C et 0,48°C/ 10 ans pour le scénario rcp8.5 pour ces rivières.

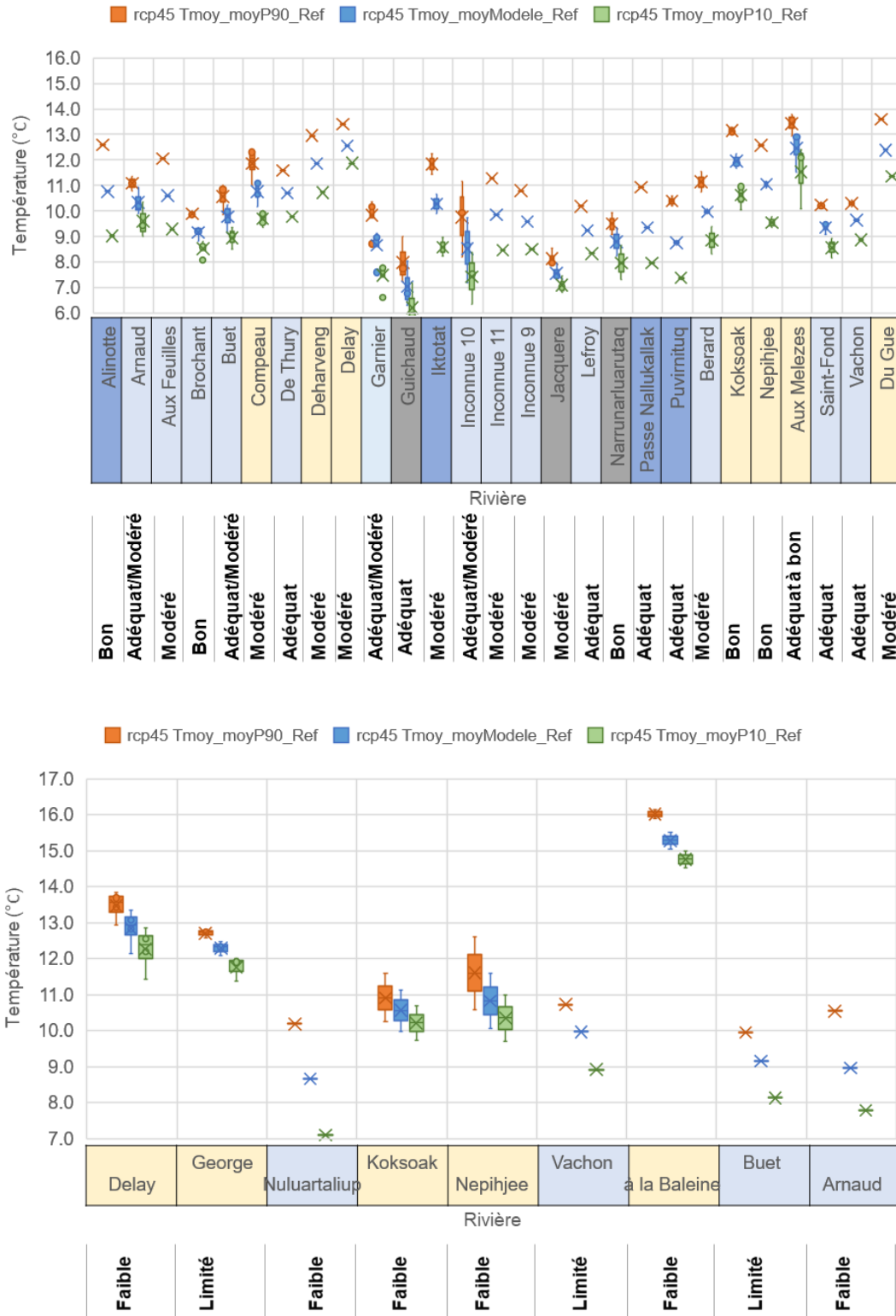


Figure 15. Moyenne estivale de Teau moy simulée à partir de la moyenne des modèles climatiques (en bleue) pour la période de référence (1981-2010). Le percentile P90 et le percentile P10 des modèles

climatiques sont représentés en orangé et vert respectivement. Le code de couleur pour les rivières indique la zone géographique d'appartenance (tel que représenté à la figure 3).

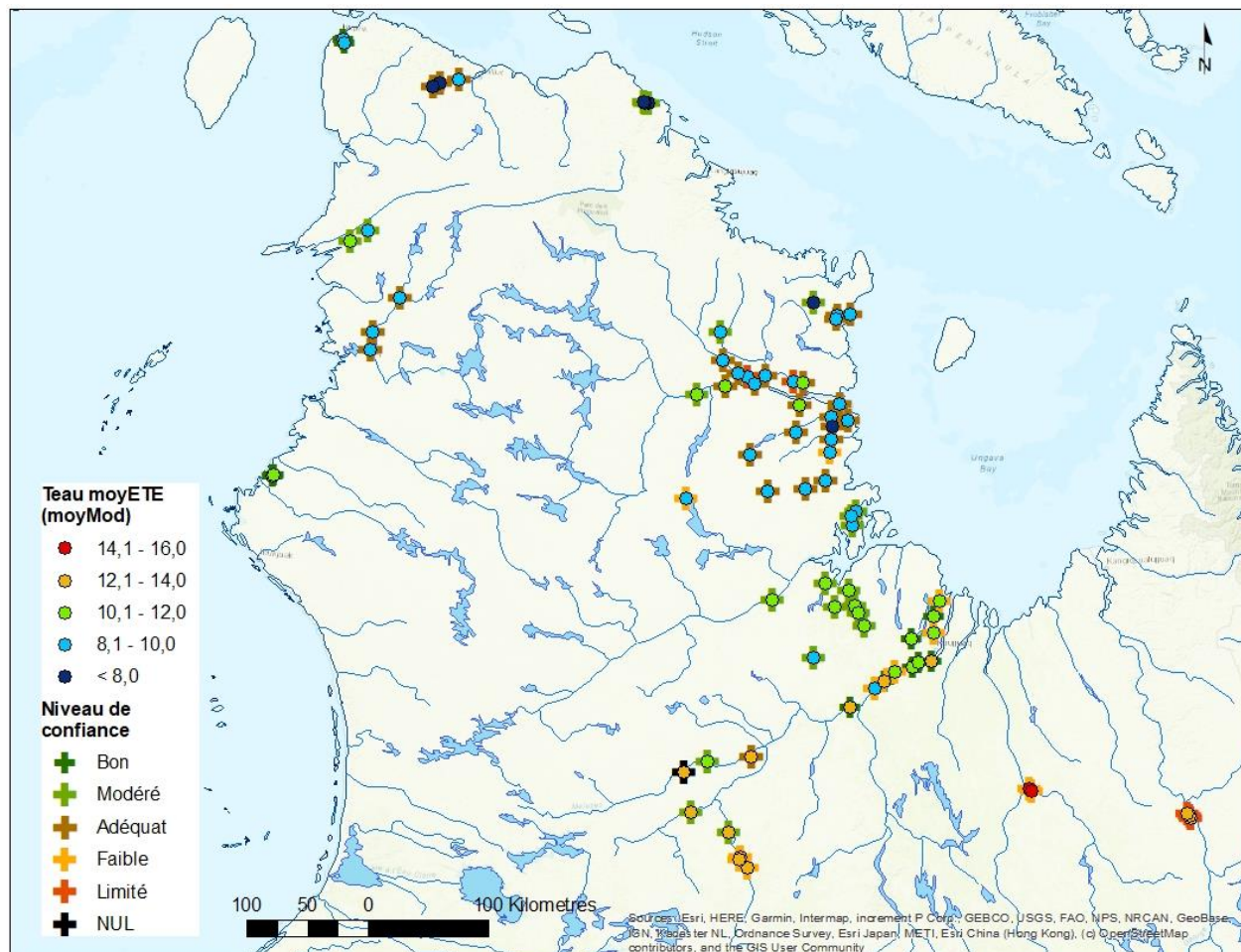


Figure 16. Distribution spatiale de la moyenne interannuelle estivale de la température de l'eau (Teau moy) simulée pour la période de référence, 1981-2010. Les niveaux d'incertitudes liées aux simulations de Teau (combine les codes d'incertitude de Tair et Teau) sont représentés à chaque station par les croix.

<https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=a32e320e18d643aea877c7c072892a59>

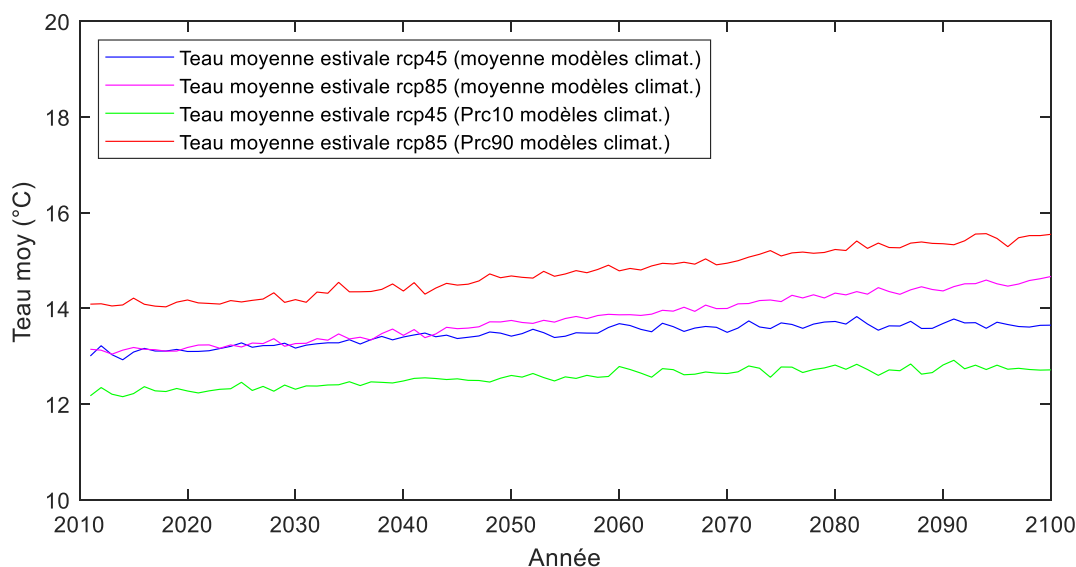


Figure 17. Moyenne estivale de Teau moy (moyenne, prc90 et prc10 des 16 modèles climatiques) pour rcp4.5 et rcp8.5. Station Aux Mélézes

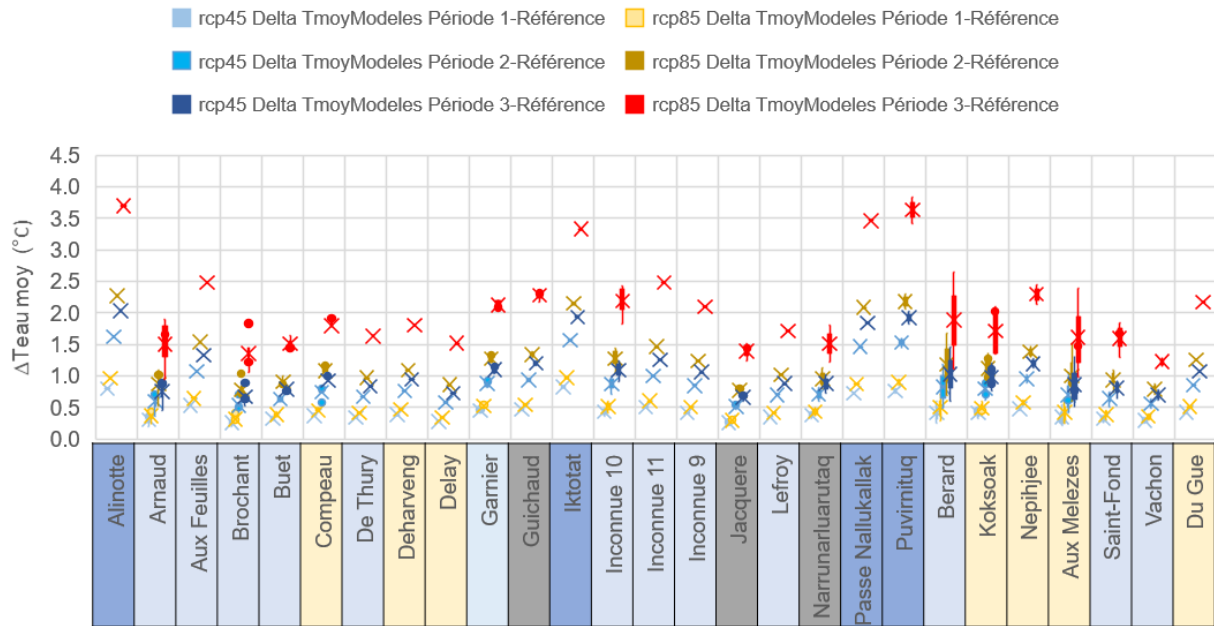
5.1.1 Delta de changements de la température moyenne estivale de l'eau entre les périodes futures et de référence

Les résultats indiquent une augmentation (delta positif) de la moyenne estivale de Teau moy pour l'ensemble des stations et périodes. Les deltas varient entre 0,09°C et 0,97°C au cours de la période 2011-2040 (pour les scénarios rcp4.5 et rcp8.5) entre 0,16° et 2,46°C au cours de la période 2041-2070 et entre 0,21°C et 4,14°C au cours de la période 2071-2100 (Figure 18a). La différence entre les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 est faible pour la première période et plus forte à la dernière.

Pour la moyenne estivale de Teau max, les deltas sont légèrement inférieurs et varient entre 0,09°C et 0,97°C au cours de la période 2011-2040 (pour les scénarios rcp4.5 et rcp8.5), entre 0,08°C et 2,21°C au cours de la période 2041-2070 et entre 0,10°C et 3,49°C au cours de la période 2071-2100 (Figures 18b). Les deltas sont supérieurs aux RMS et aux EAM (erreur absolue moyenne) pour une majorité de stations uniquement pour la période 2070-2100 et le scénario rcp8.5. Les percentiles 25% et 75 % des RMS sont de 1,1°C et 1,5°C pour les stations étudiées.

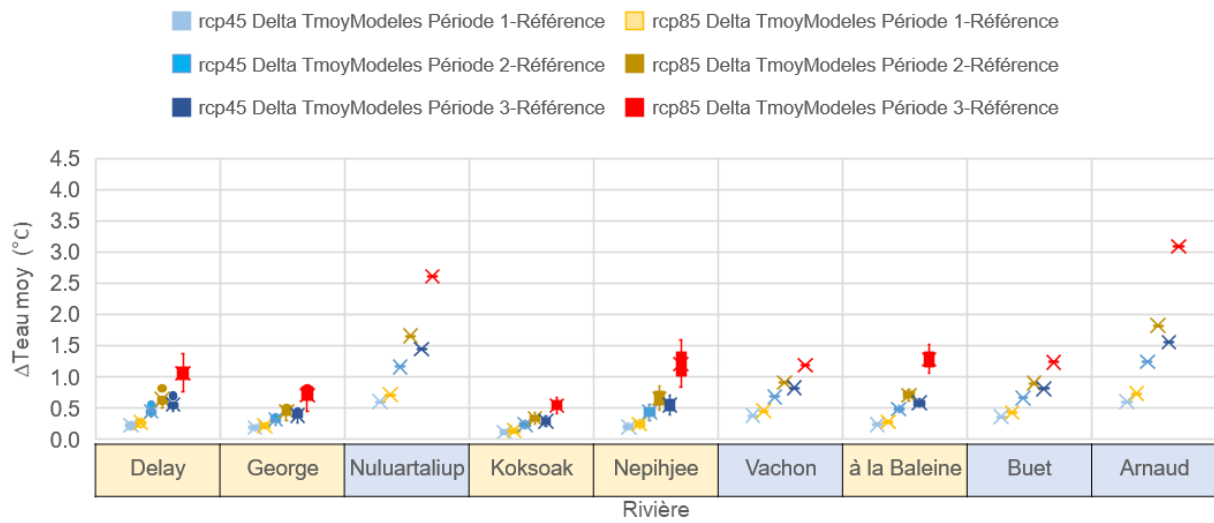
Les deltas de la moyenne estivale de Teau min varient entre 0,04°C et 1,13°C au cours de la période 2011-2040 (pour les scénarios rcp4.5 et rcp8.5), entre 0,07°C et 2,54°C au cours de la période 2041-2070 et entre 0,09°C et 4,49°C au cours de la période 2071-2100 (Figure 18c).

Les plus grands deltas de changements pour ces trois indicateurs sont obtenus pour les stations des rivières Alinotte, iktotat, Passe Nallukallak et Puvirnutuk (pour rcp8.5 et 2071-2100).



Rivière

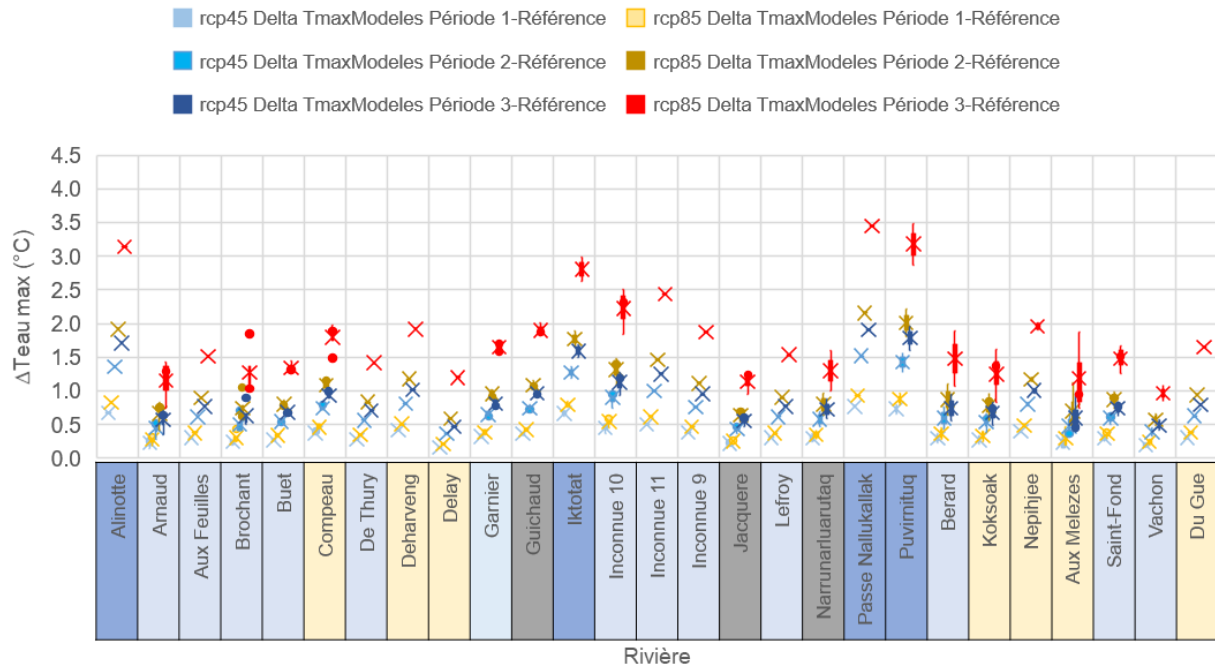
Bon	Adéquat/Modéré	Modéré	Bon	Adéquat/Modéré	Modéré	Adéquat	Modéré	Modéré	Adéquat/Modéré	Adéquat	Modéré	Adéquat/Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Adéquat	Bon	Adéquat	Adéquat	Modéré	Bon	Bon	Adéquat à bon	Adéquat	Adéquat	Modéré
-----	----------------	--------	-----	----------------	--------	---------	--------	--------	----------------	---------	--------	----------------	--------	--------	--------	---------	-----	---------	---------	--------	-----	-----	---------------	---------	---------	--------



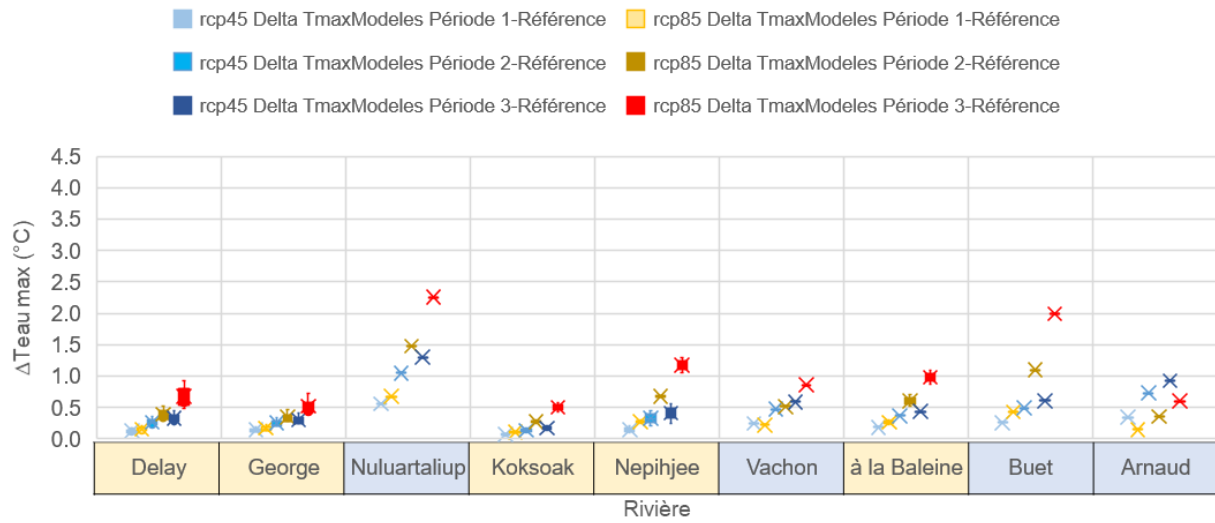
Rivière

Faible	Limité	Faible	Faible	Faible	Limité	Faible	Limité	Faible
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

a)

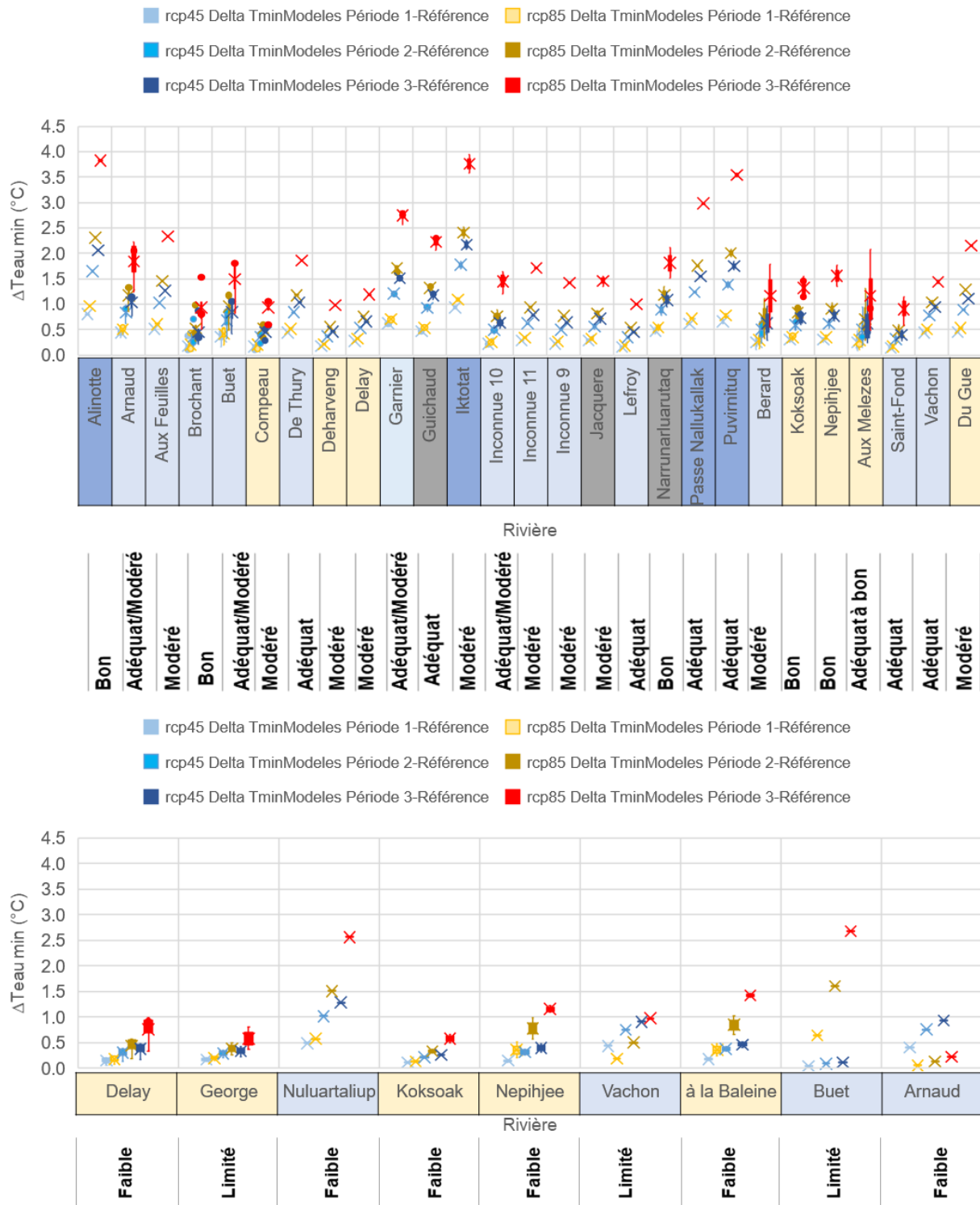


Bon	Adéquat/Modéré	Modéré	Bon	Adéquat/Modéré	Modéré	Adéquat	Modéré	Modéré	Adéquat/Modéré	Adéquat	Modéré	Adéquat/Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Adéquat	Bon	Adéquat	Adéquat	Modéré	Bon	Bon	Adéquat à bon	Adéquat	Adéquat	Modéré
-----	----------------	--------	-----	----------------	--------	---------	--------	--------	----------------	---------	--------	----------------	--------	--------	--------	---------	-----	---------	---------	--------	-----	-----	---------------	---------	---------	--------



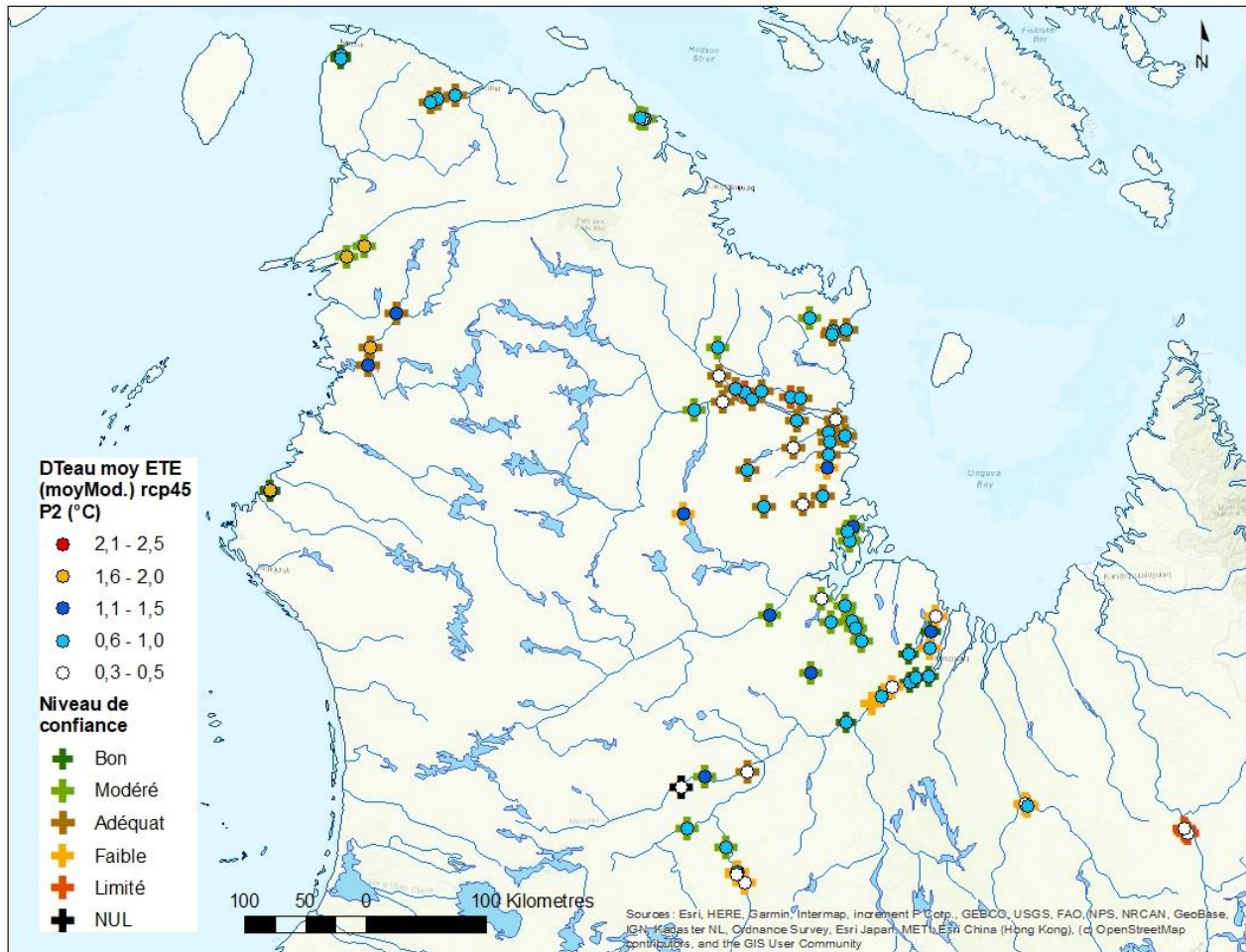
Faible	Limité	Faible	Faible	Faible	Limité	Faible	Limité	Faible
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

b)

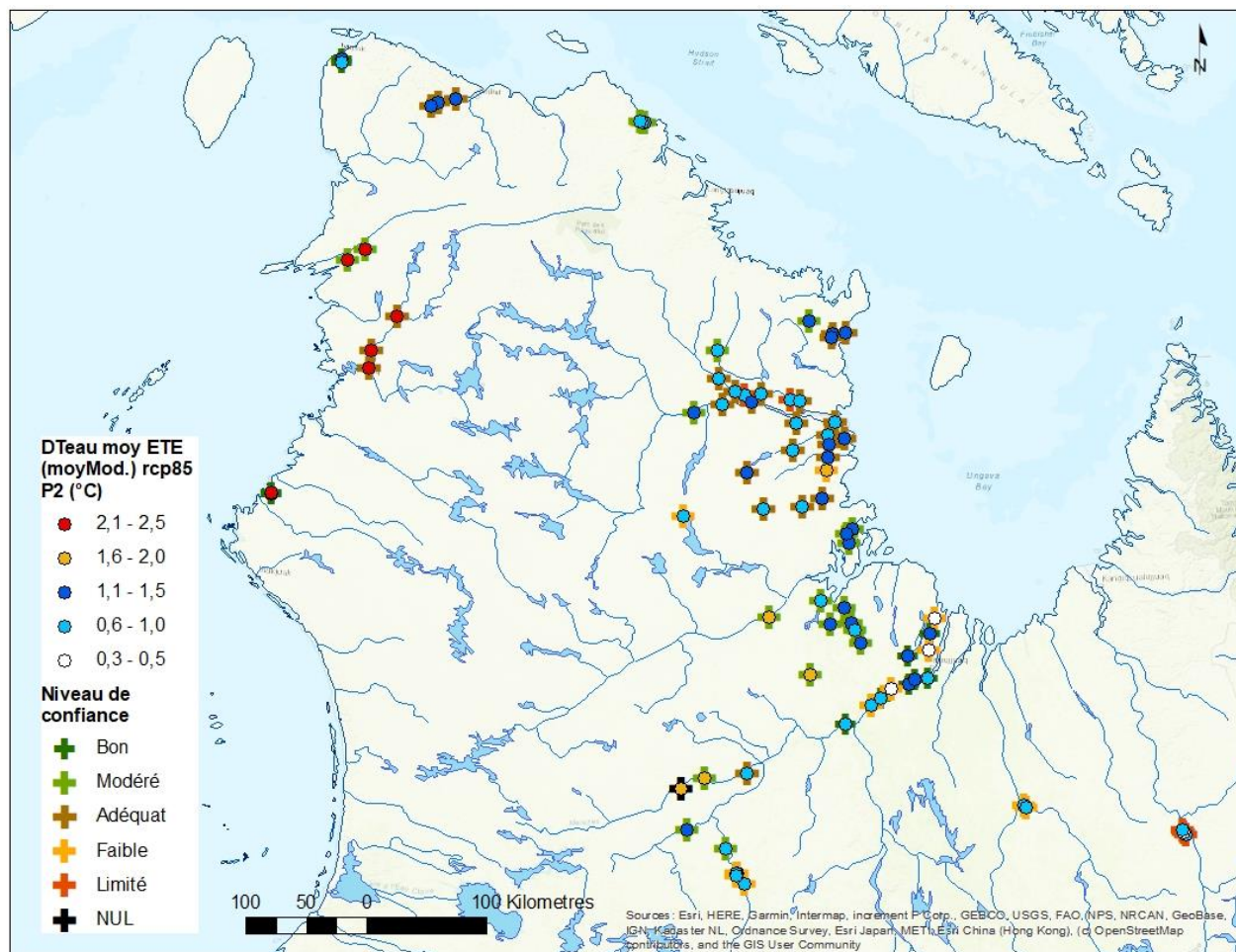


c) Figure 18. Delta de variation des moyennes estivales de température de l'eau entre la période de référence et les périodes 2011-2040 (période 1), 2041-2070 (période 2) et 2071-2100 (période 3). a) Teau moy; b) Teau max; c) Teau min. Les résultats pour la moyenne des modèles climatiques sont présentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Le code de couleur pour les rivières indique la zone géographique d'appartenance (tel que représenté à la figure 3).

La cartographie des deltas Teau moy pour la période 2041-2071 (P2) et les deux scénarios d'émission montre que les deltas les plus élevés tendent toutefois à être localisés du côté est de la baie d'Hudson (Figure 19a et Figure 19b). Ce qui est cohérent avec les changements de Tair projetés. Pour le scénario rcp4.5, les stations avec un plus faible delta ($<0,5^{\circ}\text{C}$) sont situées préférentiellement au sud de la zone d'étude (bassins des rivières Koksoak, À La Baleine et George) et pour certains bassins versants (bassins des rivières Arnaud et Brochant) du côté ouest de la baie d'Ungava.



a)



b)
 Figure 19. Distribution spatiale des deltas Teau moy pour la période 2 (2041-2070). a) Scénario rcp4.5; b) Scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les percentiles 25% et 75 % des RMS sont de 1,1°C et 1,5°C pour les stations étudiées. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.

5.2 INDICATEURS THERMIQUES SPÉCIFIQUES

Deux indicateurs thermiques spécifiques aux espèces de salmonidés présentes dans la région du Nord-du-Québec ont été calculés : les conditions thermiques pour la croissance optimale (des juvéniles) et le stress thermique primaire (juvéniles). Dans la littérature, les seuils associés à ces indicateurs diffèrent et sont légèrement plus élevés pour le saumon atlantique que pour l'omble chevalier (voir tableau 6 est section 4.6). Les résultats des indicateurs thermiques sont présentés successivement pour chacune des deux espèces d'intérêt. Le niveau de confiance attribué aux températures de l'eau simulées pour chacune des stations s'applique aussi aux indicateurs thermiques spécifiques.

5.2.1 Saumon atlantique

Les températures optimales pour la croissance des juvéniles de saumon sont délimitées par les conditions suivantes : $16^{\circ}\text{C} < \text{Teau moy} < 20^{\circ}\text{C}$. Ces seuils globaux sont acceptés dans la littérature. Il est toutefois possible que les populations de saumon du Nunavik soient adaptées à des températures inférieures à 16°C que cette plage de température représente moins bien la situation des rivières de cette région. Pour l'instant, il n'y a pas de nouveaux seuils de proposés pour cette région. Les contraintes thermiques pour la santé du saumon apparaissent lorsque les températures moyennes dépassent 20°C (tableau 6). À partir de ces températures, les comportements alimentaires commencent à être modifiés et des stratégies de survie sont adoptées (Breau et coll., 2011). Le seuil de 20°C est préféré à celui de 25°C qui représente une contrainte plus forte pour le saumon.

5.2.1.1 Croissance optimale

Le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale simulé à partir de la moyenne des modèles climatiques pour la période de référence 1981-2010 indique que la majorité des stations n'ont pas des conditions optimales à la croissance du saumon (Figure 20 et Figure 21). Pour la majorité des stations (56 et 44 sur 78 pour rcp4.5 et rcp8.5 respectivement), le nombre projeté (avec la moyenne des modèles) de jours croissance optimale pour le saumon est inférieure à 1 jour même pour la période 2071-2100 (Figure 20). Les nombres absolus sont plus sensibles aux imprécisions liées aux modélisations que les deltas de changements, ils doivent donc être considérés avec précaution. Bien que les conditions optimales ne soient pas fréquemment observées à plusieurs stations, les températures de l'eau peuvent permettre la croissance du saumon.

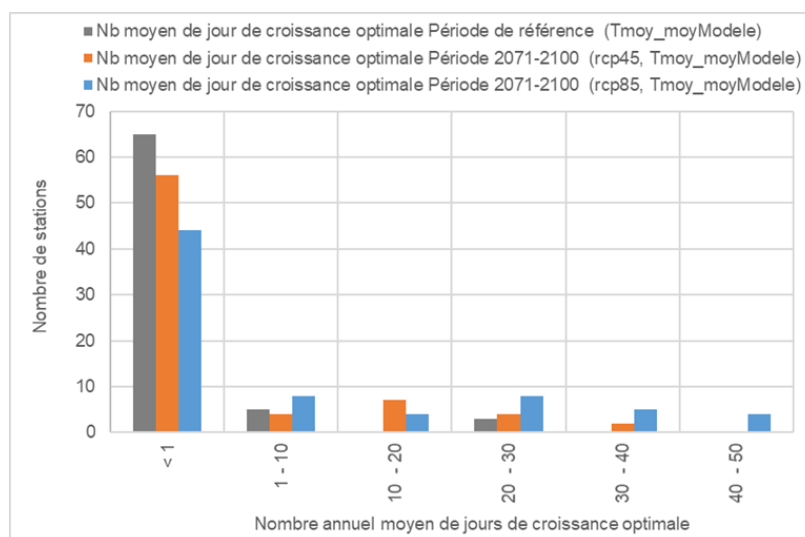


Figure 20. Nombre de stations par classe du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (saumon atlantique) simulé avec la moyenne des modèles climatiques pour la période de référence et la période 2071-2100 (rcp8.5). Cinq stations parmi les 78 ont un nombre insuffisant de jours de données en été et ne sont pas comptabilisées dans les données représentées.

Les valeurs simulées sont supérieures ou égales à 2 jours pour certaines rivières du sud du Nunavik soit les rivières À La Baleine, Aux Mélèzes (1 station), Delay et Du Gué (Figure 21). Le nombre de jours de croissance est fort potentiellement sous-estimé pour les stations de la rivière George puisque la période estivale d'observation, et de simulation, est incomplète et que le niveau de confiance des simulations est limité. La sous-estimation des températures moyennes de l'eau pour la station Aux Feuilles induit vraisemblablement une sous-estimation du nombre de jours de croissance pour cette rivière ayant une population connue de saumon. Les valeurs simulées pour les stations de la rivière Koksoak et ses tributaires ne permettent pas d'identifier ce milieu comme thermiquement optimal à la croissance du saumon. Cette espèce est d'ailleurs présente dans ces bassins versants selon les observations, ce qui suggère que ces populations de saumon de ces rivières sont adaptées aux conditions thermiques en dessous des conditions définies globalement comme « optimales ».

Dans le contexte du Nunavik, d'autres seuils de température pourraient mieux représenter la réalité que les seuils globaux. Ainsi, la croissance du saumon pourrait être favorisée à partir de températures de l'eau inférieures à 16°C. En utilisant la plage de température 15°C et 20°C, le nombre annuel moyen de jours favorables à la croissance du saumon seraient supérieur à 3 jours au cours de la période de référence pour les tributaires du bassin de la Koksoak et pour les stations des rivières Iktotat et Deharveng. Avec des seuils débutant à 14°C, ce nombre serait autour de 25 jours pour les stations de la Koksoak. Certaines des stations des Alinotte, Iktotat, De Thury, Compeau, Deharveng, Aux Feuilles et Nepihjee auraient aussi plus de 5 jours de croissance favorable à la période de référence. La modification des seuils thermiques optimaux pour la croissance du saumon pour les rivières du Nunavik ne peut être faite sur la base de ces observations, mais des travaux pourraient être entrepris pour valider les seuils et peut-être mieux adapter ceux-ci au contexte des rivières de cette région nordique.

Les deltas de changement du nombre moyen de jours avec des conditions thermiques optimales pour la croissance du saumon (16°C-20°C) pour la période 2011-2040 et le rcp4.5 montrent une augmentation temporelle pour quelques stations (sans égard à la présence actuelle de population ou à d'autres variables favorables ou défavorables à la présence de saumons). Le delta du nombre annuel de jours de croissance simulé à partir de la moyenne des modèles climatiques est positif et supérieur à 1 pour 12 stations réparties sur 8 des 30 rivières (Figure 22). Pour la Koksoak et Nepihjee, le delta est positif pour une station sur 6 et une station sur 4 respectivement. Lorsque le P90 des modèles climatiques est utilisé, le delta est positif et supérieur à 1 pour 30 stations réparties sur 17 rivières. Il n'y a pas de changements pour les autres stations et rivières.

Le nombre de stations avec un delta positif et supérieur à 1 passe à 22 et 32 pour les deux périodes suivantes et la moyenne des modèles, tandis que le nombre de rivières passe de 10 à 18 (Pour P90 : 44 stations (23 rivières) et 52 stations (27 rivières) pour les périodes 2041-2070 et 2071-2100).

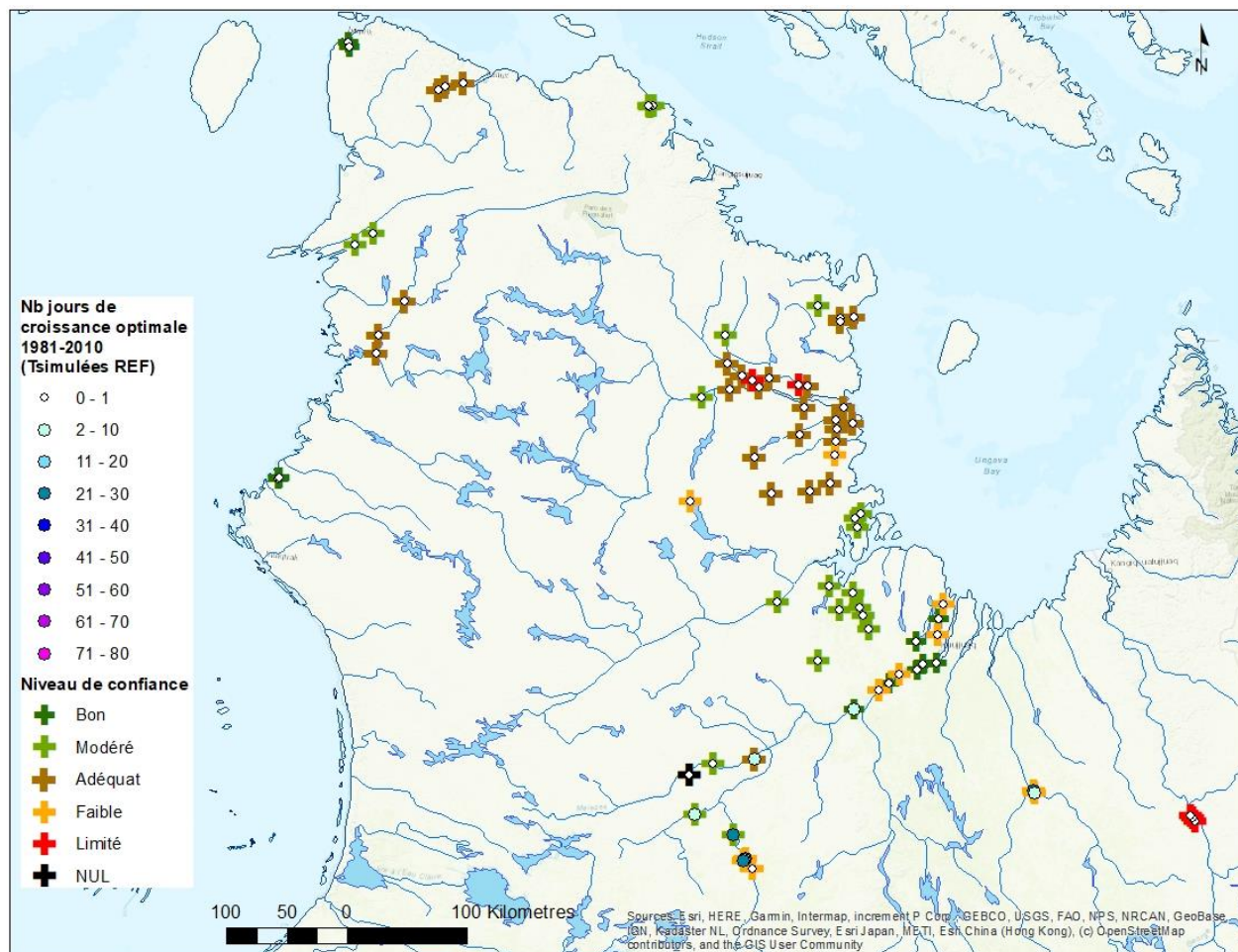


Figure 21. Distribution spatiale du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (Saumon atlantique) (moyenne des modèles climatiques) pour la période de référence. Les cercles blancs indiquent un jour annuel ou moins de croissance optimale.

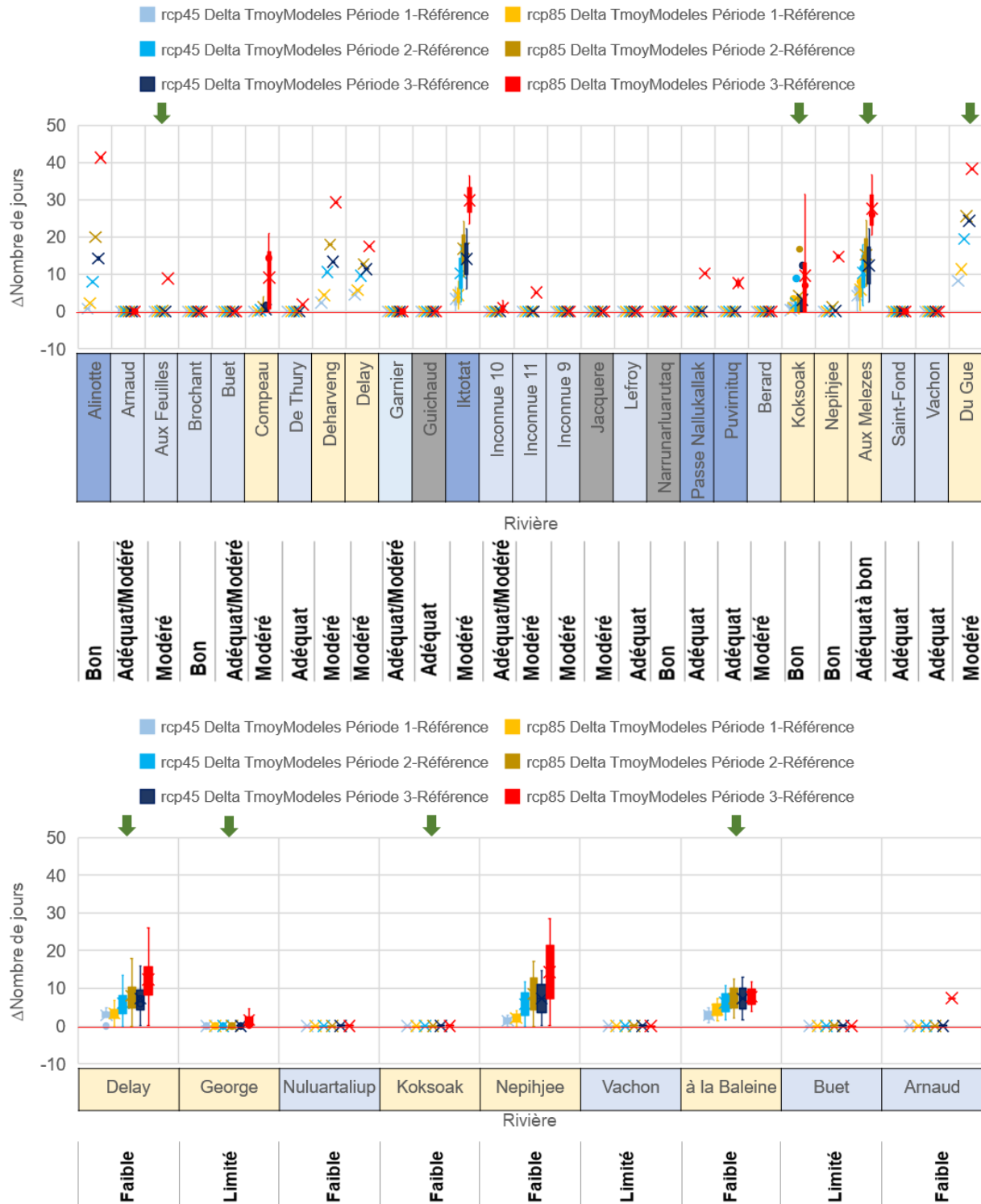
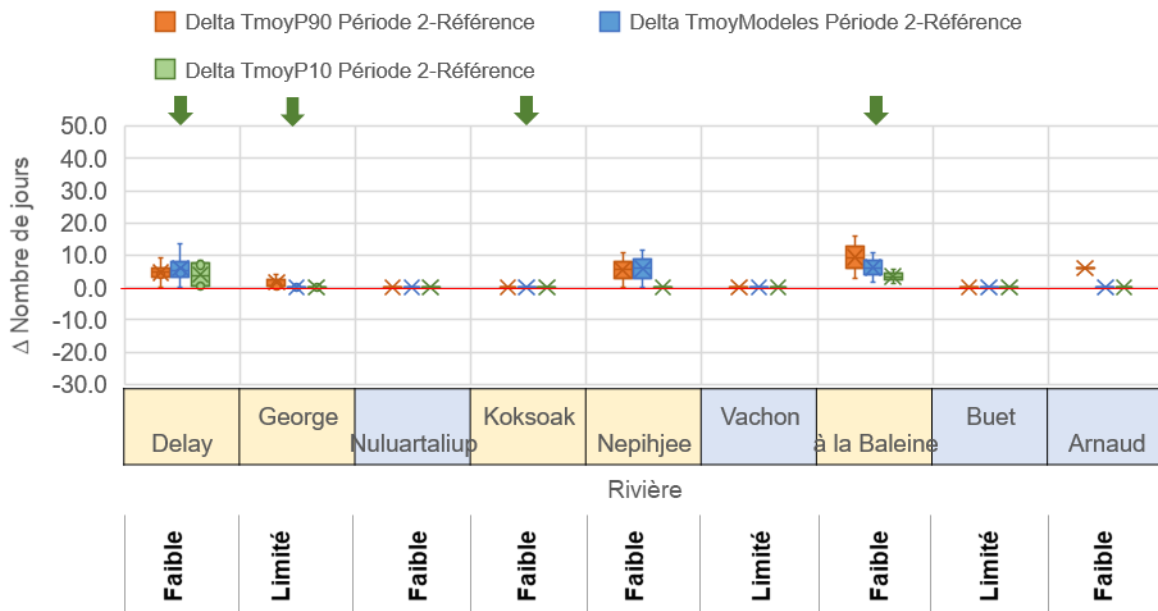
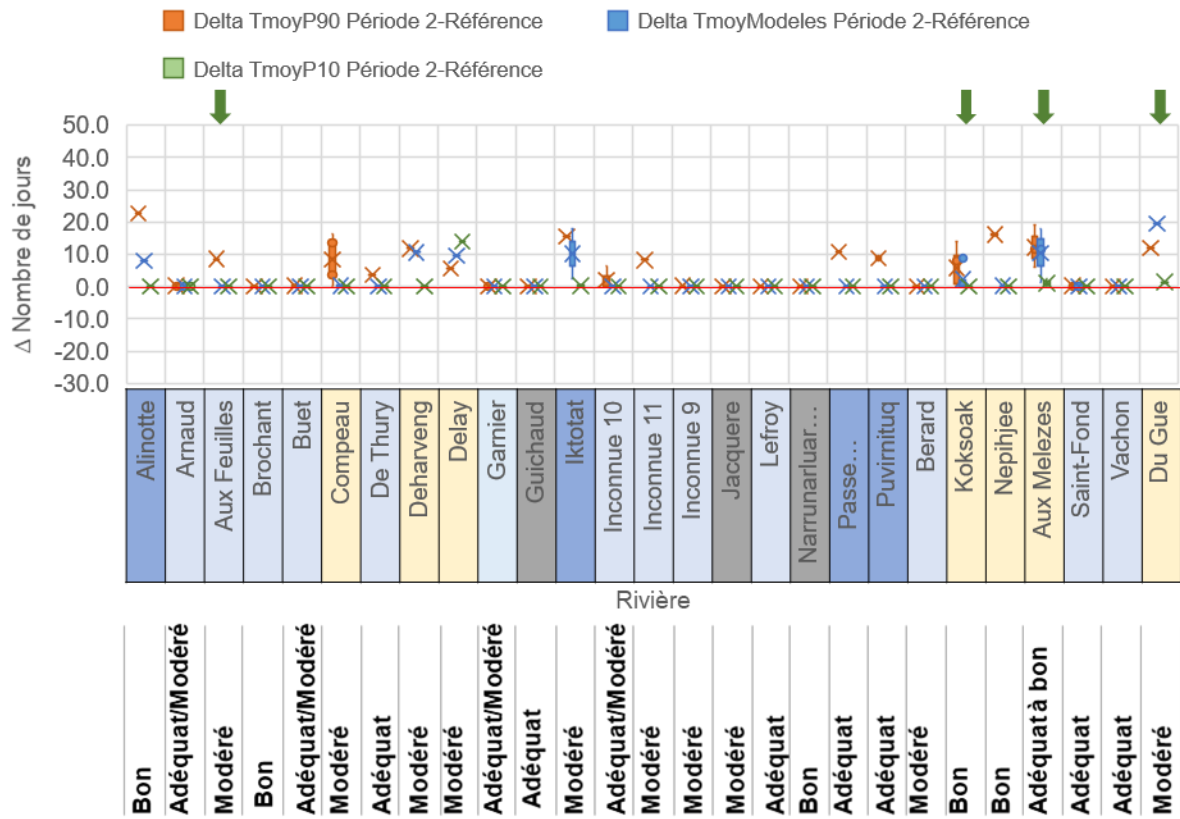


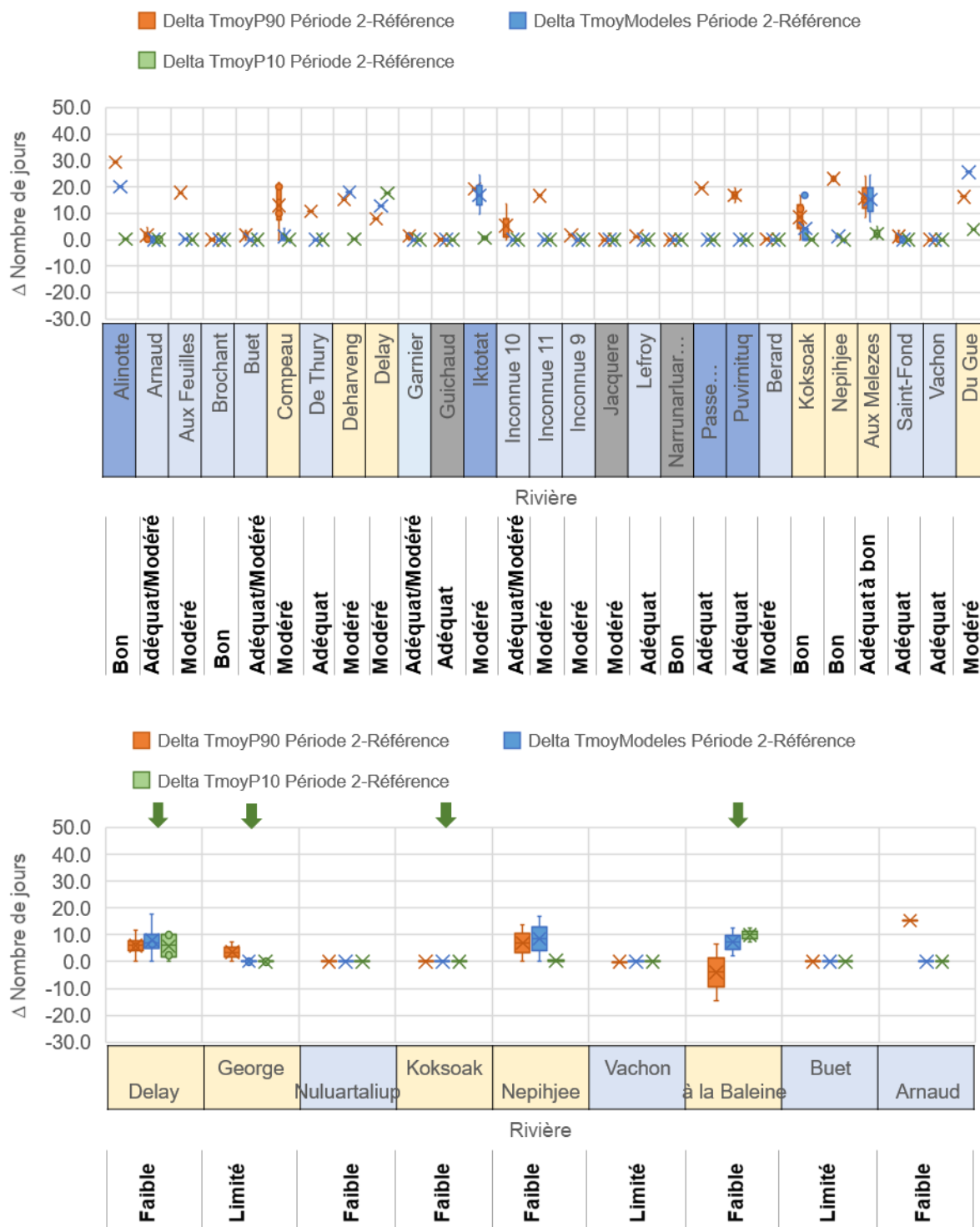
Figure 22. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (saumon atlantique) estimé à partir de la moyenne des modèles climatiques pour les trois périodes. Les résultats des scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont représentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.

L'augmentation du nombre annuel moyen de jours de croissance oscille entre 1 et 20 pour la période 2041-2070 (rcp4.5) et entre 1 et 24 pour la période 2071-2100 (rcp4.5) lorsque la moyenne de modèles climatiques est examinée (Figures 23 et Figure 24). Les deltas sont légèrement plus élevés pour le scénario rcp8.5. Toutefois, pour une majorité de stations/rivières, la différence entre les deux scénarios est inférieure à 5 jours pour les trois périodes. Les différences entre les scénarios d'émission sont supérieures à 10 à la période 2071-2100 pour des stations des rivières Alinotte, Aux Mélèzes, Nepihjee, Compeau (3 des 4 stations), Deharveng, Iktotat, Passe Nallukallak, Du Gue, Koksoak (une station) et Delay 1 (une station).

Lorsque les valeurs du P90 des modèles climatiques sont examinées, on note que le nombre annuel moyen de jours de croissance commence à décliner par rapport aux conditions de référence. C'est le cas d'une des stations de la rivière à la Baleine pour le scénario rcp8.5 (Figure 23b et Figure 24b). Pour cette station et selon ce scénario, cela signifie que les changements thermiques projetés entraîneraient une trop forte augmentation des températures de l'eau ($T_{eau\ moy}$ dépasse fréquemment $20^{\circ}C$), lesquelles seraient alors trop élevées pour répondre aux critères de conditions optimales du saumon. Le niveau de confiance global est toutefois qualifié de 'faible' pour cette station. Le faible nombre de données observées pour construire les modèles thermiques de l'eau explique en bonne partie la fiabilité réduite des résultats des stations de la rivière À La Baleine.

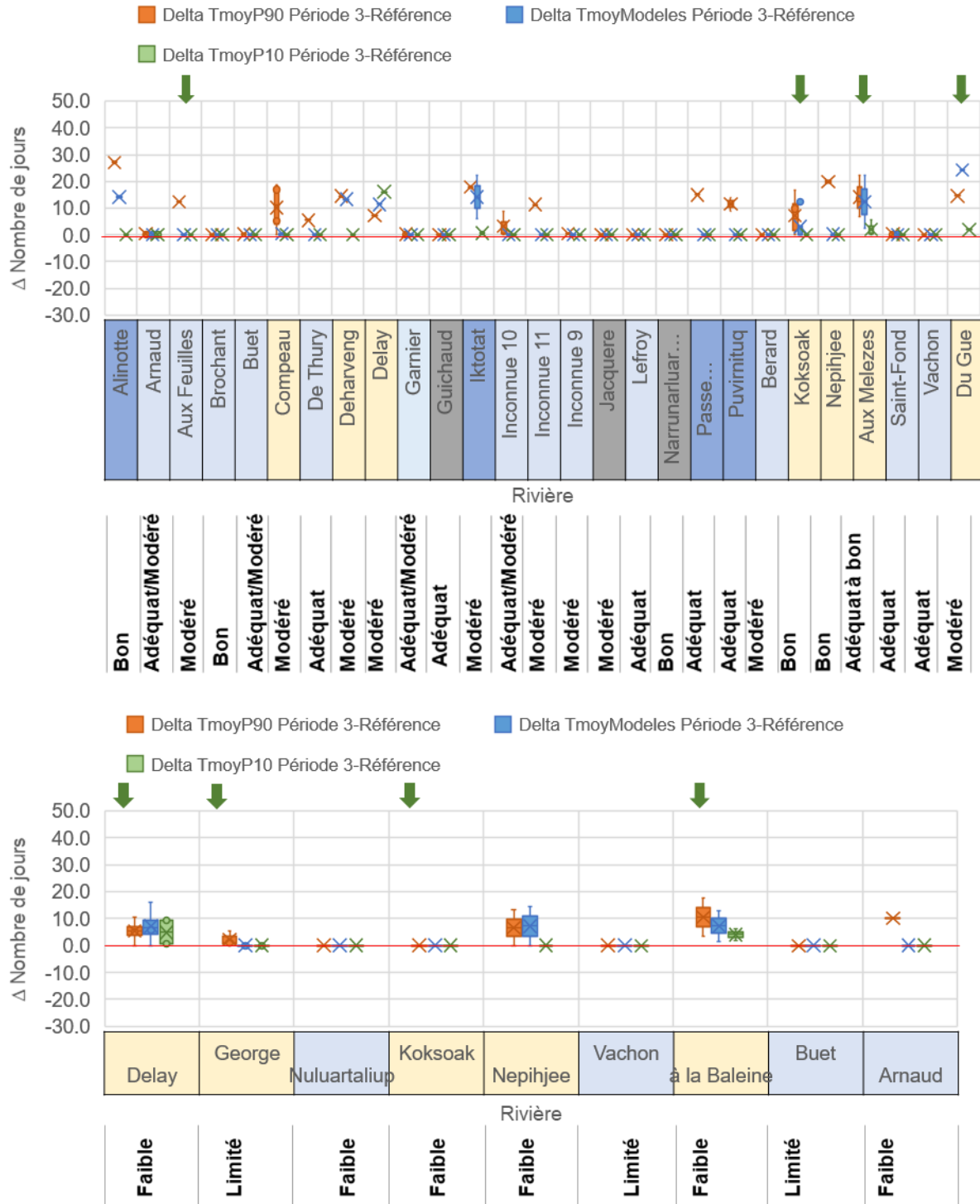


a)



b)

Figure 23. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (saumon atlantique) pour la période 2, 2041-2070. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent la présence de saumons dans la rivière. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.



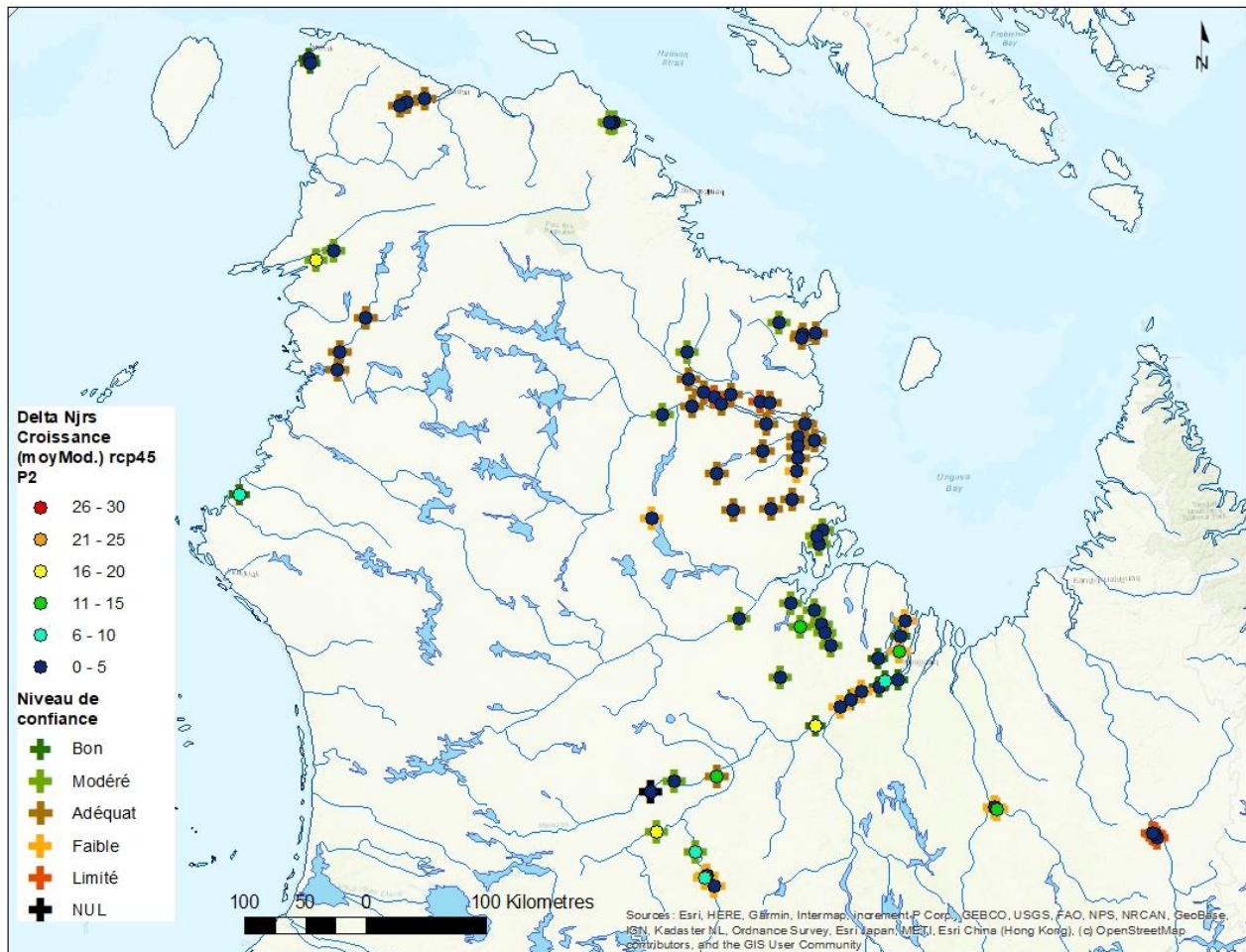
a)



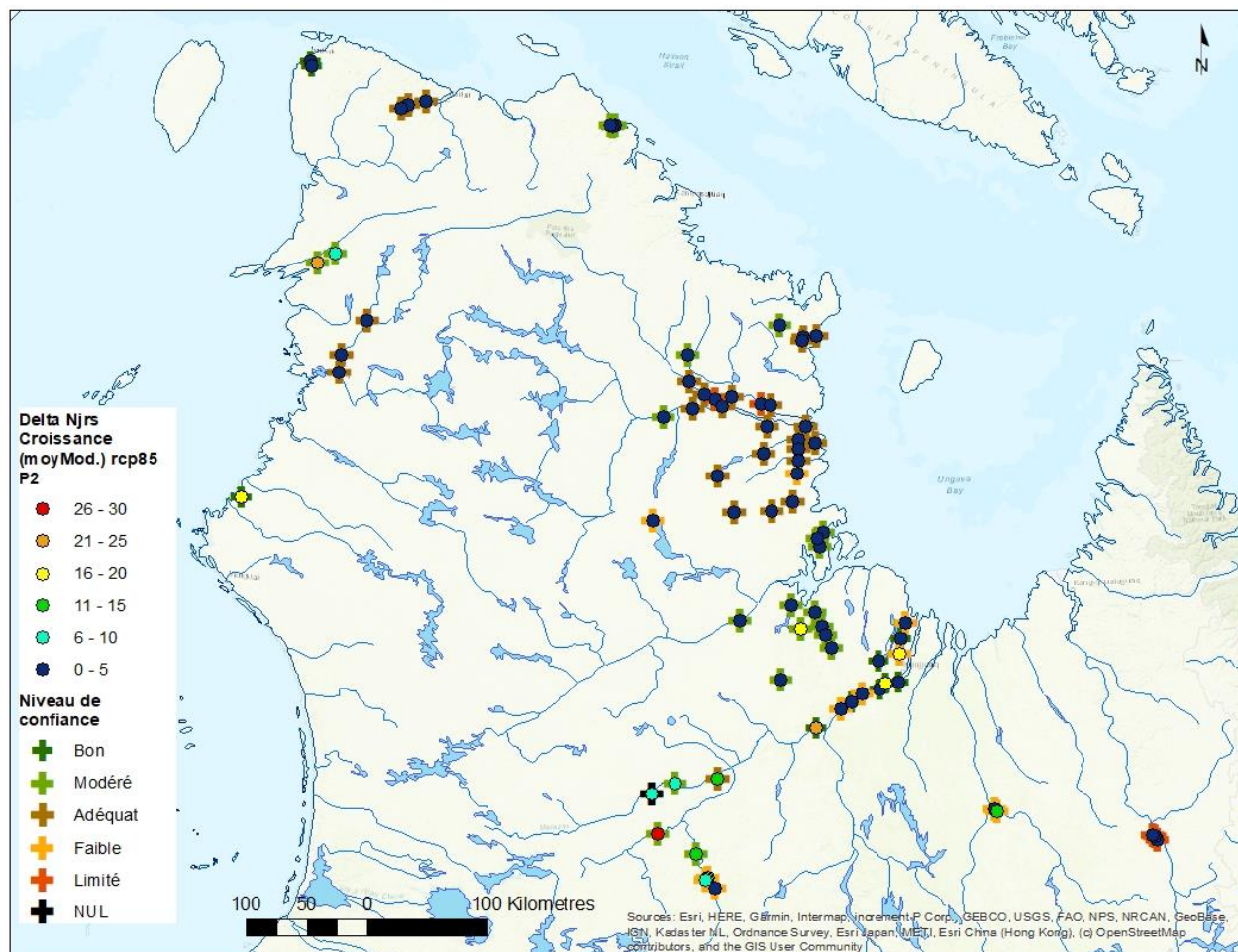
b)

Figure 24. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (saumon atlantique) estimé pour la période 3, 2071-2100. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.

La distribution spatiale des deltas de changements du nombre annuel de jours de croissance optimale montre que les deltas supérieurs à 1 sont très majoritairement situés au sud de la région. L'exemple de la période 2041-2070 est présenté à la Figure 25. Les rivières Alinotte et Iktotat font exceptions avec une forte augmentation du nombre de jours de croissance. Les relevés du MFFP, n'indiquent toutefois pas la présence de saumon dans ces rivières actuellement. La distribution spatiale pour la période 2071-2100 et le scénario rcp8.5 sont présentés à l'annexe 9.4 (Figure 41).



a)



b)
Figure 25. Distribution spatiale des deltas du nombre de jours de croissance optimale (Saumon atlantique) (moyenne des modèles climatiques) pour la période 2. a) Scénario rcp4.5; b) Scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.

5.2.1.2 Stress thermique primaire

Au fil des trois périodes projetées, il y a une augmentation graduelle du nombre de stations/rivières pour lesquelles le nombre de jours de stress primaire diffère de zéro et/ou indique un delta positif, passant de 1 et 2 stations pour les périodes de référence et 2010-2040 à 8 et 20 stations pour les deux périodes suivantes. Néanmoins, les résultats indiquent que l'augmentation du nombre annuel moyen de jours de stress primaire sera inférieure à 1 jour par an (Figures 26 et 27).

Deux figures synthèses sont présentées à l'annexe 9.4 pour la moyenne (Figure 43) et le P90 des modèles climatiques (Figure 44) afin de mettre en évidence les stations pour lesquelles le nombre et le delta de croissance optimale sont simultanément supérieurs à la moyenne de l'ensemble des stations. La période 2071-2100 est ciblée pour cette synthèse. Le delta de stress thermique n'est pas affiché, car il reste faible.

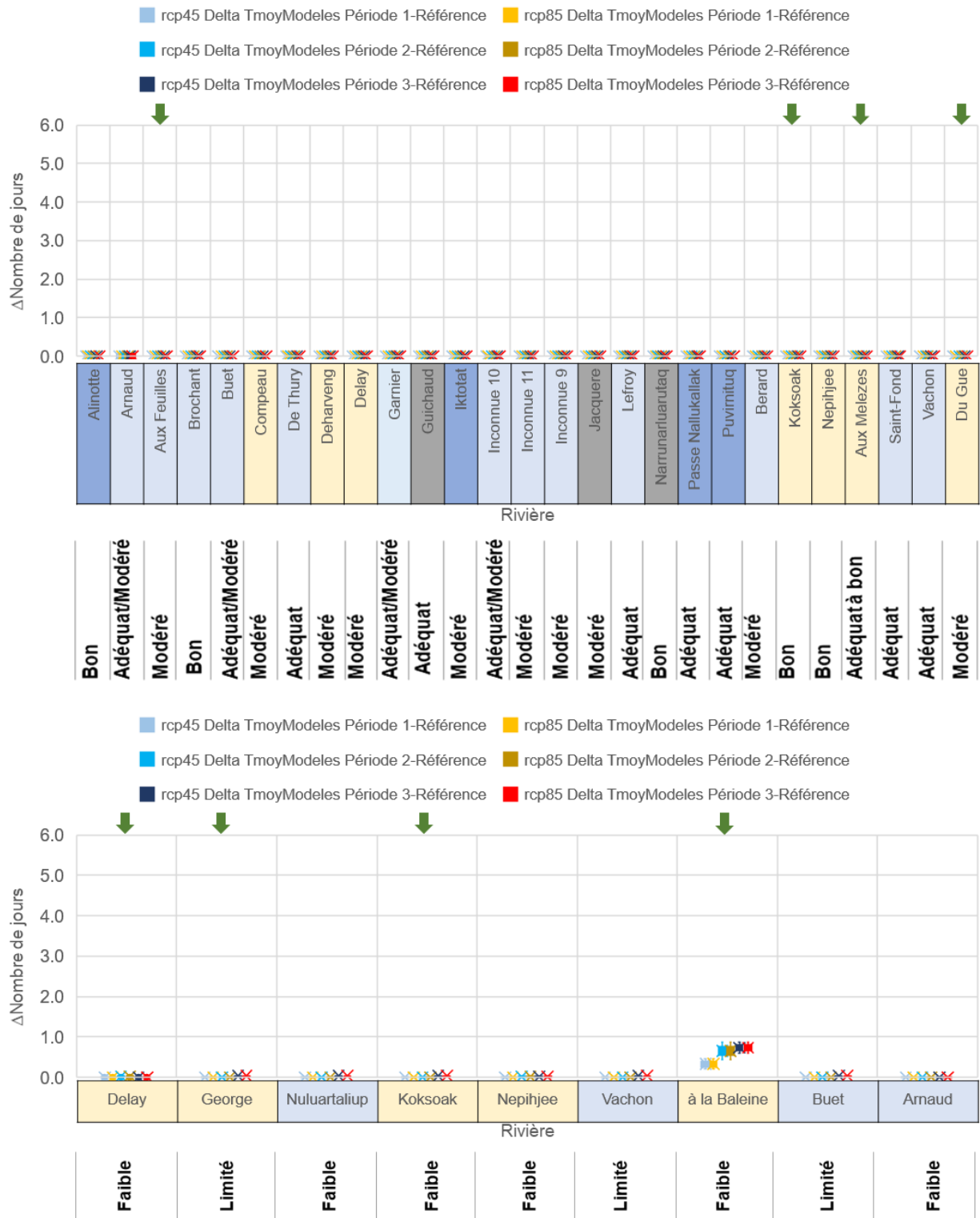


Figure 26. Delta de changements du nombre de jours de stress primaire (saumon atlantique) estimé à partir de la moyenne des modèles climatiques pour les trois périodes. Les résultats des scénarios

rcp4.5 et rcp8.5 sont représentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.

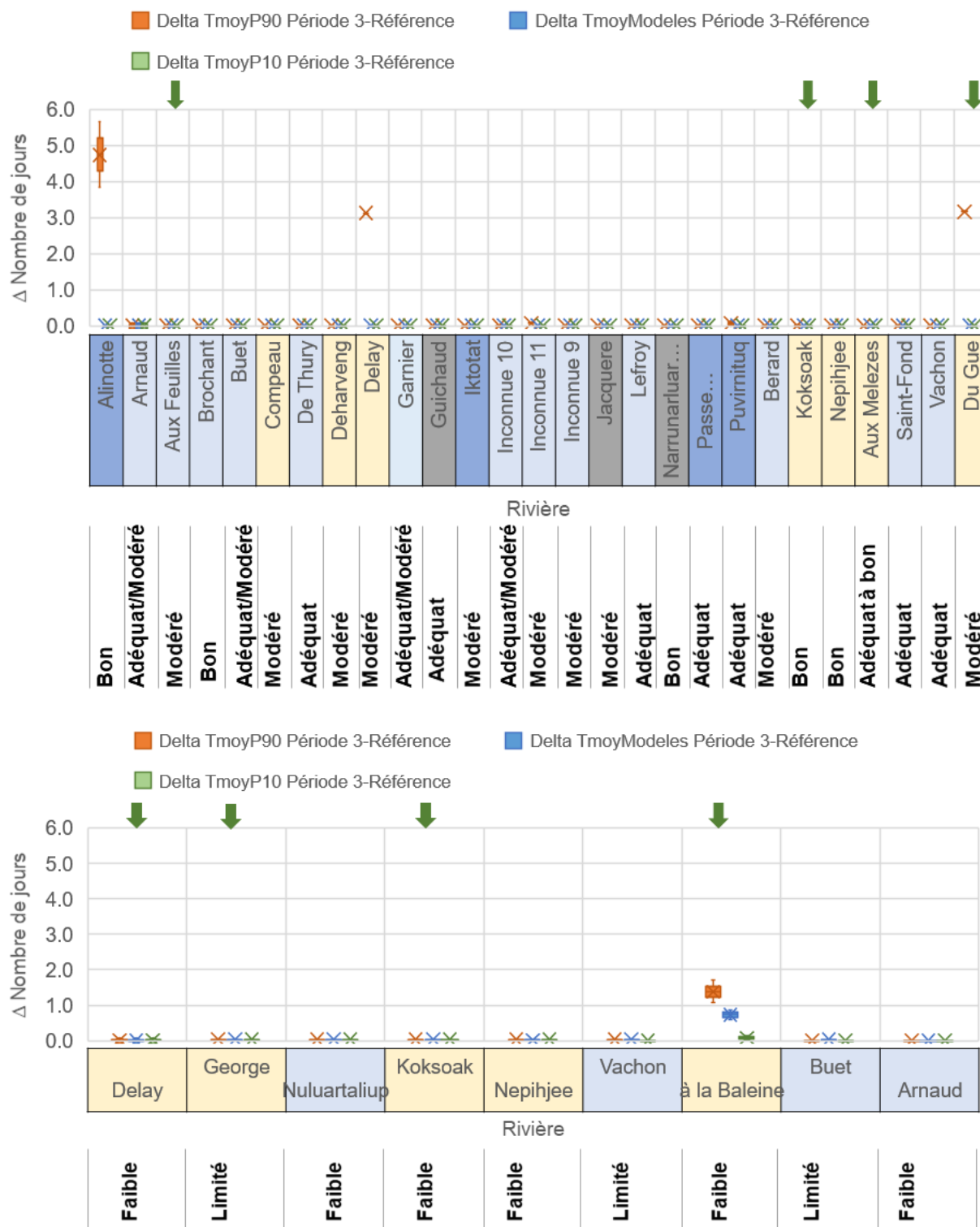


Figure 27. Delta de changements du nombre de stress primaire (saumon atlantique) estimé pour la période 3, 2071-2100, scénario rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.

La distribution spatiale des deltas de changements du nombre de jours de stress primaire n'est pas présentée puisque les deltas sont inférieurs à 1 pour la majorité des stations et périodes, et ce pour les 2 scénarios. Seules les stations de la rivière Alinotte (aucune population de saumon), Delay, Du Gue et à la Baleine ont des deltas supérieurs à 1 lorsque le percentile P90 est considéré.

5.2.2 Omble chevalier

Les seuils thermiques pour la croissance et la survie de l'omble chevalier sont inférieurs à ceux définis pour le saumon atlantique, l'omble chevalier étant moins tolérant aux températures élevées (Elliott, 1981, 1991). Pour le présent rapport, les seuils de température sont établis à $11^{\circ}\text{C} < \text{Teau moy} < 16^{\circ}\text{C}$ pour les conditions optimales de croissance et à $\text{Teau moy} > 18^{\circ}\text{C}$ pour ce qui est des conditions thermiques contraignantes pour la santé de l'omble chevalier (Dubos, 2021). Au-delà de 20°C , l'alimentation cesse. Pour cette espèce, les seuils de température en rivière naturelle ne sont pas formellement établis dans la littérature. Il est noté que les juvéniles tendent à éviter les eaux où la température est supérieure à 16°C (Langeland and L'Abée-Lund, 1998; Gilbert et al., 2020). La limite inférieure pour l'optimum de croissance serait plus floue et se trouverait entre 9°C et 12°C .

La littérature indique une influence probable de la position géographique plus grande pour les populations de cette espèce et ainsi une variation régionale des seuils globaux de croissance. La littérature suggère une adaptation probable de certaines populations à des conditions locales plus fraîches que les seuils définis globalement. Pour la population d'omble du Nunavik, ces seuils sont encore mal connus. Il est ainsi possible que les seuils de croissance optimale pour le Nunavik soient légèrement inférieurs aux seuils globaux. Toutefois, à défaut de pouvoir utiliser des seuils adaptés et clairement définis pour cette région, les seuils globaux sont utilisés pour les analyses. Les conditions thermiques favorables pour les rivières du sud du Nunavik doivent être interprétées avec précaution, s'il y a effectivement une légère surestimation des seuils de croissance pour la population d'omble de la région.

5.2.2.1 Croissance optimale

Les résultats des modèles thermiques utilisant la moyenne des modèles climatiques montrent que le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale simulée pour la période de référence est supérieur à vingt jours pour la majorité (56) des stations (Figure 28; les valeurs excluent les 5 stations où la période estivale couverte est incomplète). Les stations ayant moins de 10 jours de croissance optimale sont situées dans la zone nord du Nunavik, sur les ruisseaux Garnier et Isurtuup (identifié par rivière inconnu_10). À la période 2071-2100, c'est 67 et 69 de ces 73 stations, qui auront plus de 20 jours de croissance optimale,

selon les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 respectivement. Pour cette même période, les modèles indiquent que pour cinq stations du bassin de la Koksoak, le nombre de jours favorables à la croissance pourrait dépasser les 60. La Koksoak n'est toutefois pas reconnue pour être une rivière à omble chevalier. La présence de cette espèce est davantage probable dans la partie aval de cette rivière, selon les données recueillies par le MFFP. Rappelons que la comparaison des nombres absolus doit être faite avec précaution, puisque les imprécisions liées aux modélisations sont variables d'une station à une autre. Les deltas de changements permettent de réduire l'effet de variation dans de qualité des modélisations.

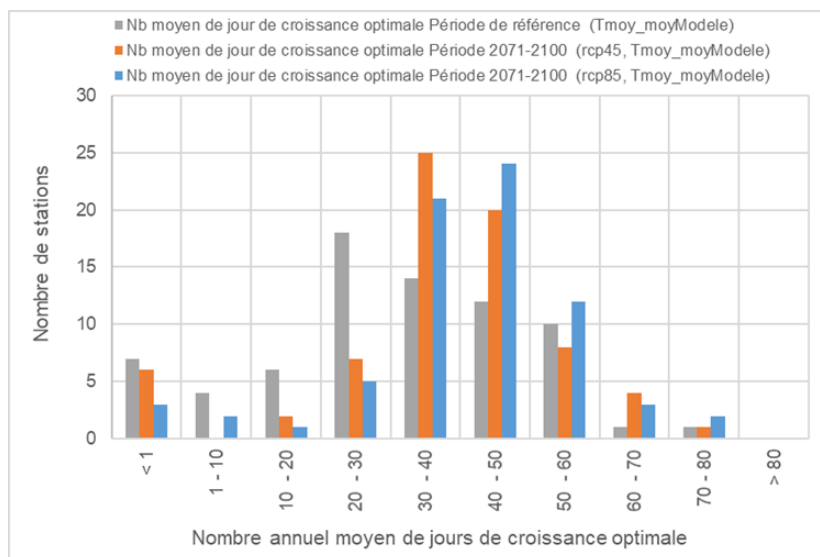


Figure 28. Nombre de stations par classe de nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période de référence et pour la période 2071-2100 (rcp8.5). Cinq stations parmi les 78 ont un nombre insuffisant de jours de données en été et ne sont pas comptabilisées dans les données représentées.

La distribution spatiale du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale simulé à partir de la moyenne des modèles climatiques et pour la période de référence 1981-2010 indique que la quasi-totalité des stations a des conditions favorables à la croissance de l'omble chevalier (Figure 29). Selon les résultats obtenus, les trois stations de la rivière Jacquère, 2 des 3 stations de la Guichaud, une station de la rivière Garnier et une station située sur la rivière Isurtuup (inconnu_10) n'ont pas de conditions thermiques qui sont favorables à la croissance de l'omble pour la période de référence. Les relevés du MFFP indiquent toutefois la présence d'omble dans ces rivières suggérant que les seuils utilisés (11°C et 16°C) pourraient être légèrement surestimés pour ces rivières, ou même pour l'ensemble du Nunavik. Une plage de température entre 9°C et 16°C permet d'obtenir au moins 12 jours des conditions favorables à la croissance de l'omble pour l'ensemble des rivières et stations. Comme spécifier pour le saumon, les seuils de croissance optimale pour l'omble chevalier ne peuvent cependant pas être révisés uniquement sur la base de ces résultats. D'autres informations sont ainsi nécessaires pour ajuster ces seuils localement.

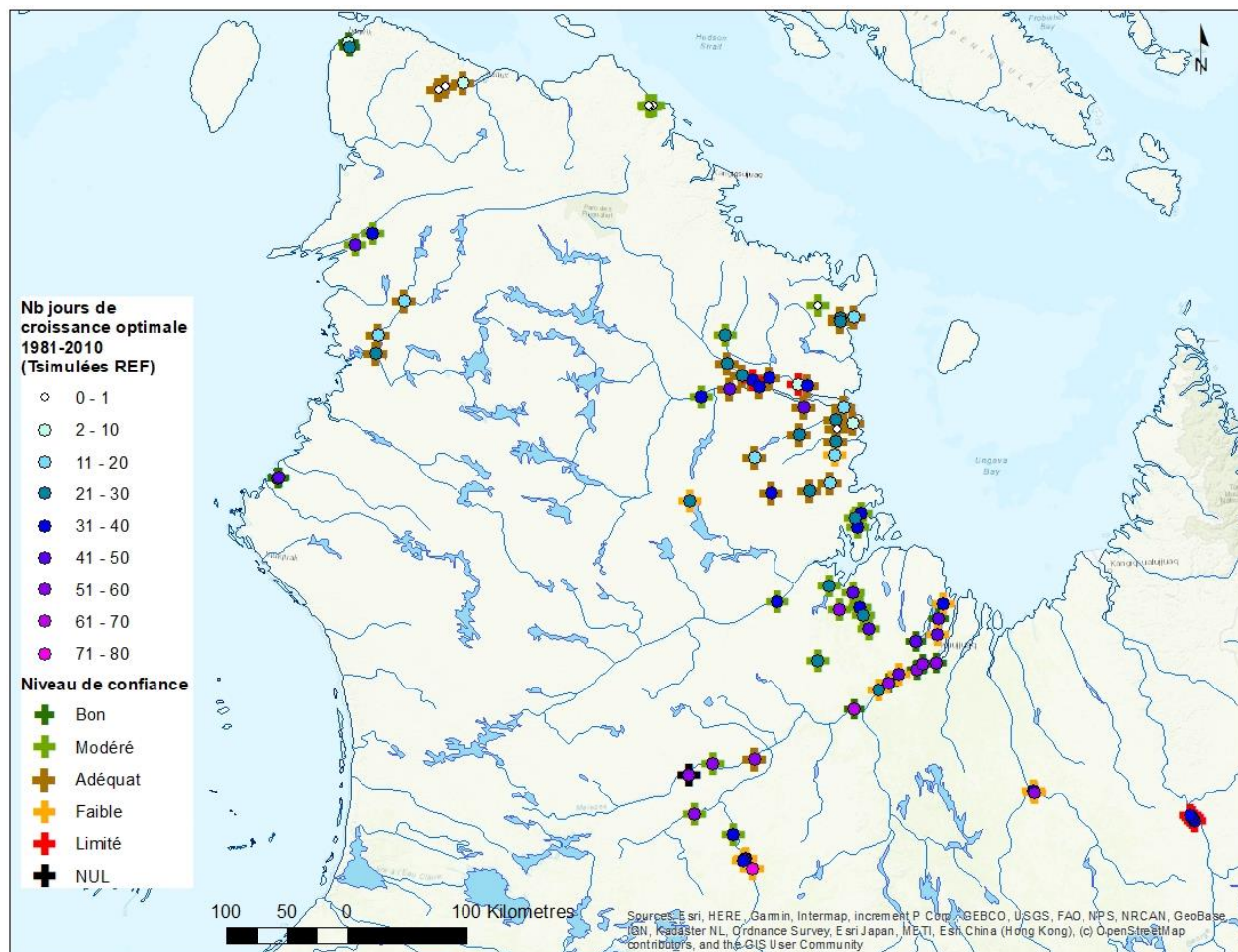


Figure 29. Distribution spatiale du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (Ombles chevaliers) (moyenne des modèles climatiques) pour la période de référence. Les cercles vides indiquent un jour annuel ou moins de croissance optimale.

Pour les trois périodes projetées et les deux scénarios d'émission, les deltas de changements du nombre de jours de croissance optimale (seuils 11°C et 16°C) estimé à partir de la moyenne des modèles climatiques sont positifs pour 26 des 39 rivières observées (Figure 30). Pour ces rivières, l'augmentation des conditions thermiques favoriserait la croissance de l'omble chevalier.

Les deltas sont négatifs pour les rivières des bassins de la Koksoak (incluant certaines stations des rivières Aux Mélézes, Delay, Du Gue) et À La Baleine. Pour les rivières Nepihjee, Alinotte, Compeau, Deharveng et Iktotat la tendance des deltas de changements est plus variable avec des valeurs négatives ou positives selon les stations et les périodes. Pour les stations étudiées, les deltas varient entre une réduction de 18 jours et augmentation de 30 jours par an pour rcp4.5 (période 2071-2100) et une diminution de 33 jours et une augmentation de 42 jours pour rcp8.5 (période 2071-2100). La majorité des stations (13/18) avec des deltas négatifs sont situées sur des rivières où le saumon est présent actuellement.

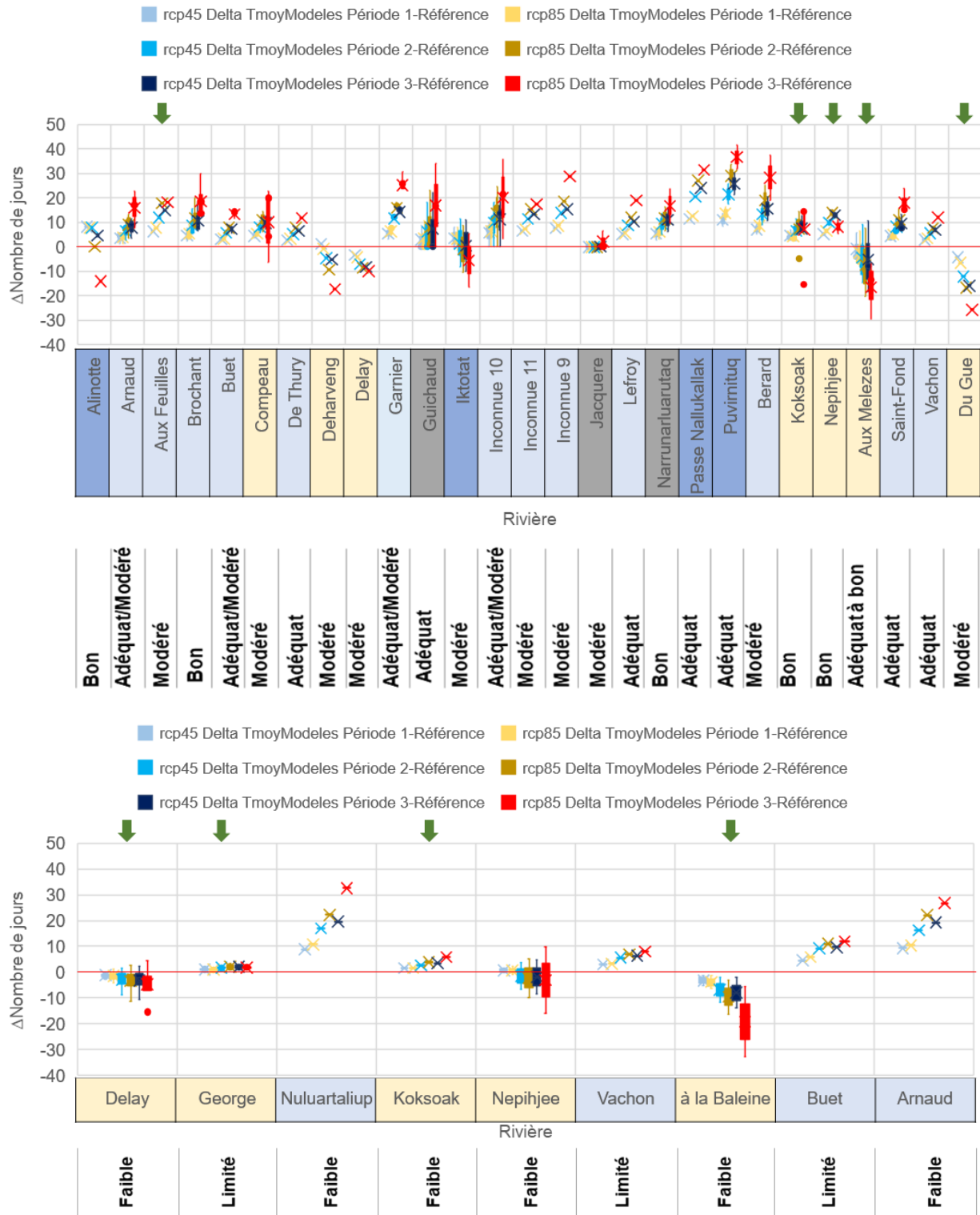
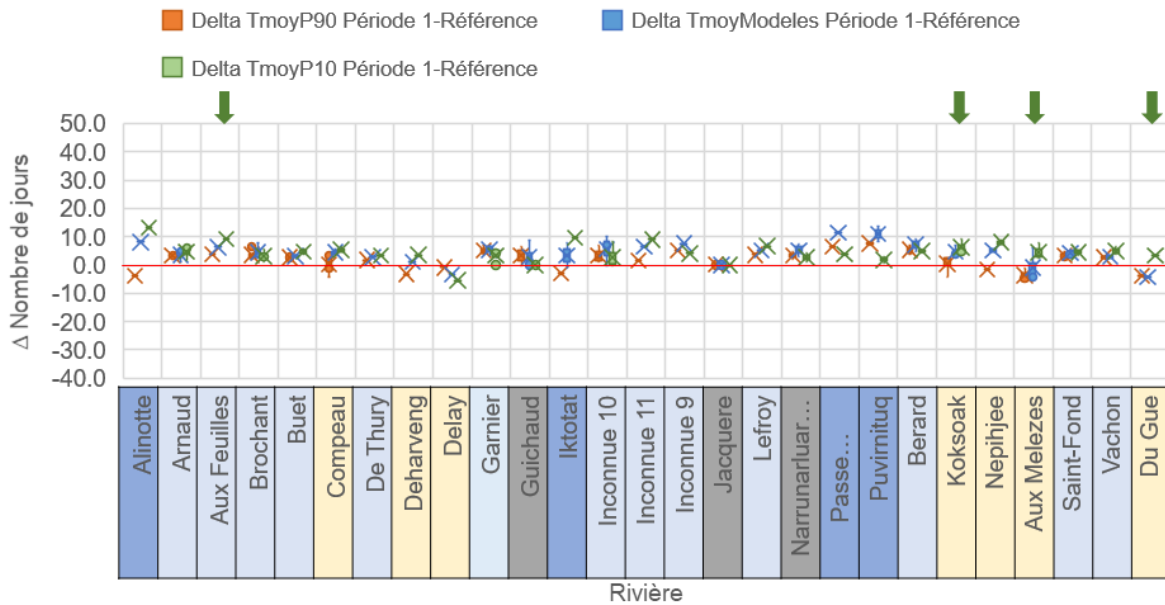


Figure 30. Delta de changements du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (omble chevalier) estimé à partir de la moyenne des modèles climatiques pour les trois périodes. Les résultats des scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont représentés. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.

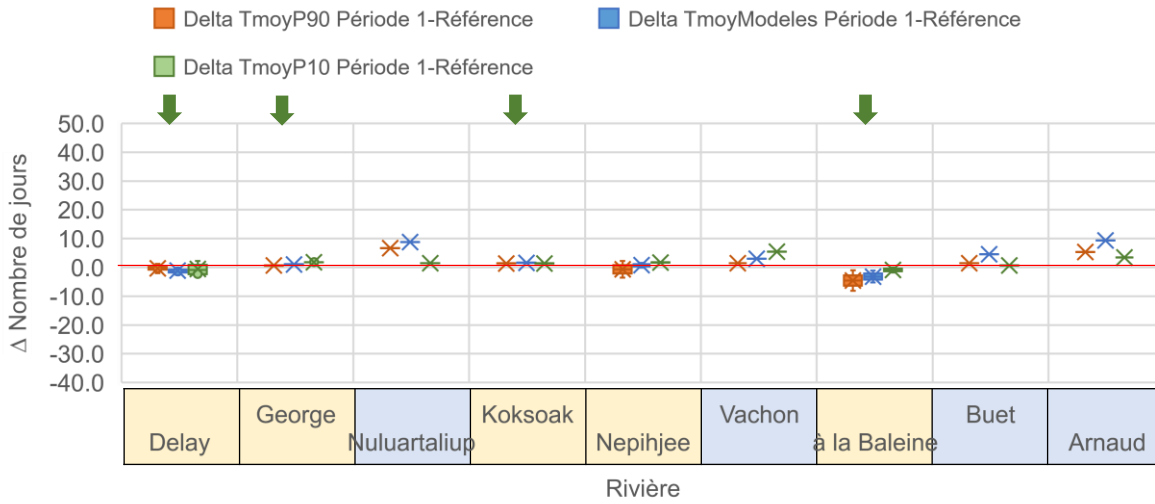
Considérant que la moyenne des modèles climatiques implique une atténuation des fluctuations interannuelles, les deltas de changements du nombre de jours de croissance estimé à partir de P10 et P90 sont aussi présentés pour chacune des trois périodes projetées (Figures 31 à 33). Ces percentiles permettent d'avoir une fourchette élargie des conditions thermiques plausibles. De façon générale, les températures plus élevées associées aux percentiles P90 produisent des deltas de changement du nombre de jours de croissance inférieurs à ceux obtenus pour la moyenne des modèles climatiques. Ces résultats indiquent que les températures estimées avec P90 sont supérieures aux conditions favorables pour la croissance de l'omble chevalier, c.-à-d. Teau moy est fréquemment supérieure à 16°C.

En contrepartie, les températures estimées avec P10 sont plus fraîches, les nombres moyens annuels de jours de croissance sont généralement plus faibles qu'avec la moyenne des modèles climatiques, mais les deltas de changements tendent à être supérieurs à cette dernière. Dans certains cas toutefois (ex. : Aux Mélézes, Vachon, à la Baleine), les deltas de changements sont inférieurs pour ce percentile, mais demeurent positifs, alors que les autres deltas deviennent négatifs. Pour Teau simulé avec P10, il y a augmentation continue (sauf pour 3 stations au sud) du nombre de jours de croissance optimale indiquant que le seuil de 11°C est plus fréquemment dépassé au fil du temps, alors que le seuil de 16°C est encore rarement dépassé.

La distribution spatiale des deltas de changements du nombre annuel de jours de croissance optimale pour l'omble chevalier montre des deltas positifs supérieurs à 10 jours pour plusieurs stations situées du côté ouest de la baie d'Ungava et pour les stations de la région nord. L'exemple de la période 2041-2070 est présenté pour les scénarios rcp4.5 (Figure 34a) et rcp8.5 (Figure 34b). Les deltas négatifs sont regroupés au sud de la région à l'étude. Les rivières Alinotte, Deharveng, Iktotat et Compeau ont aussi un potentiel de perdre des jours de croissance si les résultats avec P90 sont considérés pour cette période. À l'horizon 2071-2100, les deltas de changements, obtenus avec la moyenne des modèles et P90, sont négatifs pour des stations de ces rivières (Figure 42 présentée à l'annexe 9.4).

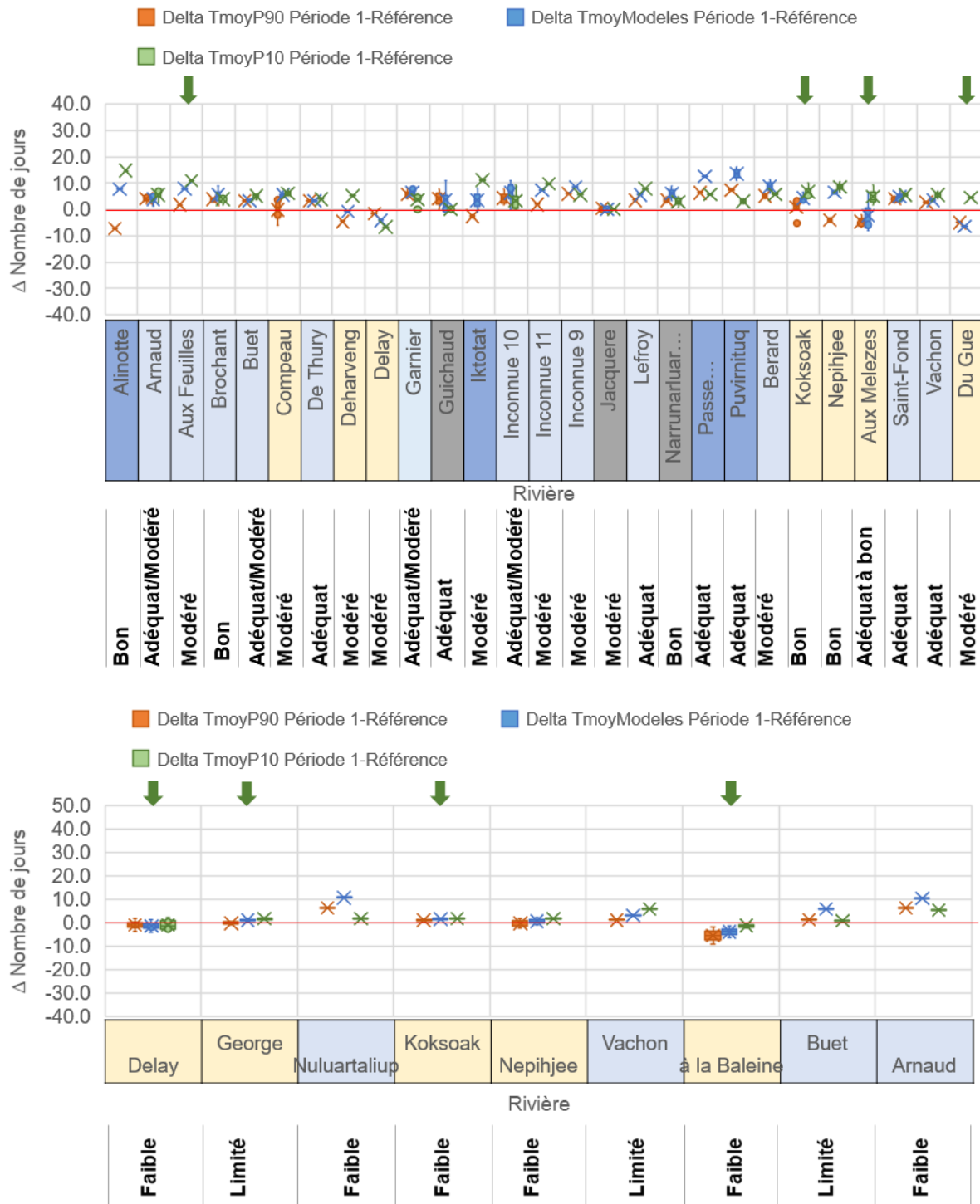


Rivière	Qualité
Alinotte	Bon
Arnaud	Adéquat/Modéré
Aux Feuilles	Modéré
Brochant	Bon
Buet	Adéquat/Modéré
Compeau	Modéré
De Thury	Adéquat
Deharveng	Modéré
Delay	Modéré
Garnier	Adéquat/Modéré
Guichaud	Adéquat
Iktotat	Modéré
Inconnue 10	Adéquat/Modéré
Inconnue 11	Modéré
Inconnue 9	Modéré
Jacquere	Modéré
Lefroy	Adéquat
Narrumarluar...	Bon
Passe...	Adéquat
Puvimituq	Adéquat
Berard	Modéré
Koksoak	Bon
Nepihjee	Bon
Aux Melezes	Adéquat à bon
Saint-Fond	Adéquat
Vachon	Adéquat
Du Gue	Modéré

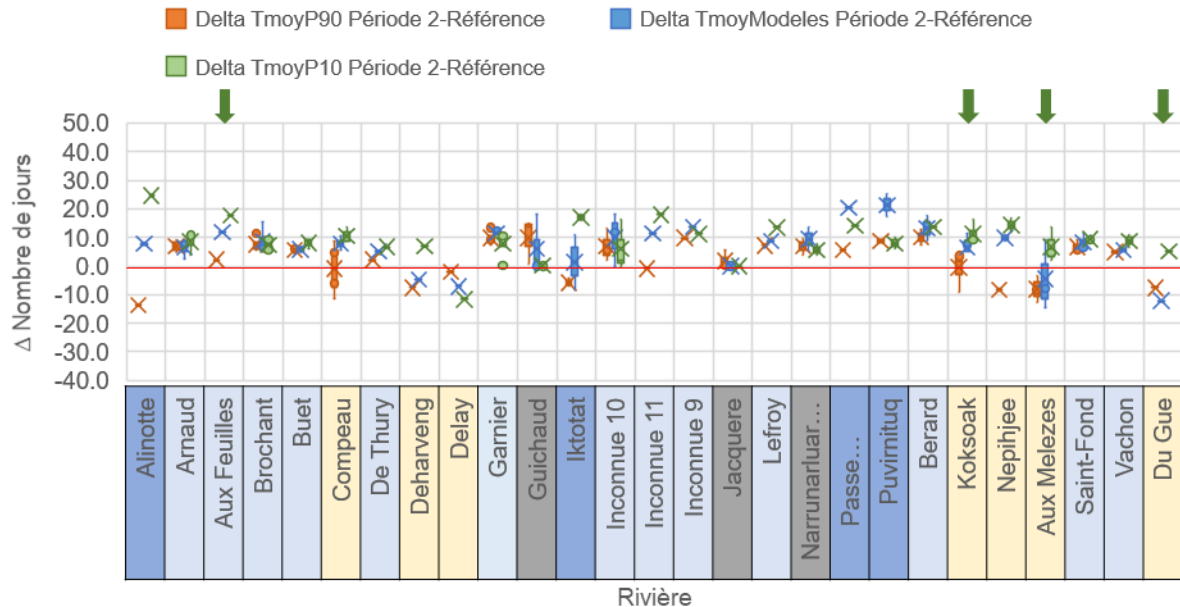


Rivière	Qualité
Delay	Faible
George	Limité
Nuluartaliup	Faible
Koksoak	Faible
Nepihjee	Faible
Vachon	Limité
à la Baleine	Faible
Buet	Limité
Arnaud	Faible

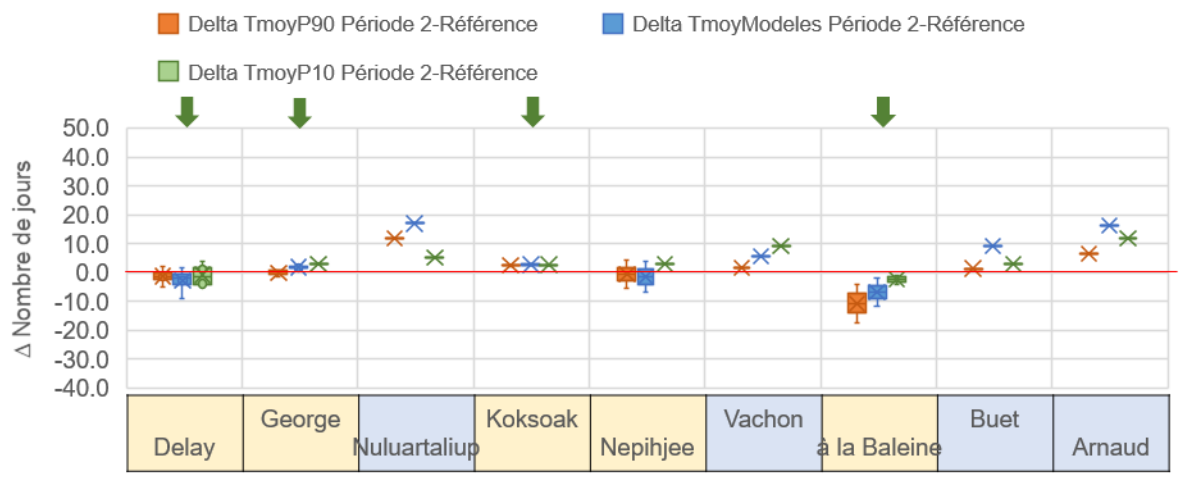
a)



b) Figure 31. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période 1, 2011-2040. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.

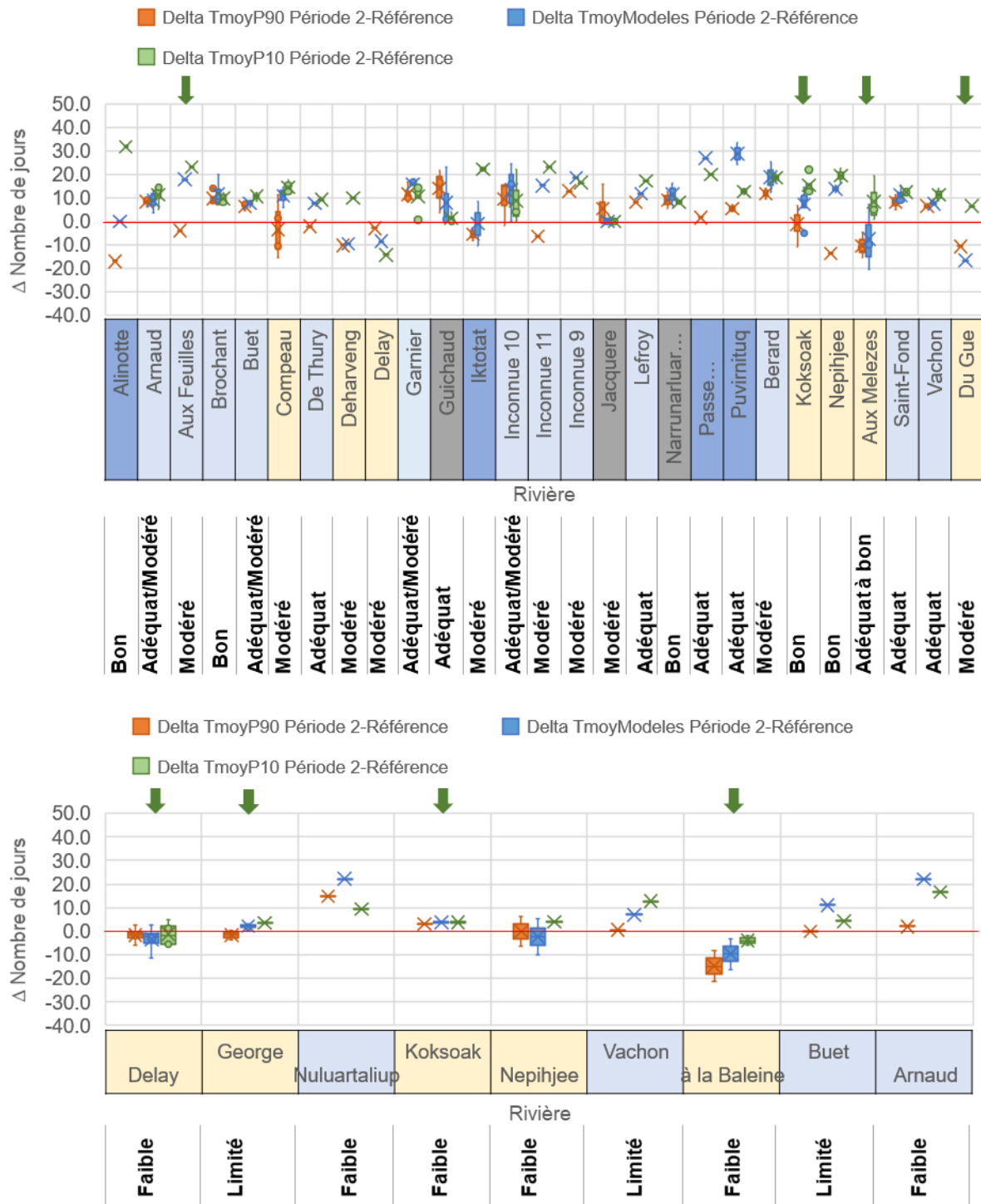


Bon	Adéquat/Modéré	Modéré	Bon	Adéquat/Modéré	Modéré	Adéquat	Modéré	Modéré	Adéquat/Modéré	Adéquat	Modéré	Adéquat/Modéré	Modéré	Adéquat/Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Adéquat	Bon	Adéquat	Adéquat	Modéré	Bon	Bon	Adéquat à bon	Adéquat	Adéquat	Modéré
------------	-----------------------	---------------	------------	-----------------------	---------------	----------------	---------------	---------------	-----------------------	----------------	---------------	-----------------------	---------------	-----------------------	---------------	---------------	---------------	----------------	------------	----------------	----------------	---------------	------------	------------	----------------------	----------------	----------------	---------------

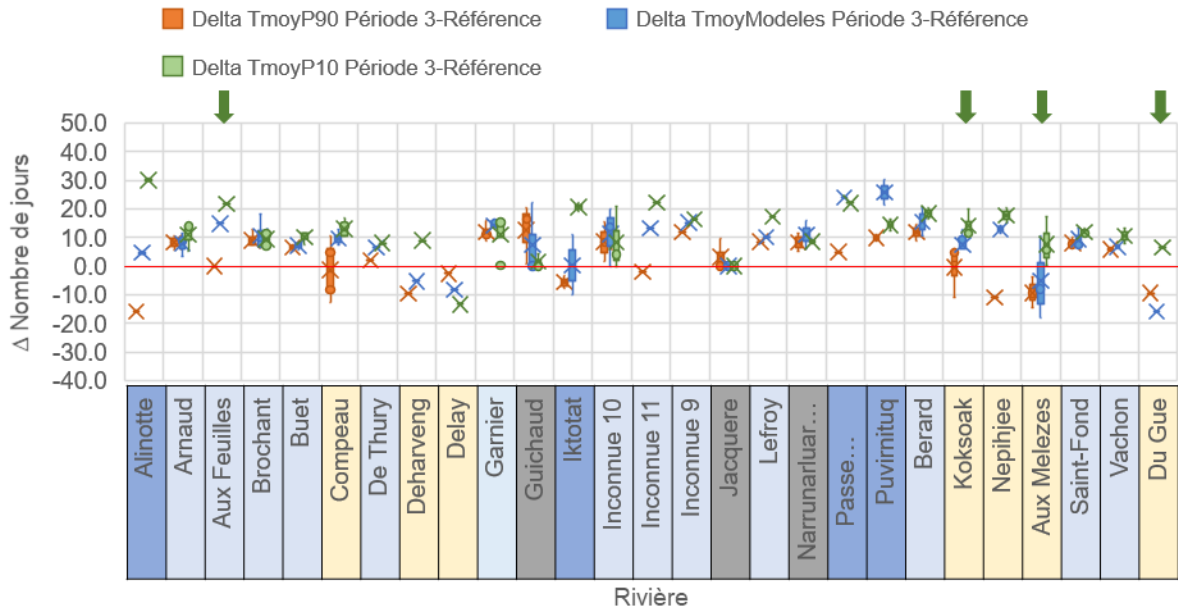


Faible	Limité	Faible	Faible	Faible	Limité	Faible	Limité	Faible
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

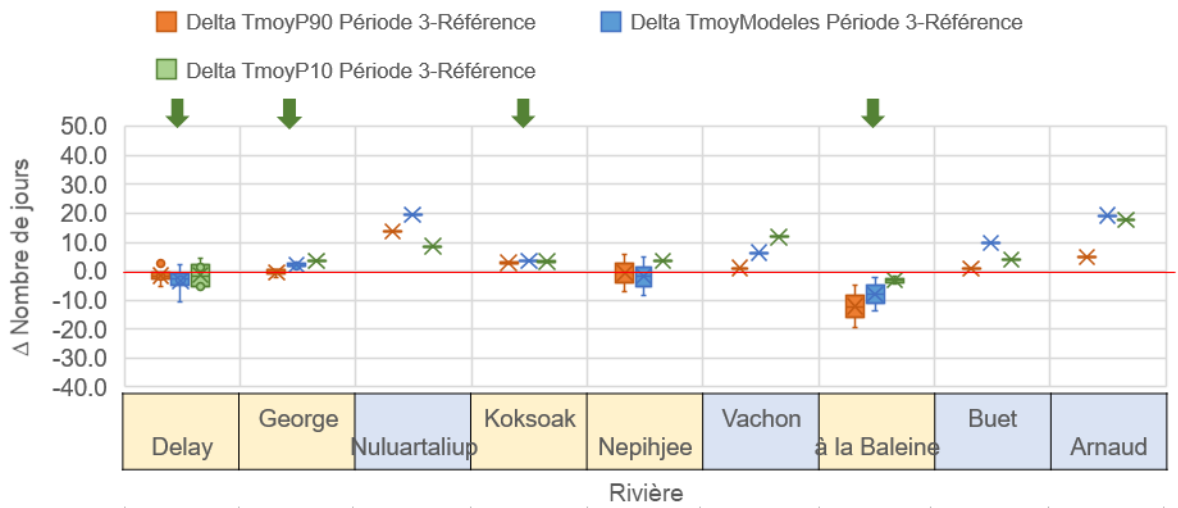
a)



b) Figure 32. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période 2, 2041-2070. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.

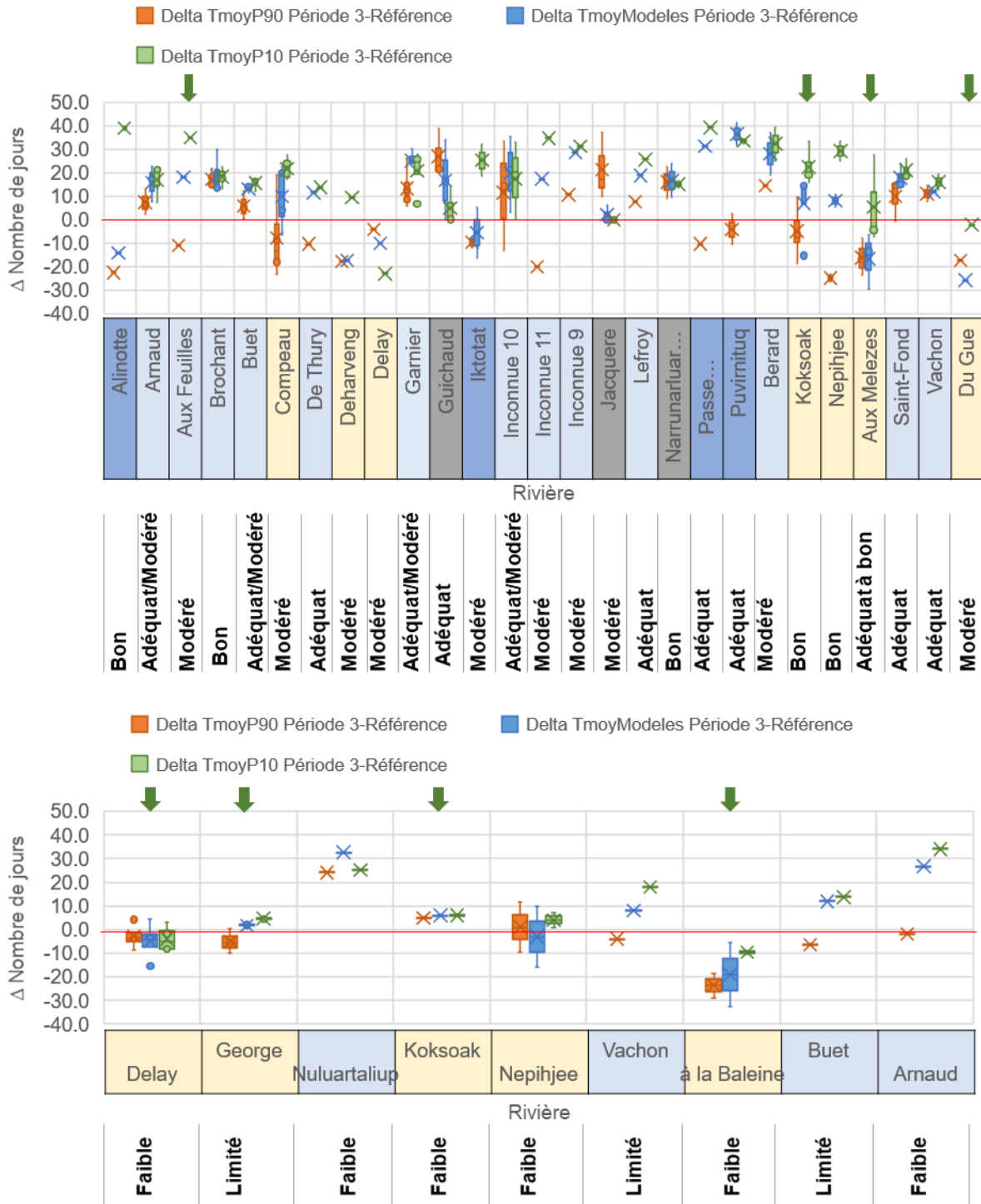


Bon
Adéquat/Modéré
Modéré
Bon
Adéquat/Modéré
Modéré
Adéquat
Modéré
Modéré
Adéquat/Modéré
Adéquat
Modéré
Adéquat/Modéré
Modéré
Modéré
Modéré
Adéquat
Bon
Adéquat
Adéquat
Modéré
Bon
Bon
Adéquat à bon
Adéquat
Adéquat
Modéré

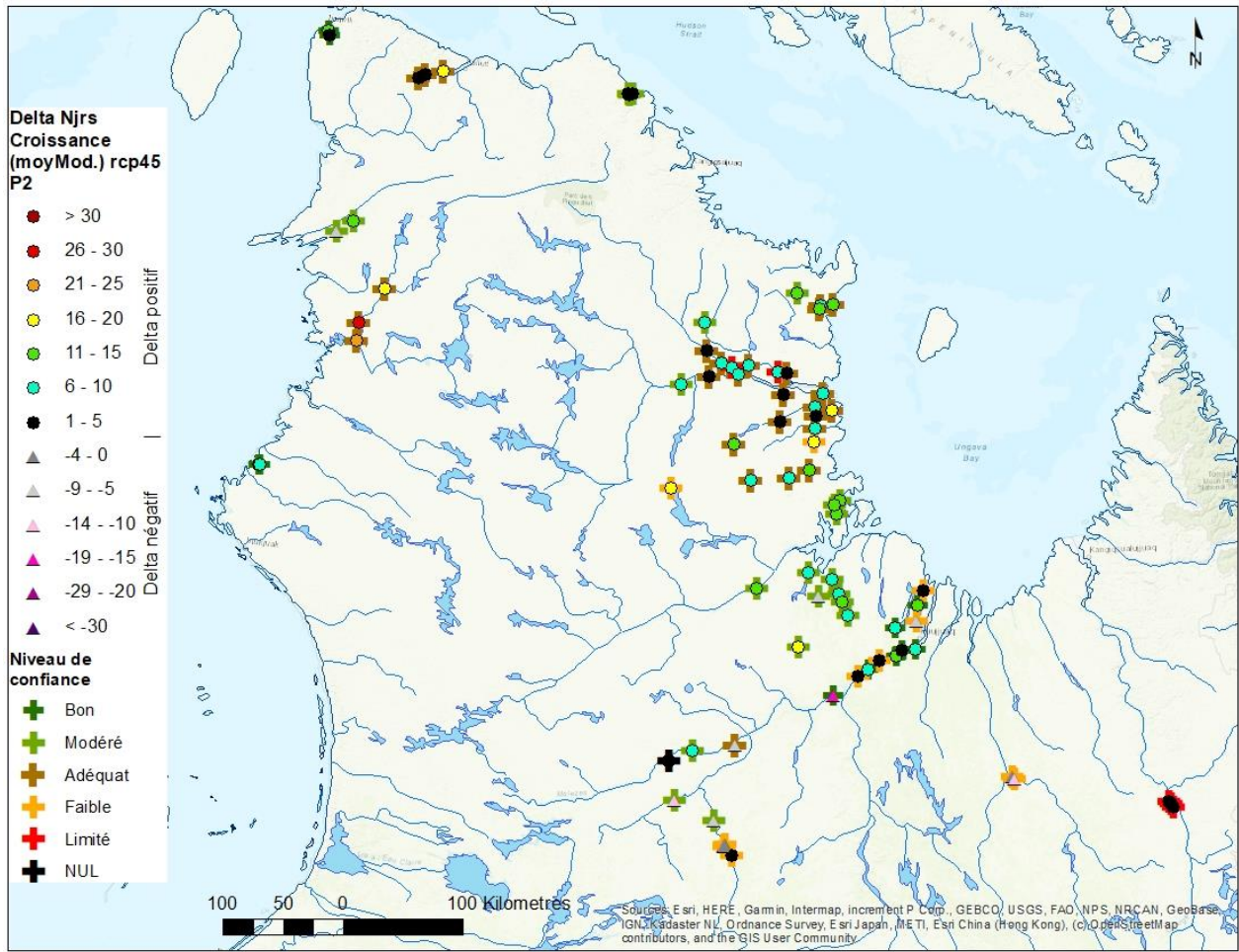


Faible
Limité
Faible
Faible
Faible
Limité
Faible
Limité
Faible

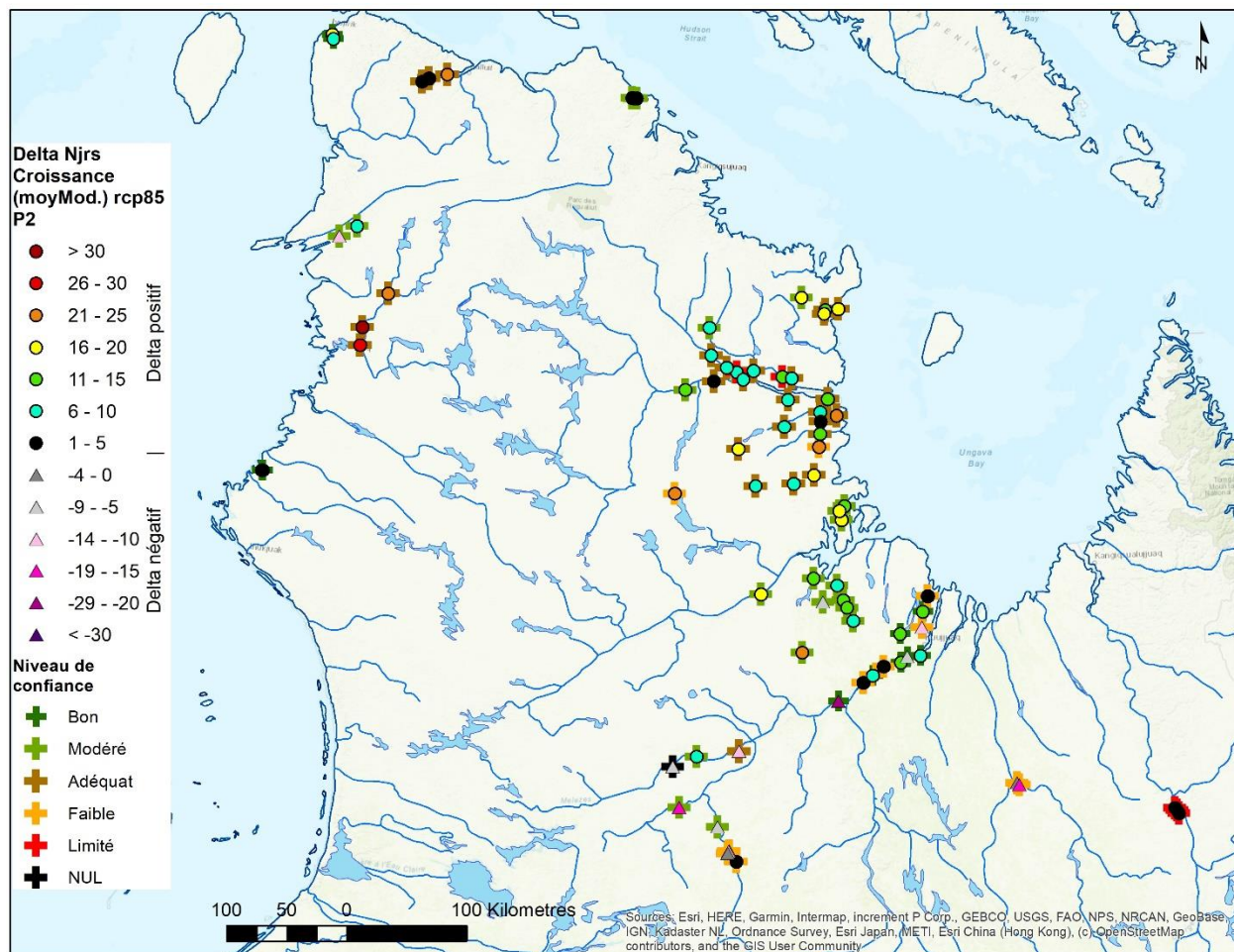
a)



b) Figure 33. Delta de changements du nombre de jours de croissance optimale (omble chevalier) pour la période 3, 2071-2100. a) scénario rcp4.5; b) rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.



a)



b)
Figure 34. Distribution spatiale des deltas du nombre de jours de croissance optimale (Ombles chevaliers) (moyenne des modèles climatiques) pour la période 2041-2070. a) Scénario rcp4.5; b) Scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.

5.2.2.2 *Stress thermique primaire*

Le seuil thermique primaire sélectionné pour l'omble chevalier est fixé à 18°C pour Teau moy. Ce seuil représente un seuil au-delà duquel moins d'activités d'alimentation sont observées (Gilbert 2020). Il a été préféré au seuil de 20°C-21 °C où l'arrêt de l'alimentation est plus probable. Les résultats pour ce seuil de 20°C sont par ailleurs analysés et présentés pour le saumon atlantique (section 5.2.1). Les deux séries de résultats peuvent ainsi être utilisées pour évaluer les changements temporels de ces conditions thermiques stressantes pour l'omble chevalier.

Pour la majorité des stations/rivières, les résultats indiquent une augmentation graduelle, mais faible, du nombre annuel moyen de jours de stress primaire. Pour la période 2071-2100, l'augmentation estimée du

nombre de jours de stress primaire varie entre 1 et 33 lorsque la moyenne des modèles climatiques est utilisée (Figure 35). Le delta est toutefois inférieur à 2, pour 71 des 78 stations.

Lorsque le percentile P90 des modèles climatiques (P90) est utilisé, les valeurs estimées avec le scénario rcp8.5 et pour la période 2071-2100 indiquent que vingt-deux stations réparties sur 14 rivières ont des deltas de changement supérieur à 2 (tableau 7). Le delta varie entre 4 et 38 jours pour ce groupe de stations, ce qui est majeur. La moyenne pour ce groupe est un delta positif de 18 jours, ce qui correspond à une moyenne annuelle de 20 jours de stress thermique. Dans le cas de la rivière À la Baleine, le delta le plus élevé est pour la moyenne des modèles (en bleu). Pour les stations de cette rivière, le nombre de données est limité en été (il n'y a aucune donnée au-delà du 2 septembre) et que le P90 indique que 59 des 63 jours de données seraient au-delà du seuil de stress thermique.

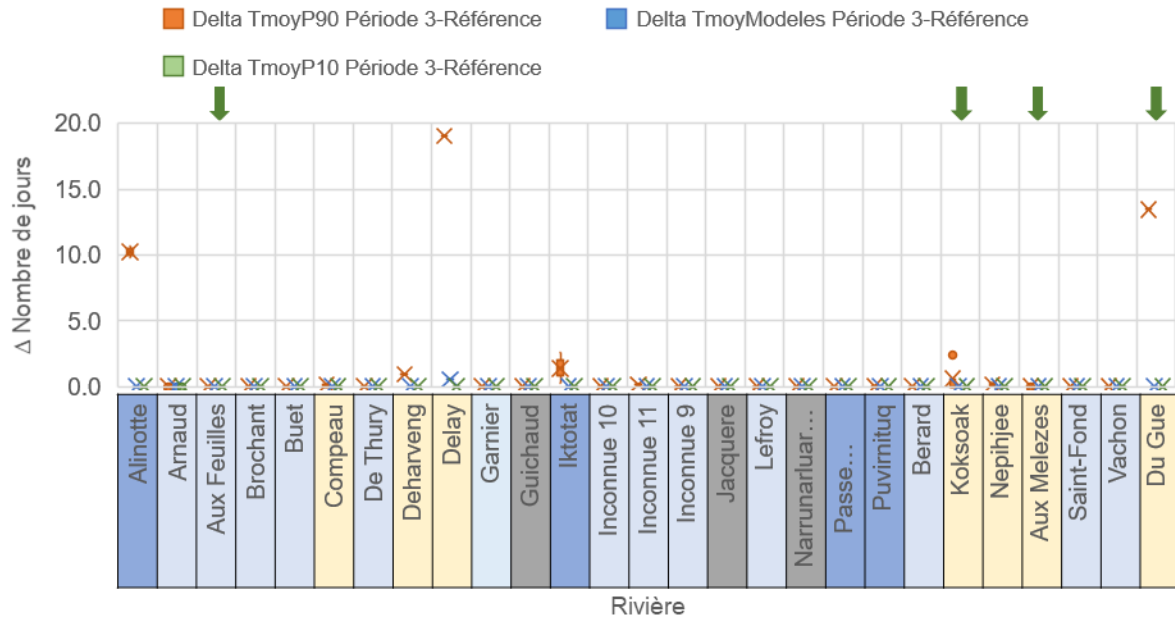
Tableau 7. Rivière avec delta de changement du nombre annuel moyen de jours de stress thermique supérieur à deux pour P90 des modèles climatiques, le scénario rcp8.5 et la période 2071-2100. Les cellules grisées indiquent les rivières avec des deltas supérieurs à 20 jours (pour toutes les stations).

Rivières (nombre de stations)	
à la Baleine (2 stations)	Iktotat (2 stations)
Alinotte (2 stations)	Inconnue 11 (1 station sur 4)
Aux Melezes (1 station sur 3)	Inconnue 10 (1 station sur 3)
Compeau (1 station sur 4)	Koksoak (1 station sur 6)
Deharveng (1 station)	Nepihjee (3 stations sur 4)
Delay (4 stations sur 5)	Passe Nallukallak (1 station)
Du Gue (1 station)	Puvirnituuq (1 station sur 2)

Les stations pour lesquelles le delta positif est supérieur à 20 jours de stress pour P90 (à la période 2071-2100 et le scénario rcp8.5), sont des rivières pour lesquelles la moyenne interannuelle estivale de Teau max est supérieure à 12°C à la période de référence et où le delta de changement de Teau moy est supérieur à la moyenne du groupe.

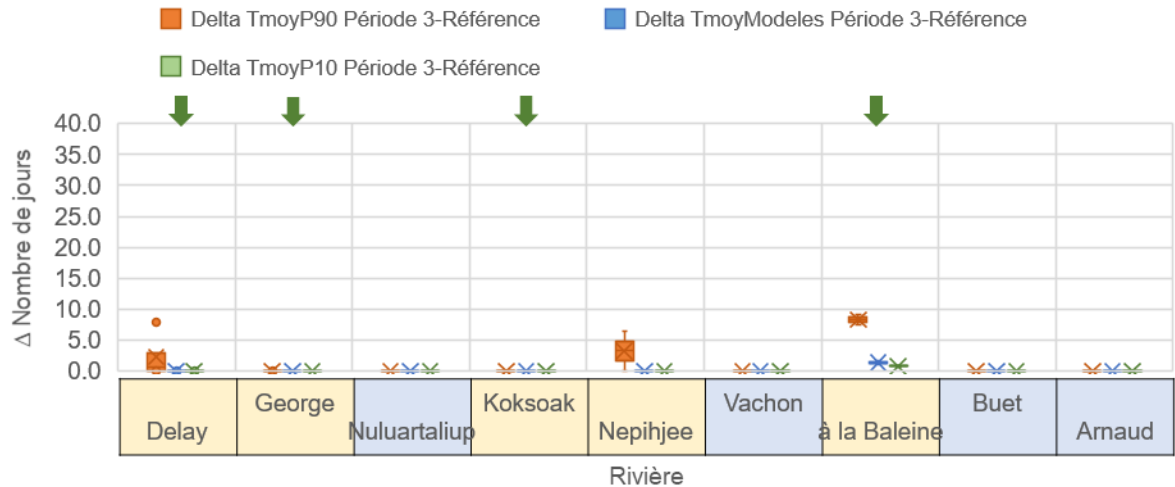
La distribution spatiale du delta de changement du nombre de jours de stress simulé thermique avec P90 pour la période 2071-2100 et le scénario rcp8.5 indique que les rivières au sud de la région d'étude et la portion ouest du territoire seraient négativement affectées par l'accroissement important des jours de stress (Figure 36).

Deux figures synthèses sont présentées à annexe 9.4 pour la moyenne (Figure 45) et le P90 des modèles climatiques (Figure 46) afin de mettre en évidence les stations pour lesquelles le nombre et le delta de croissance optimale sont simultanément supérieurs à la moyenne de l'ensemble des stations. Les stations où le delta de changement du nombre de stress thermique est supérieur à la moyenne des stations avec rcp8.5 sont représentées. La période 2071-2100 est ciblée pour cette synthèse.



Rivière

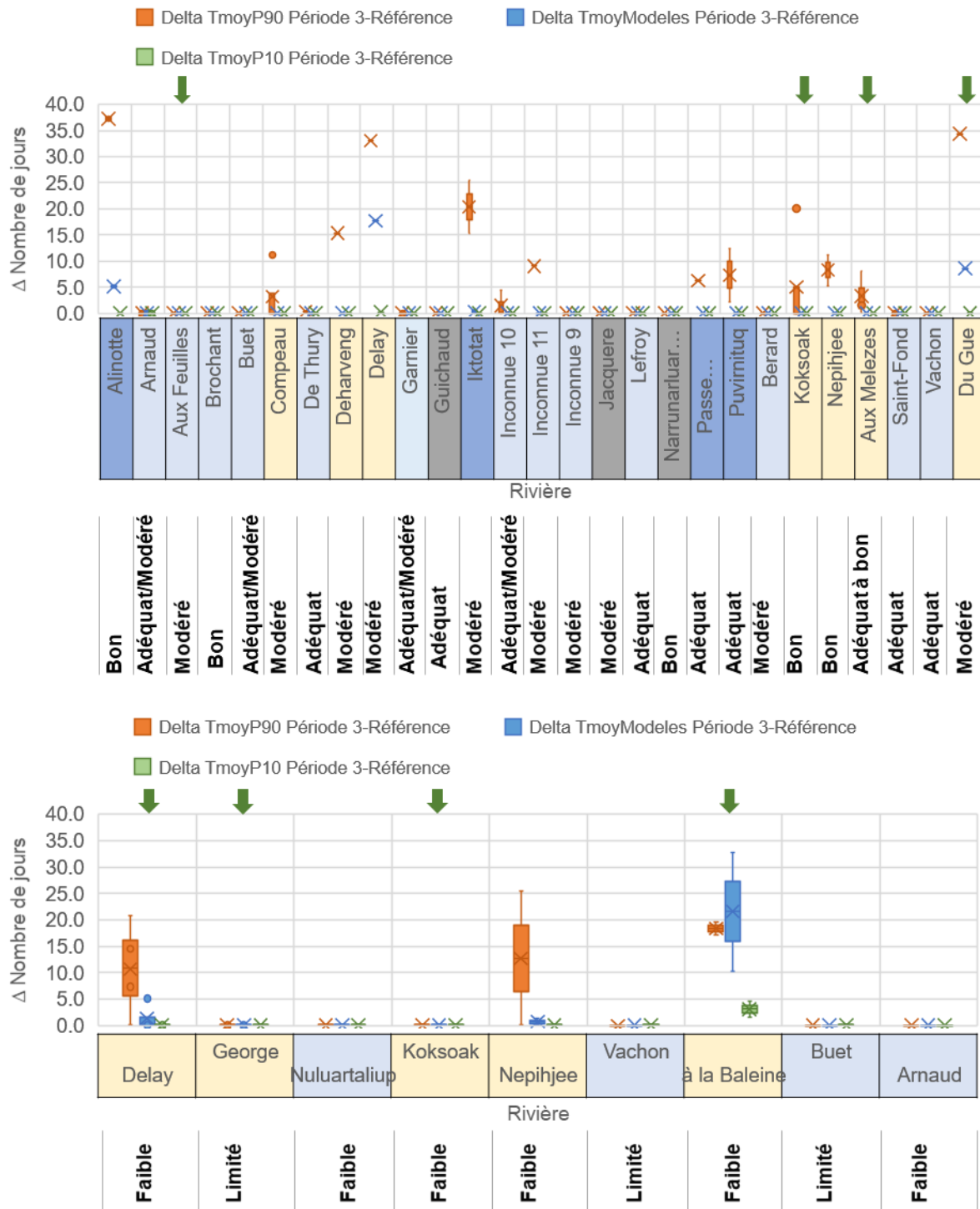
Bon
Adéquat/Modéré
Modéré
Bon
Adéquat/Modéré
Modéré
Adéquat
Modéré
Modéré
Adéquat/Modéré
Adéquat
Modéré
Adéquat/Modéré
Modéré
Modéré
Modéré
Adéquat
Bon
Adéquat
Adéquat
Modéré
Bon
Bon
Adéquat à bon
Adéquat
Adéquat
Modéré



Rivière

Faible
Limité
Faible
Faible
Faible
Limité
Faible
Limité
Faible

a)



b)

Figure 35. Delta de changements du nombre de stress primaire (omble chevalier) estimé pour la période 3, 2071-2100. a) scénario rcp4.5; b) scénario rcp8.5. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les flèches vertes indiquent les rivières où le saumon est observé.

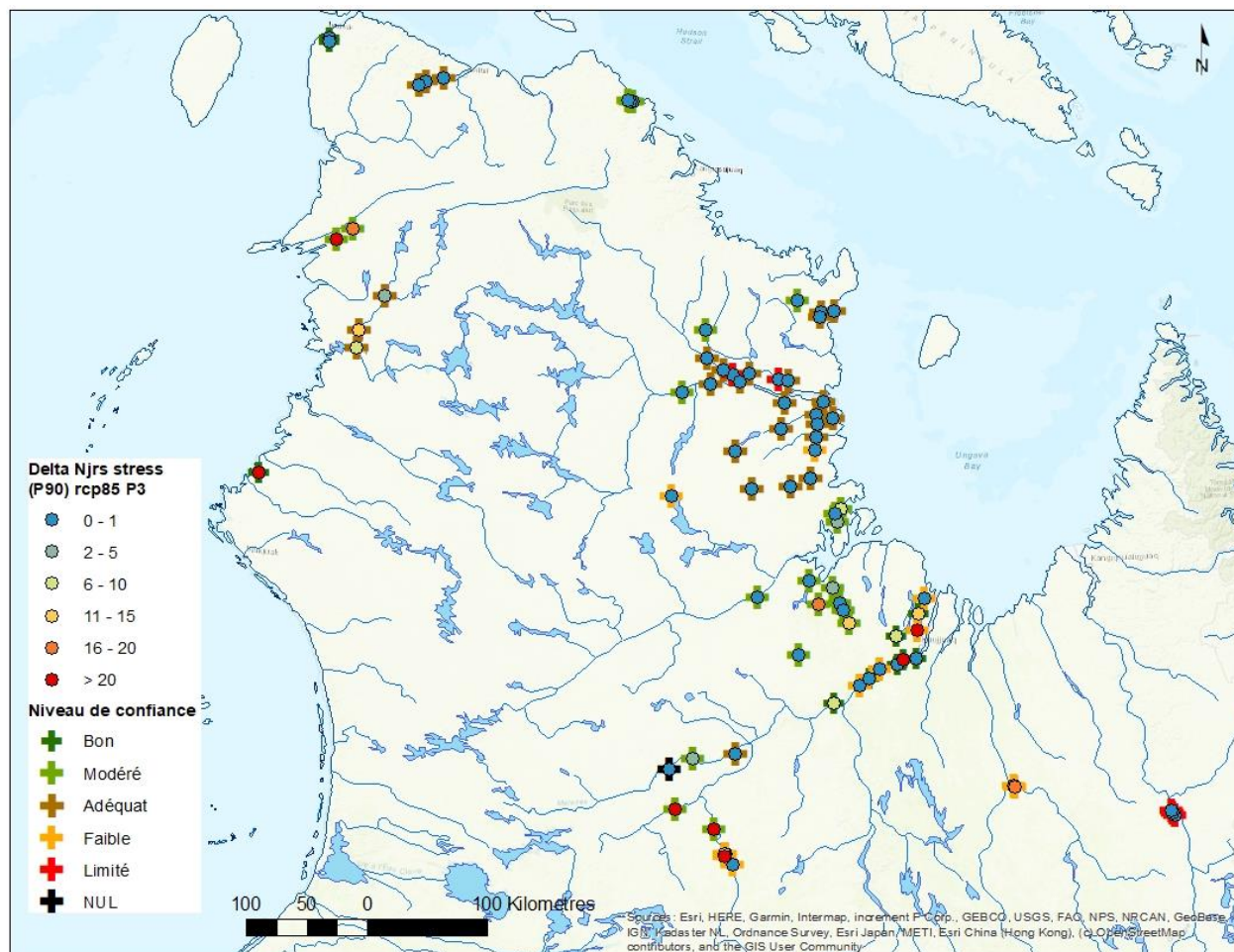


Figure 36. Distribution spatiale du delta du nombre annuel moyen de jours stress thermiques primaires simulés pour le percentile P90 des modèles climatiques, pour la période 3, 2071-2100 et scénario rcp8.5. Le niveau de confiance dans les valeurs estimées est représenté par les croix pour chaque station. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence.

5.3 TENDANCES GLOBALES DANS LES CHANGEMENTS DES INDICATEURS THERMIQUES ET EFFETS POTENTIELS POUR LES DEUX ESPÈCES DE POISSON À L'ÉTUDE : RÉSUMÉ EN FONCTION LA TEMPÉRATURE MOYENNE ESTIVALE SIMULÉE À LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE

Il est possible de dégager des tendances globales dans les changements temporels des indicateurs thermiques en fonction de la température moyenne estivale à la période de référence. Ces changements sont ainsi présentés sous forme synthétique en fonction des classes de température plutôt qu'en fonction des rivières (Figures 37 et 38). Les effets potentiels pour les deux espèces de poisson sont discutés.

5.3.1 Changements dans les conditions thermiques pour la croissance optimale des saumons et ombles chevaliers: opportunités et contraintes

Les résultats obtenus avec la moyenne des modèles climatiques suggèrent que pour le saumon, les stations pour lesquelles Teau moy estivale est entre 10°C et 14°C (classes 3 et 4, figure 37) à la période de référence ont globalement les plus fortes augmentations pour les deux scénarios (Figure 37a et Figure 37b). Il n'y a pas ou peu de changement dans le nombre de jours optimaux pour la croissance du saumon pour les stations où Teau moy estivale est inférieure à 8°C à la période de référence (stations de la zone nord principalement). Ce résultat suggère que, sur la base de la température de l'eau, la colonisation par le saumon serait peu probable dans les rivières de cette classe (bien que la contrainte thermique ne soit possiblement pas la seule contrainte pour ces rivières). Pour certaines stations/rivières de la classe 2 (Arnaud, Buet, Berard, Garnier, Guichaud, Iktotat, Lefroy, Puvirnituaq, Saint-Fond, Inconnue 9, Isurtuup (Inconnue 10), Inconnue 11), l'augmentation du nombre de jours de croissance pour le saumon (particulièrement avec le scénario rcp8.5 et le P90) pourrait favoriser la colonisation par le saumon (en l'absence d'autres contraintes ou limitations) à la période 2071-2100. Le niveau de confiance pour les stations de ces rivières varie de limité à bon, mais plus souvent adéquat ou modéré (voir Tableau 5).

Pour l'omble chevalier, les stations pour lesquelles Teau moy estivale est entre 8°C et 10°C (classe 2) à la période de référence ont globalement les plus fortes augmentations (moyenne de modèles climatiques) pour les deux scénarios (Figure 37c et Figure 37d). Selon ces résultats, les nombres annuels moyens de jours de croissance optimale pour les populations d'ombles chevaliers des rivières Vachon, Buet, Arnaud, Brochant, Garnier, Guichaud, Iktotat, Isurtuup (Inconnue 10), Inconnue 11 (tributaire), Inconnue 9 (tributaire), Lefroy, Narrunarluarutaq, Puvirnituaq, Berard, et Saint-Fond augmenteraient. Le niveau de confiance pour les stations de ces rivières varie de limité à bon, mais plus souvent adéquat ou modéré. Pour douze de ces rivières (listées au paragraphe précédent), la colonisation par le saumon pourrait toutefois être possible, si l'on considère uniquement la température de l'eau. La réduction du nombre de jours de croissance optimale pour l'omble chevalier s'observe d'abord pour les stations où Teau moy estivale est entre 10°C et 12°C (classe 3) à la période de 2041-2070. Toutefois, si le P90 est utilisé et le scénario rcp8.5 considéré, une perte jours de croissance optimale pour l'omble chevalier pourrait s'observer

à certaines stations/rivière de la classe 2 (Iktotat (1station), Isurtuup (Inconnue 10), Inconnue_11 (1station), Passe Nallukallak et Puvirnitug (1station)). Cette perte de conditions optimales serait concomitante avec le passage à des conditions favorables à la croissance pour le saumon à la période 2071-2100.

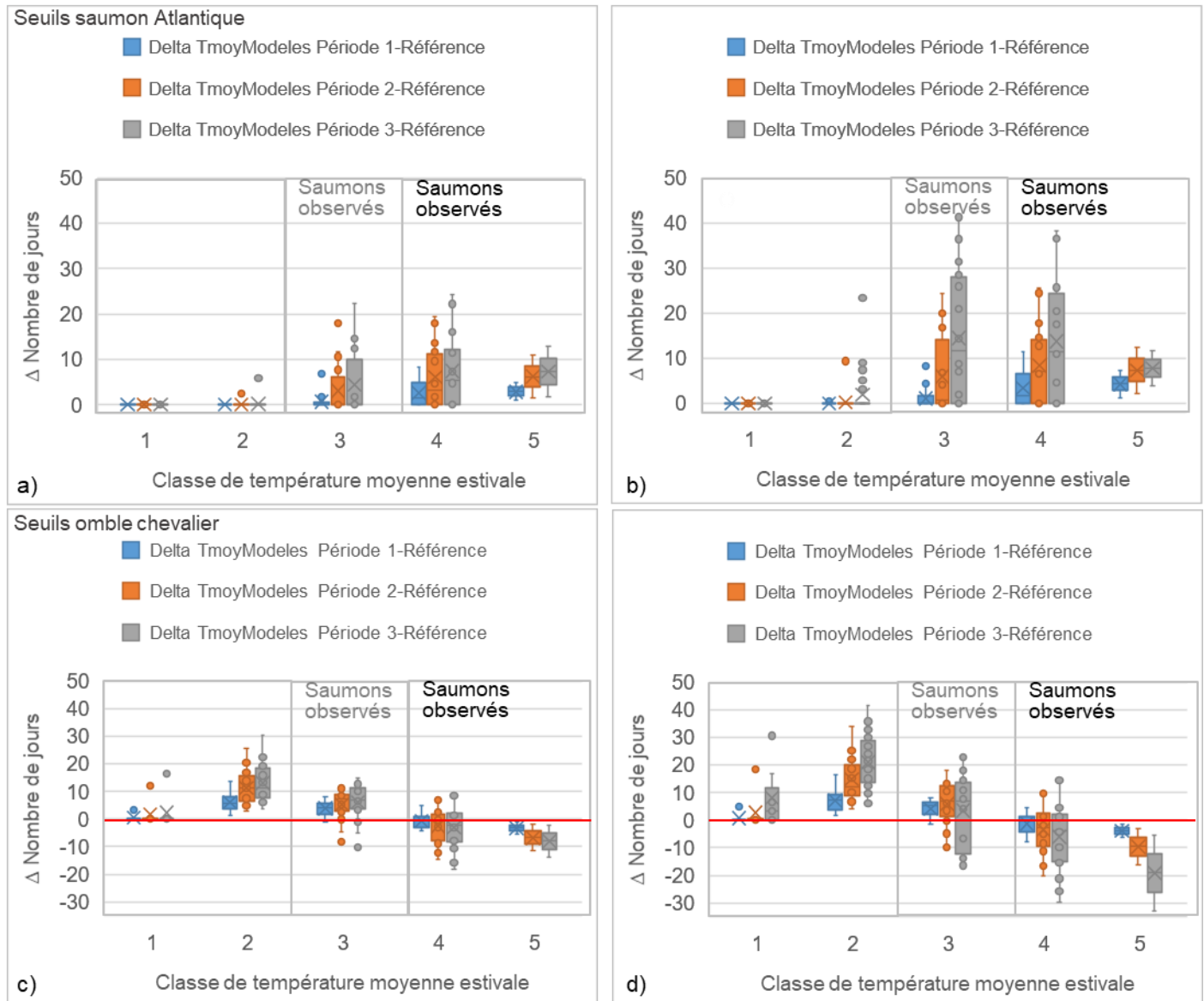


Figure 37. Delta de changement du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale (moyenne de modèles climatiques) en fonction des classes de la moyenne estivale de Teau moy (période de référence). a) Pour le saumon rcp4.5 et b) Pour le saumon rcp8.5; c) Pour l'omble chevalier rcp4.5 et d) Pour l'omble chevalier rcp8.5. Classe 1: $6^{\circ}\text{C} < T < 8^{\circ}\text{C}$; Classe 2: $8^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$; Classe 3: $10^{\circ}\text{C} < T < 12^{\circ}\text{C}$; Classe 4: $12^{\circ}\text{C} < T < 14^{\circ}\text{C}$; Classe 5: $14^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les saumons sont observés dans les rivières des classes 4 et 5 et dans 3 des 12 rivières de la classe 3.

Les rivières de la classe thermique 3 (10°C et 12°C) : Alinotte (2 stations), Arnaud (2 stations), Berard (1 station), Buet (1 station), Compeau (4 stations), DeThury (1 station), Deharveng (1 station), Iktotat (2 stations) et Nepihjee (4 stations) ont actuellement des populations d'omble chevalier, mais pas de saumon

atlantique selon les observations fournies par MFFP. Pour ces rivières, l'amplitude de l'augmentation du nombre de jours favorables à la croissance de l'omble chevalier est plus faible que l'augmentation du nombre de jours de croissance pour le saumon (projection avec la moyenne des modèles climatiques). À partir de la période 2041-2070, l'augmentation des températures pourrait réduire le nombre de jours de croissance pour l'omble chevalier par rapport à la période de référence pour certaines rivières (Deharveng, Iktotat, Nepihjee). Si le scénario rcp8.5 est considéré, les rivières Alinotte, Compeau et De Thury s'ajouteraient à la liste des stations où une réduction du nombre de jours de croissance pour l'omble chevalier pourrait survenir. Le niveau de confiance pour les simulations des températures de l'eau varie de faible à bon pour les stations de ces rivières. Il y a une possibilité de voir une consolidation des populations de saumon dans les rivières où cette espèce est déjà présente au détriment de l'omble chevalier puisque les juvéniles de cette espèce pourraient avoir plus de difficultés à croître sous les nouvelles conditions thermiques projetées. La colonisation par le saumon dans les autres rivières où cette espèce n'est pas encore présente est possible si les autres variables physiques des habitats (ex. : débit, vitesses d'écoulement, taille des graviers, etc.) le permettent.

Pour la rivière Aux Feuilles (classe thermique 3), où cohabitent les deux populations omble chevalier et saumon (selon les données fournies par le MFFP), l'augmentation des températures pourrait favoriser l'omble chevalier uniquement si on considère les résultats obtenus avec la moyenne de modèles climatiques. Si on considère les résultats obtenus avec le P90 des modèles, il y aurait une réduction du nombre de jours de croissance pour cette espèce pour les périodes 2 et 3 (scénarios rcp8.5) et une amélioration des conditions thermiques pour la croissance du saumon, pour les trois périodes. Au final, le saumon pourrait être davantage favorisé par la modification de ces conditions thermiques. Le secteur aval de la rivière Koksoak (station 5 à 7) aurait aussi le même type de tendance. La présence de l'omble chevalier est qualifiée de probable pour cette rivière et le niveau de confiance est de faible ou bon pour cette zone.

5.3.2 Changements dans les conditions thermiques stressantes: augmentation des contraintes pour l'omble chevalier et opportunités pour le saumon

Selon les résultats obtenus avec la moyenne des modèles climatiques, l'augmentation des stress thermiques primaires pour le saumon reste similaire aux valeurs de la période de référence, ne compromettant pas les conditions thermiques pour cette espèce même pour les rivières de la classe thermique 5, la plus chaude du Nunavik (Figure 38a et Figure 38b). Les résultats avec le P90 indiquent une augmentation (3 jours) pour certaines stations des rivières de la classe 4 (Delay et Du Gue) à la période 2071-2100. Le niveau de confiance des simulations est adéquat et modéré pour ces stations.

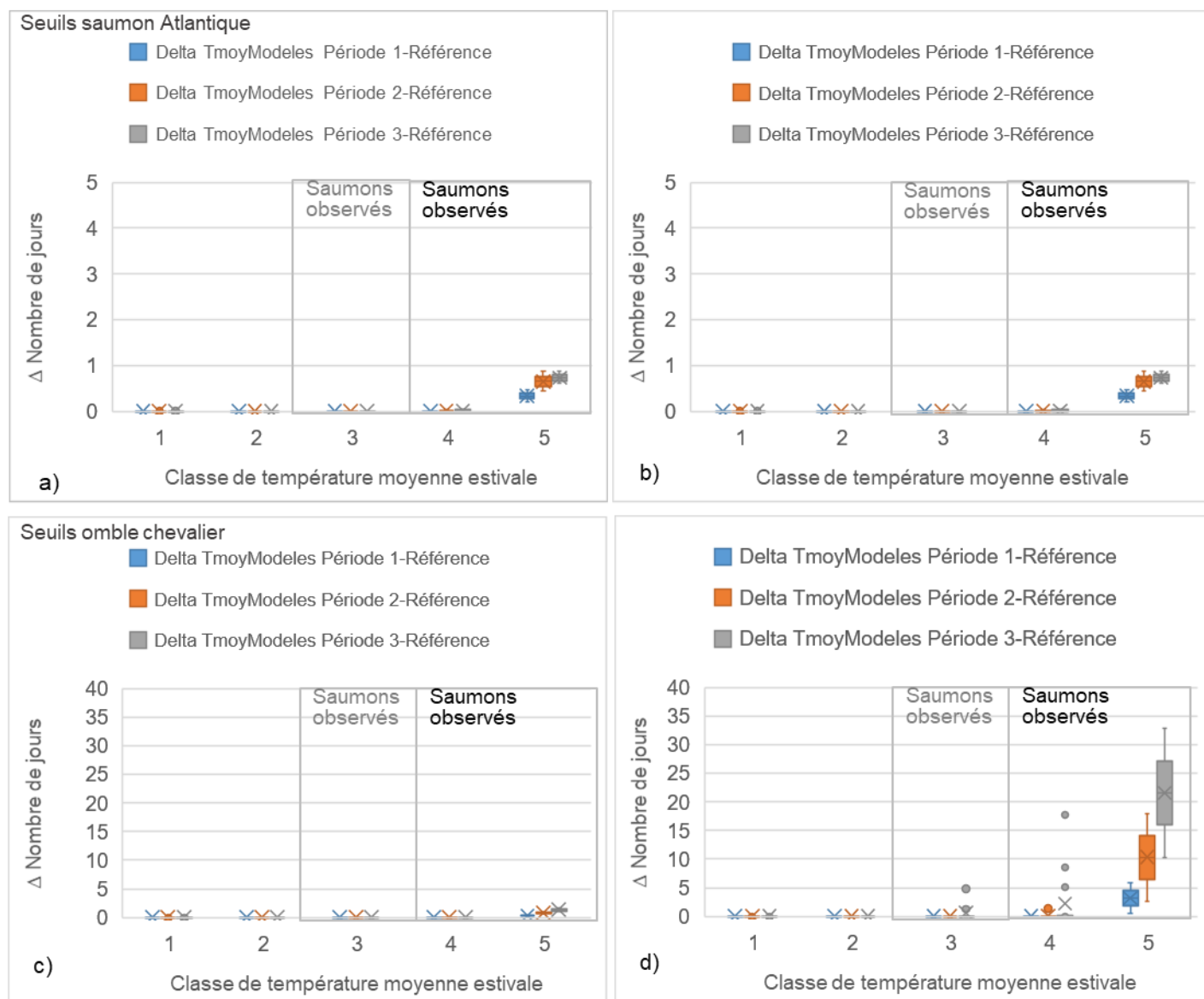


Figure 38. Delta de changement du nombre annuel moyen de jours de stress thermique primaire (moyenne de modèles climatiques) en fonction des classes de la moyenne estivale de Teau moy (période de référence). a) pour le saumon rcp4.5 et b) pour le saumon rcp8.5; c) pour l'omble rcp4.5 et d) pour l'omble rcp8.5. Classe 1: $6^{\circ}\text{C} < T < 8^{\circ}\text{C}$; Classe 2: $8^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$; Classe 3: $10^{\circ}\text{C} < T < 12^{\circ}\text{C}$; Classe 4: $12^{\circ}\text{C} < T < 14^{\circ}\text{C}$; Classe 5: $14^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$. Les deltas sont calculés par rapport à la période de référence. Les saumons sont observés dans les rivières des classes 4 et 5 et dans 3 des 12 rivières de la classe 3.

Selon les résultats obtenus avec la moyenne des modèles climatiques et le scénario rcp8.5, l'augmentation des stress thermiques primaires pour l'omble chevalier est forte pour les stations/rivières des classes 4 et 5, où la présence de populations d'ombles chevaliers est probable actuellement (Figure 38c et Figure 38d). La croissance et la survie de cette espèce seraient compromises dans ces rivières en lien avec les contraintes thermiques pour les juvéniles notamment. L'augmentation projetée avec le scénario rcp8.5 pour

la période 2071-2100 indique que la population d'ombles chevaliers de la rivière Alinotte (classe 3) aurait des conditions thermiques stressantes pour 5 jours supplémentaires par rapport à la période de référence.

Les simulations obtenues avec le P90 des modèles climatiques et le scénario rcp8.5 indiquent, qu'à partir de la période 2041-2070, mais surtout pour la dernière période, il y a un potentiel que les populations d'ombles chevaliers dans certaines rivières des classes 3 et 2 soient soumises à un plus grand nombre de jours de stress (jusqu'à 30 jours par an avec P90 pour la dernière période) qu'au cours de la période de référence. Ces résultats sont obtenus pour les rivières Iktotat (amont), Compeau, Deharveng, Nepihjee, Koksoak et Alinotte qui sont dans la classe 3 et pour les rivières de la classe 2 Puvirnituk, Iktotat (aval) et Inconnue 11.

Pour les rivières de la classe 3, l'augmentation conjointe des stress thermiques (simulations avec P90 et rcp8.5) pour l'omble et le passage à des conditions thermiques favorables à la colonisation par le saumon (selon l'indicateur de croissance optimale saumon) pourraient modifier la répartition des deux populations. Les rivières ou portions de rivières sur lesquelles ces conditions simultanées sont projetées sont : Nepihjee, Compeau, Deharveng, Iktotat et Alinotte (le niveau de confiance varie de faible à bon pour les stations de ces rivières).

Dans ces conditions, la croissance optimale de l'omble chevalier pourrait être fragilisée, tant par l'augmentation des températures que par la compétition plus grande avec le saumon atlantique. Si les habitats favorables d'un point de vue des caractéristiques physiques deviennent limités (ex. réduction des débits et baisse des niveaux d'eau), d'autres enjeux pourraient aussi survenir en lien avec l'accroissement des températures de l'eau, par exemple une augmentation de la compétition intra- et interspécifique.

La synthèse des résultats présentée en fonction de la température estivale simulée pour la période de référence vise à dégager des tendances pour les populations d'omble et de saumon des rivières étudiées. Il importe de toujours tenir compte du niveau de confiance associée à chaque station et de l'étendue de l'enveloppe (décrite par P10 et P90) entourant des simulations avec la moyenne des modèles climatiques. La plage de possibilités autour de la moyenne est plus étendue pour certaines stations.

6 DISCUSSION ET CONCLUSION

Le déploiement de thermographes dans les cours d'eau du Nunavik est récent. Une trentaine de rivières de cette région du Nord-du-Québec ont été instrumentées au cours des cinq dernières années. Les données de température de l'eau disponibles sont ainsi très récentes et peu nombreuses pour une majorité des stations et rivières, particulièrement dans la zone au sud de cette région. Malgré ce fait, nous avons pu créer des scénarios d'évolution temporelle des températures de l'eau en fonction des projections du climat pour les années futures. Afin de pondérer les effets liés à la rareté des données d'observation, nous avons

choisi d'élaborer un indice pour définir le niveau de confiance aux données d'entrée des modèles et utiliser celui-ci pour représenter les résultats d'analyses des indicateurs.

L'indice de confiance tient compte d'une part, des incertitudes dans l'estimation de T_{air} par les scénarios climatiques dans une région où les stations météorologiques sont éparses et d'autre part, des incertitudes des modèles de température de l'eau qui sont fréquemment calés sur un nombre limité de données. L'insertion de ce premier niveau d'incertitude dans l'indice vise à tenir compte du fait que les données climatiques utilisées lors du calage des modèles thermiques sont celles observées à la station et non celles interpolées sur la grille Anusplin qui est utilisée par les modèles climatiques.

L'échelle du niveau de confiance est partiellement relative dans le sens où elle tient compte des résultats obtenus pour l'échantillon de stations en plus d'une valeur optimale fixe. Le niveau de confiance le plus élevé est attribué à onze stations (niveau de confiance = 'bon') réparties sur cinq rivières distinctes (Alinotte, Koksoak, Narrunarluarutaq, Nepihjee et Aux Melezes (une station)). Le niveau de confiance défini comme 'limité' est attribué à cinq stations distribuées sur 3 rivières (Buet, George et Vachon). Les niveaux de confiance pourraient éventuellement être améliorés par l'ajout de données et par la reconstruction/validation de nouveaux modèles thermiques. La poursuite des suivis de température de l'eau au Nunavik est importante, et recommandée, afin de mieux comprendre la variabilité spatiale de cette variable, de documenter la tendance temporelle et d'améliorer la fiabilité des modèles thermiques de l'eau.

Les représentations graphiques par rivière et la cartographie des indices thermiques pertinents pour les espèces de salmonidés, calculés avec modèles thermiques utilisant les modèles climatiques (moyenne, P10 et P90) et les scénarios d'émission (rcp4.5 et rcp8.5), permettent de comparer leurs changements dans le temps et dans l'espace. Les deltas de changement du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale sont globalement positifs pour l'omble chevalier pour une majorité de stations (57/78 à la période 2071-2100 et rcp8.5) et positifs pour le saumon pour les stations situées principalement dans la zone sud (33/78 à la période 2071-2100 et rcp8.5).

Les résultats suggèrent que les changements thermiques projetés affecteront davantage certains secteurs de la zone d'étude et que ceux-ci pourraient être davantage fragilisés que les autres. Le secteur sud et certaines stations/rivières (Alinotte et Iktotat) dans la zone de la baie d'Hudson sont plus à risque de subir des effets négatifs pour les populations d'omble chevalier au cours des périodes futures avec une réduction potentielle du nombre de jours de croissance optimale et l'augmentation du nombre de jours de stress thermique. L'amplitude des changements locaux projetés doit toutefois être prise avec précautions compte tenu des niveaux de confiance variable d'une station à une autre particulièrement au sud du Nunavik où le nombre de mesures de température est réduit.

Les seuils globaux de température pour la croissance optimale du saumon et de l'omble chevalier semblent être un peu trop élevés pour décrire la distribution de ces espèces dans certaines rivières du Nunavik. Par exemple, les seuils globaux de 11°C - 16°C ne permettent pas de considérer la rivière Jacquere comme

une rivière ayant des conditions thermiques optimales pour l'omble chevalier. D'autres seuils de température pourraient possiblement mieux représenter la réalité du Nunavik que les seuils globaux reconnus par la littérature. Ainsi, une plage de température entre 9°C et 16°C pourrait mieux convenir pour l'omble chevalier du Nunavik que le seuil de 11°C - 16°C. Cette plage élargie permet d'obtenir au moins 12 jours de conditions favorables à la croissance de l'omble pour l'ensemble des rivières et stations pour la période de référence, ce qui n'est pas le cas avec le seuil global. La croissance du saumon dans les rivières du Nunavik pourrait aussi être favorisée à partir de températures de l'eau inférieures au seuil global de 16°C. Avec un seuil débutant à 14°C, le nombre annuel moyen de jours favorables à la croissance de l'omble serait autour de 25 jours pour les stations de la Koksoak. La station de la rivière Aux Feuilles aurait 5 jours de croissance optimale à la période de référence. Le seuil de 16°C ne permet pas d'identifier cette rivière comme ayant des conditions optimales de croissance pour cette espèce. En contrepartie, avec des seuils débutants à 14°C, les stations de la rivière Nepihjee et certaines des stations des Alinotte, Iktotat, De Thury, Compeau, Deharveng, aurait aussi plus de 5 jours de croissance favorable à la période de référence. Il est suggéré de valider les seuils de température pour la croissance optimale pour l'omble chevalier, et pour le saumon atlantique, pour les rivières du Nunavik.

En ce qui concerne la cohabitation/compétition potentielle entre les saumons atlantiques et l'omble chevalier, plusieurs questions demeurent sans réponse dans la littérature. Par conséquent, il est difficile de projeter les impacts des changements thermiques examinés dans le rapport sur cet aspect. La littérature indique qu'en période estivale, les habitats de croissance des juvéniles des deux espèces diffèrent. Les juvéniles d'omble chevalier utilisent généralement les zones de faibles vitesses, alors que les juvéniles de saumon atlantique préfèrent les zones plus rapides, ce qui peut suggérer, qu'à ce stade de vie, la compétition pourrait être moins importante.

La période hivernale pourrait être plus contraignante pour le saumon que pour l'omble. Bilous et Dunmall (2020) indiquent la période d'incubation des œufs pourrait être le facteur limitant pour une colonisation rapide et étendue par le saumon. Alors que l'omble chevalier fraie en lacs, les sites de fraie du saumon sont en rivière et de préférence à des sites peu profonds. Ces sites sont potentiellement plus à risques de geler complètement dans les rivières situées plus au nord que la distribution actuelle du saumon (Power et coll. 1999). Cette période est peu documentée pour les rivières du Nunavik et des régions arctiques en général. Le manque de données disponibles sur la sélection de l'habitat des juvéniles des deux espèces pendant les mois d'hiver est aussi une lacune importante dans la compréhension de l'interaction potentielle entre le saumon atlantique et l'omble chevalier dans les rivières arctiques (Bilous et Dunmall, 2020). La période hivernale n'a pas été analysée dans le cadre du présent projet compte tenu de la faible représentativité des modèles à cette période (les biais sont largement plus grands pour les mois d'hiver que les mois d'été).

Rappelons que dans le cadre de cette étude, la modification des conditions de débit (amplitude et période des crues, sévérité des étiages, etc.) n'est pas prise en compte ni les changements globaux qui pourraient modifier la répartition des apports entre les écoulements de surface et de sous-surface. Pour le Nunavik,

l'effet de l'augmentation des températures s'accompagnera d'une fonte du pergélisol qui pourrait modifier la dynamique des apports dans les rivières et dans la répartition spatio-temporelle de l'eau. Cet aspect reste à documenter. Les modèles statistiques qui prennent ces éléments en compte n'ont pas encore été développés. Certains modèles déterministes offrent une représentation plus ou moins détaillée de ces processus. Sur la rivière aux Mélézes, un modèle déterministe (CEQUEAU, St-Hilaire et al., 2015) est en cours de calibration.

7 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS : REPRÉSENTATION SPATIALE DES CHANGEMENTS PROJETÉS DANS LES CONDITIONS THERMIQUES POUR L'OMBLE CHEVALIER COMPARATIVEMENT À CEUX POUR LE SAUMON

Pour synthétiser, les résultats présentés dans le rapport, les changements projetés dans les conditions thermiques pour l'omble chevalier sont comparés à ceux pour le saumon et représentés spatialement (Figures 39a et 39b). La synthèse cible les changements projetés à la période 2071-2100 (scénario rcp4.5 et rcp8.5) par rapport à la période de référence (1981-2010), malgré le fait qu'à cette période éloignée, plusieurs des éléments non modélisés (ex. le débit) peuvent avoir un effet plus grand sur les projections qu'aux périodes précédentes.

Les cartes mettent en évidence les stations où les deltas de changement du nombre de jours de croissance optimale (à la période 2071-2100) sont moins importants pour l'omble chevalier que pour le saumon. Les stations où le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale projeté pour l'omble chevalier est inférieur à celui pour le saumon sont représentées par un triangle noir. Les cartes visent à donner un aperçu global et synthétique des rivières qui seront les plus affectées, selon les résultats obtenus. Les cartes tiennent aussi compte du niveau de confiance variable des modélisations. Le percentile P90 des modèles climatiques est cartographié (Figure 39b), en plus de la moyenne de ces modèles (Figure 39a), afin de représenter un patron extrême.

La figure 39a compare les résultats obtenus avec la moyenne des modèles climatiques (période 2071-2100).

- Le delta de changement du nombre annuel moyen de jours de croissance optimale pour l'omble chevalier est inférieur au delta de changement de cet indicateur pour le saumon pour la majorité des stations des rivières de la zone au sud de la baie d'Ungava, et pour les quatre stations des rivières Alinotte et Iktotat (zone de la baie d'Hudson).

- Pour les stations de la zone au sud de la baie d'Ungava, il s'agit d'une perte de conditions favorables à la croissance optimale pour l'omble chevalier (delta négatif), même si les deltas sont inférieurs pour cette espèce par rapport au saumon. Cette perte de conditions optimales à la croissance de l'omble s'accompagne d'un accroissement du nombre annuel moyen de jours de stress thermiques supérieur à 10 jours pour les stations de rivière À la Baleine et pour une station de la rivière Delay. Ce nombre est près de 5 jours pour d'autres stations des rivières au sud du Nunavik (Du Gue, Delay)
- Pour certaines stations des rivières de la zone de la baie d'Hudson (rivières Alinotte et Iktotat), le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale projetée seraient plus faibles pour l'omble chevalier que pour le saumon. Pour ces deux rivières, l'augmentation des températures pourrait ainsi avoir un impact doublement négatif pour l'omble chevalier si la colonisation par le saumon est possible. Avec le scénario rcp8.5, le nombre annuel moyen de jours de stress thermiques est près de 5 jours pour les stations la rivière Alinotte (une augmentation de 5 par rapport à la période de référence).
- Les rivières de la zone nord sont uniquement favorables à la croissance de l'omble chevalier.
- Le stress thermique pour le saumon n'apparaît pas comme un enjeu. Le delta de changement du nombre moyen de jours de stress est nul ou inférieur à 1 pour les 78 stations.

La figure 39b compare les résultats obtenus avec le P90 des modèles climatiques à la même période (2071-2100).

- La carte met en évidence un accroissement important du nombre de stations et rivières où les deltas de changements du nombre de jours de croissance pour l'omble chevalier sont inférieurs à ceux pour le saumon.
- Selon ces résultats, des rivières dans la zone ouest de la baie d'Ungava s'ajouteraient à la distribution précédente, obtenues avec la moyenne des modèles. Les rivières Saint-Fond, Lefroy et Garnier ainsi que des stations dans le bassin versant de la rivière Arnaud s'ajouteraient à la liste des rivières où il y aurait plus forte amélioration des conditions optimales de croissance pour le saumon par rapport à l'augmentation qui est projetée pour l'omble chevalier. Les stations de la rivière Puvirnituk (zone de la baie d'Hudson) s'ajouteraient aussi.
- Malgré un accroissement plus important par rapport à la période de référence, le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale demeurerait toutefois plus grand pour l'omble chevalier que pour le saumon dans les rivières de la zone ouest de la baie d'Ungava.
- Pour certaines stations des rivières de la zone de la baie d'Hudson (Alinotte, Iktotat, Puvirnituk), le delta de changement du nombre annuel moyen de jours de conditions optimales à la

croissance l'omble chevalier est à la fois inférieur à celui pour le saumon et négatif. Il s'agit donc d'une perte de jours de croissance pour l'omble chevalier. Le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale pour l'omble chevalier est nettement inférieur à celui pour le saumon. Cette observation s'applique aussi pour les rivières de la zone sud de la baie d'Ungava.

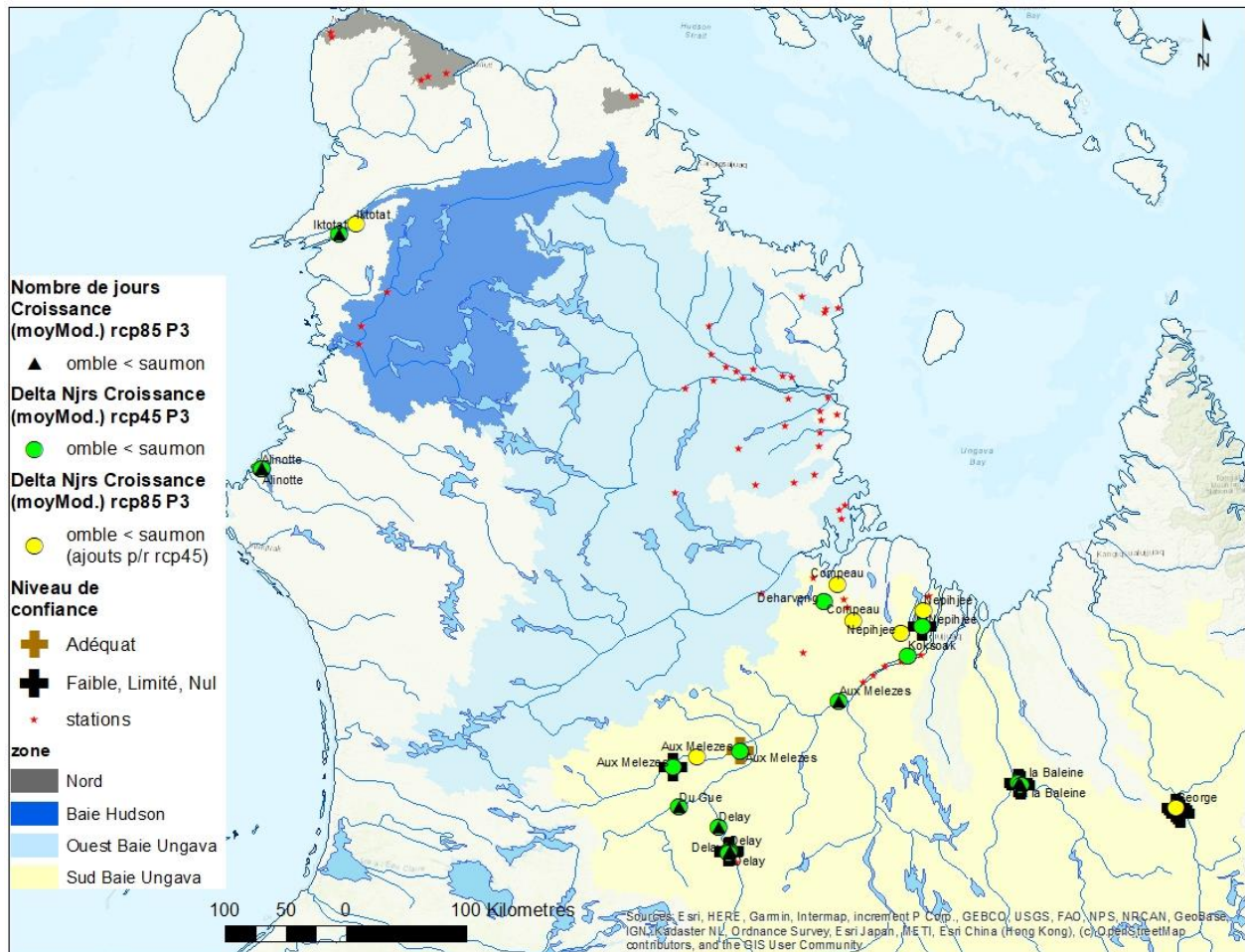
- Pour le scénario rcp8.5, le delta de changements du nombre annuel moyen de jours de stress thermique primaire pour l'omble chevalier est supérieur à 10 pour la majorité des stations où le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale pour l'omble chevalier est inférieur à celui pour le saumon. Ceci qui suggère un double effet négatif pour cette espèce dans les rivières de la zone sud de la baie d'Ungava et pour celles de la zone de la baie d'Hudson.
- Les rivières de la zone nord (détroit d'Hudson) demeurent favorables à l'omble chevalier uniquement.
- Le stress thermique pour le saumon n'apparaît pas comme un enjeu. Le delta de changement du nombre moyen de jours de stress est nul pour 70 des 78 stations et reste inférieur à 5 jours pour une ou plusieurs stations des rivières au sud de la baie d'Ungava (Du Gue, Delay, à la Baleine, Inconnue_11) et du côté de la baie d'Hudson (Alinotte, Puvirnituk).

Il importe de souligner à nouveau que la projection à la période 2070-2100 est plus incertaine compte tenu du fait que les modèles de température de l'eau sont basés sur les données observées actuellement et que les risques sont plus grands que ces modèles ne soient plus représentatifs à cette période de temps la plus éloignée. Les projections hydroclimatiques pour la région suggèrent une modification de l'hydrologie générale de la région par rapport à l'actuel. Ainsi, selon les scénarios hydrologiques projetés pour la période future, il est très probable que les débits annuels moyens augmenteront pour les bassins versants du Nunavik (Mailhot et Chaumont; 2017). La modification globale des débits en rivière par rapport au contexte d'observation des températures de l'eau implique que les températures de l'eau seraient différentes de celles projetées dans ce rapport.

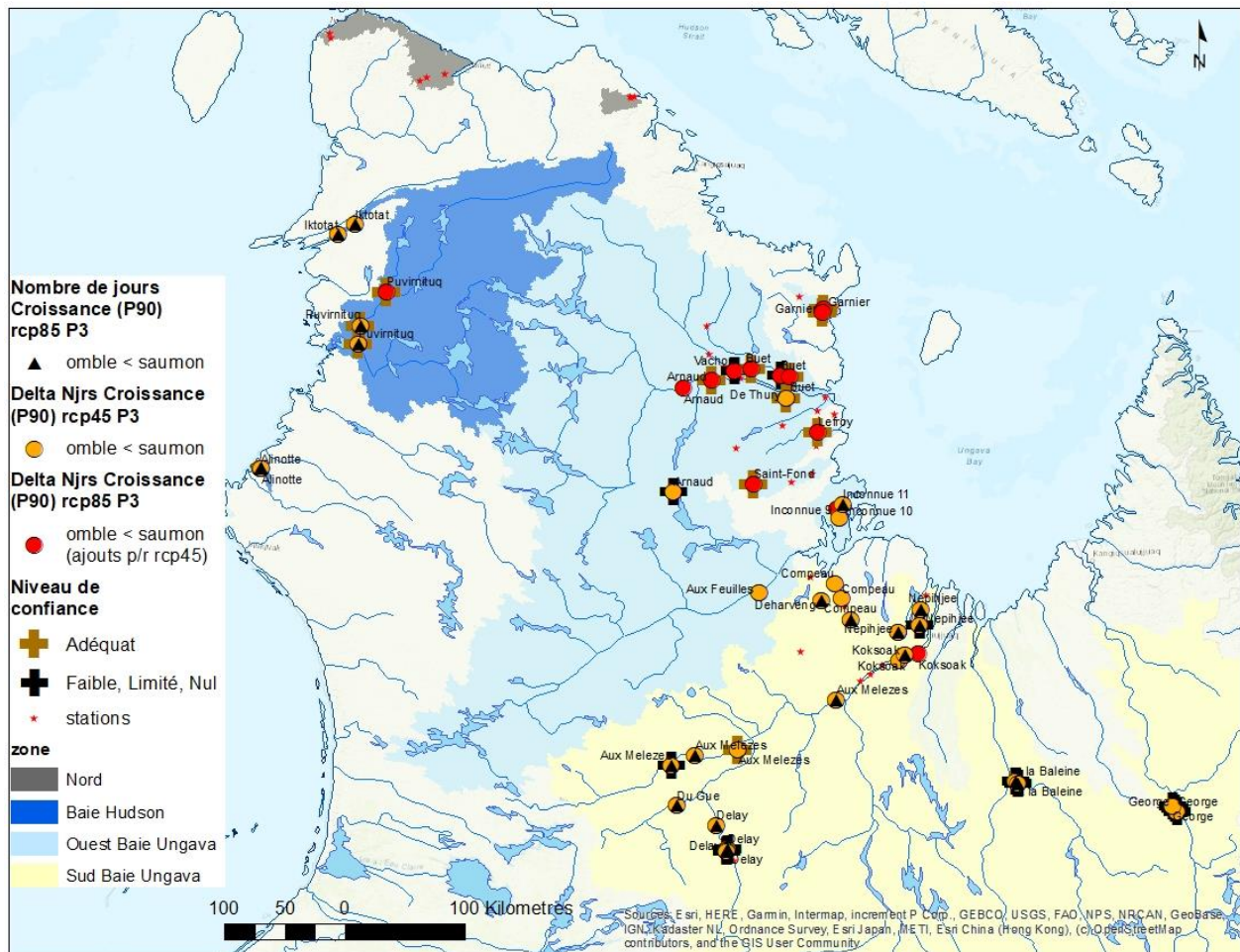
Les rivières dont les indicateurs thermiques projetés favorisent le saumon ne seront pas nécessairement colonisées par ce dernier. La disponibilité d'habitats adéquats à différents stades de vie doit permettre cette colonisation. La période hivernale représente une contrainte pour le frai du saumon, tel que rapporté par Bilous et Dunmall (2020). Les changements climatiques pourraient toutefois modifier les températures de l'eau et les débits hivernaux et réduire aussi ces contraintes. La période hivernale et la disponibilité des habitats en rivière n'ont pas été analysées dans la présente étude.

Les interactions entre les saumons et les ombles chevaliers sont aussi importantes à prendre en considération. Celles-ci pourraient être analysées dans les rivières où ces deux espèces sont observées actuellement. Ces observations serviraient à mieux comprendre la compétition interspécifique entre ces

deux espèces et à mieux anticiper les impacts potentiels pour les rivières qui pourraient éventuellement être colonisées par le saumon.



a)



b)
Figure 39. Distribution spatiale des stations pour lesquels le nombre de jours de croissance optimale et le delta de changements de ce nombre sont inférieurs pour l'omble chevalier que pour le saumon à la période 2071-2100 et pour les scénarios rcp4.5 et rcp8.5. Les triangles noirs indiquent les stations où le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale pour le saumon est supérieur à celui pour l'omble chevalier. a) les résultats obtenus avec la moyenne des modèles climatiques; b) les résultats obtenus avec P90 des modèles climatiques. Pour simplifier la carte, les niveaux de confiance « faibles », « limité » et « nul » sont représentés par un même symbole et les niveaux « modérés » et « bon » ne sont pas représentés. Le nom de la rivière associée à chacune des stations est inscrit. Les stations où le nombre annuel moyen de jours de croissance optimale et le delta de changements à la période 2071-2100 sont supérieurs pour l'omble chevalier que pour le saumon sont identifiées par une petite étoile rouge.

8 RÉFÉRENCES

- Bélanger, C., Gratton, Y., St-Hilaire A., Ouellet V., Duchesne V., Dubos V., Logan T., Laurion I. et Pienitz, R. (2020). Impacts des changements climatiques sur les habitats thermiques du touladi (*Salvelinus namaycush*) et de l'omble chevalier (*Salvelinus Alpinus*) dans les lacs du Nunavik. Rapport R1953, INRS-Eau, terre et environnement, Québec, Qc, xxxiii + 185 p.
- Bilous, M. and Dunmall K. (2020). Atlantic salmon in the Canadian Arctic: potential dispersal, establishment, and interaction with Arctic char. *Rev Fish Biol Fisheries*, 30, 463–483. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09610-2>.
- Boyer, C., St-Hilaire A. et Bergeron N. (2019a). Volets – 1 et 2 – Projet Sensibilité thermique des rivières à saumon - Rapport décrivant la méthode de contextualisation climatique (novembre 2019).
- Boyer, C., St-Hilaire A., et Bergeron N. (2019b). Volets – 1 et 2 – Projet Sensibilité thermique des rivières à saumon - Rapport d'analyse (décembre 2019).
- Boyer, C., St-Hilaire A., et Bergeron N. (2020), Volet – 3 – Projet Sensibilité thermique des rivières à saumon - Rapport final.
- Breau, C., Cunjak R.A., Peake S. J. (2011). Behaviour during elevated water temperatures: can physiology explain movement of juvenile Atlantic salmon to cool water? *Journal of animal ecology*, 80, 4, 844-853. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01828.x>.
- Daigle, A., Boyer C. and St-Hilaire A. (2019). A standardized characterization of river thermal regimes in Québec (Canada). *Journal of Hydrology*, 577, 123963. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123963>.
- Dubos, V. (2021). Communications personnelles et extraits de rapport d'examen doctoral.
- Elliott, J. M. and Elliott J. A. (2010). Temperature requirements of Atlantic salmon *salmo salar*, brown trout *salmo trutta* and arctic charr *salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of fish biology*, special issue: fishes and climate change, vol. 77, 8, 1793-1817.
- Gilbert, M.J.H. (2020). Thermal limits to the cardiorespiratory performance of arctic char (*salvelinus alpinus*) in a rapidly warming north. Thèse, 189p.
- Gilbert, M.J.H., Harris L.N., Malley B.K., Schimnowski A., Moore J.-S. and Farrell A.P. (2020). The thermal limits of cardiorespiratory performance in anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*): a field-based investigation using a remote mobile laboratory. *Conserv. Physiol.* 8(1). Oxford Academic. doi:10.1093/conphys/coaa036.

- Godiksen, J.A., Power, M., Borgstrøm, R., Dempson, J.B., and Svenning, M.A. (2012). Thermal habitat use and juvenile growth of Svalbard Arctic charr: evidence from otolith stable oxygen isotope analyses. *Ecol. Freshw. Fish* 21(1): 134–144.
- Heggenes, J., Stickler M., Alfredsen K., Brittain J.E., Adeva-Bustos A., Huusko A. (2021). Hydropower-driven thermal changes, biological responses and mitigating measures in northern river systems. *River Res Applic.* 2021; 1–23. <https://doi.org/10.1002/rra.3788>.
- Hiebert et al., (2018). ClimDown: Climate Downscaling in R. *Journal of Open Source Software*, 3(22), 360, <https://doi.org/10.21105/joss.00360>.
- Jobling, M. (1981). Temperature tolerance and the final preferendum rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *Journal of Fish Biology*, 19:439-455.
- Laanaya, F., St-Hilaire A., Gloaguen E. (2017). Water temperature modelling: comparison between the generalized additive model, logistic, residuals regression and linear regression models. *Hydrological Sciences Journal*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1246799>.
- Langeland, A., and L'Abée-Lund, J.H. (1998). An experimental test of the genetic component of the ontogenetic habitat shift in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Ecol. Freshw. Fish* 7(4): 200–207. doi:10.1111/j.1600-0633.1998.tb00187.x.
- Larsson, S. (2005). Thermal preference of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, and brown trout, *Salmo trutta* – implications for their niche segregation. *Environ. Biol. Fishes* 73(1): 89–96. doi:10.1007/s10641-004-5353-4.
- Larsson, S. and Berglund I. (1998). Growth and food consumption of 0+ Arctic charr fed pelleted or natural food at six different temperatures. *J. Fish Biol.* 52(2): 230–242. doi:10.1111/j.1095-8649.1998.tb00795.x.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2021. Données du Réseau de surveillance du climat du Québec, Direction de la qualité de l'air et du climat, Québec.
- St-Hilaire, A., Boucher M.-A., Chebana F. , Ouellet-Proulx S. , Zhou Q. X., Larabi S., Dugdale S. and Latraverse M. (2015). Breathing new life into an old model : The CEQUEAU tool for flow and temperature simulations and forecasting. 22nd Canadian Hydrotechnical Conference. Montreal, Quebec, April 29 – May 2, 2015. 7 pages.
- Swift, D.R. (1965). Effect of Temperature on Mortality and Rate of Development of the Eggs of the Windermere Char (*Salvelinus alpinus*). *J. Fish. Res. Board Can.* 22(4): 913–917. doi:10.1139/f65-086.
- Gilbert, M.J.H., Harris, L.N., Malley, B.K., Schimnowski, A., Moore, J.-S., and Farrell, A.P. (2020). The thermal limits of cardiorespiratory performance in anadromous Arctic char (*Salvelinus alpinus*): a field-based investigation using a remote mobile laboratory. *Conserv. Physiol.* 8(1). Oxford Academic. doi:10.1093/conphys/coaa036.

- Gillet, C. (1991). Egg production in an Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) brood stock: effects of temperature on the timing of spawning and the quality of eggs. *Aquat. Living Resour.* 4(2): 109–116. doi:10.1051/alr:1991010.
- Godiksen, J.A., Power, M., Borgstrøm, R., Dempson, J.B., and Svenning, M.A. (2012). Thermal habitat use and juvenile growth of Svalbard Arctic charr: evidence from otolith stable oxygen isotope analyses. *Ecol. Freshw. Fish* 21(1): 134–144.
- Jeuthe, H., Brännäs, E., and Nilsson, J. (2016). Effects of variable egg incubation temperatures on the embryonic development in Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Aquac. Res.* 47(12): 3753–3764. doi:10.1111/are.12825.
- Jobling, M. (1983). Influence of body weight and temperature on growth rates of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *J. Fish Biol.* 22(4): 471–475. doi:10.1111/j.1095-8649.1983.tb04767.x.
- Johnson, L. (1980). Analysis of the dolly varden charr, *Salvelinus malma*, of northwestern North America and northeastern Siberia. The Hague: Dr. W. Junk Publishers. Available from <https://noclegikobylanka.pl/bibliographies2wam/charrs-salmonid-fishes-of-the-genus-salvelinus-148.html> [accessed 12 December 2019].
- Langeland, A., and L'Abée-Lund, J.H. (1998). An experimental test of the genetic component of the ontogenetic habitat shift in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Ecol. Freshw. Fish* 7(4): 200–207. doi:10.1111/j.1600-0633.1998.tb00187.x.
- Larsson, S. (2005). Thermal preference of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, and brown trout, *Salmo trutta* – implications for their niche segregation. *Environ. Biol. Fishes* 73(1): 89–96. doi:10.1007/s10641-004-5353-4.
- Larsson, S., and Berglund, I. (1998). Growth and food consumption of 0+ Arctic charr fed pelleted or natural food at six different temperatures. *J. Fish Biol.* 52(2): 230–242. doi:10.1111/j.1095-8649.1998.tb00795.x.
- Lyytikäinen, T., Koskela, J., and Rissanen, I. (1997). Thermal resistance and upper lethal temperatures of underyearling Lake Inari Arctic charr. *J. Fish Biol.* 51(3): 515–525. doi:10.1111/j.1095-8649.1997.tb01509.x.
- Mailhot A. et D. Chaumont D. (2017). Élaboration du portrait bioclimatique futur du Nunavik – Tome I. Rapport présenté au Ministère de la forêt, de la faune et des parcs. Ouranos. 216 p.
- Sæther, B.-S., Siikavuopio, S.I., and Jobling, M. (2016). Environmental conditions required for intensive farming of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* (L.)). *Hydrobiologia* 783(1): 347–359. doi:10.1007/s10750-015-2572-y.

- Siikavuopio, S.I., Sæther, B.-S., Johnsen, H., Evensen, T., and Knudsen, R. (2014). Temperature preference of juvenile Arctic charr originating from different thermal environments. *Aquat. Ecol.* 48(3): 313–320. doi:10.1007/s10452-014-9485-0.
- Sinnatamby, R.N., Babaluk, J.A., Power, G., Reist, J.D., and Power, M. (2012.) Summer habitat use and feeding of juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in the Canadian High Arctic. *Ecol. Freshw. Fish* 21(2): 309–322. doi:10.1111/j.1600-0633.2012.00552.x.
- Swift, D.R. (1965). Effect of Temperature on Mortality and Rate of Development of the Eggs of the Windermere Char (*Salvelinus alpinus*). *J. Fish. Res. Board Can.* 22(4): 913–917. doi:10.1139/f65-086.
- Thyrel, M., Berglund, I., Larsson, S., and Näslund, I. (1999). Upper thermal limits for feeding and growth of 0+ Arctic charr. *J. Fish Biol.* 55(1): 199–210. doi:10.1111/j.1095-8649.1999.tb00669.x.
- Wood S.N. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models." *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 73(1), 3-36.

9.2 NOMBRE ANNUEL DE DONNÉES AU COURS DE LA PÉRIODE ESTIVALE (TOUTES LES STATIONS)

StationName	Riv	RivBas_1	Latitude	Longitude	an_yr	Nb_data
Whale River 1	a la Baleine	a la Baleine	57.06451	-67.13062	2016	58
Whale River 1	a la Baleine	a la Baleine	57.06451	-67.13062	2017	26
Whale River 1	a la Baleine	a la Baleine	57.06451	-67.13062	2018	18
Whale River 1	a la Baleine	a la Baleine	57.06451	-67.13062	2019	32
Whale River 2	a la Baleine	a la Baleine	57.04996	-67.10092	2016	57
Whale River 2	a la Baleine	a la Baleine	57.04996	-67.10092	2017	25
Whale River 2	a la Baleine	a la Baleine	57.04996	-67.10092	2018	16
Whale River 2	a la Baleine	a la Baleine	57.04996	-67.10092	2019	31
Alinotte_13A	Alinotte	Alinotte	59.08484	-78.070571	2018	32
Alinotte_13A	Alinotte	Alinotte	59.08484	-78.070571	2019	92
Alinotte_13A	Alinotte	Alinotte	59.08484	-78.070571	2020	92
Alinotte_13A	Alinotte	Alinotte	59.08484	-78.070571	2021	65
Alinotte_13B	Alinotte	Alinotte	59.086593	-78.062858	2018	32
Alinotte_13B	Alinotte	Alinotte	59.086593	-78.062858	2019	92
Alinotte_13B	Alinotte	Alinotte	59.086593	-78.062858	2020	92
Alinotte_13B	Alinotte	Alinotte	59.086593	-78.062858	2021	65
Arnaud_Ar1	Arnaud	Arnaud	60.070494	-71.11069	2017	42
Arnaud_Ar1	Arnaud	Arnaud	60.070494	-71.11069	2018	92
Arnaud_Ar1	Arnaud	Arnaud	60.070494	-71.11069	2019	92
Arnaud_Ar1	Arnaud	Arnaud	60.070494	-71.11069	2020	92
Arnaud_Ar1	Arnaud	Arnaud	60.070494	-71.11069	2021	61
Arnaud_Ar2	Arnaud	Arnaud	60.045523	-71.551574	2017	42
Arnaud_Ar2	Arnaud	Arnaud	60.045523	-71.551574	2018	92
Arnaud_Ar2	Arnaud	Arnaud	60.045523	-71.551574	2019	113
Arnaud_Ar2	Arnaud	Arnaud	60.045523	-71.551574	2020	92
Arnaud_Ar2	Arnaud	Arnaud	60.045523	-71.551574	2021	61
Arnaud_Ar3	Arnaud	Arnaud	59.972812	-71.968946	2017	42
Arnaud_Ar3	Arnaud	Arnaud	59.972812	-71.968946	2018	92
Arnaud_Ar3	Arnaud	Arnaud	59.972812	-71.968946	2019	112
Arnaud_Ar3	Arnaud	Arnaud	59.972812	-71.968946	2020	92
Arnaud_Ar3	Arnaud	Arnaud	59.972812	-71.968946	2021	61
Arnaud_Ar5	Arnaud	Arnaud	59.194906	-72.049789	2017	41
Arnaud_Ar5	Arnaud	Arnaud	59.194906	-72.049789	2018	92
Arnaud_Ar5	Arnaud	Arnaud	59.194906	-72.049789	2019	112
Arnaud_Ar5	Arnaud	Arnaud	59.194906	-72.049789	2020	92
Arnaud_Ar5	Arnaud	Arnaud	59.194906	-72.049789	2021	58

Chien rouge	Aux Chien Rouge	Aux Chien Rouge	59.296561	-69.911522	2016	43
Aux Feuilles_F2	Aux Feuilles	Aux Feuilles	58.467911	-70.748729	2017	40
Aux Feuilles_F2	Aux Feuilles	Aux Feuilles	58.467911	-70.748729	2018	92
Aux Feuilles_F2	Aux Feuilles	Aux Feuilles	58.467911	-70.748729	2019	92
Aux Feuilles_F2	Aux Feuilles	Aux Feuilles	58.467911	-70.748729	2020	92
Aux Feuilles_F2	Aux Feuilles	Aux Feuilles	58.467911	-70.748729	2021	54
Aux Melezes	Aux Melezes	Koksoak	57.6797222	-69.6171111	2015	12
Aux Melezes	Aux Melezes	Koksoak	57.6797222	-69.6171111	2016	91
Aux Melezes	Aux Melezes	Koksoak	57.6797222	-69.6171111	2017	92
Aux Melezes	Aux Melezes	Koksoak	57.6797222	-69.6171111	2019	86
Riviere aux Melezes	Aux Melezes	Koksoak	57.150224	-71.891674	2018	28
Riviere aux Melezes_M4	Aux Melezes	Koksoak	57.235366	-71.568165	2017	48
Riviere aux Melezes_M4	Aux Melezes	Koksoak	57.235366	-71.568165	2018	92
Riviere aux Melezes_M4	Aux Melezes	Koksoak	57.235366	-71.568165	2019	92
Riviere aux Melezes_M4	Aux Melezes	Koksoak	57.235366	-71.568165	2020	92
Riviere aux Melezes_M4	Aux Melezes	Koksoak	57.235366	-71.568165	2021	51
Riviere aux Melezes_MEL01	Aux Melezes	Koksoak	57.286516	-70.979574	2018	40
Riviere aux Melezes_MEL01	Aux Melezes	Koksoak	57.286516	-70.979574	2019	92
Riviere aux Melezes_MEL01	Aux Melezes	Koksoak	57.286516	-70.979574	2020	92
Riviere aux Melezes_MEL01	Aux Melezes	Koksoak	57.286516	-70.979574	2021	51
Riviere Berard	Berard	Berard	58.643133	-69.99757	2017	32
Riviere Berard_0	Berard	Berard	58.597344	-69.999428	2017	39
Riviere Berard_0	Berard	Berard	58.597344	-69.999428	2018	92
Riviere Berard_0	Berard	Berard	58.597344	-69.999428	2019	92
Riviere Berard_0	Berard	Berard	58.597344	-69.999428	2020	92
Riviere Berard_0	Berard	Berard	58.597344	-69.999428	2021	56
Riviere Berard_2	Berard	Berard	58.03994	-70.13556	2017	50
Riviere Berard_2	Berard	Berard	58.03994	-70.13556	2018	92
Riviere Berard_2	Berard	Berard	58.03994	-70.13556	2019	92
Riviere Berard_2	Berard	Berard	58.03994	-70.13556	2020	92
Riviere Berard_2	Berard	Berard	58.03994	-70.13556	2021	52
Brochant_Br0	Brochant	Brochant	59.939613	-69.844602	2017	43
Brochant_Br0	Brochant	Brochant	59.939613	-69.844602	2018	92
Brochant_Br0	Brochant	Brochant	59.939613	-69.844602	2019	92
Brochant_Br0	Brochant	Brochant	59.939613	-69.844602	2020	92
Brochant_Br0	Brochant	Brochant	59.939613	-69.844602	2021	57

Brochant_Br1	Brochant	Brochant	59.840681	-69.956463	2017	43
Brochant_Br1	Brochant	Brochant	59.840681	-69.956463	2018	92
Brochant_Br1	Brochant	Brochant	59.840681	-69.956463	2019	112
Brochant_Br1	Brochant	Brochant	59.840681	-69.956463	2020	92
Brochant_Br1	Brochant	Brochant	59.840681	-69.956463	2021	57
Brochant_Br2	Brochant	Brochant	59.548091	-71.144579	2017	41
Brochant_Br2	Brochant	Brochant	59.548091	-71.144579	2018	92
Brochant_Br2	Brochant	Brochant	59.548091	-71.144579	2019	111
Brochant_Br2	Brochant	Brochant	59.548091	-71.144579	2020	92
Brochant_Br2	Brochant	Brochant	59.548091	-71.144579	2021	58
Brochant_Br3	Brochant	Brochant	59.725482	-70.477852	2017	42
Brochant_Br3	Brochant	Brochant	59.725482	-70.477852	2018	92
Brochant_Br3	Brochant	Brochant	59.725482	-70.477852	2019	92
Brochant_Br3	Brochant	Brochant	59.725482	-70.477852	2020	92
Brochant_Br3	Brochant	Brochant	59.725482	-70.477852	2021	58
Buet_Bu0	Buet	Arnaud	60.089772	-70.387108	2017	43
Buet_Bu0	Buet	Arnaud	60.089772	-70.387108	2018	92
Buet_Bu0	Buet	Arnaud	60.089772	-70.387108	2019	92
Buet_Bu0	Buet	Arnaud	60.089772	-70.387108	2020	92
Buet_Bu0	Buet	Arnaud	60.089772	-70.387108	2021	58
Buet_Bu1	Buet	Arnaud	60.097553	-70.53052	2017	43
Buet_Bu1	Buet	Arnaud	60.097553	-70.53052	2018	92
Buet_Bu1	Buet	Arnaud	60.097553	-70.53052	2019	47
Buet_Bu2	Buet	Arnaud	60.137298	-70.963607	2017	42
Buet_Bu2	Buet	Arnaud	60.137298	-70.963607	2018	91
Buet_Bu2	Buet	Arnaud	60.137298	-70.963607	2019	92
Buet_Bu2	Buet	Arnaud	60.137298	-70.963607	2020	92
Buet_Bu2	Buet	Arnaud	60.137298	-70.963607	2021	61
Buet_Bu3	Buet	Arnaud	60.4451	-71.651859	2017	42
Buet_Bu3	Buet	Arnaud	60.4451	-71.651859	2018	92
Buet_Bu3	Buet	Arnaud	60.4451	-71.651859	2019	92
Buet_Bu3	Buet	Arnaud	60.4451	-71.651859	2020	92
Buet_Bu3	Buet	Arnaud	60.4451	-71.651859	2021	61
Compeau_CP0	Compeau	Compeau	58.547148	-69.661816	2017	44
Compeau_CP0	Compeau	Compeau	58.547148	-69.661816	2018	92
Compeau_CP0	Compeau	Compeau	58.547148	-69.661816	2019	92
Compeau_CP0	Compeau	Compeau	58.547148	-69.661816	2020	92
Compeau_CP0	Compeau	Compeau	58.547148	-69.661816	2021	56
Compeau_CP1	Compeau	Compeau	58.43699	-69.564803	2017	44
Compeau_CP1	Compeau	Compeau	58.43699	-69.564803	2018	92
Compeau_CP1	Compeau	Compeau	58.43699	-69.564803	2019	92

Compeau_CP1	Compeau	Compeau	58.43699	-69.564803	2020	92
Compeau_CP1	Compeau	Compeau	58.43699	-69.564803	2021	54
Compeau_CP2	Compeau	Compeau	58.383552	-69.511307	2017	44
Compeau_CP2	Compeau	Compeau	58.383552	-69.511307	2018	92
Compeau_CP2	Compeau	Compeau	58.383552	-69.511307	2019	92
Compeau_CP2	Compeau	Compeau	58.383552	-69.511307	2020	92
Compeau_CP2	Compeau	Compeau	58.383552	-69.511307	2021	54
Compeau_CP3	Compeau	Compeau	58.284608	-69.422767	2017	44
Compeau_CP3	Compeau	Compeau	58.284608	-69.422767	2018	92
Compeau_CP3	Compeau	Compeau	58.284608	-69.422767	2019	92
Compeau_CP3	Compeau	Compeau	58.284608	-69.422767	2020	92
Compeau_CP3	Compeau	Compeau	58.284608	-69.422767	2021	54
De Thury_0	De Thury	Arnaud	59.928108	-70.433837	2017	43
De Thury_0	De Thury	Arnaud	59.928108	-70.433837	2018	92
De Thury_0	De Thury	Arnaud	59.928108	-70.433837	2019	92
De Thury_0	De Thury	Arnaud	59.928108	-70.433837	2020	92
De Thury_0	De Thury	Arnaud	59.928108	-70.433837	2021	58
Francoys-Malherbe_Amont F-M	Deception	Deception	62.09978	-74.32775	2019	53
Francoys-Malherbe_Amont F-M	Deception	Deception	62.09978	-74.32775	2020	92
Francoys-Malherbe_Amont F-M	Deception	Deception	62.09978	-74.32775	2021	63
Deception_54B	Decharge du lac Francoys-Malherbe	Deception	62.092761	-74.313937	2018	32
Deception_54B	Decharge du lac Francoys-Malherbe	Deception	62.092761	-74.313937	2019	84
Deharveng_DE2	Deharveng	Deharveng	58.42108	-69.85859	2017	50
Deharveng_DE2	Deharveng	Deharveng	58.42108	-69.85859	2018	92
Deharveng_DE2	Deharveng	Deharveng	58.42108	-69.85859	2019	92
Deharveng_DE2	Deharveng	Deharveng	58.42108	-69.85859	2020	92
Deharveng_DE2	Deharveng	Deharveng	58.42108	-69.85859	2021	54
Delay River	Delay	Koksoak	56.4581166	-70.9638166	2016	56
Delay River	Delay	Koksoak	56.4581166	-70.9638166	2017	35
Delay River 1	Delay	Koksoak	56.534483	-71.06717	2017	36
Delay River 1	Delay	Koksoak	56.534483	-71.06717	2018	52
Delay River 2	Delay	Koksoak	56.531171	-71.075426	2017	53
Delay River 2	Delay	Koksoak	56.531171	-71.075426	2018	52
Delay River 3	Delay	Koksoak	56.517468	-71.086764	2017	53
Delay River 3	Delay	Koksoak	56.517468	-71.086764	2018	42
Delay River D3	Delay	Koksoak	56.713729	-71.237874	2017	46
Delay River D3	Delay	Koksoak	56.713729	-71.237874	2018	92

Delay River D3	Delay	Koksoak	56.713729	-71.237874	2019	92
Delay River D3	Delay	Koksoak	56.713729	-71.237874	2020	92
Delay River D3	Delay	Koksoak	56.713729	-71.237874	2021	50
riviere Du Gue	Du Gue	Koksoak	56.908126	-71.506499	2019	33
riviere Du Gue_G3	Du Gue	Koksoak	56.84885	-71.776193	2017	46
riviere Du Gue_G3	Du Gue	Koksoak	56.84885	-71.776193	2018	92
riviere Du Gue_G3	Du Gue	Koksoak	56.84885	-71.776193	2019	92
riviere Du Gue_G3	Du Gue	Koksoak	56.84885	-71.776193	2020	92
riviere Du Gue_G3	Du Gue	Koksoak	56.84885	-71.776193	2021	51
riviere Du Gue_G5	Du Gue	Koksoak	56.63435	-72.264898	2017	47
riviere Du Gue_G5	Du Gue	Koksoak	56.63435	-72.264898	2018	92
riviere Du Gue_G5	Du Gue	Koksoak	56.63435	-72.264898	2019	92
riviere Du Gue_G5	Du Gue	Koksoak	56.63435	-72.264898	2020	92
riviere Du Gue_G5	Du Gue	Koksoak	56.63435	-72.264898	2021	51
Riviere Duquet	Duquet	Deception	62.0868	-74.55962	2019	24
Garnier_GA1	Garnier	Garnier	60.613411	-69.713333	2017	43
Garnier_GA1	Garnier	Garnier	60.613411	-69.713333	2018	92
Garnier_GA1	Garnier	Garnier	60.613411	-69.713333	2019	92
Garnier_GA1	Garnier	Garnier	60.613411	-69.713333	2020	92
Garnier_GA1	Garnier	Garnier	60.613411	-69.713333	2021	59
Garnier_GA2	Garnier	Garnier	60.602628	-69.908771	2017	43
Garnier_GA2	Garnier	Garnier	60.602628	-69.908771	2018	92
Garnier_GA2	Garnier	Garnier	60.602628	-69.908771	2019	92
Garnier_GA2	Garnier	Garnier	60.602628	-69.908771	2020	92
Garnier_GA2	Garnier	Garnier	60.602628	-69.908771	2021	59
Garnier_GA3	Garnier	Garnier	60.574089	-69.924486	2017	43
Garnier_GA3	Garnier	Garnier	60.574089	-69.924486	2018	92
Garnier_GA3	Garnier	Garnier	60.574089	-69.924486	2019	92
Garnier_GA3	Garnier	Garnier	60.574089	-69.924486	2020	92
Garnier_GA3	Garnier	Garnier	60.574089	-69.924486	2021	59
Garnier_GA4	Garnier	Garnier	60.691895	-70.271921	2017	43
Garnier_GA4	Garnier	Garnier	60.691895	-70.271921	2018	92
Garnier_GA4	Garnier	Garnier	60.691895	-70.271921	2019	92
Garnier_GA4	Garnier	Garnier	60.691895	-70.271921	2020	92
Garnier_GA4	Garnier	Garnier	60.691895	-70.271921	2021	59
George River 1	George	George	56.796972	-64.922275	2016	25
George River 1	George	George	56.796972	-64.922275	2018	55
George River 1	George	George	56.796972	-64.922275	2019	56
George River 2	George	George	56.820049	-64.945642	2016	25
George River 2	George	George	56.820049	-64.945642	2017	18
George River 2	George	George	56.820049	-64.945642	2018	55

George River 2	George	George	56.820049	-64.945642	2019	54
George River 3	George	George	56.837841	-64.973652	2016	25
George River 3	George	George	56.837841	-64.973652	2017	13
George River 3	George	George	56.837841	-64.973652	2018	55
George River 4	George	George	56.937862	-65.028029	2018	51
Georges River (amont Pyramid)	George	George	57.4152111	-65.2827972	2017	48
Georges River (aval Pyramid)	George	George	57.5083917	-65.3217444	2017	48
Guichaud_52A	Guichaud	Guichaud	62.176578	-75.987952	2018	34
Guichaud_52A	Guichaud	Guichaud	62.176578	-75.987952	2019	92
Guichaud_52A	Guichaud	Guichaud	62.176578	-75.987952	2020	92
Guichaud_52A	Guichaud	Guichaud	62.176578	-75.987952	2021	63
Guichaud_52C	Guichaud	Guichaud	62.134729	-76.272405	2018	33
Guichaud_52C	Guichaud	Guichaud	62.134729	-76.272405	2019	92
Guichaud_52C	Guichaud	Guichaud	62.134729	-76.272405	2020	92
Guichaud_52C	Guichaud	Guichaud	62.134729	-76.272405	2021	63
Guichaud_52D	Guichaud	Guichaud	62.103285	-76.37279	2018	34
Guichaud_52D	Guichaud	Guichaud	62.103285	-76.37279	2019	92
Guichaud_52D	Guichaud	Guichaud	62.103285	-76.37279	2020	92
Guichaud_52D	Guichaud	Guichaud	62.103285	-76.37279	2021	63
lktotat_32B	lktotat	lktotat	60.891745	-77.376017	2018	33
lktotat_32B	lktotat	lktotat	60.891745	-77.376017	2019	92
lktotat_32B	lktotat	lktotat	60.891745	-77.376017	2020	90
lktotat_32B	lktotat	lktotat	60.891745	-77.376017	2021	65
lktotat_32C	lktotat	lktotat	60.983593	-77.12737	2018	33
lktotat_32C	lktotat	lktotat	60.983593	-77.12737	2019	92
lktotat_32C	lktotat	lktotat	60.983593	-77.12737	2020	83
lktotat_32C	lktotat	lktotat	60.983593	-77.12737	2021	65
Inconnue 10_IN101	Inconnue 10	Inconnue 10	59.817228	-69.70935	2017	42
Inconnue 10_IN101	Inconnue 10	Inconnue 10	59.817228	-69.70935	2018	92
Inconnue 10_IN101	Inconnue 10	Inconnue 10	59.817228	-69.70935	2019	92
Inconnue 10_IN101	Inconnue 10	Inconnue 10	59.817228	-69.70935	2020	92
Inconnue 10_IN101	Inconnue 10	Inconnue 10	59.817228	-69.70935	2021	57
Inconnue 10_IN102	Inconnue 10	Inconnue 10	59.771888	-69.940692	2017	42
Inconnue 10_IN102	Inconnue 10	Inconnue 10	59.771888	-69.940692	2018	92
Inconnue 10_IN102	Inconnue 10	Inconnue 10	59.771888	-69.940692	2019	92
Inconnue 10_IN102	Inconnue 10	Inconnue 10	59.771888	-69.940692	2020	92
Inconnue 10_IN102	Inconnue 10	Inconnue 10	59.771888	-69.940692	2021	57
Inconnue 10_IN91	Inconnue 10	Inconnue 10	59.039977	-69.612554	2017	43
Inconnue 10_IN91	Inconnue 10	Inconnue 10	59.039977	-69.612554	2018	92
Inconnue 10_IN91	Inconnue 10	Inconnue 10	59.039977	-69.612554	2019	92

Inconnue 10_IN91	Inconnue 10	Inconnue 10	59.039977	-69.612554	2020	92
Inconnue 10_IN91	Inconnue 10	Inconnue 10	59.039977	-69.612554	2021	56
Inconnue 11_IN90	Inconnue 11	Inconnue 11	59.144563	-69.56951	2017	43
Inconnue 11_IN90	Inconnue 11	Inconnue 11	59.144563	-69.56951	2018	92
Inconnue 11_IN90	Inconnue 11	Inconnue 11	59.144563	-69.56951	2019	92
Inconnue 11_IN90	Inconnue 11	Inconnue 11	59.144563	-69.56951	2020	92
Inconnue 11_IN90	Inconnue 11	Inconnue 11	59.144563	-69.56951	2021	56
Inconnue 9_IN92	Inconnue 9	Inconnue 9	59.105076	-69.645671	2017	43
Inconnue 9_IN92	Inconnue 9	Inconnue 9	59.105076	-69.645671	2018	92
Inconnue 9_IN92	Inconnue 9	Inconnue 9	59.105076	-69.645671	2019	92
Inconnue 9_IN92	Inconnue 9	Inconnue 9	59.105076	-69.645671	2020	92
Inconnue 9_IN92	Inconnue 9	Inconnue 9	59.105076	-69.645671	2021	56
Barriere Inukjuak	Inukjuak	Inukjuak	58.558386	-78.214358	2018	23
Jacquere_59A	Jacquere	Jacquere	62.120449	-72.962218	2018	36
Jacquere_59A	Jacquere	Jacquere	62.120449	-72.962218	2019	92
Jacquere_59A	Jacquere	Jacquere	62.120449	-72.962218	2020	92
Jacquere_59A	Jacquere	Jacquere	62.120449	-72.962218	2021	62
Jacquere_59B	Jacquere	Jacquere	62.116763	-73.006187	2018	36
Jacquere_59B	Jacquere	Jacquere	62.116763	-73.006187	2019	92
Jacquere_59B	Jacquere	Jacquere	62.116763	-73.006187	2020	92
Jacquere_59B	Jacquere	Jacquere	62.116763	-73.006187	2021	62
Jacquere_59C	Jacquere	Jacquere	62.120394	-73.033049	2018	36
Jacquere_59C	Jacquere	Jacquere	62.120394	-73.033049	2019	92
Jacquere_59C	Jacquere	Jacquere	62.120394	-73.033049	2020	92
Jacquere_59C	Jacquere	Jacquere	62.120394	-73.033049	2021	62
Riviere Koksoak_3	Koksoak	Koksoak	57.822435	-69.270998	2017	44
Riviere Koksoak_3	Koksoak	Koksoak	57.822435	-69.270998	2018	51
Riviere Koksoak_4	Koksoak	Koksoak	57.875009	-69.135974	2017	44
Riviere Koksoak_4	Koksoak	Koksoak	57.875009	-69.135974	2018	92
Riviere Koksoak_4	Koksoak	Koksoak	57.875009	-69.135974	2019	92
Riviere Koksoak_4	Koksoak	Koksoak	57.875009	-69.135974	2020	92
Riviere Koksoak_4	Koksoak	Koksoak	57.875009	-69.135974	2021	52
Riviere Koksoak_5	Koksoak	Koksoak	57.944557	-68.982874	2017	44
Riviere Koksoak_5	Koksoak	Koksoak	57.944557	-68.982874	2018	51
Riviere Koksoak_6	Koksoak	Koksoak	57.977749	-68.74025	2017	44
Riviere Koksoak_6	Koksoak	Koksoak	57.977749	-68.74025	2018	92
Riviere Koksoak_6	Koksoak	Koksoak	57.977749	-68.74025	2019	92
Riviere Koksoak_6	Koksoak	Koksoak	57.977749	-68.74025	2020	92
Riviere Koksoak_6	Koksoak	Koksoak	57.977749	-68.74025	2021	52
Riviere Koksoak_7	Koksoak	Koksoak	58.018353	-68.652223	2017	40
Riviere Koksoak_7	Koksoak	Koksoak	58.018353	-68.652223	2018	92

Riviere Koksoak_7	Koksoak	Koksoak	58.018353	-68.652223	2019	92
Riviere Koksoak_7	Koksoak	Koksoak	58.018353	-68.652223	2020	90
Riviere Koksoak_7	Koksoak	Koksoak	58.018353	-68.652223	2021	51
Riviere Koksoak_8	Koksoak	Koksoak	58.026531	-68.467087	2017	33
Riviere Koksoak_8	Koksoak	Koksoak	58.026531	-68.467087	2018	91
Riviere Koksoak_8	Koksoak	Koksoak	58.026531	-68.467087	2019	90
Riviere Koksoak_8	Koksoak	Koksoak	58.026531	-68.467087	2020	78
Riviere Koksoak_8	Koksoak	Koksoak	58.026531	-68.467087	2021	40
Lefroy_Lf0	Lefroy	Lefroy	59.678308	-69.950146	2017	41
Lefroy_Lf0	Lefroy	Lefroy	59.678308	-69.950146	2018	92
Lefroy_Lf0	Lefroy	Lefroy	59.678308	-69.950146	2019	112
Lefroy_Lf0	Lefroy	Lefroy	59.678308	-69.950146	2020	92
Lefroy_Lf0	Lefroy	Lefroy	59.678308	-69.950146	2021	57
Lefroy_Lf3	Lefroy	Lefroy	59.580792	-69.96398	2019	67
Lefroy_Lf3	Lefroy	Lefroy	59.580792	-69.96398	2020	92
Lefroy_Lf3	Lefroy	Lefroy	59.580792	-69.96398	2021	57
Narrunarluarutaq_48A	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.37124	-77.884001	2018	35
Narrunarluarutaq_48A	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.37124	-77.884001	2019	92
Narrunarluarutaq_48A	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.37124	-77.884001	2020	92
Narrunarluarutaq_48A	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.37124	-77.884001	2021	63
Narrunarluarutaq_48B	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.342377	-77.862001	2018	35
Narrunarluarutaq_48B	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.342377	-77.862001	2019	92
Narrunarluarutaq_48B	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.342377	-77.862001	2020	92
Narrunarluarutaq_48B	Narrunarluarutaq	Narrunarluarutaq	62.342377	-77.862001	2021	63
Riviere Nepihjee_0	Nepihjee	Nepihjee	58.472893	-68.359629	2017	44
Riviere Nepihjee_0	Nepihjee	Nepihjee	58.472893	-68.359629	2018	51
Riviere Nepihjee_1	Nepihjee	Nepihjee	58.357376	-68.43369	2017	44
Riviere Nepihjee_1	Nepihjee	Nepihjee	58.357376	-68.43369	2018	93
Riviere Nepihjee_1	Nepihjee	Nepihjee	58.357376	-68.43369	2019	92
Riviere Nepihjee_1	Nepihjee	Nepihjee	58.357376	-68.43369	2020	92
Riviere Nepihjee_1	Nepihjee	Nepihjee	58.357376	-68.43369	2021	54
Riviere Nepihjee_2	Nepihjee	Nepihjee	58.240398	-68.444601	2017	44
Riviere Nepihjee_2	Nepihjee	Nepihjee	58.240398	-68.444601	2018	51
Riviere Nepihjee_3	Nepihjee	Nepihjee	58.190471	-68.75224	2017	44
Riviere Nepihjee_3	Nepihjee	Nepihjee	58.190471	-68.75224	2018	93
Riviere Nepihjee_3	Nepihjee	Nepihjee	58.190471	-68.75224	2019	92
Riviere Nepihjee_3	Nepihjee	Nepihjee	58.190471	-68.75224	2020	92
Riviere Nepihjee_3	Nepihjee	Nepihjee	58.190471	-68.75224	2021	52
Nuluartaliup_Lf3	Nuluartaliup	Lefroy	59.580792	-69.96398	2017	42
Nuluartaliup_Lf3	Nuluartaliup	Lefroy	59.580792	-69.96398	2018	92
Nuluartaliup_Lf3	Nuluartaliup	Lefroy	59.580792	-69.96398	2019	44

Passe Nallukallak_21Z	Puvirnitug	Puvirnitug	60.105343	-76.867805	2018	32
Passe Nallukallak_21Z	Puvirnitug	Puvirnitug	60.105343	-76.867805	2019	85
Passe Nallukallak_21Z	Puvirnitug	Puvirnitug	60.105343	-76.867805	2020	81
Passe Nallukallak_21Z	Puvirnitug	Puvirnitug	60.105343	-76.867805	2021	65
Puvirnitug_21A	Puvirnitug	Puvirnitug	60.23991	-76.866	2018	29
Puvirnitug_21A	Puvirnitug	Puvirnitug	60.23991	-76.866	2019	78
Puvirnitug_21A	Puvirnitug	Puvirnitug	60.23991	-76.866	2020	71
Puvirnitug_21A	Puvirnitug	Puvirnitug	60.23991	-76.866	2021	60
Puvirnitug_21B	Puvirnitug	Puvirnitug	60.383	-76.660462	2018	31
Puvirnitug_21B	Puvirnitug	Puvirnitug	60.383	-76.660462	2019	75
Puvirnitug_21C	Puvirnitug	Puvirnitug	60.511743	-76.530667	2018	32
Puvirnitug_21C	Puvirnitug	Puvirnitug	60.511743	-76.530667	2019	92
Puvirnitug_21C	Puvirnitug	Puvirnitug	60.511743	-76.530667	2020	91
Puvirnitug_21C	Puvirnitug	Puvirnitug	60.511743	-76.530667	2021	65
Ruisseau Voltz_barriere	Ruisseau Voltz	Ruisseau Voltz	59.28183	-69.62328	2016	47
Saint-Fond_SF1	Saint-Fond	Saint-Fond	59.369459	-70.023293	2017	42
Saint-Fond_SF1	Saint-Fond	Saint-Fond	59.369459	-70.023293	2018	92
Saint-Fond_SF1	Saint-Fond	Saint-Fond	59.369459	-70.023293	2019	92
Saint-Fond_SF1	Saint-Fond	Saint-Fond	59.369459	-70.023293	2020	92
Saint-Fond_SF1	Saint-Fond	Saint-Fond	59.369459	-70.023293	2021	57
Saint-Fond_SF2	Saint-Fond	Saint-Fond	59.300766	-70.317789	2017	42
Saint-Fond_SF2	Saint-Fond	Saint-Fond	59.300766	-70.317789	2018	92
Saint-Fond_SF2	Saint-Fond	Saint-Fond	59.300766	-70.317789	2019	92
Saint-Fond_SF2	Saint-Fond	Saint-Fond	59.300766	-70.317789	2020	92
Saint-Fond_SF2	Saint-Fond	Saint-Fond	59.300766	-70.317789	2021	57
Saint-Fond_SF3	Saint-Fond	Saint-Fond	59.277764	-70.871985	2017	42
Saint-Fond_SF3	Saint-Fond	Saint-Fond	59.277764	-70.871985	2018	92
Saint-Fond_SF3	Saint-Fond	Saint-Fond	59.277764	-70.871985	2019	92
Saint-Fond_SF3	Saint-Fond	Saint-Fond	59.277764	-70.871985	2020	92
Saint-Fond_SF3	Saint-Fond	Saint-Fond	59.277764	-70.871985	2021	58
Deharveng_DE1	trib. Deharveng	Deharveng	58.25069	-69.80988	2017	50
Deharveng_DE1	trib. Deharveng	Deharveng	58.25069	-69.80988	2018	92
Deharveng_DE1	trib. Deharveng	Deharveng	58.25069	-69.80988	2019	92
Deharveng_DE1	trib. Deharveng	Deharveng	58.25069	-69.80988	2020	92
Deharveng_DE1	trib. Deharveng	Deharveng	58.25069	-69.80988	2021	54
Trib1_Du Gue	Trib. de la Du Gue	Koksoak	56.901294	-71.514665	2019	46
Trib1_Du Gue	Trib.de la Du Gue	Koksoak	56.901294	-71.514665	2020	92
Trib1_Du Gue	Trib.de la Du Gue	Koksoak	56.901294	-71.514665	2021	51
Vachon_Va0	Vachon	Arnaud	60.120236	-71.21371	2017	42

Vachon_Va0	Vachon	Arnaud	60.120236	-71.21371	2018	92
Vachon_Va0	Vachon	Arnaud	60.120236	-71.21371	2019	51
Vachon_Va1	Vachon	Arnaud	60.150642	-71.367697	2017	42
Vachon_Va1	Vachon	Arnaud	60.150642	-71.367697	2018	92
Vachon_Va1	Vachon	Arnaud	60.150642	-71.367697	2019	92
Vachon_Va1	Vachon	Arnaud	60.150642	-71.367697	2020	92
Vachon_Va1	Vachon	Arnaud	60.150642	-71.367697	2021	61
Vachon_Va2	Vachon	Arnaud	60.240032	-71.606649	2017	42
Vachon_Va2	Vachon	Arnaud	60.240032	-71.606649	2018	92
Vachon_Va2	Vachon	Arnaud	60.240032	-71.606649	2019	92
Vachon_Va2	Vachon	Arnaud	60.240032	-71.606649	2020	92
Vachon_Va2	Vachon	Arnaud	60.240032	-71.606649	2021	61

9.3 CLASSEMENT DES STATIONS EN FONCTION DE TEAU MOY SIMULÉE POUR LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE 1981-2010 (LISTE STATIONS AVEC SUIVI THERMIQUE DE PLUS DE DEUX ANS).

No	Classe Teau moy moyenne estivale	Station	Riv	Teau moy_ETE REF.	RivBas_1	Latitude	Longitude	min _	max	Niveau de confiance
1	6°C < T < 8°C	Garnier_GA4	Garnier	7.6	Garnier	60.691895	-70.271921	2017	2021	Modéré
		Guichaud_52C	Guichaud	6.8	Guichaud	62.134729	-76.272405	2018	2021	Adéquat
		Guichaud_52D	Guichaud	6.3	Guichaud	62.103285	-76.37279	2018	2021	Adéquat
		Inconnue_10_IN102	Inconnue 10	7.2	Inconnue 10	59.771888	-69.940692	2017	2021	Adéquat
		Jacquere_59A	Jacquere	8.0	Jacquere	62.120449	-72.962218	2018	2021	Modéré
		Jacquere_59B	Jacquere	7.5	Jacquere	62.116763	-73.006187	2018	2021	Modéré
		Jacquere_59C	Jacquere	7.3	Jacquere	62.120394	-73.033049	2018	2021	Modéré
2	8°C < T < 10°C	Arnaud_Ar1	Arnaud	9.9	Arnaud	60.070494	-71.11069	2017	2021	Adéquat
		Arnaud_Ar5	Arnaud	9.0	Arnaud	59.194906	-72.049789	2017	2021	Faible
		Brochant_Br0	Brochant	9.4	Brochant	59.939613	-69.844602	2017	2021	Adéquat
		Brochant_Br1	Brochant	9.2	Brochant	59.840681	-69.956463	2017	2021	Adéquat
		Brochant_Br2	Brochant	8.8	Brochant	59.548091	-71.144579	2017	2021	Adéquat
		Brochant_Br3	Brochant	9.3	Brochant	59.725482	-70.477852	2017	2021	Adéquat
		Buet_Bu1	Buet	9.2	Arnaud	60.097553	-70.53052	2017	2019	Limité
		Buet_Bu2	Buet	10.0	Arnaud	60.137298	-70.963607	2017	2021	Adéquat
		Buet_Bu3	Buet	9.1	Arnaud	60.4451	-71.651859	2017	2021	Modéré
		Garnier_GA1	Garnier	9.1	Garnier	60.613411	-69.713333	2017	2021	Adéquat
		Garnier_GA2	Garnier	9.0	Garnier	60.602628	-69.908771	2017	2021	Adéquat
		Garnier_GA3	Garnier	9.0	Garnier	60.574089	-69.924486	2017	2021	Adéquat
		Guichaud_52A	Guichaud	8.0	Guichaud	62.176578	-75.987952	2018	2021	Adéquat
		Iktotat_32C	Iktotat	9.9	Iktotat	60.983593	-77.12737	2018	2021	Modéré
		Inconnue_10_IN101	Inconnue 10	8.7	Inconnue 10	59.817228	-69.70935	2017	2021	Adéquat
		Inconnue_10_IN91	Inconnue 10	9.7	Inconnue 10	59.039977	-69.612554	2017	2021	Modéré
		Inconnue_11_IN90	Inconnue 11	9.9	Inconnue 11	59.144563	-69.56951	2017	2021	Modéré
		Inconnue_9_IN92	Inconnue 9	9.6	Inconnue 9	59.105076	-69.645671	2017	2021	Modéré
		Lefroy_Lf0	Lefroy	9.2	Lefroy	59.678308	-69.950146	2017	2021	Adéquat
		Narrunarluarutaq_48A	Narrunarluarutaq	8.3	Narrunarluarutaq	62.37124	-77.884001	2018	2021	bon
		Narrunarluarutaq_48B	Narrunarluarutaq	9.4	Narrunarluarutaq	62.342377	-77.862001	2018	2021	bon
Nuluartaliup_Lf3	Nuluartaliup	8.7	Lefroy	59.580792	-69.96398	2017	2019	Faible		
Passe_Nallukallak_21Z	Puvirnituaq	9.4	Puvirnituaq	60.105343	-76.867805	2018	2021	Adéquat		
Puvirnituaq_21A	Puvirnituaq	8.9	Puvirnituaq	60.23991	-76.866	2018	2021	Adéquat		

2	8°C < T < 10°C	Puvirnituk_21C	Puvirnituk	8.7	Puvirnituk	60.511743	-76.530667	2018	2021	Adéquat
		Riviere_Berard_2	Berard	9.9	Berard	58.03994	-70.13556	2017	2021	Modéré
		Riviere_Koksoak_3	Koksoak	10.0	Koksoak	57.822435	-69.270998	2017	2018	Faible
		SaintFond_SF1	Saint-Fond	9.1	Saint-Fond	59.369459	-70.023293	2017	2021	Adéquat
		SaintFond_SF2	Saint-Fond	9.5	Saint-Fond	59.300766	-70.317789	2017	2021	Adéquat
		SaintFond_SF3	Saint-Fond	9.5	Saint-Fond	59.277764	-70.871985	2017	2021	Adéquat
		Vachon_Va0	Vachon	10.0	Arnaud	60.120236	-71.21371	2017	2019	Limité
		Vachon_Va1	Vachon	9.7	Arnaud	60.150642	-71.367697	2017	2021	Adéquat
		Vachon_Va2	Vachon	9.6	Arnaud	60.240032	-71.606649	2017	2021	Adéquat
3	10°C < T < 12°C	Alinotte_13A	Alinotte	10.8	Alinotte	59.08484	-78.070571	2018	2021	bon
		Alinotte_13B	Alinotte	10.8	Alinotte	59.086593	-78.062858	2018	2021	bon
		Arnaud_Ar2	Arnaud	10.9	Arnaud	60.045523	-71.551574	2017	2021	Adéquat
		Arnaud_Ar3	Arnaud	10.2	Arnaud	59.972812	-71.968946	2017	2021	Modéré
		Aux_Feuilles_F2	Aux Feuilles	10.6	Aux Feuilles	58.467911	-70.748729	2017	2021	Modéré
		Buet_Bu0	Buet	10.2	Arnaud	60.089772	-70.387108	2017	2021	Adéquat
		Compeau_CP0	Compeau	11.1	Compeau	58.547148	-69.661816	2017	2021	Modéré
		Compeau_CP1	Compeau	10.7	Compeau	58.43699	-69.564803	2017	2021	Modéré
		Compeau_CP2	Compeau	10.2	Compeau	58.383552	-69.511307	2017	2021	Modéré
		Compeau_CP3	Compeau	11.1	Compeau	58.284608	-69.422767	2017	2021	Modéré
		De_Thury_0	De Thury	10.7	Arnaud	59.928108	-70.433837	2017	2021	Adéquat
		Deharveng_DE2	Deharveng	11.9	Deharveng	58.42108	-69.85859	2017	2021	Modéré
		Iktotat_32B	Iktotat	10.7	Iktotat	60.891745	-77.376017	2018	2021	Modéré
		Riviere_aux_Melezes_M4	Aux Melezes	11.5	Koksoak	57.235366	-71.568165	2017	2021	Modéré
		Riviere_Berard_0	Berard	10.1	Berard	58.597344	-69.999428	2017	2021	Modéré
		Riviere_Koksoak_5	Koksoak	11.1	Koksoak	57.944557	-68.982874	2017	2018	Faible
		Riviere_Koksoak_6	Koksoak	11.7	Koksoak	57.977749	-68.74025	2017	2021	bon
		Riviere_Koksoak_7	Koksoak	11.9	Koksoak	58.018353	-68.652223	2017	2021	bon
		Riviere_Nepihjee_0	Nepihjee	10.1	Nepihjee	58.472893	-68.359629	2017	2018	Faible
		Riviere_Nepihjee_1	Nepihjee	10.9	Nepihjee	58.357376	-68.43369	2017	2021	bon
Riviere_Nepihjee_2	Nepihjee	11.6	Nepihjee	58.240398	-68.444601	2017	2018	Faible		
Riviere_Nepihjee_3	Nepihjee	11.2	Nepihjee	58.190471	-68.75224	2017	2021	bon		
4	12°C < T < 14°C	Aux_Melezes	Aux Melezes	12.9	Koksoak	57.679722	-69.617111	2015	2019	bon
		Riviere_aux_Melezes	Aux Melezes	12.0	Koksoak	57.150224	-71.891674	2018	2019	NUL
		Riviere_aux_Melezes_MEL01	Aux Melezes	13.0	Koksoak	57.286516	-70.979574	2018	2021	Adéquat
		Delay_River	Delay	13.4	Koksoak	56.458116	-70.963816	2016	2017	Faible
		Delay_River_1	Delay	12.8	Koksoak	56.534483	-71.06717	2017	2018	Faible
		Delay_River_2	Delay	12.1	Koksoak	56.531171	-71.075426	2017	2018	Faible
		Delay_River_3	Delay	13.1	Koksoak	56.517468	-71.086764	2017	2018	Faible
		Delay_River_D3	Delay	12.6	Koksoak	56.713729	-71.237874	2017	2021	Modéré

4	12°C < T < 14°C	Riviere_Du_Gue_G3	Du Gue	12.4	Koksoak	56.84885	-71.776193	2017	2021	Modéré
		George_River_1	George	12.1	George	56.796972	-64.922275	2016	2019	Limité
		George_River_2	George	12.5	George	56.820049	-64.945642	2016	2019	Limité
		George_River_3	George	12.3	George	56.837841	-64.973652	2016	2018	Limité
		Riviere_Koksoak_4	Koksoak	12.3	Koksoak	57.875009	-69.135974	2017	2021	bon
		Riviere_Koksoak_8	Koksoak	12.0	Koksoak	58.026531	-68.467087	2017	2021	bon
5	14°C < T < 16°C	Whale_River_1	a la Baleine	15.5	a la Baleine	57.06451	-67.13062	2016	2019	Faible
		Whale_River_2	a la Baleine	15.1	a la Baleine	57.04996	-67.10092	2016	2019	Faible

9.4 CARTES SUPPLÉMENTAIRES

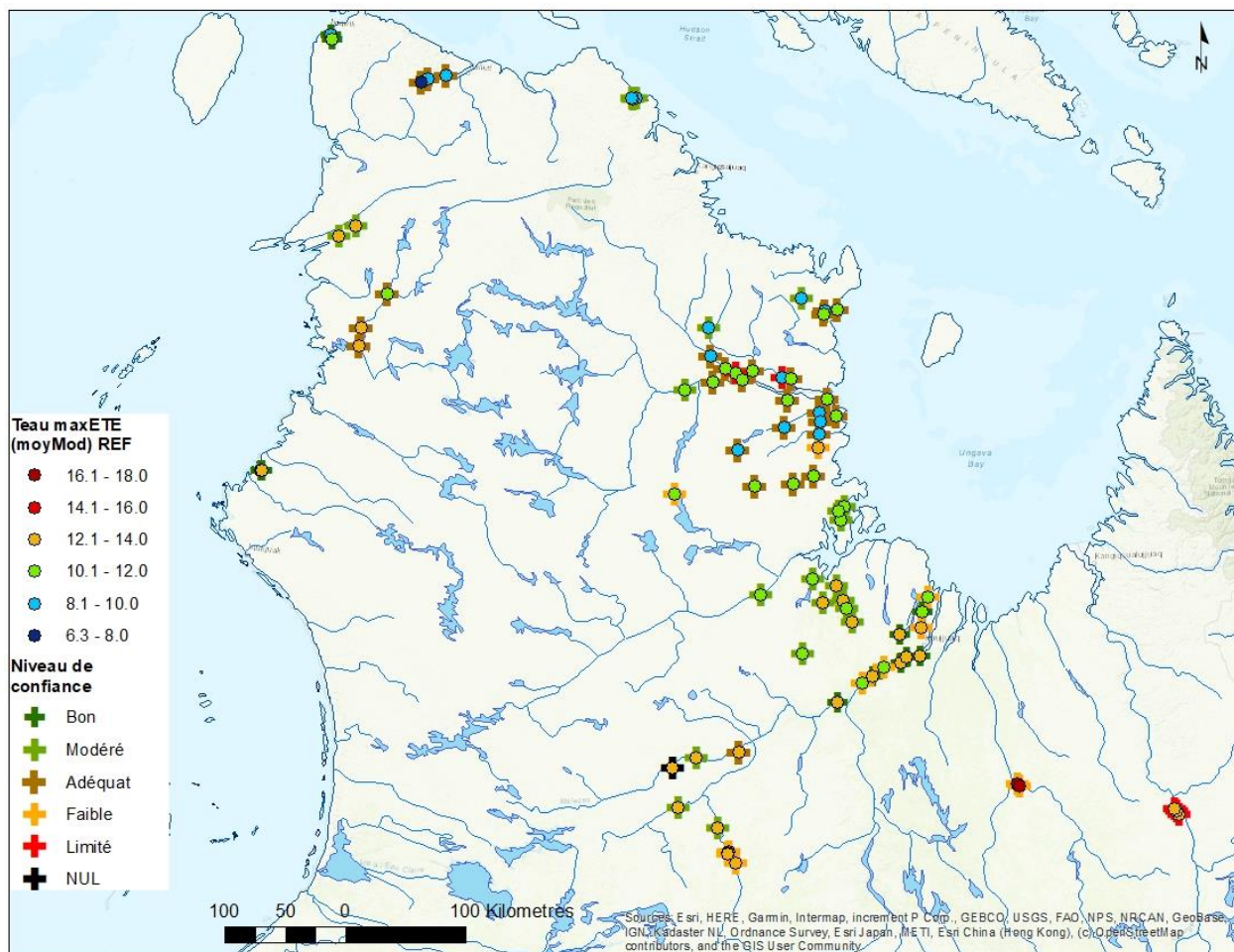


Figure 40. Distribution spatiale de la moyenne interannuelle estivale de la température de l'eau (Teau max) simulée pour la période de référence, 1981-2010. Les niveaux d'incertitudes liées aux simulations de Teau (combine les codes d'incertitude de Tair et Teau) sont représentés à chaque station par les croix.

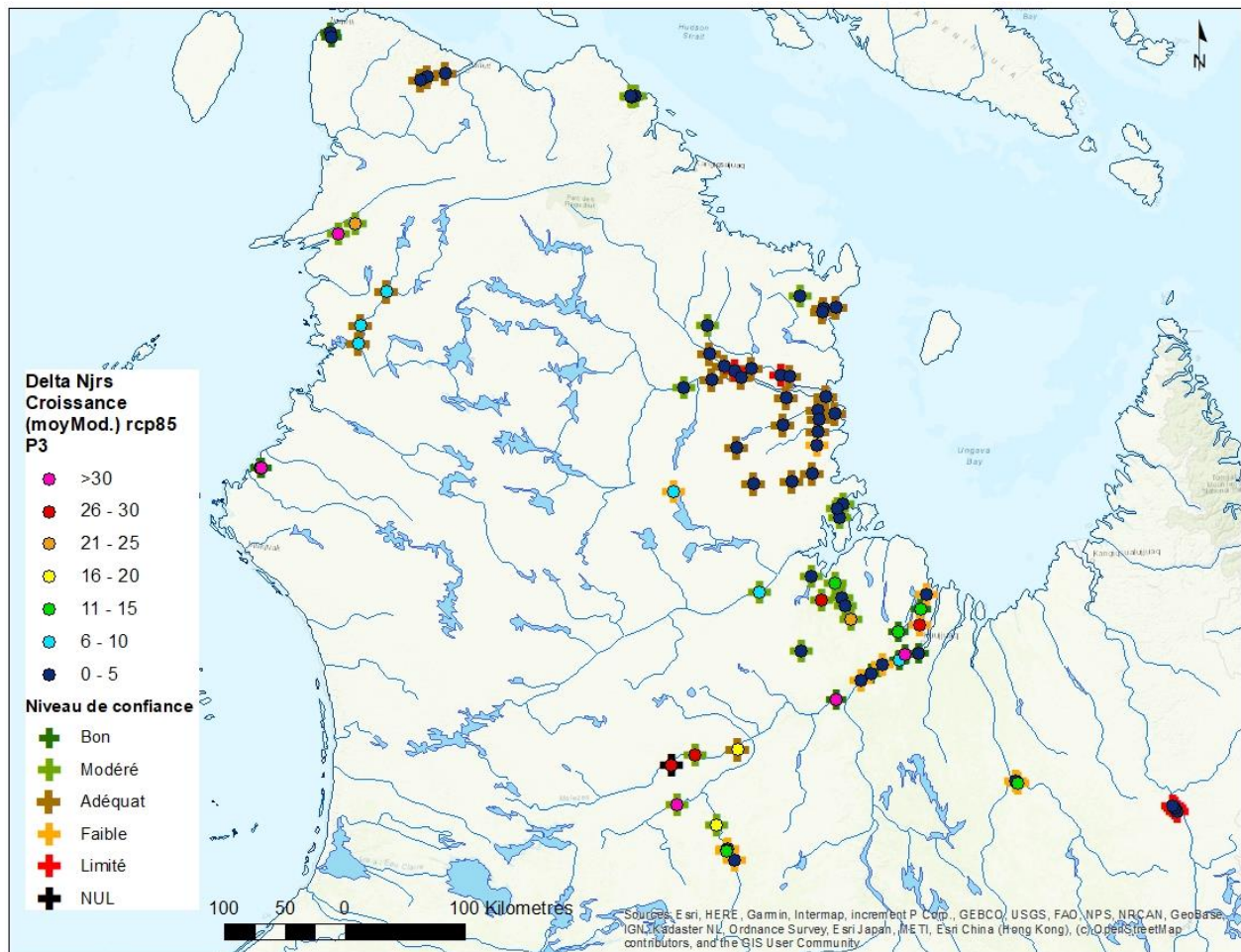


Figure 41. Distribution spatiale nombre de jour de croissance optimale pour le saumon à la période 2071-2100 (P3) et pour le scénario rcp8.5.

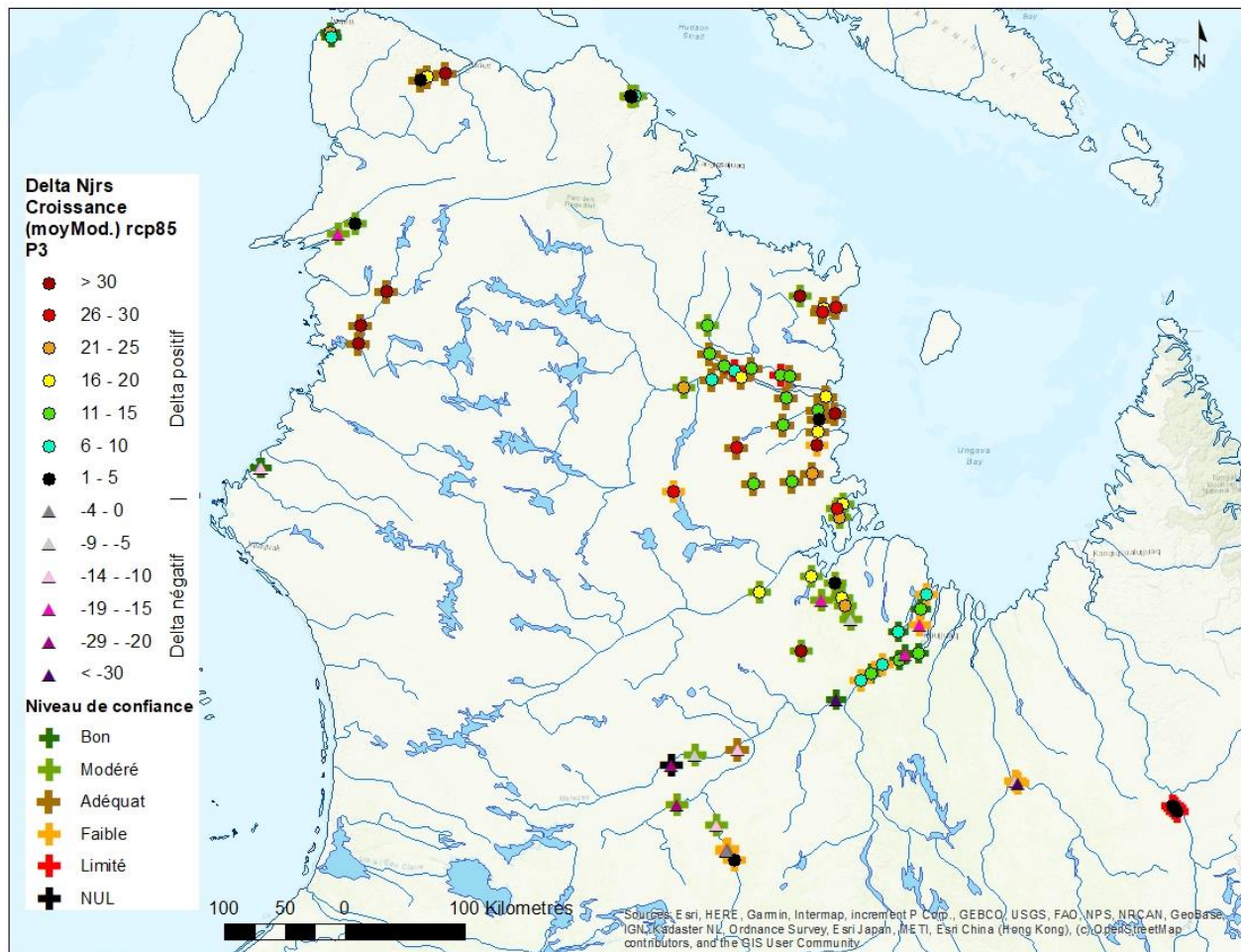


Figure 42. Distribution spatiale nombre de jour de croissance optimale pour l'omble chevalier à la période 2071-2100 (P3) et pour le scénario rcp8.5.

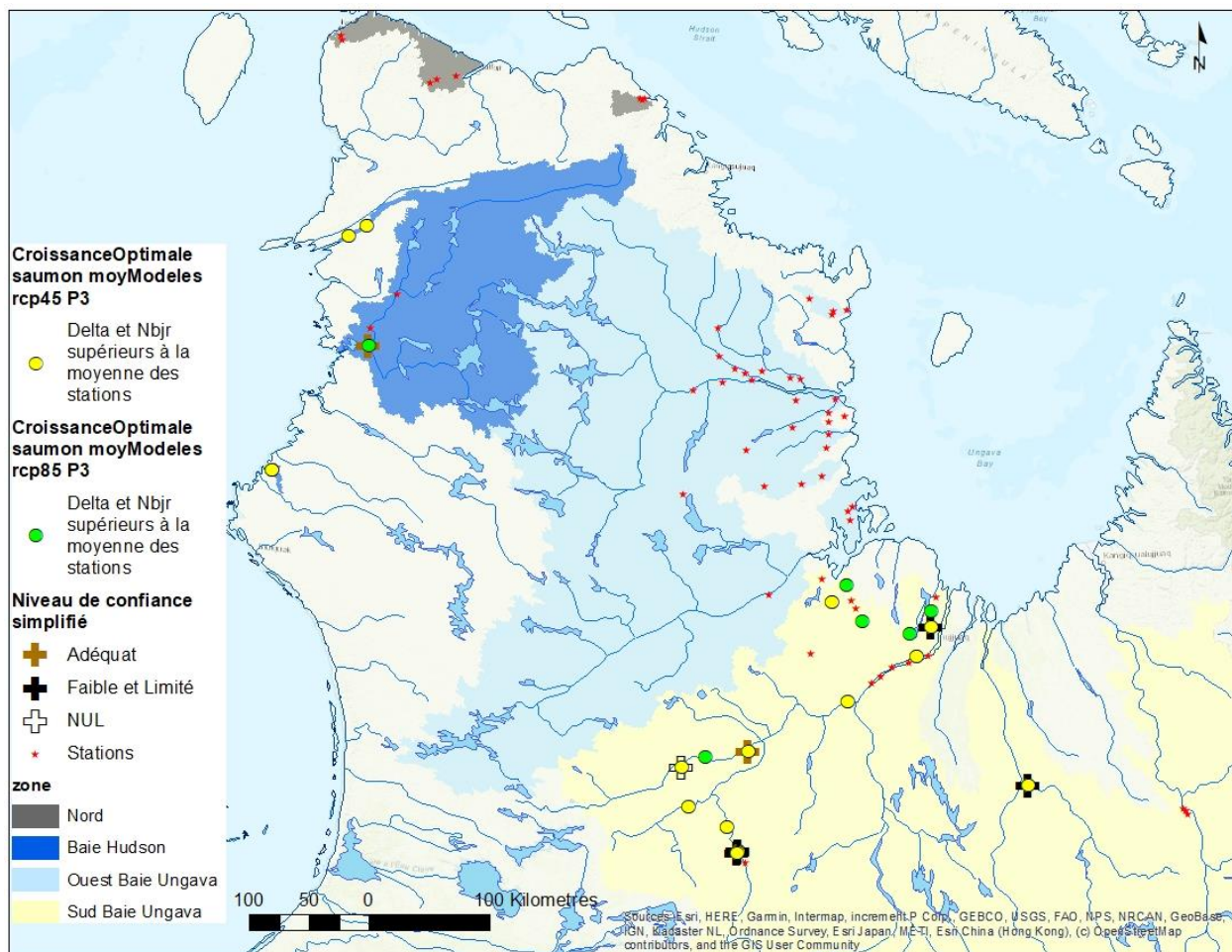


Figure 43. Synthèse des résultats pour le saumon atlantique à la période 2071-2100 (P3) pour la moyenne des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles verts s'ajoutent aux cercles jaunes pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles jaunes indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5.

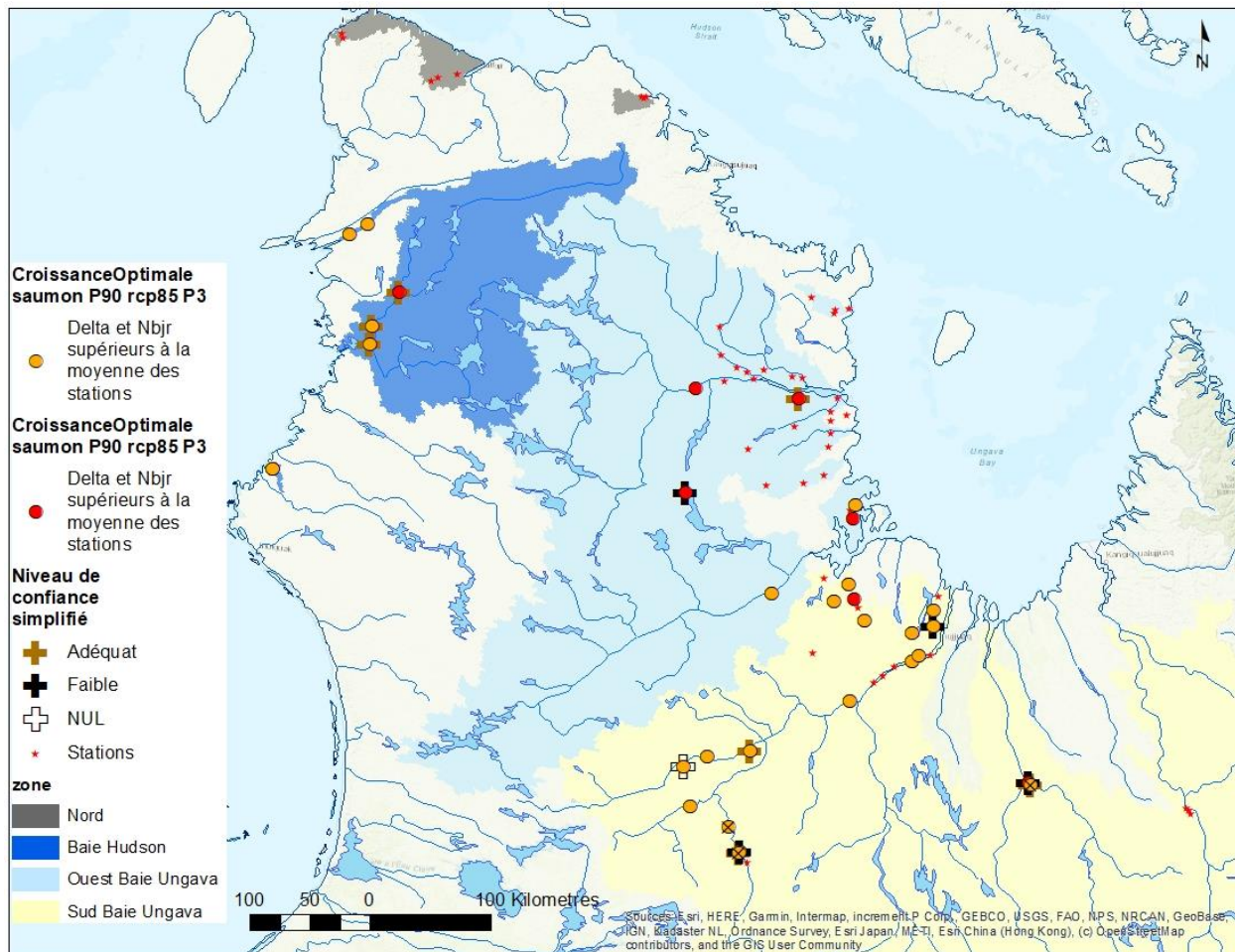


Figure 44. Synthèse des résultats pour le saumon atlantique à la période 2071-2100 (P3) pour P90 des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles rouges s'ajoutent aux cercles orange pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles oranges indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5.

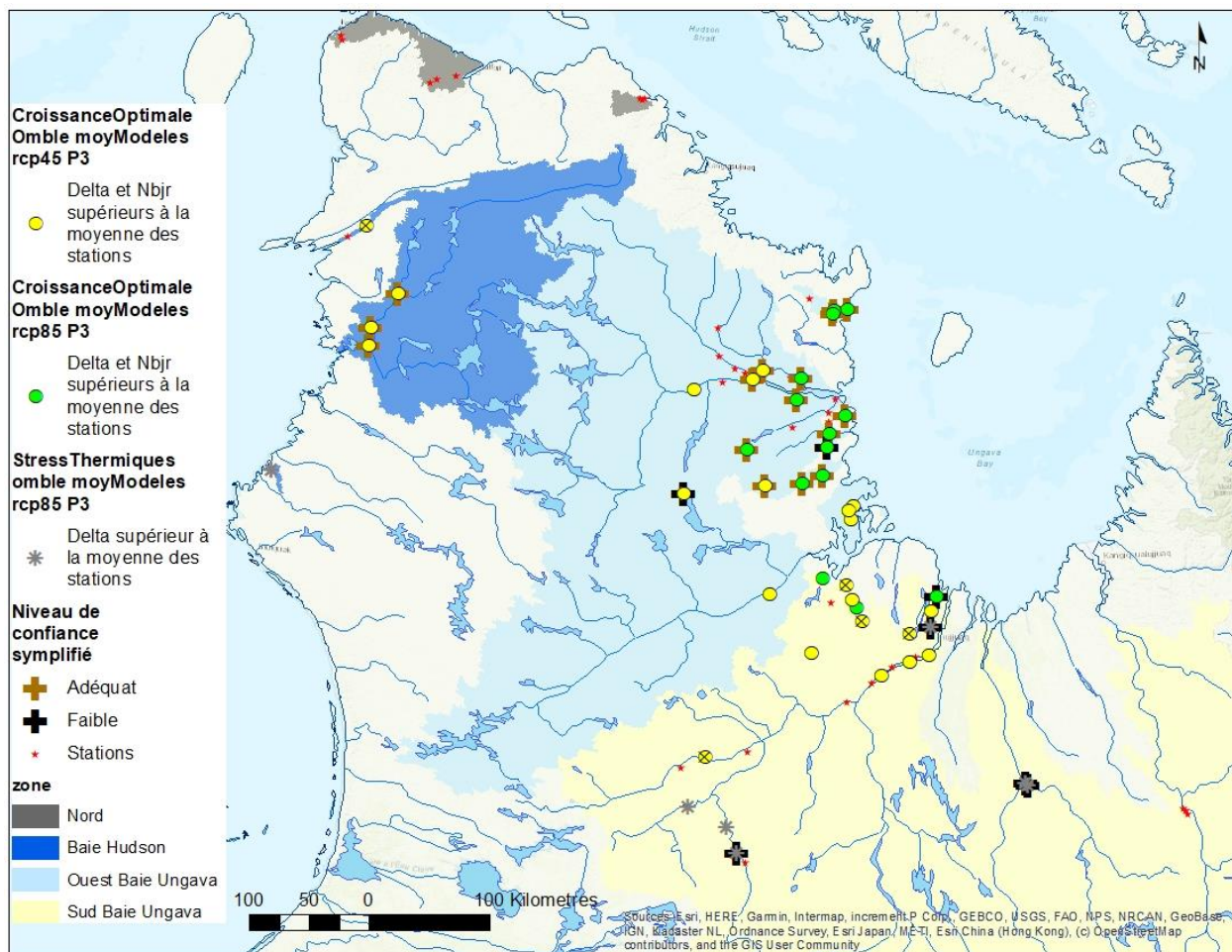


Figure 45. Synthèse des résultats pour l'omble chevalier à la période 2071-2100 (P3), pour la moyenne des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles verts s'ajoutent aux cercles jaunes pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles jaunes indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5. Les stations où le delta de changement du nombre de stress thermique est supérieur à la moyenne des stations avec rcp8.5 sont représentées.

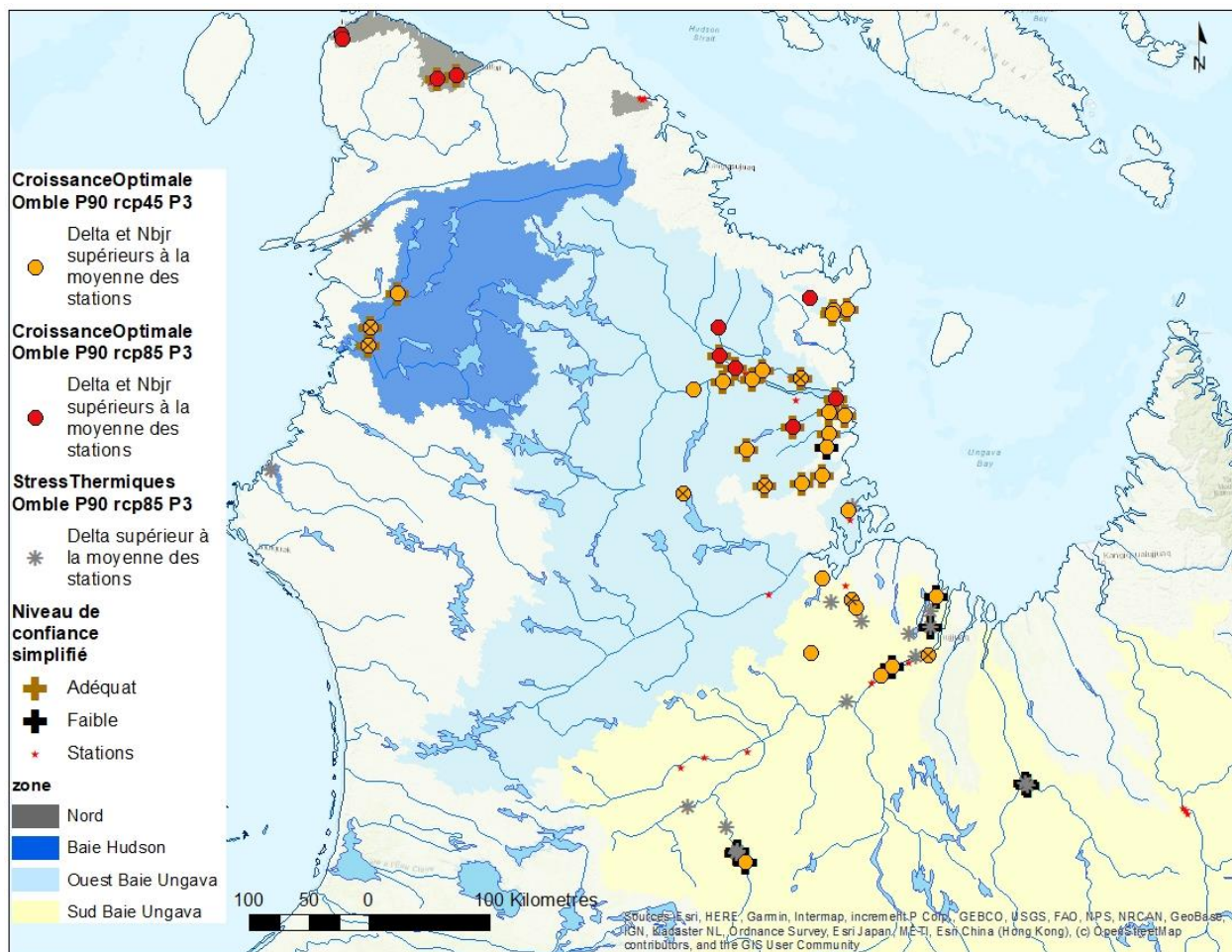


Figure 46. Synthèse des résultats pour l'omble chevalier à la période 2071-2100 (P3) pour P90 des modèles climatiques. Seulement les stations pour lesquelles le nombre de jours croissance optimale et le delta de changement sont simultanément supérieurs à la moyenne du groupe de stations sont affichées. Les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 sont distingués. Les cercles rouges s'ajoutent aux cercles oranges pour le scénario rcp8.5. Les croix sur les cercles orange indiquent toutefois que le nombre de jours croissance optimale et/ou le delta de changement pour rcp8.5 sont inférieurs à la moyenne pour rcp8.5, mais pas pour rcp4.5. Les stations où le delta de changement du nombre de stress thermique est supérieur à la moyenne des stations avec rcp8.5 sont représentées.